



**T.C.**

**TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FIRAT-DİCLE HAVZASI İÇİN STANDARTLAŞTIRILMIŞ YAĞIŞ  
EVAPOTRANSPIRASYON İNDİSİ (SPEI) HESAPLAMA  
ALGORİTMASINA TEORİK OLASILIK DAĞILIMIN ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**NURCAN MENEVŞE**

**Danışman: Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ**

**TOKAT- 2024**

## ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ danışmanlığında hazırlamış olduğum “Fırat-Dicle Havzası İçin Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) Hesaplama Algoritmasına Teorik Olasılık Dağılımının Etkisi” adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

26/12/2024

Nurcan MENEVŞE



## JÜRİ KABUL VE ONAY

**Nurcan MENEVŞE** tarafından hazırlanan “Fırat-Dicle Havzasi İçin Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) Hesaplama Algoritmasına Teorik Olasılık Dağılımın Etkisi” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 26/12/2024 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmzası

Üye (Başkan): Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ

Üye : Prof. Dr. Hüseyin ŞİMŞEK

Üye : Prof. Dr. Mehmet Ali HINIS

ONAY

26/12/2024

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteklerinden ve yol göstericiliğinden dolayı sayın hocam Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tezimin her aşamasında bana destekçi olan Arş. Görevlisi Müberra ERDOĞAN KARAAĞAÇLI'ya, tez konumda tecrübesinden faydalandığım Arş. Görevlisi Mehmet Selim GEYİKLİ ve lisansüstü eğitim sürecimdeki arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Her konuda yanımda olan ve desteğini hiç esirgemeyen ablam Bircan'a, babama, abim ve yengem Serhat ve Duygu'ya yeğenlerim Gülce Umay ve Birce'ye yanımda olamasalar da varlıklarını her daim hissettiren sevgili anneme, abim Murat'a ayrıca sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu süreçteki emekleri ve katkıları benim için paha biçilmezdir.

Bu tezi sevgili annem Şahzer MENEVŞE'ye, abim Murat MENEVŞE ithaf ediyorum.

## ÖZET

### FIRAT-DİCLE HAVZASI İÇİN STANDARTLAŞTIRILMIŞ YAĞIŞ EVAPOTRANSPIRASYON İNDİSİ (SPEI) HESAPLAMA ALGORİTMASINA TEORİK OLASILIK DAĞILIMIN ETKİSİ

Menevşe, Nurcan

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ

Aralık 2024, xiii + 73 sayfa

Günümüzde dünyamızı tehdit eden en büyük problemlerden biri olan küresel ısınma, farklı coğrafi bölgelerde çeşitli etkilerle kendini göstermektedir. Ülkemiz, yarı kurak iklim kuşağında yer alması nedeniyle kuraklık tehdidi özellikle Orta Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde daha çok hissedilmektedir. Bölgelerde yıllık ortalama yağış miktarlarının düşük olması ve su kaynaklarının yetersizliği, tarım sektörü üzerinde büyük bir baskı oluşturmaktadır. Bu çalışmada, Fırat-Dicle Havzası'nın kuraklık analizi Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) kullanarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla çalışma için gerekli iklim değişkenleri (yağış, rüzgar hızı, maksimum ve minimum hava sıcaklığı, güneşlenme süreleri ve nispi nem), Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilen 19 meteoroloji istasyonundan sağlanmıştır. SPEI hesabında gerekli olan bitki su tüketimi Penman-Monteith ve Thornthwaite yöntemleri ile tahmin edilmiştir. SPEI hesaplaması geleneksel yöntem (Genelleştirilmiş Log-logistik) yanında kuraklık analizi için yağmur ve bitki su tüketimine bağlı oluşturulan fark değer dizilerine en iyi uyan teorik olasılık dağılım biçimlerine göre yapılmıştır. Göz önüne alınan dağılımların parametrelerinin hesaplanmasında, momentler, maksimum olabilirlik ve L-momentler yaklaşımları kullanılmıştır. İstasyonların farklı zaman periyotları için (3-, 6-, 9-, 12- ve 24-h) en uygun teorik olasılık dağılım biçimleri çoğunlukla Genelleştirilmiş Log-logistik (GLOG), Weibull ve Genelleştirilmiş Ekstrem Değer (GEV) olmuştur. Dolayısı ile tek bir dağılım biçimine bağlı kalarak SPEI tahmininde bulunmak güvenilir kuraklık analizi açısından risk oluşturmaktadır. Elde edilen bulgulardan şu sonuçlara ulaşılmıştır: Adıyaman, Ağrı, Bingöl, Bitlis, Hakkari ve Şırnak istasyonlarında GEV ve GLOG dağılımları arasında geçişler gözlenmiştir. Diyarbakır, Kilis ve Malatya istasyonlarında Penman-Monteith yöntemi ile uygun bir dağılım belirlenemezken, Thornthwaite yöntemi ile Weibull ve GLOG dağılımları uygun bulunmuştur. Erzinan istasyonunda her iki yöntemle de uygun bir dağılım tespit edilememiştir.

Bu bulgulara dayanılarak, SPEI ile kuraklık analizinde zaman ölçeğinin ve seçilen teorik olasılık dağılım biçiminin önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca teorik olasılık dağılımların parametre tahmininde kullanılan farklı yöntemlerde kuraklık analizinde önemli bulunmuştur. Bu çalışma, Fırat-Dicle Havzası'nın kuraklık risklerini belirlemek ve su kaynaklarının sürdürülebilirliği için önemli bir temel oluşturmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kuraklık, SPEI, Penman-Monteith Yöntemi, Thornthwaite Yöntemi, GLOG, Weibull, GEV

## ABSTRACT

### THE EFFECT OF THEORETICAL PROBABILITY DISTRIBUTION ON THE STANDARDIZED PRECIPITATION EVAPOTRANSPIRATION INDEX (SPEI) CALCULATION ALGORITHM FOR THE EUPHRATES-TIGRIS BASIN

Menevşe, Nurcan

Department of Biosystem Engineering

Advisor: Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ

December 2024, xiii + 73 pages

One of the largest issues endangering our planet today is global warming, which shows up in different ways in different parts of the world. Since our country is located in the semi-arid climate zone, the threat of drought is felt more, especially in the Central Anatolia and Southeastern Anatolia regions. Low annual average rainfall and inadequate water resources in these regions put great pressure on the agricultural sector. The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) was used in this study to analyze the drought in the Euphrates-Tigris Basin. For this purpose, the climate parameters (precipitation, wind speed, maximum and minimum air temperature, sunshine durations and relative humidity) required for the study were provided by 19 meteorological stations operated by the General Directorate of State Meteorology (MGM). The Penman-Monteith and Thornthwaite methods were used to estimate the necessary plant water consumption in the SPEI calculation. SPEI calculation was made according to the theoretical probability distributions that best fit the difference value series created depending on rainfall and plant water consumption for drought analysis, as well as the traditional method (Generalized Log-Logistic). Moments, maximum likelihood, and L-moments methods were applied to determine the parameters of the distributions under consideration. The most suitable theoretical probability distributions for different time periods (3-, 6-, 9-, 12-, and 24-h) of the stations were mostly Generalized Logistic (GLOG), Weibull, and Generalized Extreme Value (GEV). Therefore, estimating SPEI based on a single theoretical distribution poses a risk in terms of reliable drought analysis. The findings led to the following conclusions: Adıyaman, Ağrı, Bingöl, Bitlis, Hakkari, and Şırnak stations all showed transitions between GEV and GLOG distributions. The Penman-Monteith method was unable to determine a suitable distribution at the Diyarbakır, Kilis, and Malatya stations, but Weibull and GLOG distributions were found to be appropriate with the Thornthwaite method. At Erzurum station, neither approach was able to produce an appropriate distribution.

Based on these findings, it was concluded that the time scale and the chosen theoretical probability distribution are important in drought analysis with SPEI. In addition, the methods used in parameter estimation of theoretical probability distributions were found to be important in drought analysis. An essential foundation for assessing the Euphrates-Tigris Basin's drought risks and water resource sustainability has been established by this study.

**Keywords:** Drought, SPEI, Penman-Monteith Method, Thornthwaite Method, GLOG, Weibull, GEV

## İÇİNDEKİLER

|                                                                  |      |
|------------------------------------------------------------------|------|
| <b>ETİK SÖZLEŞME</b> .....                                       | i    |
| <b>JÜRİ KABUL VE ONAY</b> .....                                  | ii   |
| <b>TEŞEKKÜR</b> .....                                            | iii  |
| <b>ÖZET</b> .....                                                | iv   |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                            | v    |
| <b>İÇİNDEKİLER</b> .....                                         | vi   |
| <b>SİMGE ve KISALTMALAR</b> .....                                | viii |
| <b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....                                    | x    |
| <b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....                                     | xiii |
| <b>1. GİRİŞ</b> .....                                            | 1    |
| <b>2. KAYNAK ÖZETİ</b> .....                                     | 4    |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....                               | 12   |
| 3.1. Materyal.....                                               | 12   |
| 3.1.1. Çalışma alanı.....                                        | 12   |
| 3.2. Yöntem .....                                                | 14   |
| 3.2.1. Hidrolojik verilerin homojenlik analizi .....             | 14   |
| 3.2.2. Kuraklık analizi.....                                     | 16   |
| Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi (SPEI)..... | 16   |
| 3.2.3. Frekans analizi .....                                     | 18   |
| Maksimum olabilirlik (ML) metodu.....                            | 18   |
| Momentler metodu (MOM).....                                      | 19   |
| L-Moments (LM) metodu .....                                      | 20   |
| Frekans Dağılımları .....                                        | 20   |
| Generalized Extreme Value (GEV) .....                            | 20   |
| Pearson Type 3 (P3).....                                         | 20   |
| Three Parameter Lognormal (LN3) .....                            | 20   |
| Generalized Logistic (GLOG) .....                                | 21   |
| Extreme Value Type 1 (EV1).....                                  | 21   |
| Generalized Pareto (GPAR) .....                                  | 21   |
| Weibull (W).....                                                 | 21   |
| Normal (N) .....                                                 | 21   |

|                                                                                                                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Logistic (LOG) .....                                                                                                                                          | 21        |
| Two Parameter Lognormal (LN2) .....                                                                                                                           | 22        |
| Gamma (GAM) .....                                                                                                                                             | 22        |
| Log Pearson Type 3 (LP3) .....                                                                                                                                | 22        |
| 3.2.4. Uygunluk (Goodness-Of-Fit) Testleri .....                                                                                                              | 22        |
| Kolmogorov-Smirnov .....                                                                                                                                      | 22        |
| Chi-Square .....                                                                                                                                              | 22        |
| <b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>                                                                                                                           | <b>24</b> |
| 4.1. Normallik Test Sonuçları .....                                                                                                                           | 24        |
| 4.2 Homojenlik Test Sonuçları .....                                                                                                                           | 26        |
| 4.3. En Uygun Dağılım Analizi, Penman-Monteith Yöntemine Göre Hesaplanan<br>Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) .....                 | 29        |
| 4.4. En Uygun Dağılım Analizi, Thornthwaite Yöntemine Göre Hesaplanan<br>Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) .....                    | 48        |
| 4.5. En Uygun Dağılım Analizi, Penman-Monteith ve Thornthwaite Yöntemine Göre<br>Hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ..... | 66        |
| <b>5. SONUC VE ÖNERİLER.....</b>                                                                                                                              | <b>67</b> |
| <b>6. KAYNAKLAR.....</b>                                                                                                                                      | <b>69</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                                                                                                          | <b>73</b> |



## SİMGE VE KISALTMALAR

| Simgeler   | Açıklama                                       |
|------------|------------------------------------------------|
| $t$        | Aylık ortalama sıcaklık                        |
| $R_n$      | Bitki yüzeyindeki net radyasyon                |
| $\Delta$   | Buhar basıncı eğrisinin eğimi                  |
| $e_s$      | Doygun buhar basıncı                           |
| $G$        | Enlem düzeltme katsayısı                       |
| $e_a$      | Gerçek buhar basıncı                           |
| $N_x$      | Gözlem sayısı                                  |
| $D_i$      | İklimsel su dengesi                            |
| $N$        | İstasyon sayısı                                |
| $\mu_u$    | Ortalama                                       |
| $T$        | 2 m yükseklikte ortalama günlük hava sıcaklığı |
| $\alpha$   | Ölçek (scale) parametresi                      |
| $T$        | 2 m yükseklikte ortalama günlük hava sıcaklığı |
| $\gamma$   | Psikrometrik sabit                             |
| $R_x$      | Rank toplamı                                   |
| $\sigma_U$ | Standart sapma                                 |
| $G$        | Toprak ısı akış yoğunluğu                      |
| $P_i$      | Yağmur miktarı                                 |
| $I$        | Yıllık sıcaklık indeksi                        |
| $Z_u$      | Whitney istatistiği olarak belirtilen değer    |

**Kısaltmalar**

WMO

EV1

GAM

GEV

GLOG

FAO

HG

LN2

 $\text{Chi}^2$ 

K-S

LOG

LP3

MLM

Matlab

MPDSI

N

P

PDSI

P3

PM

PET

 $\text{ET}_0$ 

SPEI

SPI

SSI

IDW

TW

LN3

**Açıklama**

Dünya Meteoroloji Örgütü

Extreme Value Type 1

Gamma

Genel ekstrem değer dağılımı

Genel lojistik dağılımı

Gıda ve Tarım Örgütü

Hargreaves

İki Parametrelili Lognormal

Ki-kare

Kolmogorov-Smirnov

Logistik

Log Pearson Tip 3

Maksimum Olabilirlik

Matrix Laboratory

Modifiye Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi

Normal

Olasılık

Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi

Pearson Tip 3

Penman-Monteith

Potansiyel Evapotranspirasyon

Referans Bitki Su Tüketimi

Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi

Standart Yağış İndeksi

Tarımsal Kuraklık-Standart Toprak Nemi İndeksi

Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi

Thornthwaite

Üç Parametrelili Lognormal

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3. 1. İstasyonların Fırat-Dicle Havzası üzerindeki konumları (Erdoğan, 2020)..... | 14 |
| Şekil 4. 1. Adıyaman istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GEV dağılımı).....                  | 31 |
| Şekil 4.2. Adıyaman istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GEV dağılımı).....                  | 31 |
| Şekil 4. 3. Adıyaman istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GEV dağılımı).....                 | 31 |
| Şekil 4. 4. Adıyaman istasyonu SPEI24 sonuç grafiği (GLOG dağılımı).....                | 31 |
| Şekil 4. 5. Ağrı istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GLOG dağılımı).....                     | 33 |
| Şekil 4. 6. Ağrı istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GLOG dağılımı).....                    | 33 |
| Şekil 4. 7. Ağrı istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GLOG dağılımı).....                    | 33 |
| Şekil 4. 8. Ağrı istasyonu SPEI24 sonuç grafiği (GLOG dağılımı).....                    | 33 |
| Şekil 4. 9. Batman istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GEV dağılımı).....                    | 34 |
| Şekil 4. 10. Batman istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GLOG dağılımı).....                 | 34 |
| Şekil 4. 11. Bingöl istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GLOG dağılımı).....                 | 35 |
| Şekil 4. 12. Bingöl istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GEV dağılımı).....                   | 35 |
| Şekil 4. 13. Bingöl istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GEV dağılımı).....                  | 35 |
| Şekil 4. 14. Bingöl istasyonu SPEI24 sonuç grafiği (GLOG dağılımı).....                 | 35 |
| Şekil 4. 15. Bitlis istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GEV dağılımı).....                   | 36 |
| Şekil 4. 16. Bitlis istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GLOG dağılımı).....                 | 36 |
| Şekil 4. 17. Bitlis istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (WEIBUL dağılımı).....               | 37 |
| Şekil 4. 18. Bitlis istasyonu SPEI24 sonuç grafiği (GEV dağılımı).....                  | 37 |
| Şekil 4. 19. Elazığ istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GLOG dağılımı).....                 | 38 |
| Şekil 4. 20. Erzurum istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (WEIBUL dağılımı).....               | 39 |
| Şekil 4. 21. Gaziantep istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GEV dağılımı).....                | 40 |
| Şekil 4. 22. Gaziantep istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GEV dağılımı).....               | 40 |
| Şekil 4. 23. Gaziantep istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GEV dağılımı).....               | 40 |
| Şekil 4. 24. Hakkari istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (WEIBUL dağılımı).....               | 41 |
| Şekil 4. 25. Hakkari istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GEV dağılımı).....                 | 41 |
| Şekil 4. 26. Hakkari istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GEV dağılımı).....                 | 41 |
| Şekil 4. 27. Hakkari istasyonu SPEI24 sonuç grafiği (GLOG dağılımı).....                | 41 |
| Şekil 4. 28. Mardin istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GLOG dağılımı).....                 | 42 |
| Şekil 4. 29. Mardin istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GEV dağılımı).....                  | 42 |
| Şekil 4. 30. Muş istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GEV dağılımı).....                      | 43 |
| Şekil 4. 31. Muş istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GLOG dağılımı).....                    | 43 |

|                                                        |                        |    |
|--------------------------------------------------------|------------------------|----|
| Şekil 4. 32. Muş istasyonu SPEI18 sonuç grafiği        | (GEV dağılımı).....    | 43 |
| Şekil 4. 33. Muş istasyonu SPEI24 sonuç grafiği        | (GLOG dağılımı).....   | 43 |
| Şekil 4. 34. Siirt istasyonu SPEI12 sonuç grafiği      | (GLOG dağılımı).....   | 44 |
| Şekil 4. 35. Siirt istasyonu SPEI18 sonuç grafiği      | (GEV dağılımı).....    | 44 |
| Şekil 4. 36. Siirt istasyonu SPEI24 sonuç grafiği      | (GLOG dağılımı).....   | 44 |
| Şekil 4. 37. Şanlıurfa istasyonu SPEI9 sonuç grafiği   | (GEV dağılımı).....    | 45 |
| Şekil 4. 38. Şanlıurfa istasyonu SPEI18 sonuç grafiği  | (GLOG dağılımı).....   | 45 |
| Şekil 4. 39. Tunceli istasyonu SPEI12 sonuç grafiği    | (GEV dağılımı).....    | 46 |
| Şekil 4. 40. Tunceli istasyonu SPEI24 sonuç grafiği    | (GLOG dağılımı).....   | 46 |
| Şekil 4. 41. Şırnak istasyonu SPEI9 sonuç grafiği      | (WEIBUL dağılımı)..... | 47 |
| Şekil 4. 42. Şırnak istasyonu SPEI12 sonuç grafiği     | (GEV dağılımı).....    | 47 |
| Şekil 4. 43. Şırnak istasyonu SPEI18 sonuç grafiği     | (GEV dağılımı).....    | 47 |
| Şekil 4. 44. Şırnak istasyonu SPEI24 sonuç grafiği     | (GEV dağılımı).....    | 47 |
| Şekil 4. 45. Adıyaman istasyonu SPEI12 sonuç grafiği   | (WEIBUL dağılımı)..... | 50 |
| Şekil 4. 46. Adıyaman istasyonu SPEI18 sonuç grafiği   | (GEV dağılımı).....    | 50 |
| Şekil 4. 47. Adıyaman istasyonu SPEI24 sonuç grafiği   | (WEIBUL dağılımı)..... | 50 |
| Şekil 4. 48. Ağrı istasyonu SPEI9 sonuç grafiği        | (GLOG dağılımı).....   | 51 |
| Şekil 4. 49. Ağrı istasyonu SPEI12 sonuç grafiği       | (GEV dağılımı).....    | 51 |
| Şekil 4. 50. Ağrı istasyonu SPEI18 sonuç grafiği       | (GEV dağılımı).....    | 51 |
| Şekil 4. 51. Ağrı istasyonu SPEI24 sonuç grafiği       | (GLOG dağılımı).....   | 51 |
| Şekil 4. 52. Batman istasyonu SPEI12 sonuç grafiği     | (GLOG dağılımı).....   | 52 |
| Şekil 4. 53. Bingöl istasyonu SPEI9 sonuç grafiği      | (GEV dağılımı).....    | 53 |
| Şekil 4. 54. Bingöl istasyonu SPEI12 sonuç grafiği     | (GLOG dağılımı).....   | 53 |
| Şekil 4. 55. Bingöl istasyonu SPEI18 sonuç grafiği     | (GEV dağılımı).....    | 53 |
| Şekil 4. 56. Bitlis istasyonu SPEI9 sonuç grafiği      | (GEV dağılımı).....    | 54 |
| Şekil 4. 57. Bitlis istasyonu SPEI12 sonuç grafiği     | (GLOG dağılımı).....   | 54 |
| Şekil 4. 58. Bitlis istasyonu SPEI24 sonuç grafiği     | (GLOG dağılımı).....   | 54 |
| Şekil 4. 59. Diyarbakır istasyonu SPEI12 sonuç grafiği | (WEIBUL dağılımı)..... | 55 |
| Şekil 4. 60. Elazığ istasyonu SPEI12 sonuç grafiği     | (GEV dağılımı).....    | 56 |
| Şekil 4. 61. Erzurum istasyonu SPEI9 sonuç grafiği     | (GEV dağılımı).....    | 56 |
| Şekil 4. 62. Erzurum istasyonu SPEI12 sonuç grafiği    | (WEIBUL dağılımı)..... | 56 |
| Şekil 4. 64. Gaziantep istasyonu SPEI12 sonuç grafiği  | (WEIBUL dağılımı)..... | 57 |
| Şekil 4. 65. Gaziantep istasyonu SPEI18 sonuç grafiği  | (GEV dağılımı).....    | 57 |
| Şekil 4. 66. Gaziantep istasyonu SPEI24 sonuç grafiği  | (GEV dağılımı).....    | 58 |

|                                                              |                         |    |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------|----|
| <b>Şekil 4. 67.</b> Hakkari istasyonu SPEI12 sonuç grafiği   | (GEV dağılımı) .....    | 58 |
| <b>Şekil 4. 68.</b> Hakkari istasyonu SPEI9 sonuç grafiği    | (WEIBUL dağılımı) ..... | 58 |
| <b>Şekil 4. 69.</b> Hakkari istasyonu SPEI18 sonuç grafiği   | (GEV dağılımı) .....    | 59 |
| <b>Şekil 4. 70.</b> Hakkari istasyonu SPEI24 sonuç grafiği   | (GLOG dağılımı).....    | 59 |
| <b>Şekil 4. 71.</b> Kilis istasyonu SPEI12 sonuç grafiği     | (GLOG dağılımı).....    | 59 |
| <b>Şekil 4. 72.</b> Malatya istasyonu SPEI12 sonuç grafiği   | (GLOG dağılımı) .....   | 60 |
| <b>Şekil 4. 73.</b> Mardin istasyonu SPEI12 sonuç grafiği    | (GLOG dağılımı).....    | 60 |
| <b>Şekil 4. 74.</b> Mardin istasyonu SPEI9 sonuç grafiği     | (GEV dağılımı) .....    | 60 |
| <b>Şekil 4. 75.</b> Mardin istasyonu SPEI18 sonuç grafiği    | (GEV dağılımı) .....    | 61 |
| <b>Şekil 4. 76.</b> Muş istasyonu SPEI12 sonuç grafiği       | (GLOG dağılımı) .....   | 61 |
| <b>Şekil 4. 77.</b> Muş istasyonu SPEI18 sonuç grafiği       | (GEV dağılımı).....     | 61 |
| <b>Şekil 4. 78.</b> Muş istasyonu SPEI124 sonuç grafiği      | (GEV dağılımı).....     | 62 |
| <b>Şekil 4. 79.</b> Siirt istasyonu SPEI12 sonuç grafiği     | (GLOG dağılımı) .....   | 62 |
| <b>Şekil 4. 80.</b> Siirt istasyonu SPEI18 sonuç grafiği     | (GEV dağılımı) .....    | 62 |
| <b>Şekil 4. 81.</b> Siirt istasyonu SPEI24 sonuç grafiği     | (GLOG dağılımı) .....   | 63 |
| <b>Şekil 4. 82.</b> Şanlıurfa istasyonu SPEI12 sonuç grafiği | (GLOG dağılımı).....    | 63 |
| <b>Şekil 4. 83.</b> Şanlıurfa istasyonu SPEI18 sonuç grafiği | (GEV dağılımı).....     | 63 |
| <b>Şekil 4. 84.</b> Tunceli istasyonu SPEI9 sonuç grafiği    | (GEV dağılımı).....     | 64 |
| <b>Şekil 4. 85.</b> Tunceli istasyonu SPEI12 sonuç grafiği   | (GEV dağılımı) .....    | 64 |
| <b>Şekil 4. 86.</b> Tunceli istasyonu SPEI24 sonuç grafiği   | (GLOG dağılımı) .....   | 64 |
| <b>Şekil 4. 87.</b> Şırnak istasyonu SPEI9 sonuç grafiği     | (GEV dağılımı).....     | 65 |
| <b>Şekil 4. 88.</b> Şırnak istasyonu SPEI12 sonuç grafiği    | (GLOG dağılımı).....    | 65 |
| <b>Şekil 4. 89.</b> Şırnak istasyonu SPEI18 sonuç grafiği    | (GEV dağılımı).....     | 65 |
| <b>Şekil 4. 90.</b> Şırnak istasyonu SPEI24 sonuç grafiği    | (GEV dağılımı).....     | 65 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3. 1. Meteoroloji istasyonlarının koordinatları.....                                                         | 13 |
| Çizelge 3. 2. SPEI indisi kuraklık şiddeti sınıflandırması (McKee ve ark. 1993).....                                 | 18 |
| Çizelge 4. 1. İstasyonlara ait aylık toplam yağmurların normallik testi sonuçları .....                              | 24 |
| Çizelge 4. 2. İstasyonlara ait $ET_0$ değerlerinin normallik testi sonuçları .....                                   | 24 |
| Çizelge 4. 3. İstasyonlara ait PET değerlerinin normallik testi sonuçları .....                                      | 25 |
| Çizelge 4. 4. Aylık toplam yağışların Mann-Whitney U testi sonuçları .....                                           | 26 |
| Çizelge 4. 5. Çift birikimli eğri yöntemiyle elde edilen aylık toplam yağışların Mann-Whitney U testi sonuçları..... | 27 |
| Çizelge 4. 6. İstasyonlara ait $ET_0$ verilerinin Mann-Whitney U testi sonuçları.....                                | 27 |
| Çizelge 4. 7. Çift birikimli eğri yöntemiyle elde edilen $ET_0$ verilerinin Mann-Whitney U testi sonuçları.....      | 28 |
| Çizelge 4. 8. İstasyonlara ait PET verilerinin Mann-Whitney U testi sonuçları .....                                  | 28 |
| Çizelge 4. 9. Penman-Monteith yöntemine göre hesaplanan SPEI analizi için en uygun dağılımlar .....                  | 30 |
| Çizelge 4. 10. Thornthwaite yöntemine göre hesaplanan SPEI analizi için en uygun dağılımlar .....                    | 49 |

## 1. GİRİŞ

Bugün dünyamızı tehdit eden en önemli problemlerin başında gelen küresel ısınma dünyamızın farklı bölgelerinde farklı şekilde (kimi yerlerde kuraklık, kimi yerlerde ise şiddetli yağışlar ve buna bağlı olarak meydana gelen taşkınlar) kendini hissettirmeye başlamıştır. Elbette ülkemizde küresel ısınmanın tehdidi altında bulunmaktadır. Sıcaklık artmaktadır yağış ise tam tersi olarak azalmaktadır. Yarı kurak bir iklim kuşağında olan ülkemizde ileriki dönemlerde kuraklığın daha fazla yaşanacağı tahmin edilmektedir. Yıllık ortalama yağışı yetersiz olan Orta Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde bu olumsuz etkinin daha fazla hissedileceği ön görülmektedir. Bu bölgelerin yıllık ortalama yağış miktarları 300-400 mm arasında değişmektedir. Ülkemizin gelecekte önemli bir doğal afetin etkisi altında kalacağı tahmini yapılmakta olduğuna göre gerek karar vericilerin gerekse su kullanıcıların bu konuda gerekli hassasiyeti göstermeleri gerekmektedir.

Bugün ülkemizin kullanılabilir su potansiyelinin (112 milyar m<sup>3</sup>) yaklaşık %74'ü tarımda, %16'sı içme-kullanma suyu ve %10'u da endüstride kullanılmaktadır (Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2018). Bu bilgilerden de görülmektedir ki kuraklıktan en fazla etkilenecek sektör de tarım sektörüdür.

Kuraklık, su kaynaklarını besleyen yağışlardaki önemli azalmaların olduğu dönemler olarak tanımlanmaktadır. Kuraklık, ekosisteme müdahalenin bir sonucu olarak günümüzde kendini en ciddi hissettiren ve hissettirmeye de devam edecek gözüken problemlerin başında gelmektedir. Kuraklık, taşkın gibi ani olarak meydana gelmemesine rağmen, dünyadaki doğa olayları içinde maliyeti en fazla olan ve küresel anlamda yıllık olarak ortalama 6-8 milyar dolar zarara neden olan doğa olayıdır (Yürekli ve ark. 2010). Bunun yanında, diğer doğa olayları ile karşılaştırıldığında insanlığı en fazla tehdit edendir (Wilhite, 2000). Kuraklık, tarımsal, hidrolojik ve meteorolojik kuraklık olarak sınıflandırılmasına rağmen, kuraklığa neden olan ana etken yağışın ortalamanın altında düşmesi sonucunda meydana gelmektedir.

Agnew ve Warren (1996) tarımsal kuraklığı, topraktaki nem eksikliğine bağlı olarak, tarımsal üretimdeki önemli düşüşe neden olan bir olay olarak ifade etmektedir. Palmer (1965) hidrolojik kuraklığı, yüzey ve yeraltı su seviyelerindeki alçalmaların olduğu süreler olarak belirtmektedir. Agnew (1990) meteorolojik kuraklığı ise belli bir zaman periyodunda, gözlenmiş normal yağışın altında meydana gelen süreleri meteorolojik kurak olarak ifade etmiştir. Ancak şu önemlidir ki

Ülkemizde, yağışın ortalamanın üzerinde olması durumunda bile, bitkisel üretim yapıldığı dönemde bitkinin ihtiyaç duyduğu suyu yağışlarla karşılamak hemen hemen imknsızdır. Çünkü lkemizde yağışın dağılımı yıl içerisinde düzenli değildir. Bu nedenle düşen yağışın fazlası (yüzey akış) kurak periyotlardaki ihtiyaı karşılamak amacı ile depolanması gerekmektedir.

Kuraklığın tanımlanması ve kontrol edilmesi anlamında birçok indis geliştirilmiştir. Bunlar arasında en iyi bilinen ve en fazla kullanılan kuraklık indisi ise Palmer Kuraklık İndisidir (PSDI). Palmer bu indisi geliştirirken, genel olarak kuraklığın şiddetini zaman ve mekn anlamında karşılaştırarak değerlendirmeyi amaçlamıştır.

Kuraklık indisleri; kuraklığın şiddetinin, süresinin ve büyüklüğünün tanımlanmasına imkn sağlaması nedeniyle, kuraklığın gözlenmesi ve yönetiminde faydası olması açısından önemli bulunmaktadır. Ancak bu indisler kuraklığın mekânsal dağılımını tanımlamada yetersiz kalmaktadır (Lana ve ark., 2006). Yağmursuz günlerin dizileri ya da kurak süreler, mekânsal analiz için sıklıkla kullanılmaktadır. Kuraklığın süresi ve şiddeti doğrudan yağmursuz gnle ilişkilidir (Dracup ve ark., 1980). Son zamanlarda yeraltı suyu, rezervuar depolaması, toprak nemi ve akarsu akımları üzerine yağış eksikliğinin etkisinin saptanmasında Mckee ve ark. (1993) tarafından geliştirilen ve yaygın kullanım alanı bulan Standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) kullanılmaktadır. Ancak SPI indisinin hesaplanmasında yalnızca yağış verisinin dikkate alınması, kuraklık üzerine etkisi olan diğer iklim parametrelerini kullanmamasından dolayı eleştirilmektedir. Bu amaçla kuraklığı izlemek ve düzenlemek için Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) kullanılır. SPEI, SPI'ye benzer şekilde yağış ve diğer iklim parametreleri de kullanılarak kuraklığın miktarı ölçülür. SPEI, tarım, meteoroloji ve hidroloji uygulamaları mevcuttur. SPEI, Vicente-Serrano ve ark. (2010) tarafından tasarlanmıştır.

Bu alışma da ise Fırat-Dicle havzası içinde il merkezlerindeki bulunan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen meteoroloji istasyonlarında ölçülen iklim elemanları kullanılarak Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ile kuraklık analizi yapılacaktır. SPEI hesaplama algoritmasında n kabul olarak belirtilmiş Genelleştirilmiş Log-logistik olasılık dağılım modeli dışında alternatif üç parametrelili dağılım modelleri de çalışmada göz önüne alınacaktır. Böylece bölge koşullarına en uygun teorik olasılık dağılım modeli ile kuraklık analizinin gerçekleştirme imknı araştırılması amaçlanmaktadır. Literatürde bu konu ile



ilgili, havzaya ait herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Fırat-Dicle Havzası için gelecekte meydana gelebilecek taşkın, sel, kuraklık gibi doğal olaylar karşısında alınacak önlemlerde yararlanılacak bir araştırma sunulmaktadır.



## 2. KAYNAK ÖZETİ

Lorenzo-Lacruz ve ark. (2010), Tagus Nehri'nin baş kısımlarındaki kuraklık ve su yönetiminin çeşitli hidrolojik sistemler üzerindeki etkisini incelemek için standartlaştırılmış yağış indeksi (SPI) ve standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi (SPEI) indeksini kullanmıştır. İndekslerin sonuçları, 1970'lerden bu yana Tagus Nehri'nin baş kısımlarında kuraklık yaşandığını göstermektedir. SPEI'ye dayanan indekslerin SPI'ye dayanan indekslerden biraz daha fazla nehir akışı ve rezervuar depolama üzerinde etkisi olduğu, ancak yağışın zamansal değişkenlik üzerinde önemli bir etkisi olduğu belirtilmiştir. Bu durum, havzadaki suyun kullanılabilirliğinde belirgin bir azalmaya neden olurken, Akdeniz havzasındaki artan su talebiyle su transfer edilen miktarlarının arttığına dikkat çekilmiştir.

Vicente-Serrano ve ark. (2010a) çalışmalarında, çok değişkenli kuraklık indeksinin aylık küresel veri setlerini sunarak PDSI'ye dayalı kuraklık veri setlerini mekansal ve zamansal değişkenlik açısından karşılaştırmışlardır. İklim Araştırma Birimi (CRU) TS3 indekslerini kullanmıştır ve veri seti ile işlemler yapılmıştır. Sonuç olarak, yeni veri setinin üç faydasını özetlemişlerdir: ilk olarak, küresel kuraklık verilerinin mekansal olarak kurtarılması dünya çapında genişletilir; ikinci olarak, SPEI'nin olasılıksal varlığı nedeniyle diğer veri kümeleriyle geçici olarak karşılaştırılabilir ve özellikle, üçüncü olarak, SPEI'nin çok değişkenli özellikleri nedeniyle çeşitli kuraklık tiplerinin yayılmasını sağlar sonuçları elde edilmiştir.

Vicente-Serrano ve ark. (2010b), yeni bir kuraklık ölçütü olan SPEI'nin diğerlerinden farklı olduğunu belirtmektedir. SPEI, yağış ve sıcaklık verilerine dayanarak kuraklık tahminlerini daha etkili hale getirdiğini ifade etmişlerdir. SPI'ye benzer şekilde, SPEI de yağış verilerini kullanır, ancak sıcaklık verilerini de dahil eder. Küresel ısınma koşullarında, SPEI'nin su talebiyle ilişkili kuraklık şiddetinde bir artış gösterdiği ve çok faktörlü bir yaklaşım benimseyerek kuraklık analizi ve izlemede avantaj sağladığı sonucuna varılmıştır.

Potop ve Možn (2011) yapmış olduğu çalışmada Çek Cumhuriyeti'nde kuraklık şiddetinin değişimini incelemek için Standartlaştırılmış Yağış-Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI)'ni kullanmışlardır. SPEI hesaplaması, potansiyel evapotranspirasyonu (ET<sub>o</sub>) belirlemek, farklı zaman ölçeklerinde iklimsel su dengesi açığını veya fazlasını hesaplamak ve su dengesinin Log-logistik

olasılık dağılımına uygunluğu araştırılmaktadır. Çalışmada, kısa ve uzun zaman ölçeklerinde SPEI ve su dengesini kullanarak Çek Cumhuriyeti'nde kuraklık koşullarının zaman içindeki değişimi analiz edilmiştir.

Paulo ve ark. (2012) , iklim değişikliğinin etkilerini anlamak amacıyla, 1941-2006 döneminde Portekiz'deki 27 hava istasyonunda yağış ve sıcaklık verilerine trend analizi yapmışlardır. Bazı istasyonlarda sıcaklık artışı, bazı bölgelerde ise Mart ayında azalan ve Ekim ayında artan yağış eğilimleri gözlemlenmiştir. SPI ve SPEI, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde kuraklık oluşumu ve şiddeti açısından benzer sonuçlar vermiştir. PDSI ve MedPDSI kendi aralarında ve SPI ile SPEI arasında iyi korelasyon göstermiştir. Ancak, PDSI ve MPDSI, SPI ve SPEI'den daha şiddetli kuraklıkları tanımlamış ve bu indekslerden daha erken kuraklık oluşumunu tespit etmiştir. Bu, PDSI ve MPDSI'nın su dengesini daha iyi yansıtmaları ile ilişkilendirilmiştir.

Yürekli ve Ünlükara (2013), Tokat ili için Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) kullanarak kuraklık analizi yapmışlardır. Çalışmada ayrıca gelecekteki 100 yıl içinde hava sıcaklıklarının 5°C artacağı varsayımıyla yeni bir SPEI değeri hesaplamışlardır. Hesaplanan iki SPEI indisi arasındaki farkı incelemiştir. Araştırma sonucunda SPEI indislerinin küresel ısınma nedeniyle kuraklık şiddetinde meydana gelen değişimleri yansıttığı tespit edilmiştir. Bu çalışma hava sıcaklıklarının artışının kuraklık olayı üzerindeki etkilerini değerlendirmek için SPEI'nin kullanılabileceğini ve küresel ısınma senaryolarının kuraklık risklerini daha iyi anlamamıza yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Yu ve ark. (2014) bu çalışmada 1951-2010 yılları arasında Çin'in 609 farklı lokasyonunda Standartlaştırılmış Yağış-Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) kullanarak kuraklık koşullarını incelemektedir. Sonuçlar, 1990'ların sonlarından itibaren Çin'in tüm bölgelerinde ciddi ve aşırı kuraklık olaylarının arttığını ve kurak alanın yıllık olarak %3.72 oranında genişlediğini göstermektedir. Özellikle Kuzey Çin, Kuzeydoğu Çin ve batı Kuzeybatı Çin bölgelerinde uzun süreli ciddi kuraklıkların sıkça yaşandığı belirlenmiştir. Ayrıca, Kuzey Çin, Kuzeydoğu Çin'in güneybatı bölgesi, Kuzeybatı Çin'in merkezi ve doğu bölgeleri ile Güneybatı Çin'in merkezi ve güneybatı bölgelerinde yağış azalması ve sıcaklıkların artmasıyla kuraklaşma eğilimi gözlenmiştir.

SPEI, bu bölgelerdeki kuraklık süreçlerini değerlendirmede önemli bir araç olarak kullanılmıştır. Çalışma, Çin'de bir kuraklık erken uyarı sistemi kurulması için önemli referanslar sunmaktadır.

Stagge ve ark. (2015), iklimler arasında karşılaştırmalar yapmak için WMO tarafından önerilen meteorolojik bir kuraklık indeksi olan SPI ve SPEI'yi kullanmışlardır. İndeksi normalleştirmek için tek değişkenli olasılık dağılımını kullanmışlardır. Ek olarak, uygun olasılık dağılımının seçimi indeks değerlerinde hatalara neden olabildiğini ifade etmişlerdir. Kıta ölçeğinde bir olasılık dağılımı seçerek SPI ve SPEI'nin karşılaştırılmasına odaklanmışlardır. Çalışmalarında SPI ve SPEI tekniklerini değiştirmişlerdir ve SPI/SPEI uyumluluğunu değerlendirmek için daha iyi bir yöntem önermişlerdir. SPI için seçilen olasılık dağılımları, kısa süreli (1-2 ay) veya uzun süreli ( $> 3$  ay) birikim modellemesine göre iki gruba ayrıldığı ifade etmişlerdir. İki parametrelili Gama dağılımı, Avrupa'daki tüm birikim süreleri ve bölgeler arasında SPI hesaplanırken genel kullanım için önerilirken, SPEI hesaplanırken Genelleştirilmiş Aşırı Değer (GEV) dağılımı önerilmiştir.

Somorowska (2016) yaptığı çalışmada 1956-2015 yılları arasındaki Polonya'daki kuraklık koşullarının değişkenliğini SPEI kullanarak incelemektedir. Çalışma, kuraklığın geçmişte etkilediği alanın genişlediği ve mekânsal ve zamansal bağlamlarda kuraklaşma eğilimlerini gösteren yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Tarım ve hidroloji için önemli olan 3 aylık, 6 aylık ve 12 aylık SPEI zaman ölçekleri değerlendirilmiştir. Analizler, kuraklığın mekânsal yayılımının geniş bir değişkenlik gösterdiğini ve kuraklık altındaki alanın yıllık ortalamasının üç SPEI zaman ölçeği için de arttığını göstermektedir. SPEI değerlerindeki azalan eğilim, söz konusu 60 yıllık dönemde Polonya'nın güneybatısından merkezine kadar uzanan bir alanda kuraklık şiddetinin arttığını ortaya koymaktadır.

Çamalan ve ark. (2017) bu çalışmalarında, SPEI kullanarak Türkiye genelinde kuraklık değişim ve eğilim projeksiyonlarını analiz etmişlerdir. Araştırma, SPEI hesaplamalarında potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerlerinin Thornthwaite yöntemi ile elde edildiğini ve üç parametrelili log-lojistik dağılımın kullanıldığını belirtmektedir. Çalışma, uygun olasılık dağılımının seçiminin, kuraklık analizlerinin doğruluğunu doğrudan etkilediğini vurgulamaktadır.

Li ve ark. (2017) 'de 1961-2013 yılları arasında Çin'in Xinjiang bölgesinde meteorolojik veriler kullanılarak kuraklık şiddeti ve eğilim analizi yapılmıştır. Çalışmada SPEI ve SPI indeksleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca SPEI indeksinin hesaplanmasında kullanılan evapotranspirasyon değeri Thornthwaite (SPEITW) ve FAO-56 Penman-Monteith (SPEIPM) yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre SPEITW değerleri SPI ve SPEIPM değerlerine göre farklı bulunmuştur. SPEIPM'nin, SPEITW kuraklık şiddeti ve eğilim değerlerine göre daha hassas sonuçlar gösterdiği, küresel ısınma ve kuraklık çalışmalarında kullanmanın daha uygun olabileceği vurgulanmıştır.

Zhang ve ark. (2017) tarafından, Haihe Nehri Havzası'nın kuzeyinde, Standart Yağış İndeksi (SPI) kullanılarak kuraklık tahmini yapılmıştır. Kuraklık tahmininde ARIMA, yapay sinir ağı (ANN) ve wavelet yapay sinir ağı (WANN) modelleri kullanılmıştır. Çalışmada kuraklık tahmininin iki farklı zaman ölçeğinde (SPI-6 ve SPI-12) gerçekleştirilmiştir. Model performanslarının değerlendirilmesi için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi, Kendall sıralama korelasyonu ve korelasyon katsayıları (R<sup>2</sup>) ölçütleri kullanılmıştır. Çalışma sonucuna göre, her iki zaman ölçeğinde (SPI-6 ve SPI-12) kuraklığı tahmin etmek için WANN modelinin en iyi model olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Caloiero (2018), Yeni Zelanda'nın SPI indeksine dayalı kuraklık eğilimlerini belirlemek için Mann-Kendall testini kullanmış ve farklı bölgelerde artan ve azalan eğilimler tespit etmiştir. Benzer bir şekilde, Jin ve ekibi (2019) Çin'deki Zoige sulak arazisinin SPEI indeksine göre kuraklık eğilimini belirlemek için Mann-Kendall testini uygulamış ve çalışma alanının büyük bir kısmında kuraklık eğiliminin arttığını belirlemişlerdir.

Kumar ve Singh (2019) bu çalışmalarında, Hindistan'da SPEI hesaplamalarında kullanılan olasılık dağılımlarının uygunluğunu değerlendirmişlerdir. Araştırma, SPEI'nin, yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) farkı için uygun bir parametrik olasılık dağılımının belirlenmesini gerektirdiğini ve yanlış bir dağılım seçiminin kuraklık şiddetinin yanlış değerlendirilmesine yol açabileceğini vurgulamaktadır. Çalışma, Hindistan koşullarında SPEI hesaplamaları için en uygun olasılık dağılımının belirlenmesine katkı sağlamıştır.

Bacanlı ve Kargı (2019) tarafından yapılan çalışmada, Bursa, İznik, Keleş, Mustafa Kemalpaşa ve Uludağ istasyonlarından 1969-2015 yılları arasındaki uzun süreli yağış verileri incelenmiştir. Yağış verilerinde standartlaştırılmış ve lineer regresyon analizi kullanılmıştır. Daha sonra, Türkiye ve tüm dünyada yaygın olan Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) yöntemi kullanılarak kuraklık analizi gerçekleştirilmiştir. İznik, Keleş ve Uludağ istasyonlarında Aralık ayında ve Bursa istasyonunda Ekim ayında azalma eğilimi görülmüş, ancak yıllık ve aylık yağış verilerinde önemli bir eğilim görülmemiştir. SPI analizi sonuçları, istasyonlarda kuru, normal ve yağışlı dönem oranlarının eşit olduğunu göstermediği ifade edilmiştir. Bununla birlikte, kısa vadeli dönemlerde hafif veya normal kuraklık daha sık görülürken, uzun vadeli dönemlerde ciddi ve aşırı kuraklık yaşanmıştır. Çalışmanın genel olarak amacı, Bursa bölgesindeki kuraklık koşullarını SPI yöntemiyle incelemektir. Bu amaçla veriler, çalışma analizi ve lineer regresyon analizi kullanılarak incelenmiştir. Sonuç olarak SPI yöntemi çeşitli zaman periyotları için kullanılmıştır ve uzun vadeli dönemlerde ciddi ve şiddetli kuraklıklar görülmüştür.

Hao ve ark. (2019) tarafından yayımlanan çalışmada SPEI'nin kuraklık ve aşırı yağış gibi hidro-klimatik olayların karakterizasyonunda kullanılabilirliğini değerlendirir. Araştırmacılar, SPEI'nin bu olayları tanımlama ve izleme yeteneğini analiz etmek için geniş bir veri seti kullanmışlardır. Sonuçlar, SPEI'nin hidro-klimatik aşırılıkları tanımlamak ve karakterize etmek için etkili bir araç olduğunu öne sürmektedir. Bu çalışma, SPEI'nin ABD'deki su kaynakları yönetimi ve kuraklık izleme sistemlerindeki rolünü anlamak için önemli bir katkı sağlamaktadır.

Arslan (2020) bu çalışmasında, 1975-2014 yılları arasında Ege Bölgesi için SPEI kullanarak kuraklık analizleri gerçekleştirmiştir. Araştırma, kuraklığın mekânsal ve zamansal dağılımını değerlendirmiştir. SPEI'nin özellikle kısa dönemli kuraklıkların analizinde etkili bir araç olduğu belirtilmiştir. Sonuçlar, sıcaklık artışlarının evapotranspirasyonu artırarak kuraklık eğilimlerini yoğunlaştırdığını göstermektedir. Çalışma, bölgedeki iklim değişikliği etkilerinin kuraklık şiddeti üzerindeki rolünü incelemiştir.

Öney (2020) çalışmasında, Gediz havzasında bulunan Akhisar, Demirci, Gediz, Manisa ve Salihli meteoroloji istasyonlarından alınan aylık sıcaklık ve yağmur verileri kullanılarak Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ve L moment teknikleri ile bölgesel

kuraklık analizi yapılmıştır. Thornthwaite yöntemi ile elde edilen potansiyel evapotranspirasyon (PET) miktarları ve yağmur verileri 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemlerde incelenmiştir. Su dengesi serileri, 9 ve 12 aylık dönemlerde su eksiği, 3 aylık dönemde ise su fazlası olduğunu göstermektedir. Elde edilen SPEI değerlerine göre, istasyonlarda genellikle normale yakın koşullar hakim olmuş, orta ve şiddetli kuraklık ve nemli koşullar zaman zaman, aşırı nemli ve kurak koşullar ise nadiren gözlenmiştir. Bölgesel analizde, 5 istasyonun kabul edilebilir düzeyde homojen olduğu belirlenmiş ve farklı dönemler için uygun dağılımlar tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, belirli periyotlarda çeşitli kuraklık ve nemlilik koşullarının meydana geleceği öngörülmektedir.

Öney ve Anlı (2020) tarafından Gediz Havzası'ndaki kuraklık analizi için su dengesi serilerinin farklı referans dönemlerindeki dağılımlar belirlenmiştir. Buna göre, 1 ve 3 aylık dönemler için Genelleştirilmiş Ekstrem Değerler (GEV) dağılımı en iyi uyumu göstermiştir. 6 aylık dönemlerde Genelleştirilmiş Normal (GNO) dağılımı tercih edilirken, 9 aylık dönemlerde Genelleştirilmiş Lojistik (GLOG) dağılımı en uygun dağılım olarak belirlenmiştir. Daha uzun süreli analizlerde, özellikle 12 aylık dönem için Pearson Tip 3 (PE3) dağılımı en iyi sonuçları vermiştir. Bu dağılımlar, farklı zaman ölçeklerinde kuraklık koşullarını doğru bir şekilde analiz edebilmek için optimize edilmiştir ve SPEI analizinde kullanılan su dengesi serilerinin istatistiksel yapısına uygunluk sağlamıştır.

Vishwakarma ve ark. (2020) Hindistan'ın Bundelkhand bölgesinde, kuraklıkların mahsul üretimi üzerindeki etkilerini incelemek için 82 yağmur ölçer istasyonu verilerine dayanarak üç kuraklık indeksi (SPI, SPEI ve SSI) değerlendirmişlerdir. Mann-Kendall testi ve Sen'in eğim tahmincisi kullanılarak aylık, mevsimsel ve yıllık eğilimler analiz edilmiştir. Analiz sonuçları, özellikle Bundelkhand'ın kuzeyinde ve muson mevsiminde (özellikle Ağustos-Eylül aylarında) SPI'nın negatif eğilim gösterdiğini, bu aylarda yağış miktarının da azaldığını ortaya koymuştur. Minimum sıcaklık yılda 0.03 ila 0.07°C artarken, maksimum sıcaklıkta önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. SPEI hesaplamaları için PET, Penman-Monteith yöntemiyle değerlendirilmiştir ve elde edilen veriler ArcGIS kullanılarak ters mesafe ağırlıklandırma (IDW) yöntemiyle haritalandırılmıştır. Bera ve ark. (2021), yaptığı bu araştırma da, son 25 yılda Hindistan'ın Chhota Nagpur Platosu'nun genişletilmiş kısmında SPI ve SPEI indekslerini kullanarak kuraklık şiddetini, eğilimini ve sonuçlarını incelemeyi amaçlanmıştır. Çalışma, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerini dikkate alarak

gerçekleştirilmiştir.Yapılan çalışmada Mann-Kendall testini kullanmışlardır. Sonuçlar, meteorolojik ve yer altı suyu kuraklığının sıklığının ve eğiliminin arttığını göstermektedir. 1999, 2003, 2010, 2015 ve 2016 yılları aşırı kuraklık yılları olarak kaydedilmiştir. Araştırma, kuraklığın başlıca nedenlerinin yağıştaki hafif değişiklikler, bilimsel olmayan yer altı suyu çekimi, ekim desenlerinin değiştirilmesi ve ciddi arazi kullanım değişiklikleri olduğunu ortaya koymuştur. Gelecek tahmin sonuçları, SPI indeksine göre yaklaşık %60 hafif ve %6 şiddetli kuraklık, SPEI indeksine göre ise yaklaşık %64 hafif ve %5 şiddetli kuraklık yaşanacağını göstermektedir.

Qaisrani ve ark. (2021), yapmış olduğu Pakistan'ın Belucistan eyaletindeki kurak bölgeyi inceleyen bu çalışma, 38 yıl boyunca 10 hava istasyonundan alınan aylık yağış ve sıcaklık verilerini kullanarak Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış-Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ile kuraklık dönemlerini araştırmıştır. SPI ve SPEI, farklı zaman ölçeklerinde kuraklık değişimlerini başarılı bir şekilde tespit etmiş, ancak SPEI daha yüksek zaman ölçeklerinde daha şiddetli kuraklık olaylarını daha iyi belirlemiştir. Çalışma, sıcaklığın kuraklık karakterizasyonunda önemli bir parametre olduğunu ve SPI'nın sadece sıcaklık verileri eksik olduğunda kullanılmasını önermektedir.

Kaya (2022) bu çalışmasında, Türkiye'de SPEI ile yapılan kuraklık analizlerini ele almıştır. Araştırma, SPEI'nin genellikle Genelleştirilmiş Log-logistik dağılım ile hesaplandığını, ancak alternatif dağılımların da kullanılabileceğini belirtmiştir. Özellikle Pearson III ve Genelleştirilmiş Ekstrem Değer (GEV) dağılımları gibi modellerin, SPEI hesaplamalarında daha uygun sonuçlar verebileceği tartışılmıştır. Çalışma, uygun teorik dağılım seçiminin kuraklık analizlerinin doğruluğu üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir.

Öztürk (2023) bu çalışmasında, Türkiye genelinde 1951-2022 yılları arasındaki SPEI verilerini incelemiştir. Araştırma, SPEI'nin 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde kullanılarak kuraklık dönemlerini belirlemeyi hedeflemiştir. Analiz sonuçları, 1990'ların sonlarından itibaren daha uzun süreli ve şiddetli kuraklıkların ortaya çıktığını göstermektedir. Özellikle Güneydoğu Anadolu ve İç Anadolu bölgelerinde, kuraklık frekansında artış gözlemlenmiştir. Çalışma, SPEI'nin zamanla değişen kuraklık eğilimlerini incelemede güçlü bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.



Lee ve ark. (2024) bu çalışmasında, Oklahoma eyaletinde Standartlaştırılmış Yağış-Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) için uygun PET yöntemini belirlemeyi amaçlamaktadır. Üç PET yöntemi (Thornthwaite, Hargreaves ve Penman-Monteith) karşılaştırılmış ve üç zaman ölçeği (uzun vadeli, olay bazlı ve aylık) dikkate alınmıştır. SPEI'nin normalliğini test etmek için log-logistik ve genelleştirilmiş aşırı değer dağılımları kullanılmıştır. Sonuçlar, log-logistik dağılımın SPEI için uygun olduğunu ve SPEI-HG'nin SPEI-PM ile daha iyi uyum gösterdiğini ortaya koymuştur. Ancak, bir yıldan uzun süreli birikimlerde, TW ve HG denklemleri SPEI-PM ile önemli bir fark göstermemiştir.



### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Bu bölümde Fırat-Dicle Havzası'nın analizinde kullanılan materyal ve uygulanan yöntemler verilmiştir.

#### **3.1. Materyal**

##### **3.1.1. Çalışma alanı**

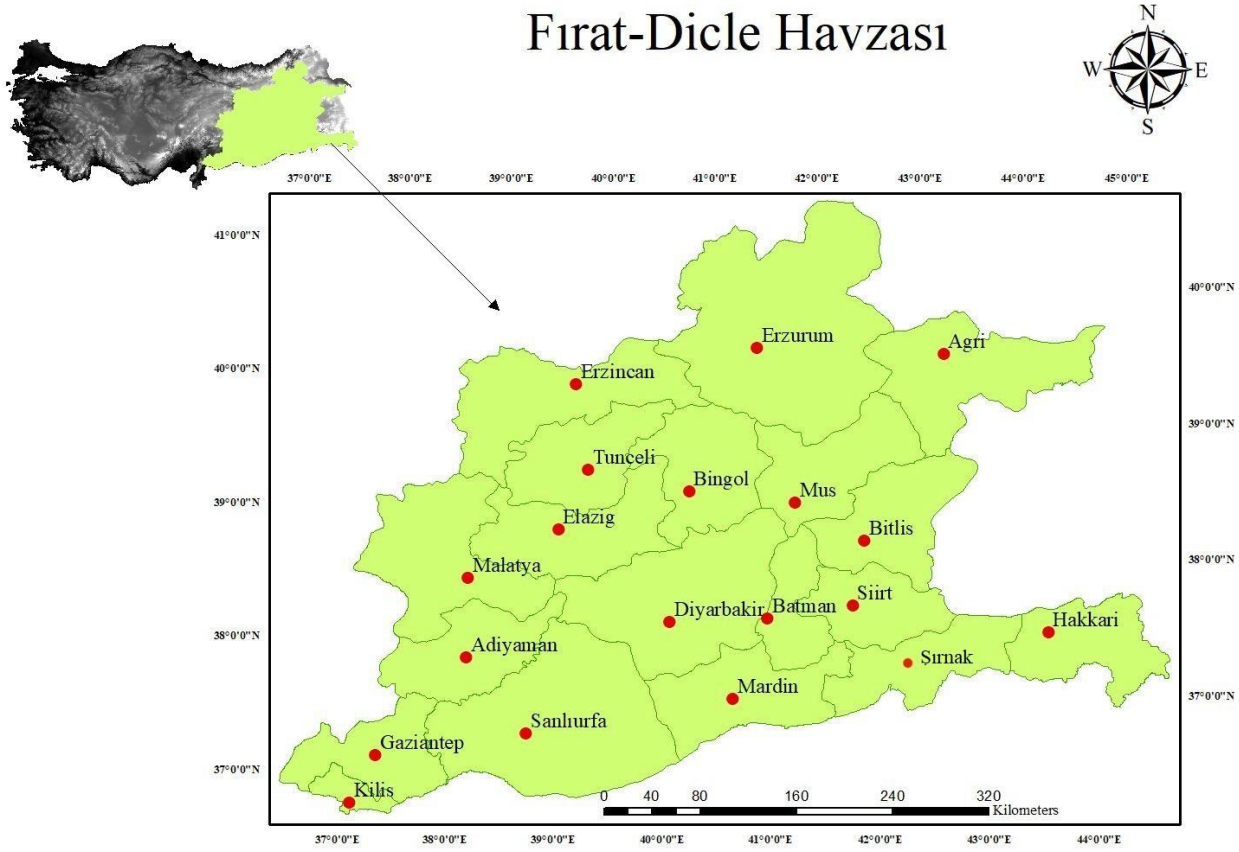
Fırat-Dicle Havzası, Türkiye'nin en önemli akarsu havzalarından biridir ve bölgesel su kaynakları açısından stratejik bir öneme sahiptir. Bu havza, Fırat ve Dicle nehirlerini içermekte olup, Türkiye, Suriye ve Irak gibi ülkelerin su kaynaklarını beslemektedir. Havza, yüzey suyu ve yeraltı suyu potansiyeli açısından zengin olmakla birlikte, hidrolojik döngüsü büyük ölçüde iklim koşullarına, topografik yapıya ve su yönetimi politikalarına bağlıdır (Demir ve ark. 2020). Havzada yıllık ortalama yağış miktarı 400 ile 1200 mm arasında değişiklik göstermektedir. Bu miktar, özellikle batıda daha yüksekken doğuya doğru azalma eğilimi göstermektedir. Yağış rejimi genellikle kış ve ilkbahar aylarında yoğunlaşmaktadır; yaz aylarında ise yağış oldukça sınırlıdır. Bölge, yarı kurak bir iklime sahip olup, yağış rejimi tarımsal üretim ve su kaynaklarının planlanması üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır (Şen ve Yıldırım, 2019). Hidrolojik açıdan, Fırat-Dicle Havzası'nda akış rejimi de mevsimsel değişkenlik göstermektedir. Fırat Nehri yıllık ortalama 30 milyar metreküp su taşıma kapasitesine sahipken, Dicle Nehri'nin yıllık ortalama debisi 16 milyar metreküp civarındadır. Bu su kaynakları, Türkiye'nin hidroelektrik enerji üretiminde ve tarımsal sulamada büyük bir öneme sahiptir. Ancak, iklim değişikliği ve artan su talebi, havzadaki su kaynakları üzerinde ciddi bir baskı oluşturmaktadır. Özellikle, buharlaşma oranlarının yüksekliği ve yağış miktarındaki azalmalar, bölgesel su kaynaklarının sürdürülebilirliği için tehdit oluşturmaktadır (Kadioğlu ve ark. 2018). Havzadaki mevcut durum, etkin bir su yönetimi stratejisi geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bölgesel hidrolojik modeller, havzada kuraklık riskinin arttığını ve su kaynaklarının uzun vadede daha etkin bir şekilde korunması gerektiğini ortaya koymaktadır (Akçay ve Demir, 2021). Fırat-Dicle Havzası, bölgesel ve uluslararası düzeyde hidrolojik kaynak paylaşımı ve yönetimi açısından da önemli bir iş birliği potansiyeli taşımaktadır.

Çalışmada materyal olarak bu havza da yer alan ve Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilen Adıyaman, Ağrı, Batman, Bingöl, Bitlis, Diyarbakır, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Gaziantep, Hakkari, Kilis, Malatya, Mardin, Muş, Siirt, Şanlıurfa, Tunceli Şırnak olmak üzere 19 istasyona ait veriler kullanılmıştır. 18 istasyon için 1975-2022 yılları arası veriler kullanılırken Şırnak istasyonunda eksik veri olduğu için 1980-2022 yılları arasındaki veriler

kullanılmıştır. Meteorolojik veriler aylık olmak üzere toplam yağış miktarı(mm), ortalama rüzgar hızı( $m.s^{-1}$ ), maksimum ve minimum hava sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ), güneşlenme süresi(saat), güneşlenme şiddeti ( $MJ.m^{-2}.gün^{-1}$ ), maksimum ve minimum nispi nemi (%) kapsamaktadır. İstasyonların havza üzerindeki konumları Şekil 3.1’de, meteoroloji istasyonlarına ait bazı özellikler de Tablo 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Meteoroloji istasyonlarının koordinatları

| İstasyon         | Gözlem Süresi<br>(yıl) | Enlem  | Boylam | Yükseklik<br>(m) |
|------------------|------------------------|--------|--------|------------------|
| 17265 Adıyaman   | 47                     | 37.745 | 38.229 | 711              |
| 17099 Ağrı       | 47                     | 39.721 | 43.066 | 1672             |
| 17282 Batman     | 47                     | 37.937 | 41.254 | 650              |
| 17203 Bingöl     | 47                     | 38.892 | 40.504 | 1183             |
| 17207 Bitlis     | 47                     | 38.413 | 42.116 | 1545             |
| 17280 Diyarbakır | 47                     | 37.922 | 40.219 | 773              |
| 17201 Elazığ     | 47                     | 38.682 | 39.243 | 1027             |
| 17094 Erzincan   | 47                     | 39.749 | 39.454 | 1238             |
| 17096 Erzurum    | 47                     | 39.542 | 41.151 | 1915             |
| 17261 Gaziantep  | 47                     | 37.035 | 37.222 | 886              |
| 17285 Hakkari    | 47                     | 37.577 | 43.78  | 1758             |
| 17262 Kilis      | 47                     | 36.715 | 37.116 | 681              |
| 17199 Malatya    | 47                     | 38.355 | 38.312 | 985              |
| 17275 Mardin     | 47                     | 37.324 | 40.706 | 1064             |
| 17204 Muş        | 47                     | 38.734 | 41.492 | 1287             |
| 17210 Siirt      | 47                     | 37.926 | 41.933 | 916              |
| 17270 Şanlıurfa  | 47                     | 37.177 | 38.763 | 680              |
| 17165 Tunceli    | 47                     | 39.107 | 39.544 | 1019             |
| 17287 Şırnak     | 42                     | 37.522 | 42.460 | 1350             |



Şekil 3.1. İstasyonların Fırat-Dicle Havzası üzerindeki konumları (Erdoğan, 2020)

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Hidrolojik verilerin homojenlik analizi

Hidrolojik verilerin homojenliği, bir gözlem istasyonunun yerinin değiştirilmesi, istasyonun yakınına yeni tesislerin inşa edilmesi veya bölgedeki arazi kullanımındaki değişiklikler, ağaçlanma veya yaygın doğal afetler, beşeri mevcut etkiler, gözlem yöntemlerindeki değişiklikler gibi birçok faktör tarafından bozulabilir. Bu nedenle hidrolojik kayıtların herhangi bir işleme tabi tutulmasından önce verinin homojenliğinin test edilmesi gerekir . Mevcut verinin istenilen homojenlik uzunluğunu sağlayıp sağlamadığını belirlemek için hem parametrik hem de parametrik olmayan teknikler kullanılır. Parametrik yaklaşımlarda mevcut verinin belli bir dağılıma uyma koşulunun aranmasından dolayı bu çalışmada verilerin homojenlik koşulunun araştırılmasında yaygın olarak tercih edilen parametrik olmayan Mann-Whitney U (MWU) testi kullanılmıştır (Erdoğan, 2020). Wilcoxon sıralar toplamı testi olarak da bilinen MWU testi, belirli bir dağılımı

olmayan tek bir sıralı değişken üzerindeki iki grup arasındaki farkları test etmektedir (Mann ve Whitney, 1947; Wilcoxon, 1945). Bu test, iki veri setinin medyanları arasındaki farklılıkları analiz eder. Nachar'a (2008) göre, aşağıdaki denklemlerde bu testin ilişkisi gösterilmiştir.

$$U_x = n_x n_y + \left( \frac{n_x(n_x + 1)}{2} \right) - R_x \quad (3.1)$$

$$U_y = n_x n_y + \left( \frac{n_y(n_y + 1)}{2} \right) - R_y \quad (3.2)$$

$n_x$  ve  $n_y$ , iki gruba ayrılan verinin her bir gruptaki gözlem sayısını,  $R_x$  ve  $R_y$  her gruptaki rankların toplamını ifade etmektedir. Eşitlik 3.1. ve 3.2.' de verilen U değerlerinin yaklaşık normal dağıldığı kabul edilmektedir. Mann-Whitney istatistiği olarak belirtilen ( $Z_U$ ) değeri aşağıda verilen Eşitlik 3.3. ile elde edilmektedir.

$$Z_U = \frac{U - \mu_U}{\sigma_U} \quad (3.3)$$

Verilen eşitlikteki  $\mu_U$  ve  $\sigma_U$ , U değerinin ortalama ve standart sapmasıdır. Bu parametreler Eşitlik 3.4. ve 3.5.'dan elde edilmektedir.

$$\mu_U = \frac{n_x n_y}{2} \quad (3.4)$$

$$\sigma_U = \left[ \frac{(n_x n_y)(N + 1)}{12} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.5)$$

### 3.2.2. Kuraklık analizi

#### Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi (SPEI)

Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI), Vicente Serrano ve ark. (2010) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem, kuraklık analizlerinde yalnızca yağışın değil, aynı zamanda sıcaklık veya  $ET_0$  gibi diğer parametrelerin de dikkate alınması gerektiğini savunmaktadır. Yağış verilerine dayalı basit bir hesaplama yöntemine sahip olması nedeniyle, SPI (Standardize Yağış İndeksi), kuraklık analizlerinde en sık kullanılan göstergelerden biridir. Ancak SPI, yalnızca yağış temel alması sebebiyle kuraklığı etkileyen diğer önemli faktörleri göz ardı eder (Serrano ve ark., 2012). Bu durum, SPI yönteminin temel bir eksikliği olarak kabul edilmektedir.

SPEI endeksi, SPI yöntemindeki yetersizlikleri gidermek için geliştirilmiştir. Bu indeks, PDSI yönteminin sıcaklık ve buharlaşma hassasiyetini, aynı zamanda SPI yönteminin farklı zaman aralıklarında kullanılabilme özelliğini birleştiren bir yaklaşım sunar (Serrano ve ark., 2012). SPEI, hesaplama yöntemini SPI'ye dayanmaktaysa da, yalnızca yağış parametresine değil, potansiyel buharlaşma-terleme ( $ET_0$ ) verilerini de içermesiyle SPI'den ayrılmaktadır (Anonim, 2015).

Vicente-Serrano ve ark. (2010) tarafından geliştirilen bu kuraklık analiz yaklaşımı, aylık iklimsel su dengesinin ( $D_i$ ) farklı zaman ölçeklerinde (3, 6, 9, 12, 24 ve 48 ay gibi) değişimini esas alır. Bu amaç için aylık toplam yağış miktarı ( $P$ ) ve aylık toplam evapotranspirasyon değerine ihtiyaç vardır. Ancak çalışmada potansiyel evapotranspirasyon (PET) ve referans evapotranspirasyon ( $ET_0$ ) dikkate alınmıştır.

Serrano ve arkadaşları (2010), SPEI'nin hesaplama yöntemini şu şekilde tanımlamışlardır:  $D_i$ , yağış miktarı ile potansiyel buharlaşma-terleme arasındaki farkı temsil etmektedir.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (3.6)$$

$D_i$  iklimsel su dengesini,  $P_i$  aylık toplam yağmur miktarı,  $PET_i$  potansiyel evapotranspirasyon ifade etmektedir.

Bu çalışmada, PET hesaplaması Thornthwaite ve Penman-Monteith yöntemi temel alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

Thornthwait'e göre ;

$$PET_i = 16. \left( \frac{10 \cdot t}{I} \right)^a \cdot G \quad (3.7)$$

$$a = 6,7510 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,7110 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,791210 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0.492339 \quad (3.8)$$

$$I = \sum_1^{12} \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514} \quad (3.9)$$

t; Aylık ortalama sıcaklık (°C), I; Yıllık sıcaklık indeksi, G; Enlem düzeltme katsayısı, a; deneysel katsayıyı ifade etmektedir.

FAO Penman-Monteith'e göre (FAO-56);

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (3.10)$$

Eşitlikte,  $ET_0$ ; Referans evapotranspirasyon (mm.gün<sup>-1</sup>),  $R_n$ ; Bitki yüzeyindeki net radyasyon (MJ.m<sup>-2</sup>.gün<sup>-1</sup>),  $G$ ; Toprak ısı akış yoğunluğu (MJ.m<sup>-2</sup>.gün<sup>-1</sup>),  $T$ ; 2 m yükseklikte ortalama günlük hava sıcaklığı (°C),  $u_2$ ; 2 metre yükseklikte rüzgar hızı (m.s<sup>-1</sup>),  $e_s$ ; Doygun buhar basıncı (kPa),  $e_a$ ; Gerçek buhar basıncı (kPa),  $\Delta$ ; Buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa.°C<sup>-1</sup>),  $\gamma$ ; Psikrometrik sabit (kPa.°C<sup>-1</sup>).

Standardize edilmiş D serisi kullanılarak SPEI endeksi hesaplanırken, Log-Logistic dağılımının tercih edilmesi önerilmektedir. Denklem 3.11 ise üç parametrelili log-logistic olasılık yoğunluk fonksiyonunu (PDF) ifade etmektedir.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x-y}{\alpha} \right)^{\beta-1} \cdot \left( 1 + \left( \frac{x-y}{\alpha} \right)^{\beta} \right)^{-2} \quad (3.11)$$

Bu ifadede,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , sırasıyla ölçek, şekil ve orijin parametreleridir. Bu ifade de  $\gamma > D < \infty$  aralığında yer alır.

SPEI sınıflandırılması Çizelge 3.2'e göre kategorize edilir (Arslan, 2020).

Çizelge 3.2. SPEI indisi kuraklık şiddeti sınıflandırması (McKee ve ark. 1993)

| SPEI                   | Sınıflandırma       |
|------------------------|---------------------|
| $\geq +2$              | Çok Şiddetli Nemli  |
| $\geq +1.5$ ile $< +2$ | Şiddetli Nemli      |
| $\geq +1$ ile $< +1.5$ | Orta Derecede Nemli |
| $> -1$ ile $< +1$      | Normal              |
| $> -1.5$ ile $\leq -1$ | Orta Derecede Kurak |
| $> -2$ ile $\leq -1.5$ | Şiddetli Kurak      |
| $\leq -2$              | Çok Şiddetli Kurak  |

### 3.2.3. Frekans analizi

Teorik olasılık dağılımlarının parametrelerinin tahmini, üç farklı yöntem kullanılarak yapılmıştır: Momentler Yöntemi, L-Momentler Yöntemi ve Maksimum Olabilirlik Yöntemi. Bu yöntemlerin her biri, aşağıdaki bölümde özetlenmiştir.

#### Maksimum olabilirlik (ML) metodu

Maksimum Olabilirlik (ML) tahmin yöntemi, gözlemlenen verilerin en yüksek olasılıkla gerçekleşmesini sağlayacak parametre değerlerini belirlemeyi amaçlar. Bu yaklaşımda, belirli parametre değerlerine bağlı olarak gözlemler arasında gerçekleşen olayların olasılık yoğunluğu hesaplanır ve bu fonksiyon, "olabilirlik fonksiyonu" olarak adlandırılır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu, bir dağılım için  $f(x)$  olarak tanımlanır ve bu fonksiyonun parametreleri  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$  ile ifade edilir ve aşağıdaki şekilde gösterilir. Bu yöntem, gözlemler için parametrelerin en uygun değerlerini seçmek için kullanılır.

$$L(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k) \quad (3.12)$$



$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$  parametreleri için kısmi türevler alındıktan sonra, bu türevler sıfıra eşitlenerek (Denklem 3.12'de gösterildiği gibi) olasılık fonksiyonunu maksimize eden parametre değerleri bulunur. Daha sonra Denklem. 3.13'te belirtilen denklem seti çözülerek  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$  parametrelerinin değerleri belirlenir.

$$\frac{\partial L(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k)}{\partial \alpha_i} = 0; i = 1, 2, \dots, k \quad (3.13)$$

Olasılık fonksiyonunun doğal logaritması, çoğu zaman maksimum değeri bulmak için daha pratik bir yol sağlar (Rao & Hamed, 2000).

$$\frac{\partial \ln L(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k)}{\partial \alpha_i} = 0; i = 1, 2, \dots, k \quad (3.14)$$

### **Momentler metodu (MOM)**

MOM, örnek momentlerinin teorik dağılımların momentleriyle eşitlenmesi ilkesine dayanır ve genellikle bir dağılımın parametrelerinin tahmin edilmesi için kullanılır. Bu yöntem, parametre kestirimi sağlamak için etkili bir yaklaşımdır.

Kotz ve Nadarajah (2004), k parametrelili bir dağılım için, örnek momentlerinin teorik momentlerle eşitlenmesi gerektiğini ve bu denklemler aracılığıyla parametrelerin nasıl çözüleceğini açıklamaktadır. Ayrıca, Moment Yöntemi'nin avantajları ve sınırlamaları ele alınmış, farklı olasılık dağılımları için pratik uygulama örnekleri verilmiştir. Bu yöntem, parametrik modellerin doğruluğunu belirlemede yaygın olarak kullanılmaktadır.

Moment Yöntemi (MOM), bir olasılık dağılım fonksiyonunun parametrelerini tahmin etmek için, örneklem momentlerinin teorik dağılım momentleriyle eşleştirilmesini kullanır. Bir dağılımın k parametresi için, tahmin edilmesi gereken k örnek momenti, bilinmeyen parametrelerle tanımlanan teorik momentlerle karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucu, bilinmeyen parametreler ( $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$ ) k denklemini çözerek belirlenir. Bu yöntem, olasılık dağılım parametrelerinin tahmini için yaygın olarak tercih edilen bir tekniktir (Rao ve Hamed 2020).

### L-Moments (LM) metodu

Moment Yöntemi (MOM) gibi, parametre tahminleri, örneklem momentleri ile dağılım momentlerinin eşleştirilmesiyle elde edilir. k parametre tahmin edilen bir dağılım için, k örneklem momenti,  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k$ , popülasyon momentlerine uyacak şekilde ayarlanır. Sonrasında, ortaya çıkan denklemler aynı anda çözülerek bilinmeyen parametreler  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k$  bulunur. Bu konuyla ilgili detaylar Rao ve Hamed (2000) tarafından sunulmaktadır.

### Frekans Dağılımları

Çalışmada kullanılan kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF) ilişkileri şu şekildedir:

#### Generalized Extreme Value (GEV)

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[ 1 - k \left( \frac{x-u}{\alpha} \right) \right]^{1/k} \right\} \quad (3.15)$$

#### Pearson Type 3 (P3)

$$F(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \int_y^x \left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right)} \cdot dx \quad (3.16)$$

#### Three Parameter Lognormal (LN3)

$$F(x) = \frac{1}{(x-a)\sigma_y \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left\{ - \frac{1}{2\sigma_y^2} [\log(x-a) - \mu_y]^2 \right\} \quad (3.17)$$

burada  $\mu_y$  ve  $\alpha$  konum ve ölçek parametreleridir, bunlar kaydırılmış değişkenin logaritmasının ortalamasına ve varyansına karşılık gelir.

### Generalized Logistic (GLOG)

$$F(x) = \left[ 1 + \left\{ 1 - k \left( \frac{x - \varepsilon}{\alpha} \right) \right\}^{1/k} \right]^{-1} \quad (3.18)$$

### Extreme Value Type 1 (EV1)

$$F(x) = \exp \left[ -e^{-\left( \frac{x - \beta}{\alpha} \right)} \right] \quad (3.19)$$

### Generalized Pareto (GPAR)

$$F(x) = 1 - \left[ 1 - \frac{k}{\alpha} (x - \varepsilon) \right]^{1/k} \quad (3.20)$$

### Weibull (W)

$$F(x) = 1 - e^{-\left( \frac{x - m}{\alpha} \right)^b} \quad (3.21)$$

### Normal (N)

$$F(u) = \int_{-\infty}^u \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-t^2/2} \cdot dt \quad (3.22)$$

### Logistic (LOG)

$$F(x) = \left[ 1 + e^{-\left( \frac{x - m}{\alpha} \right)} \right]^{-1} \quad (3.23)$$

### Two Parameter Lognormal (LN2)

$$F(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left\{\frac{[-\log x - \mu_y]^2}{2\sigma_y^2}\right\} \quad (3.24)$$

burada  $\mu_y$  ve  $\sigma_y$ , x'in doğal logaritmalarının ortalaması ve standart sapmasıdır.

### Gamma (GAM)

$$F(x) = \frac{(x - \beta)^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right)}{\beta \cdot \Gamma(\alpha)} \quad (3.25)$$

### Log Pearson Type 3 (LP3)

Pearson Tip III dağılımı ile aynı, ancak veriler logaritmik olarak dönüştürülmüştür.

$$x = \ln(y)$$

### 3.2.4. Uygunluk (Goodness-Of-Fit) Testleri

En uygun dağılımları belirlemek amacıyla kullanılan, istatistiksel analizlerin temel unsurlarından biri olan iki önemli test bulunmaktadır.

### Kolmogorov-Smirnov

$$D_N = \max|F_N(x) - F_0(x)| \quad (3.26)$$

Bu çalışmada  $F_N(x)$  teorik kümülatif olasılık fonksiyonlarını,  $F_0(x)$  ise önceki bölümde açıklanan Weibull formülü kullanılarak hesaplanan deneysel kümülatif dağılım fonksiyonlarını ifade etmektedir.

### Chi-Square

$$X^2 = \sum_{j=1}^{j=k} \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j} \quad (3.27)$$

$O_j$ ,  $j$  sınıf aralığında gözlemlenen olayların sayısını,  $E_j$  ise teorik dağılıma göre beklenen olay sayısını ifade etmektedir. Burada  $k$ , gözlemlenen verilerin bölündüğü sınıf sayısını belirtir. Test, %5 güven aralığında anlamlı kabul edilmektedir.



## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde Fırat-Dicle Havzasında bulunan 19 istasyona gözlenen aylık toplam yağmurların,  $ET_0$  ve PET değerlerinin normallik analizi ve homojenlik analizleri sonuçları , uygun dağılım sonuçları ve bu uygun dağılım seçildikten sonraki SPEI hesaplama sonuçları yer almaktadır.

### 4.1. Normallik Test Sonuçları

Normallik testi, bir veri setinin normal dağılıma uygunluğunu değerlendirmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir ve sonuçlar genellikle p-değerine dayanarak yorumlanır. Testin amacı, veri setinin normal dağılım varsayımını karşılayıp karşılamadığını belirlemektir. Bu doğrultuda, testin hipotezleri şunlardır: Sıfır (Null) hipotez ( $H_0$ ), veri setinin normal dağılıma uygun olduğunu ifade ederken; alternatif hipotez ( $H_a$ ), verinin normal dağılıma uygun olmadığını belirtir. Eğer  $p \leq 0.05$  ise null hipotez reddedilir ve veri normal dağılıma uygun değildir. Ancak  $p > 0.05$  durumunda null hipotez reddedilmez ve veri normal dağılıma uygun kabul edilir (Shapiro ve Wilk, 1965).

Bu çalışmada, tüm istasyonlar için aylık toplam yağmurların,  $ET_0$  ve PET değerlerinin Çizelge 4.1 Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te Kolmogorov-Smirnov normallik testi sonuçları incelenmiş ve p-değerlerinin 0.05'ten küçük olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç, tüm istasyonlarda null hipotezin reddedildiğini ve veri setlerinin normal dağılıma uygun olmadığını göstermektedir. Normal dağılıma uygun olmayan veriler genellikle asimetric bir yapıya sahip olabilir veya uç değerler içerebilir. Bu tür durumlarda parametrik testler yerine parametrik olmayan yöntemlerin tercih edilmesi önerilir (Razali ve Wah, 2011).

Çizelge 4.1. İstasyonlara ait aylık toplam yağmurların normallik testi sonuçları

| İstasyonlar              |                | Erzincan | Erzurum | Ağrı | Tunceli | Malatya | Elazığ | Bingöl | Muş  | Bitlis | Siirt | Gaziantep | Kilis | Adıyaman | Şanlıurfa | Mardin | Diyarbakır | Batman | Hakkari | Şırnak |
|--------------------------|----------------|----------|---------|------|---------|---------|--------|--------|------|--------|-------|-----------|-------|----------|-----------|--------|------------|--------|---------|--------|
| Aylık<br>Toplam<br>Yağış | Test<br>Değeri | 0.10     | 0.11    | 0.10 | 0.14    | 0.13    | 0.14   | 0.15   | 0.12 | 0.15   | 0.16  | 0.17      | 0.17  | 0.19     | 0.20      | 0.19   | 0.16       | 0.17   | 0.15    | 0.19   |
|                          | P(Olasılık)    | 0        | 0       | 0    | 0       | 0       | 0      | 0      | 0    | 0      | 0     | 0         | 0     | 0        | 0         | 0      | 0          | 0      | 0       | 0      |

Çizelge 4.2. İstasyonlara ait ET<sub>O</sub> değerlerinin normallik testi sonuçları

| İstasyonlar     |                | Erzincan | Erzurum | Ağrı | Tunceli | Malatya | Elazığ | Bingöl | Muş  | Bitlis | Siirt | Gaziantep | Kilis | Adıyaman | Şanlıurfa | Mardin | Diyarbakır | Batman | Hakkari | Şırnak |
|-----------------|----------------|----------|---------|------|---------|---------|--------|--------|------|--------|-------|-----------|-------|----------|-----------|--------|------------|--------|---------|--------|
| ET <sub>O</sub> | Test<br>Değeri | 0.13     | 0.14    | 0.14 | 0.13    | 0.12    | 0.12   | 0.13   | 0.15 | 0.14   | 0.12  | 0.12      | 0.11  | 0.11     | 0.11      | 0.12   | 0.12       | 0.12   | 0.13    | 0.12   |
|                 | P(Olasılık)    | 0        | 0       | 0    | 0       | 0       | 0      | 0      | 0    | 0      | 0     | 0         | 0     | 0        | 0         | 0      | 0          | 0      | 0       | 0      |

Çizelge 4.3. İstasyonlara ait PET değerlerinin normallik testi sonuçları

| İstasyonlar     |             | Erzincan | Erzurum | Ağrı | Tunceli | Malatya | Elazığ | Bingöl | Muş  | Bitlis | Siirt | Gaziantep | Kilis | Adıyaman | Şanlıurfa | Mardin | Diyarbakır | Batman | Hakkari | Şırnak |
|-----------------|-------------|----------|---------|------|---------|---------|--------|--------|------|--------|-------|-----------|-------|----------|-----------|--------|------------|--------|---------|--------|
| ET <sub>0</sub> | Test Değeri | 0.14     | 0.18    | 0.17 | 0.15    | 0.16    | 0.15   | 0.15   | 0.16 | 0.14   | 0.16  | 0.15      | 0.14  | 0.16     | 0.16      | 0.15   | 0.16       | 0.15   | 0.15    | 0.16   |
|                 | P(Olasılık) | 0        | 0       | 0    | 0       | 0       | 0      | 0      | 0    | 0      | 0     | 0         | 0     | 0        | 0         | 0      | 0          | 0      | 0       | 0      |



## 4.2 Homojenlik Test Sonuçları

Çalışmada kullanılan aylık toplam yağışların,  $ET_0$  ve PET değerlerinin homojenliği test edilmek için Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Bu testin sonuçları Çizelge 4.4 , Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da verilmiştir. Mann-Whitney U testi sonuçları yorumlanırken, hesaplanan Z değerleri standart normal dağılım ile karşılaştırılır. Bu değerlendirmede, Z değerleri standart normal dağılımın %5 anlamlılık düzeyindeki sınırları olan  $\pm 1.96$  ile kıyaslanır. Hesaplanan Z değerinin,  $\pm 1.96$  sınırını aşması veya olasılığının 0.05’ten küçük olması durumunda aylık toplam yağış ve  $ET_0$  değerlerimiz de homojenliğin bozulduğu kabul edilmektedir. Çizelge 4.5 , Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8 incelendiğinde Çizelge 4.4’te yer alan aylık toplam yağış verisinde 18 istasyonda sadece Ağrı istasyonunun homojenliğin bozulduğu görülmektedir. Çizelge 4.6’te  $ET_0$  verilerinde Malatya, Bingöl istasyonlarında homojenlik bozulmuştur. Çizelge 4.8’da ise PET verilerinde 18 ilinde homojenlik koşulu sağlandığı görülmektedir.

Çizelge 4.4. Aylık toplam yağışların Mann-Whitney U testi sonuçları

| İstasyonlar        |   | Erzincan | Erzurum | Ağrı  | Tunceli | Malatya | Elazığ | Bingöl | Muş   | Bitlis | Siirt | Gaziantep | Kilis | Adıyaman | Şanlıurfa | Mardin | Diyarbakır | Batman | Hakkari | Şırnak |
|--------------------|---|----------|---------|-------|---------|---------|--------|--------|-------|--------|-------|-----------|-------|----------|-----------|--------|------------|--------|---------|--------|
| Aylık toplam yağış | Z | -0.47    | -1.26   | -2.83 | -0.38   | -1.43   | -0.84  | -1.10  | -1.09 | -1.80  | -1.07 | -0.56     | -1.25 | -0.67    | -0.78     | -1.45  | -0.48      | -1.09  | -0.36   | -0.37  |
|                    | p | 0.63     | 0.2     | 0.005 | 0.69    | 0.15    | 0.39   | 0.27   | 0.27  | 0.07   | 0.28  | 0.57      | 0.20  | 0.49     | 0.43      | 0.14   | 0.62       | 0.27   | 0.71    | 0.70   |

Yukarıda Çizelge 4.4’de verilen homojenlik koşulunu sağlamayan Ağrı istasyonunun aylık toplam yağışları çift birikimli eğri yöntemi ile homojen hale dönüştürülmüştür. Çizelge 4.5’den de görüleceği üzere çift birikimli eğri yöntemi uygulandıktan sonra verilerin homojen hale geldiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.5. Çift birikimli eğri yöntemiyle elde edilen aylık toplam yağışların Mann-Whitney U testi sonuçları

| İstasyonlar        |   | Erzincan | Erzurum | Ağrı         | Tunceli | Malatya | Elazığ | Bingöl | Muş   | Bitlis | Siirt | Gaziantep | Kilis | Adıyaman | Şanlıurfa | Mardin | Diyarbakır | Batman | Hakkari | Şırnak |
|--------------------|---|----------|---------|--------------|---------|---------|--------|--------|-------|--------|-------|-----------|-------|----------|-----------|--------|------------|--------|---------|--------|
| Aylık toplam yağış | Z | -0.47    | -1.26   | <b>-1.18</b> | -0.38   | -1.43   | -0.84  | -1.10  | -1.09 | -1.80  | -1.07 | -0.56     | -1.25 | -0.67    | -0.78     | -1.45  | -0.48      | -1.09  | -0.36   | -0.37  |
|                    | p | 0.63     | 0.2     | <b>0.23</b>  | 0.69    | 0.15    | 0.39   | 0.27   | 0.27  | 0.07   | 0.28  | 0.57      | 0.20  | 0.49     | 0.43      | 0.14   | 0.62       | 0.27   | 0.71    | 0.70   |

Çizelge 4.6. İstasyonlara ait ET<sub>O</sub> verilerinin Mann-Whitney U testi sonuçları

| İstasyonlar     |   | Erzincan | Erzurum | Ağrı  | Tunceli | Malatya      | Elazığ | Bingöl       | Muş   | Bitlis | Siirt | Gaziantep | Kilis | Adıyaman | Şanlıurfa | Mardin | Diyarbakır | Batman | Hakkari | Şırnak |
|-----------------|---|----------|---------|-------|---------|--------------|--------|--------------|-------|--------|-------|-----------|-------|----------|-----------|--------|------------|--------|---------|--------|
| ET <sub>O</sub> | Z | -0.049   | -1.55   | -0.44 | -0.84   | <b>-2.16</b> | -1.84  | <b>-2.09</b> | -0.66 | -1.14  | -1.67 | -1.87     | -0.41 | -1.44    | -1.54     | -0.9   | -1.12      | -1.69  | -1.02   | -1.8   |
|                 | p | 0.96     | 0.11    | 0.65  | 0.39    | <b>0.03</b>  | 0.06   | <b>0.036</b> | 0.5   | 0.25   | 0.09  | 0.06      | 0.67  | 0.14     | 0.12      | 0.36   | 0.26       | 0.09   | 0.3     | 0.85   |

Yukarıda Çizelge 4.6’de verilen homojenlik koşulunu sağlamayan Malatya ve Bingöl istasyonunun ET<sub>O</sub> verileri çift birikimli eğri yöntemi ile homojen hale dönüştürülmüştür. Çizelge 4.7’den de görüleceği üzere çift birikimli eğri yöntemi uygulandıktan sonra verilerin homojen hale geldiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.7. Çift birikimli eğri yöntemiyle elde edilen ET<sub>0</sub> verilerinin Mann-Whitney U testi sonuçları

| İstasyonlar     |   | Erzincan | Erzurum | Ağrı  | Tunceli | Malatya      | Elazığ | Bingöl       | Muş   | Bitlis | Siirt | Gaziantep | Kilis | Adıyaman | Şanlıurfa | Mardin | Diyarbakır | Batman | Hakkari | Şırnak |
|-----------------|---|----------|---------|-------|---------|--------------|--------|--------------|-------|--------|-------|-----------|-------|----------|-----------|--------|------------|--------|---------|--------|
| ET <sub>0</sub> | Z | -0.04    | -1.55   | -0.44 | -0.84   | <b>-0.39</b> | -1.84  | <b>-0.80</b> | -0.66 | -1.14  | -1.67 | -1.87     | -0.41 | -1.44    | -1.54     | -0.90  | -1.12      | -1.69  | -1.02   | -1.8   |
|                 | p | 0.96     | 0.11    | 0.65  | 0.39    | <b>0.69</b>  | 0.06   | <b>0.42</b>  | 0.50  | 0.25   | 0.09  | 0.06      | 0.67  | 0.14     | 0.12      | 0.36   | 0.26       | 0.09   | 0.30    | 0.85   |

Çizelge 4.8. İstasyonlara ait PET verilerinin Mann-Whitney U testi sonuçları

| İstasyonlar |   | Erzincan | Erzurum | Ağrı  | Tunceli | Malatya | Elazığ | Bingöl | Muş   | Bitlis | Siirt | Gaziantep | Kilis | Adıyaman | Şanlıurfa | Mardin | Diyarbakır | Batman | Hakkari | Şırnak |
|-------------|---|----------|---------|-------|---------|---------|--------|--------|-------|--------|-------|-----------|-------|----------|-----------|--------|------------|--------|---------|--------|
| PET         | Z | -1.12    | -0.25   | -0.59 | -0.79   | -0.99   | -0.81  | -0.63  | -0.82 | -0.01  | -0.98 | -1.3      | -1.07 | -0.82    | -1.25     | -1.05  | -0.66      | -0.094 | -0.89   | -0.20  |
|             | p | 0.26     | 0.79    | 0.55  | 0.42    | 0.32    | 0.41   | 0.52   | 0.4   | 0.99   | 0.32  | 0.19      | 0.28  | 0.41     | 0.21      | 0.29   | 0.5        | 0.92   | 0.37    | 0.83   |

#### **4.3. En Uygun Dağılım Analizi, Penman-Monteith Yöntemine Göre Hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI)**

SPEI analizi yapılırken, istasyonların yağış ve  $ET_0$  değerleri kullanılmıştır. Şırnak ilinde  $ET_0$  hesaplamasında kullanılan birçok verinin eksikliği nedeni ile Şırnak ili 1980-2022 yılları arası diğer 18 istasyon 1975-2022 yılları arasına göre hesaplaması yapılmıştır. SPEI, yağış miktarından, Thornthwaite ve Penman-Monteith yöntemine göre hesaplanan potansiyel evapotranspirasyon (PET) ve referans evapotranspirasyon ( $ET_0$ ) değerlerinin çıkarılmasıyla elde edilen fark (D) verilerine dayalı bir analiz yöntemidir. Serrano ve arkadaşları (2010), SPEI hesaplamalarında D verilerinin Log-Lojistik dağılıma uygunluk gösterdiğini öne sürmüştür. Genelleştirilmiş Lojistik (GLOG) dağılımı, Log-Lojistik dağılımla aynı özelliklere sahip bir dağılım türüdür (Rao ve Hamed, 2000). Bu çalışmada en uygun dağılımı belirlemek için üç farklı yöntem olan Moment Yöntemi, L-Moment Yöntemi ve Maksimum Olabilirlik Yöntemi kullanılmıştır. Her yöntemde, en uygun teorik olasılık dağılım fonksiyonunu tespit etmek amacıyla Kolmogorov-Smirnov (K-S) ve Ki-Kare (Chi Square) testlerinden faydalanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ayrıca frekans grafikleri ile desteklenerek doğrulanmıştır. Bu analizlerde, A. Ramachandra RAO ve Khaled H. Haled'in geliştirdiği bir MATLAB programı kullanılmıştır (Rao ve Hamed, 2000).

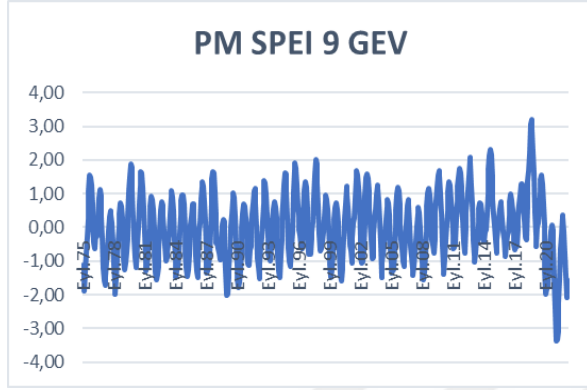
Seçilen istasyonlar için en uygun dağılıma dayalı olarak Penman-Monteith yöntemine göre hesaplanan SPEI kuraklık analizi sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Çıkan sonuçların hepsi Maksimum Olabilirlik Yöntemine uyum sağlamıştır.

Çizelge 4.9. Penman-Monteith yöntemine göre hesaplanan SPEI analizi için en uygun dağılımlar

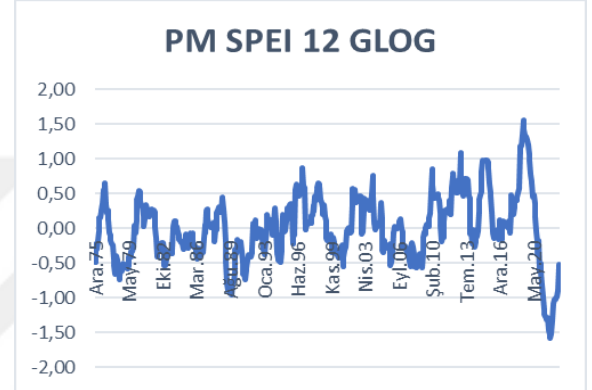
| İstasyon Numarası | İstasyon İsmi | 9 Aylık | 12 Aylık | 18 Aylık | 24 Aylık |
|-------------------|---------------|---------|----------|----------|----------|
| 17265             | Adıyaman      | GEV-ML  | W-ML     |          | GLOG-ML  |
| 17099             | Ağrı          | GLOG-ML | GLOG-ML  | GLOG-ML  | GLOG-ML  |
| 17282             | Batman        | GEV-ML  |          | GLOG-ML  |          |
| 17203             | Bingöl        | GEV-ML  | GLOG-ML  | GEV-ML   | GLOG-ML  |
| 17207             | Bitlis        | GEV-ML  | GLOG-ML  | W-ML     | GEV-ML   |
| 17280             | Diyarbakır    |         |          |          |          |
| 17201             | Elazığ        |         |          | GLOG-ML  |          |
| 17094             | Erzincan      |         |          |          |          |
| 17096             | Erzurum       | GEV-ML  |          |          |          |
| 17261             | Gaziantep     | GEV-ML  | GEV-ML   | GEV-ML   |          |
| 17285             | Hakkari       | W-ML    | GEV-ML   | GEV-ML   | GLOG-ML  |
| 17262             | Kilis         |         |          |          |          |
| 17199             | Malatya       |         |          |          |          |
| 17275             | Mardin        |         | GLOG-ML  | GEV-ML   |          |
| 17204             | Muş           | GEV-ML  | GLOG-ML  | GEV-ML   | GLOG-ML  |
| 17210             | Siirt         |         | GLOG-ML  | GEV-ML   | GLOG-ML  |
| 17270             | Şanlıurfa     | GEV-ML  | GLOG-ML  |          |          |
| 17165             | Tunceli       |         | GEV-ML   |          | GLOG-ML  |
| 17287             | Şırnak        | W-ML    | GEV-ML   | GEV-ML   | GLOG-ML  |

Uygun dağılımlara göre 19 istasyona ait grafikler aşağıdaki gibidir.

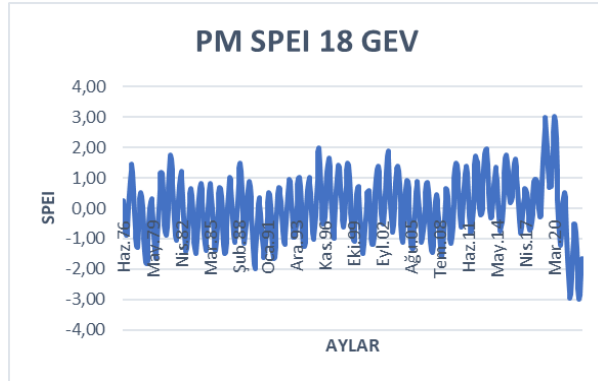
Diyarbakır, Erzincan, Kilis ve Malatya istasyonun da üç parametrelili uygun dağılım bulunamamıştır.



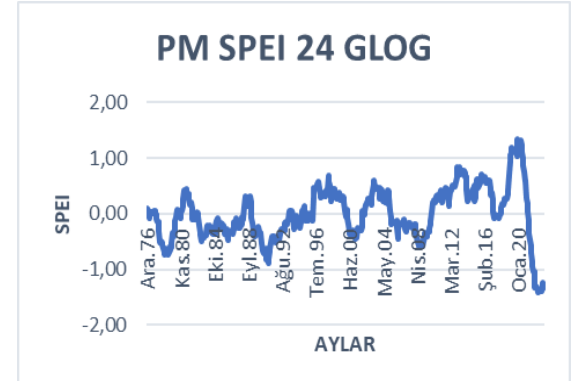
Şekil 4.1. Adıyaman istasyonu SPEI9 sonuç grafiği  
(GEV dağılımı)



Şekil 4.2. Adıyaman istasyonu SPEI12 sonuç grafiği  
(GEV dağılımı)



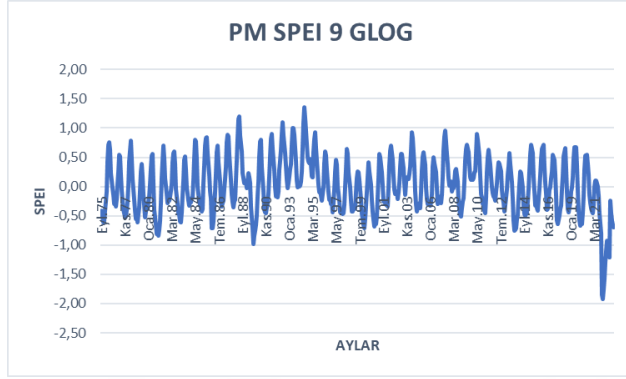
Şekil 4.4. Adıyaman istasyonu SPEI18 sonuç grafiği  
(GEV dağılımı)



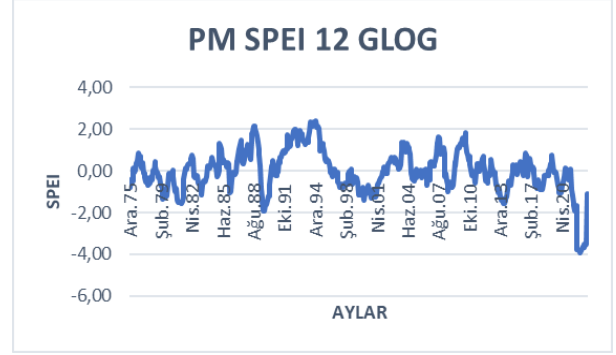
Şekil 4.3. Adıyaman istasyonu SPEI24 sonuç grafiği  
(GLOG dağılımı)

Adıyaman istasyonunda gerçekleştirilen SPEI analizlerinde, farklı zaman ölçekleri için elde edilen sonuçlar farklı dağılımlara uyum göstermektedir. SPEI9 analizinde GEV dağılımı, SPEI12 analizinde ise GLOG dağılımı kullanılmıştır. Benzer şekilde, SPEI18 için GEV dağılımı uyumlu bulunurken, SPEI24 analizinde GLOG dağılımı tercih edilmiştir. Bu sonuçlar, SPEI analizlerinde tek bir dağılım türüne bağlı kalmanın yeterli olmayabileceğini ve zaman ölçeğine bağlı olarak farklı dağılımların daha uyumlu sonuçlar verebileceğini göstermektedir. Özellikle Vincente-Serrano tarafından önerilen GLOG dağılımının yanı sıra, bazı durumlarda GEV gibi alternatif dağılımların da kullanılabileceği gözlemlenmiştir. Bu durum, her bir istasyon ve zaman ölçeği için en uygun dağılımın titizlikle belirlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

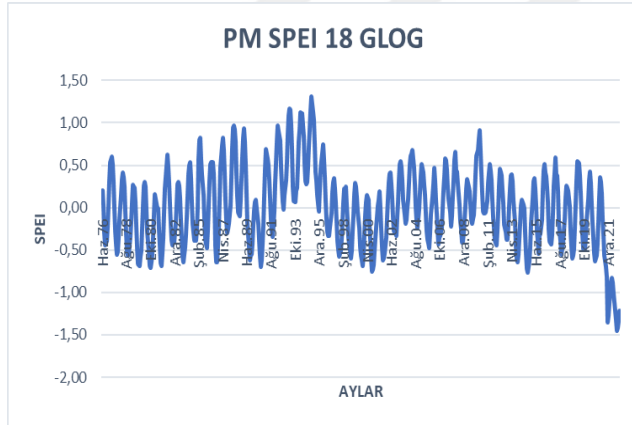
Adıyaman ili için yapılan SPEI analizlerinde farklı zaman ölçeklerinde kuraklık ve nemlilik eğilimleri dikkat çekmektedir. Şekil 4.1 SPEI9 (GEV dağılımı) grafiğinde SPEI değerlerinin genellikle -2 ile +2 arasında değiştiği, kısa vadeli kuraklıkların sıkça yaşandığı ancak aşırı kuraklık dönemlerinin nadir olduğu görülmektedir. Şekil 4.2 SPEI12 (GLOG dağılımı) grafiğinde ise SPEI değerleri daha dar bir aralıkta değişmekte olup, zaman zaman -1.5'in altına düşerek orta düzey kuraklık dönemlerini işaret etmektedir. Şekil 4.3 SPEI18 (GEV dağılımı) grafiği, uzun vadeli kuraklık eğilimlerini göstermektedir. SPEI değerleri bazı dönemlerde -2'nin altına düşerek şiddetli kuraklıkların yaşandığını göstermiştir. Şekil 4.4 SPEI24 (GLOG dağılımı) grafiği ise SPEI24 zaman serisi, uzun vadeli kuraklık ve nemlilik eğilimlerini ortaya koymaktadır. SPEI değerleri genellikle -1.5 ile +1.0 arasında değişmekte, hafif kuraklık (-1.0 ile -1.5) ve orta şiddetli kuraklık (-1.5 ve altı) dönemleri dikkat çekmektedir.



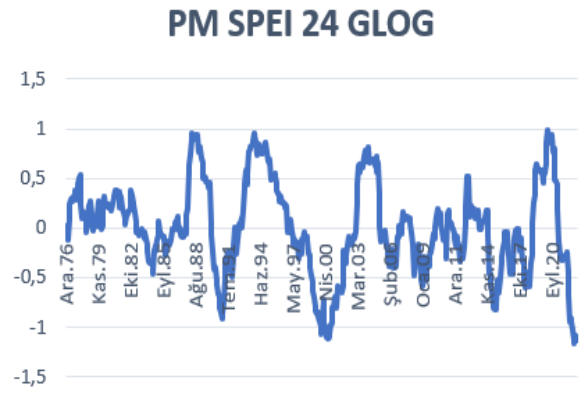
Şekil 4.5. Ağrı istasyonu SPEI9 sonuç grafiği  
(GLOG dağılımı)



Şekil 4.6. Ağrı istasyonu SPEI12 sonuç grafiği  
(GLOG dağılımı)



Şekil 4.7. Ağrı istasyonu SPEI18 sonuç grafiği  
(GLOG dağılımı)

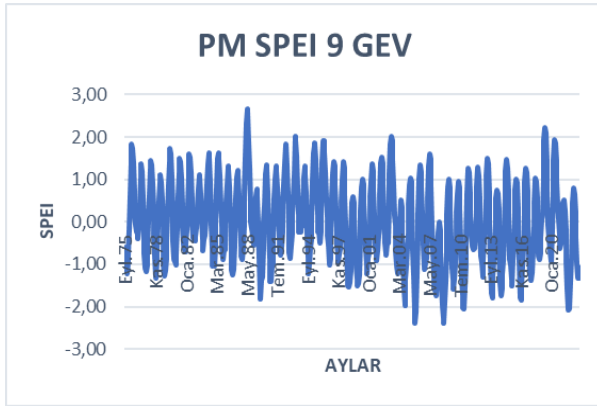


Şekil 4.8. Ağrı istasyonu SPEI24 sonuç grafiği  
(GLOG dağılımı)

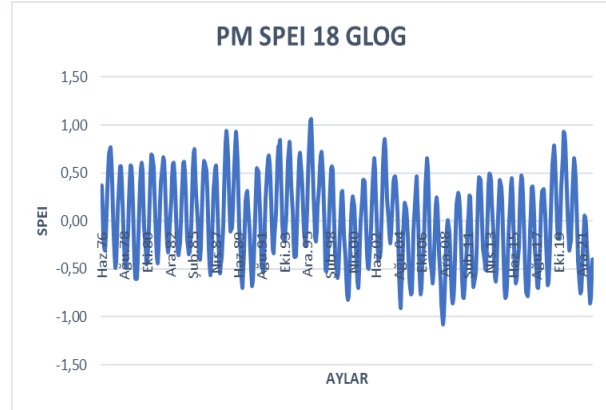


Ağrı istasyonunda gerçekleştirilen SPEI analizlerinde, tüm zaman ölçeklerinde GLOG dağılımının en uygun dağılım olarak belirlendiği görülmüştür. Bu sonuçlar, Vicente-Serrano ve arkadaşlarının SPEI analizleri için önerdiği GLOG dağılımının etkinliğini doğrular niteliktedir. SPEI9, SPEI12, SPEI18 ve SPEI24 zaman ölçeklerinde GLOG dağılımı, kuraklık şiddetini ve süresini değerlendirme açısından verilerle güçlü bir uyum göstermiştir.

Ağrı ili için yapılan SPEI kuraklık analizinde, Şekil 4.6. SPEI12 zaman serisi incelendiğinde değerlerin genel olarak -1 ile +1 arasında değiştiği ve orta düzeyde kuraklık ile nemlilik dönemlerinin görüldüğü belirlenmiştir. Şekil 4.5. SPEI9 zaman serisi, daha kısa vadeli kuraklık ve nemlilik döngülerini ortaya koyarak, periyodik dalgalanmalarla birlikte özellikle hafif kuraklık (-1 ile 0 arası) ve normal koşulların ağırlık kazandığını göstermektedir. Şekil 4.7. SPEI18 ve Şekil 4.8. SPEI24 zaman serilerinde ise kuraklık şiddetinin özellikle bazı dönemlerde -1'in altına düştüğü, bu durumun orta düzey kuraklık kategorisine işaret ettiği görülmektedir. Bu analiz, Ağrı ilinin dönemsel su dengesi değişikliklerine duyarlı olduğunu ve tarımsal planlamada dikkat edilmesi gereken kuraklık eğilimlerini ortaya koymaktadır.



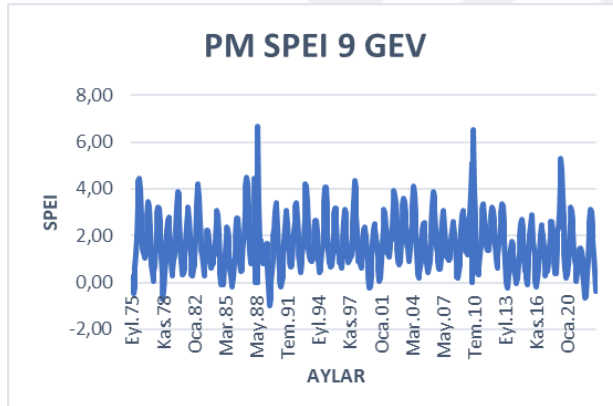
Şekil 4.9. Batman istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



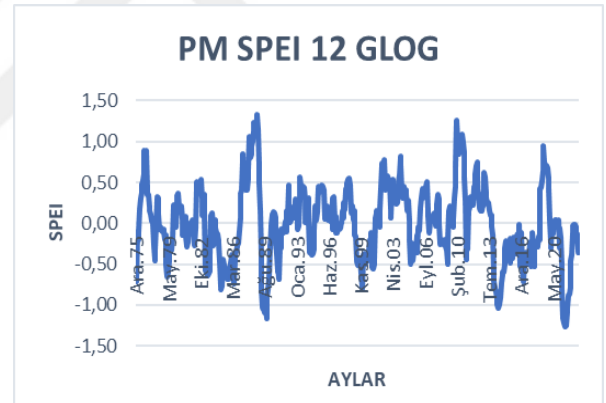
Şekil 4.10. Batman istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)

Batman istasyonu için SPEI12 ve SPEI24 zaman ölçeklerinde uygun dağılım bulunamamıştır. SPEI9 zaman ölçeğinde GEV dağılımına, SPEI18 zaman ölçeğinde GLOG dağılımı en uygun dağılım seçilmiştir.

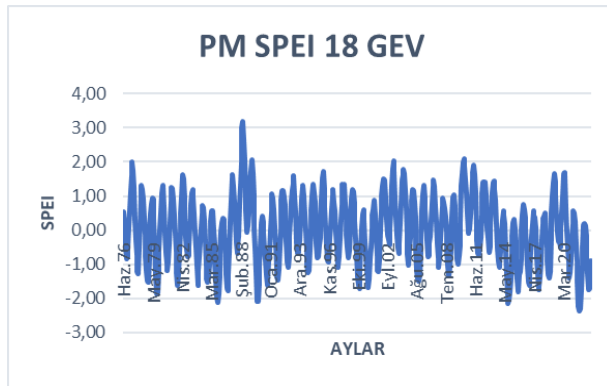
Batman ili için yapılan SPEI kuraklık analizine göre, Şekil 4.9 SPEI9 (GEV dağılımı) grafiğinde kuraklık ve nemlilik dalgalanmalarının genellikle -2 ile +2 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu, kısa vadeli kuraklıkların ve nemlilik dönemlerinin sıklıkla yaşandığını ve dengeli bir su dengesi değişiminin söz konusu olduğunu göstermektedir. Ancak bazı dönemlerde -2'nin altına düşüş, kısa süreli şiddetli kuraklıkları işaret etmektedir. Şekil 4.10 SPEI18 (GLOG dağılımı) grafiğinde ise uzun vadeli kuraklık eğilimleri daha belirgin hale gelmiştir. SPEI değerleri çoğunlukla -1.5 ile +1.5 arasında dalgalanmış, bu da uzun vadede orta düzey kuraklık ve nemlilik koşullarının baskın olduğunu göstermiştir. Özellikle son yıllarda değerlerin -1'in altına düşmesi, Batman ilinde uzun vadeli kuraklık riskinin arttığına dair bir işaret olabilir. Bu durum, su kaynaklarının yönetiminde uzun vadeli planlamaların önemini ortaya koymaktadır.



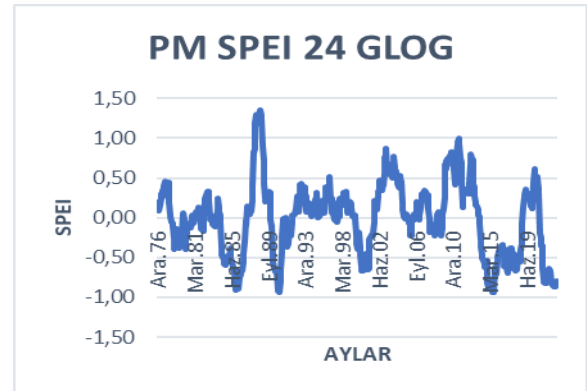
Şekil 4.11. Bingöl istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



Şekil 4.12. Bingöl istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)



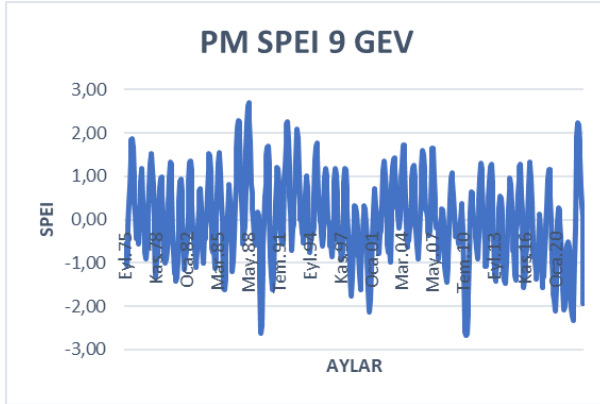
Şekil 4.13. Bingöl istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



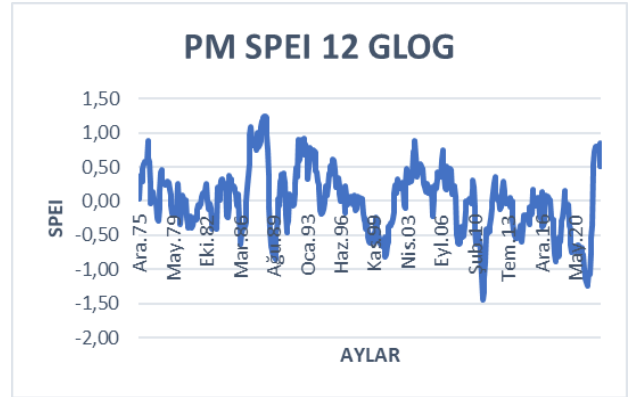
Şekil 4.14. Bingöl istasyonu SPEI24 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)

Bingöl istasyonu için yapılan SPEI analizlerinde, farklı zaman ölçeklerinde uygun dağılımlar tespit edilmiştir. SPEI9 ve SPEI18 zaman ölçeklerinde GEV dağılımı en uygun dağılım olarak belirlenmiştir. SPEI12 ve SPEI24 zaman ölçeklerinde ise GLOG dağılımı en uygun sonuçları vermiştir. Bu durum, Bingöl istasyonu verilerinin analizinde farklı zaman ölçekleri için farklı dağılımların daha uygun olduğunu ve zaman ölçeğine bağlı olarak dağılım seçiminin önemini ortaya koymaktadır.

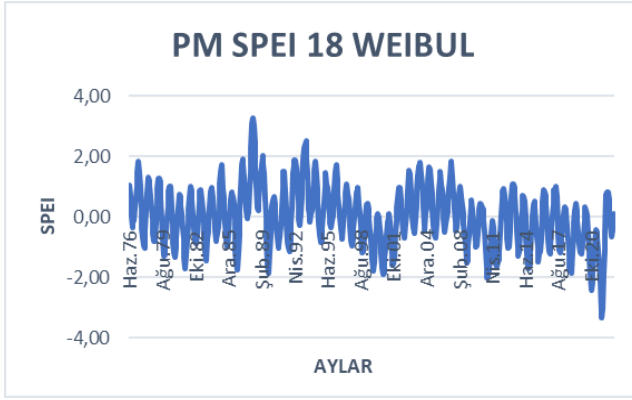
Bingöl ili için yapılan SPEI kuraklık analizi grafiklerine göre, Şekil 4.11. SPEI 9 zaman serilerinde kuraklık şiddetinin çoğunlukla -1 ve +1 aralığında değiştiği gözlemlenmektedir. Ancak, belirli dönemlerde kuraklık şiddeti -2 seviyesine kadar inmiş, bu da orta şiddetli kuraklık koşullarını işaret etmektedir. Şekil 4.12. SPEI 12 zaman serilerinde ise kuraklık ve nemlilik eğilimleri daha dengeli bir dağılım göstermiş olup, şiddetli kuraklık (-1,5 ile -2 arası) ve aşırı kuraklık (-2'nin altı) durumları nadir olarak kaydedilmiştir. Şekil 4.13. SPEI 18 ve Şekil 4.14. SPEI 24 zaman serilerinde ise uzun vadeli analizde, dönemselsel olarak şiddetli kuraklık durumlarının yaşandığı ve bu durumların bazı yıllarda daha belirgin olduğu görülmektedir. Bu veriler, Bingöl'ün iklim değişkenliklerine açık olduğunu ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için bu değişkenliğin dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır.



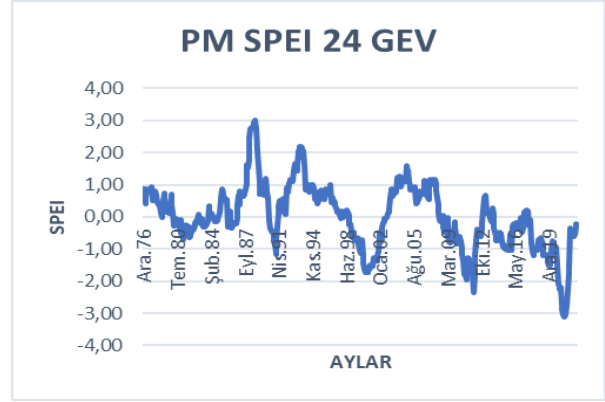
Şekil 4.15. Bitlis istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



Şekil 4.16. Bitlis istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)



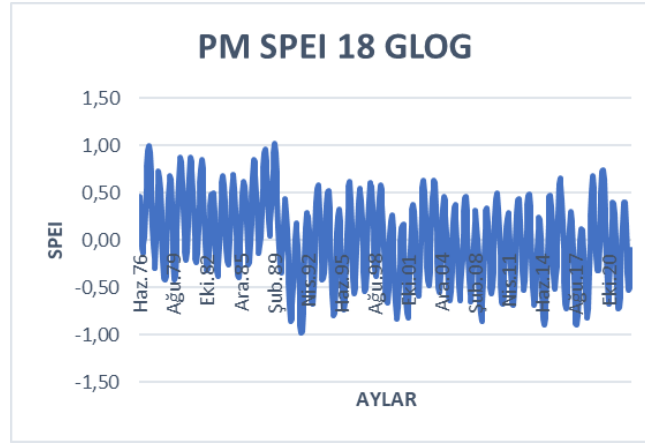
Şekil 4.17. Bitlis istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (WEIBUL dağılımı)



Şekil 4.18. Bitlis istasyonu SPEI24 sonuç grafiği (GEV dağılımı)

Bitlis istasyonu için SPEI9 ve SPEI24 zaman ölçeğinde GEV dağılımı kullanılmıştır. SPEI12 zaman ölçeğinde ise GLOG dağılımı ve SPEI18 zaman ölçeğinde WEIBUL dağılımı en uygun olarak belirlenmiştir.

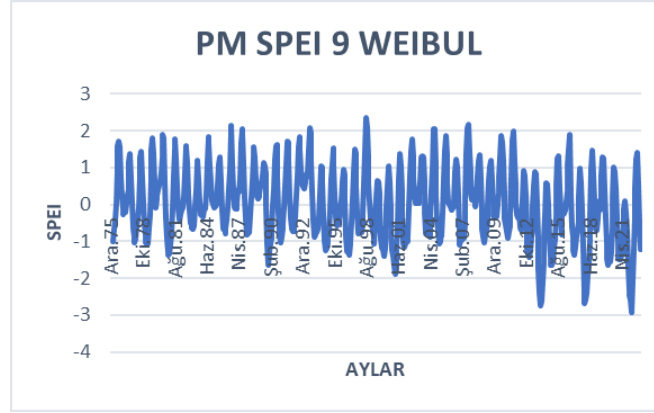
Bitlis ili için SPEI kuraklık analizi, farklı zaman ölçeklerinde kuraklık ve nemlilik döngülerini ortaya koymaktadır. Şekil 4.9. SPEI9 zaman serileri incelendiğinde, kısa dönemli kuraklık ve nemlilik dönemleri arasında hızlı geçişlerin olduğu, özellikle belirgin nemli dönemlerin bulunduğu görülmektedir. Şekil 4.10. SPEI12 zaman serilerinde ise -1 ile +1 arasında değişen değerler, bölgedeki su dengesinde daha dengeli bir yapıya işaret etmektedir. SPEI18 ve SPEI24 zaman serileri ise daha uzun vadeli değişikliklere odaklanmakta ve orta şiddetli kuraklık ile nemlilik dönemlerinin öne çıktığını göstermektedir. Özellikle Şekil 4.1811. SPEI24 zaman serilerinde -2'nin altına düşen değerler, şiddetli kuraklık dönemlerine işaret etmektedir.



Şekil 4.19. Elazığ istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)

Elazığ istasyonu için yapılan SPEI analizlerinde, yalnızca SPEI18 zaman ölçeğinde GLOG dağılımının uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar Şekil 4.19'da gösterilmektedir. Diğer zaman ölçeklerinde ise verilerle uyum sağlayan herhangi bir uygun dağılım bulunamamıştır. Bu durum, SPEI18 zaman ölçeğinde GLOG dağılımının Elazığ istasyonunun verilerine özgü bir uyum gösterdiğini ortaya koymaktadır.

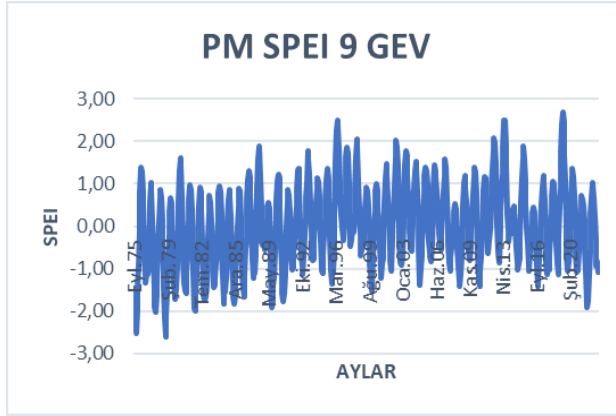
Şekil 4.19'daki grafikte SPEI değerlerinin genelde -1.0 ile +1.0 arasında dalgalandığı görülmektedir. Bu, Elazığ istasyonunun SPEI18 zaman ölçeğinde, çoğunlukla normal koşullarda seyrettiğini ancak zaman zaman -1.0'ın altına düştüğünü göstermektedir. Bu düşüşler, orta düzey kuraklık dönemlerini işaret etmektedir. Bununla birlikte, SPEI değerlerinin genelde +1.0'ın üstüne çıkmaması, bu zaman ölçeğinde şiddetli nemlilik dönemlerinin yaşanmadığını göstermektedir. Grafik ayrıca kuraklık ve nemlilik dalgalanmalarının düzenli aralıklarla tekrar ettiğini ve bölgenin bu zaman ölçeğinde bir denge durumunda olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, 2000 sonrası SPEI değerlerinde genel bir düşüş eğilimi gözlenmektedir, bu da uzun vadede kuraklık riskinin artabileceğini işaret etmektedir. Bu nedenle, Elazığ için özellikle SPEI18 ölçeğinde elde edilen bu bulgular, iklim planlaması ve su kaynakları yönetimi açısından dikkate alınmalıdır.



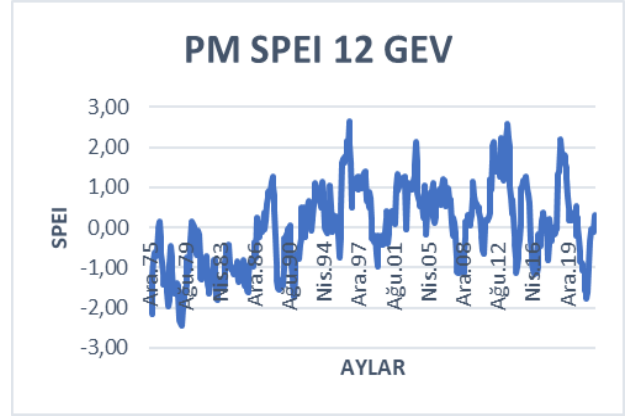
Şekil 4.20. Erzurum istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (WEIBUL dağılımı)

Erzurum istasyonu için yapılan SPEI analizlerinde, yalnızca SPEI9 zaman ölçeğinde Weibull dağılımı verilerle uyumlu bulunmuştur. Bu analiz, Şekil 4.20'de sunulmuştur. Diğer zaman ölçeklerinde herhangi bir uygun dağılım tespit edilememiştir. Bu durum, SPEI9 ölçeğinde Weibull dağılımının Erzurum istasyonu için etkin bir model olduğunu, ancak farklı zaman ölçekleri için dağılım seçiminin daha dikkatli değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

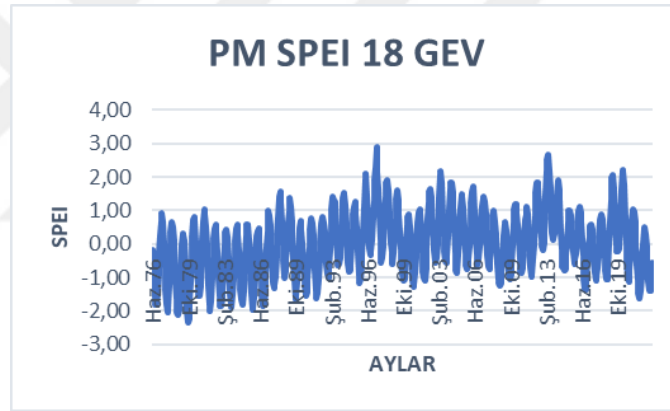
Erzurum istasyonu için yapılan Şekil 4.20 SPEI9 (Weibull dağılımı) analizine göre, kısa vadeli kuraklık ve nemlilik dönemlerinin düzenli aralıklarla tekrar ettiği görülmektedir. SPEI değerlerinin genellikle -2 ile +2 arasında dalgalanması, orta düzey kuraklık ve nemlilik koşullarının baskın olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bazı dönemlerde SPEI değerlerinin -2'nin altına düşmesi, kısa süreli şiddetli kuraklıkların yaşandığını işaret etmektedir.



Şekil 4.21. Gaziantep istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



Şekil 4.22. Gaziantep istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GEV dağılımı)

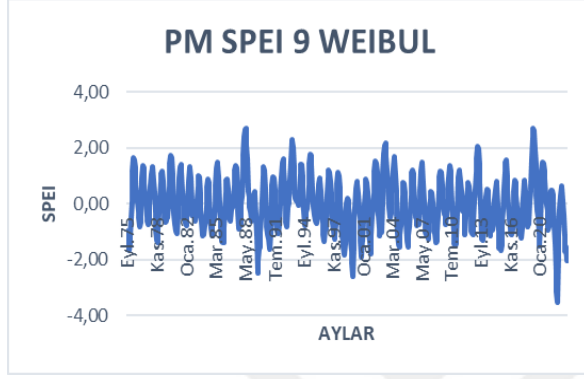


Şekil 4.23. Gaziantep istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GEV dağılımı)

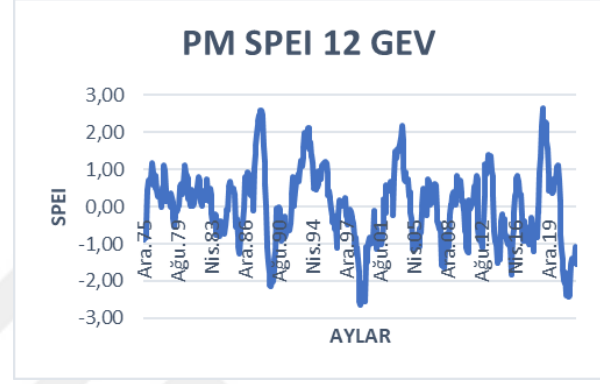
Gaziantep istasyonu için SPEI9, SPEI12 ve SPEI18 zaman ölçeklerinde GEV dağılımının verilerle uyum sağladığı tespit edilmiştir. Ancak, 24 aylık zaman ölçeğinde uygun bir dağılım bulunamamıştır.

Şekil 4.21 SPEI9 zaman ölçeğinde (GEV dağılımı), SPEI değerleri genellikle -2 ile +2 arasında değişmiş, bu da kısa vadeli kuraklıkların ve nemlilik dönemlerinin dengeli bir şekilde yaşandığını göstermektedir. Ancak bazı dönemlerde -2'nin altına düşen değerler, kısa süreli şiddetli kuraklıkları işaret etmektedir. Şekil 4.22 SPEI12 zaman ölçeğinde (GEV dağılımı), SPEI değerleri genellikle -3 ile +3 arasında değişim göstermiştir. Bu, orta vadeli kuraklık dönemlerinin ve nemlilik

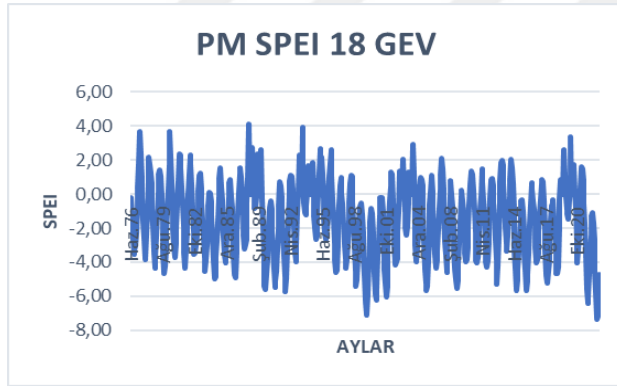
koşullarının daha belirgin olduğunu ve bu süre zarfında su dengesi değişikliklerinin daha etkili hale geldiğini göstermektedir. Şekil 4.23 SPEI18 zaman ölçeğinde (GEV dağılımı), uzun vadeli eğilimler ön plana çıkmıştır. SPEI değerlerinin bazı dönemlerde -3'lere kadar düşmesi, ciddi ve uzun süreli kuraklıkların yaşandığını ortaya koymaktadır.



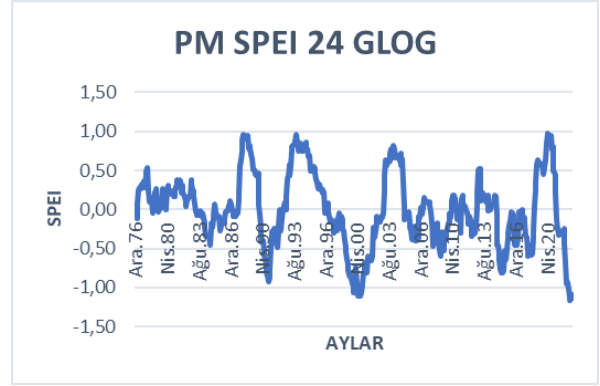
Şekil 4.24. Hakkari istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (WEIBUL dağılımı)



Şekil 4.25. Hakkari istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



Şekil 4.26. Hakkari istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GEV dağılımı)

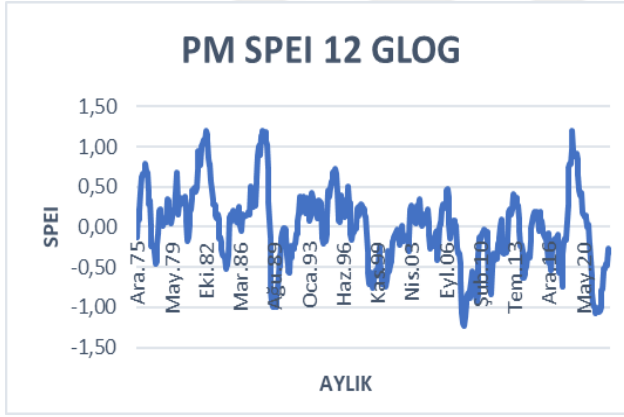


Şekil 4.27. Hakkari istasyonu SPEI24 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)

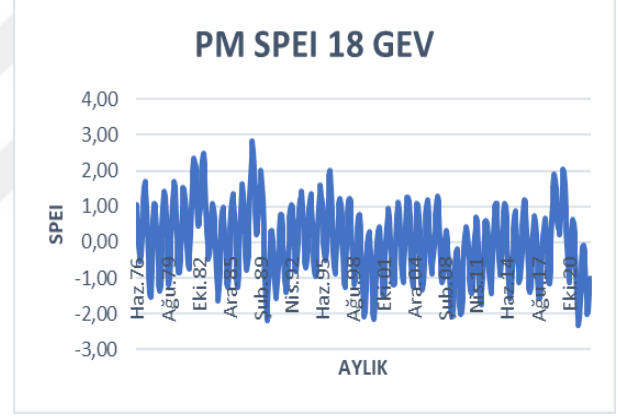
Hakkari istasyonu için yapılan SPEI analizlerinde, farklı zaman ölçeklerinde uygun dağılımlar tespit edilmiştir. SPEI9 zaman ölçeğinde Weibull dağılımı, SPEI12 ve SPEI18 zaman ölçeklerinde GEV dağılımı, SPEI24 zaman ölçeğinde ise GLOG dağılımı verilerle uyum sağlamıştır. Bu sonuçlar, Hakkari'de kısa vadeli kuraklık ve nemlilik olaylarının Weibull dağılımı ile iyi bir şekilde temsil edildiğini, orta vadede GEV dağılımının, uzun vadede ise GLOG dağılımının daha uygun olduğunu göstermektedir.



Hakkari istasyonu için yapılan SPEI analizlerinde farklı zaman ölçeklerinde kuraklık ve nemlilik eğilimleri dikkat çekmektedir. Şekil 4.24 SPEI9 (Weibull dağılımı) grafiğinde, SPEI değerlerinin genellikle -2 ile +2 arasında değiştiği ve kısa vadeli kuraklıkların sıkça yaşandığı görülmektedir. Bazı dönemlerde -2'nin altına düşen değerler, şiddetli kısa vadeli kuraklıkları işaret etmektedir. Şekil 4.25 SPEI12 ve Şekil 4.26 SPEI18 ölçeklerinde (GEV dağılımı), SPEI değerleri geniş bir aralıkta değişim göstermekte olup, zaman zaman -3 veya daha altına düşerek şiddetli kuraklık dönemlerini işaret etmektedir. Bu ölçeklerde nemlilik dönemleri de belirginleşmiştir. Şekil 4.27 SPEI24 ölçeğinde (GLOG dağılımı), uzun vadeli eğilimler dikkat çekmektedir. SPEI değerlerinin -1 ile +1 arasında daha dengeli bir dağılım sergilediği ancak bazı dönemlerde uzun süreli kuraklıkların etkisini gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.28. Mardin istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)

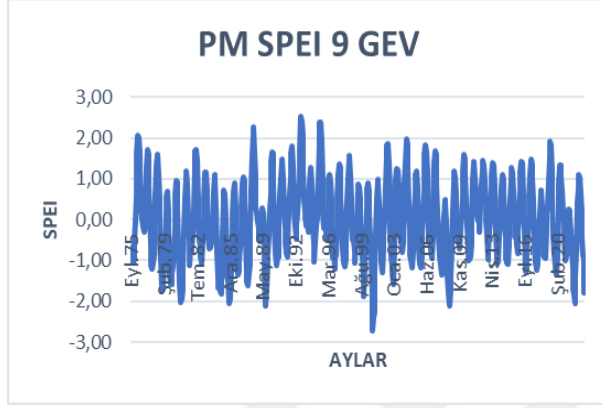


Şekil 4.29. Mardin istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GEV dağılımı)

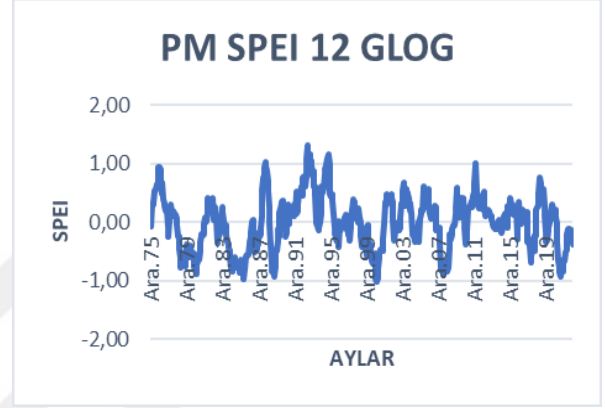
Mardin istasyonu için yapılan SPEI analizlerinde, SPEI12 zaman ölçeğinde GLOG dağılımı, SPEI18 zaman ölçeğinde ise GEV dağılımının verilerle uyum sağladığı belirlenmiştir.

Mardin istasyonu için yapılan SPEI analizlerinde, farklı zaman ölçeklerinde kuraklık ve nemlilik eğilimleri belirgin şekilde gözlemlenmiştir. Şekil 4.28 SPEI12 zaman ölçeğinde (GLOG dağılımı), SPEI değerlerinin genellikle -1 ile +1 arasında dalgalandığı, zaman zaman ise -1'in altına düşerek hafif kuraklık dönemlerini işaret ettiği görülmektedir. Bu ölçek, orta vadeli su dengesi değişikliklerini ve kuraklık risklerini değerlendirmek için uygundur. Şekil 4.29 SPEI18 zaman

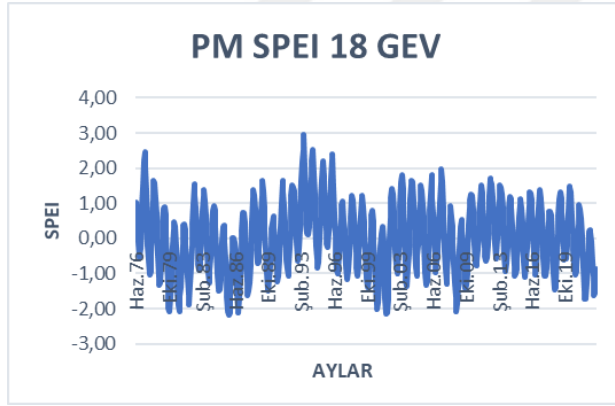
ölçeğinde (GEV dağılımı), SPEI değerleri daha geniş bir aralıkta, -2 ile +2 arasında değişmektedir. Bu da, uzun vadeli kuraklık eğilimlerinin ve nemlilik döngülerinin daha belirgin olduğunu göstermektedir. SPEI18 grafiği, şiddetli kuraklık dönemlerinin yanı sıra güçlü nemlilik eğilimlerini de ortaya koymaktadır.



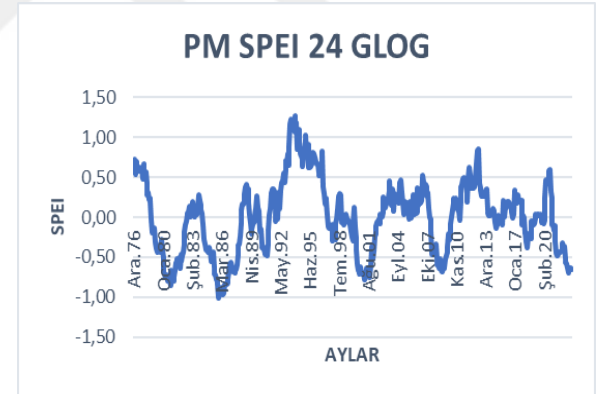
Şekil 4.30. Muş istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



Şekil 4.31. Muş istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)



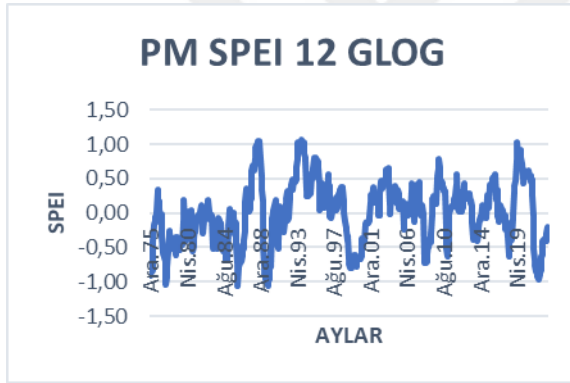
Şekil 4.32. Muş istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



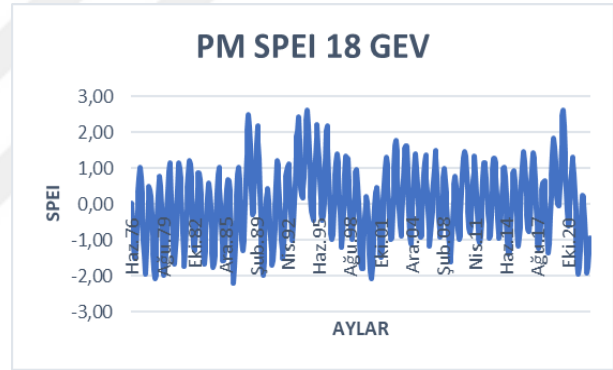
Şekil 4.33. Muş istasyonu SPEI24 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)

Muş istasyonu için yapılan SPEI analizlerinde, her bir zaman ölçeğinde uygun dağılımlar belirlenmiştir. SPEI9 ve SPEI18 zaman ölçeklerinde GEV dağılımı uygun bulunmuş ve bu ölçeklerdeki kuraklık ve nemlilik eğilimleri verilerle uyum sağlamıştır. SPEI12 ve SPEI24 zaman ölçeklerinde ise GLOG dağılımı verilerle uyumlu bulunmuş ve bu zaman dilimlerinde kuraklık risklerinin doğru bir şekilde temsil edildiği görülmüştür.

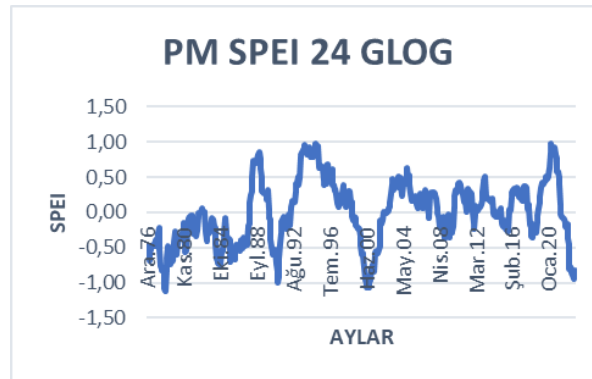
Şekil 4.30 SPEI9 zaman ölçeği grafiğinde (GEV dağılımı), SPEI değerlerinin genellikle -2 ile +2 arasında değiştiği ve kısa vadeli kuraklık ile nemlilik olaylarının dengeli bir şekilde yaşandığı görülmektedir. Bazı dönemlerde -2'nin altına düşen değerler, şiddetli kısa vadeli kuraklıkları işaret etmektedir. Şekil 4.31 SPEI12 zaman ölçeğinde (GLOG dağılımı), SPEI değerlerinin daha düzenli bir şekilde -1 ile +1 arasında değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu ölçek, orta vadeli kuraklık riskini değerlendirmek için önemlidir. Şekil 4.32 SPEI18 zaman ölçeğinde (GEV dağılımı), SPEI değerleri genellikle -2 ile +2 arasında değişmiş ve uzun vadeli kuraklık riskinin yanı sıra nemlilik döngülerinin de dikkat çektiği görülmüştür. Şekil 4.33 SPEI24 zaman ölçeğinde (GLOG dağılımı), SPEI değerlerinin daha az değişkenlik gösterdiği, genelde -1 ile +1 arasında olduğu ancak bazı dönemlerde kuraklık eğilimlerinin uzun süreli olarak görüldüğü anlaşılmaktadır.



Şekil 4.34. Siirt istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)



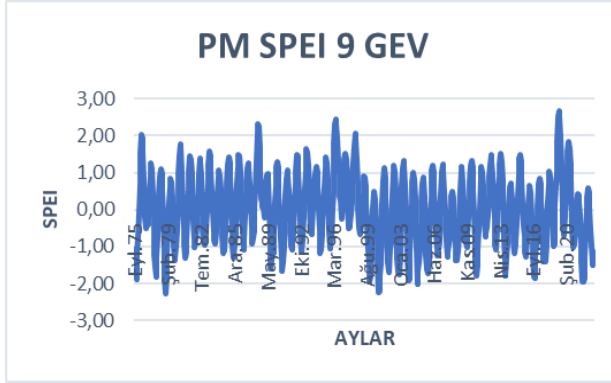
Şekil 4.35. Siirt istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



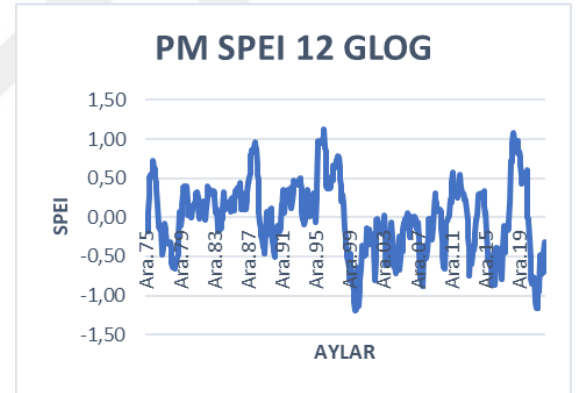
Şekil 4.36. Siirt istasyonu SPEI24 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)

Siirt istasyonu için yapılan SPEI analizlerinde, SPEI12 ve SPEI24 zaman ölçeğinde GLOG dağılımının, SPEI18 zaman ölçeğinde ise GEV dağılımının verilerle uyum sağladığı belirlenmiştir. Ancak, SPEI9 zaman ölçeğinde herhangi bir uygun dağılım bulunamamıştır.

Siirt ili için SPEI analizine göre, Şekil 4.34. SPEI 12 zaman serilerinde -1 ile +1 arasında dalgalanma görülmektedir. Bu, hafif kuraklık ve nemlilik sınıflarının baskın olduğunu gösterir. Şekil 4.35. SPEI 18 zaman serisinde ise kuraklık etkilerinin belirginleştiği ve bazı dönemlerde şiddetli kuraklık sınıfına ( $SPEI \leq -2$ ) girildiği gözlemlenmektedir. Şekil 4.36. SPEI 24 serilerinde ise uzun dönemli su dengesi analizinde genellikle normal ve hafif kuraklık sınıfları hakimdir. Ancak, belirli yıllarda su dengesinin ciddi şekilde bozulduğu ve şiddetli kuraklık sınıfına geçildiği dikkati çekmektedir.



Şekil 4.37. Şanlıurfa istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GEV dağılımı)

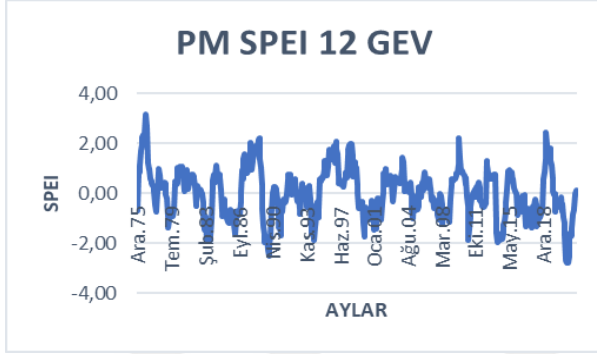


Şekil 4.38. Şanlıurfa istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)

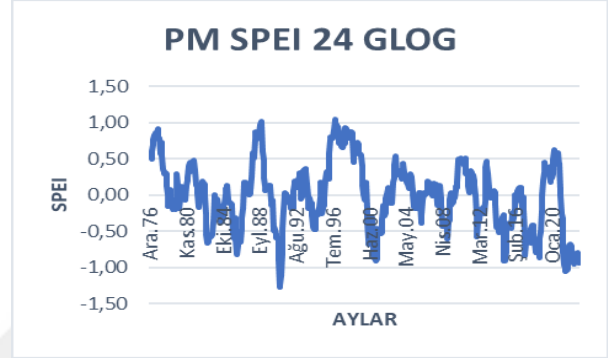
Şanlıurfa istasyonu SPEI9 zaman ölçeğinde GEV dağılımının, SPEI12 zaman ölçeğinde ise GLOG dağılımının verilerle uyum sağladığı belirlenmiştir. Ancak, SPEI18 ve SPEI24 zaman ölçeklerinde uygun bir dağılım bulunamamıştır.

Şekil 4.37 SPEI9 zaman ölçeği grafiğinde (GEV dağılımı), SPEI değerlerinin genellikle -2 ile +2 arasında değiştiği ve kısa vadeli kuraklık ile nemlilik döngülerinin dengeli bir şekilde yaşandığı görülmektedir. Zaman zaman -2'nin altına düşen değerler, kısa süreli şiddetli kuraklıkları işaret etmektedir. Şekil 4.38 SPEI12 zaman ölçeğinde (GLOG dağılımı), SPEI değerlerinin yine -1 ile

+1 arasında değişim gösterdiği ve orta vadeli kuraklık ile nemlilik koşullarının bölgede düzenli olarak yaşandığı anlaşılmaktadır.



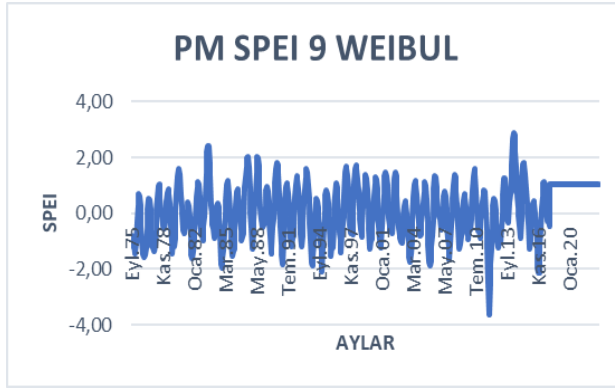
Şekil 4.39. Tunceli istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



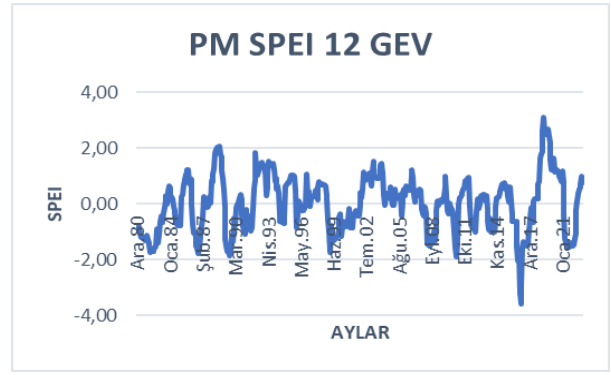
Şekil 4.40. Tunceli istasyonu SPEI24 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)

Tunceli istasyonu SPEI12 zaman ölçeğinde GEV dağılımının, SPEI24 zaman ölçeğinde ise GLOG dağılımının verilerle uyum sağladığı belirlenmiştir. Ancak, SPEI9 ve SPEI18 zaman ölçeklerinde uygun bir dağılım bulunamamıştır.

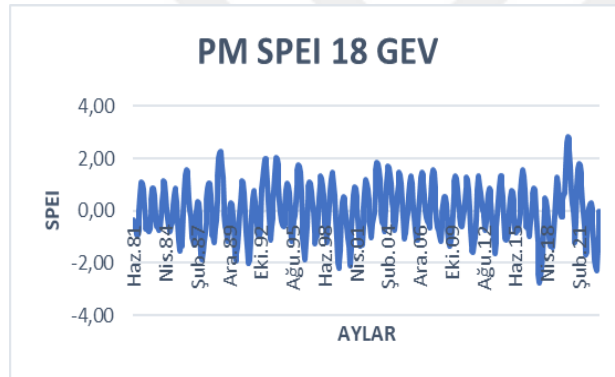
Şekil 4.39 SPEI12 zaman ölçeği grafiğinde (GEV dağılımı), SPEI değeri­lerinin genellikle -2 ile +2 arasında değiştii görölmektedir. Bu durum, orta vadeli kuraklık ve nemlilik döngülerinin dengeli bir şekilde yaşandığını ve zaman zaman -2'nin altına düşen değeri­lerle şiddetli kuraklıkların meydana geldiğini göstermektedir. Şekil 4.40 SPEI24 zaman ölçeğinde (GLOG dağılımı), SPEI değeri­lerinin daha dar bir aralıkta, genellikle -1 ile +1 arasında değiştii gözlemlenmiştir. Bu ölçek, uzun vadeli su dengesi değişikliklerini ve nemlilik ile kuraklık arasındaki dengeyi yansıtmaktadır. Ancak bazı dönemlerde uzun vadeli kuraklık eğilimlerinin etkili olduğu görölmektedir.



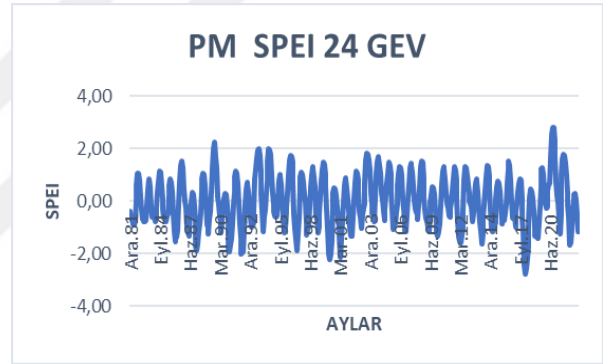
Şekil 4.41. Şırnak istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (WEIBUL dağılımı)



Şekil 4.42. Şırnak istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



Şekil 4.43. Şırnak istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



Şekil 4.44. Şırnak istasyonu SPEI24 sonuç grafiği (GEV dağılımı)

Şırnak istasyonu için yapılan SPEI analizlerinde, farklı zaman ölçeklerinde dağılımların verilerle uyum sağladığı tespit edilmiştir. SPEI9 zaman ölçeğinde Weibull dağılımı, SPEI12, SPEI18 ve SPEI24 zaman ölçeklerinde ise GEV dağılımı uygun bulunmuştur.

Şekil 4.41 SPEI9 zaman ölçeği grafiğinde (Weibull dağılımı), SPEI değerlerinin genellikle -2 ile +2 arasında değiştiği ve kısa vadeli kuraklık ile nemlilik döngülerinin dengeli bir şekilde yaşandığı görülmektedir. SPEI12, SPEI18 ve SPEI24 zaman ölçeklerinde ise (GEV dağılımı), SPEI değerlerinin daha geniş bir aralıkta değiştiği ve zaman zaman -3'lere kadar düştüğü dikkat çekmektedir. Bu durum, orta ve uzun vadeli kuraklıkların daha belirgin olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda, pozitif SPEI değerleri nemlilik dönemlerinin de etkili olduğunu ifade etmektedir.

#### **4.4. En Uygun Dağılım Analizi, Thornthwaite Yöntemine Göre Hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI)**

SPEI analizi yapılırken, istasyonların yağış ve PET değerleri kullanılmıştır. Şırnak ilinde PET hesaplamasında kullanılan birçok verinin eksikliği nedeni ile Şırnak ili 1980-2022 yılları arası diğer 18 istasyon ise 1975-2022 yılları arasına göre hesaplaması yapılmıştır. Penman-Monteith yönteminde yapılan işlemler Thornthwaite yöntemine göre tekrar yapılmıştır. Seçilen istasyonlar için en uygun dağılıma dayalı olarak Thornthwaite yöntemine göre hesaplanan SPEI kuraklık analizi sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.



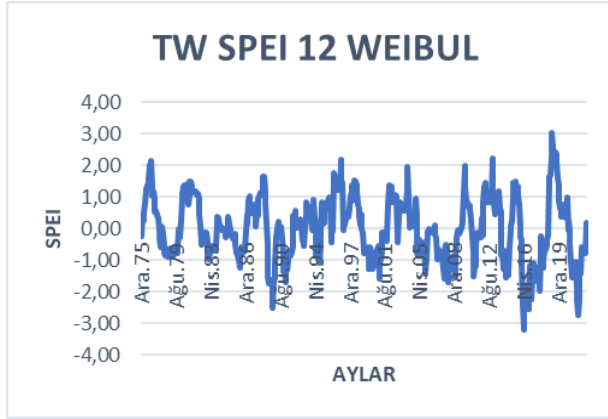
Çizelge 4.10. Thornthwaite yöntemine göre hesaplanan SPEI analizi için en uygun dağılımlar

| İstasyon Numarası | İstasyon İsmi | 9 Aylık | 12 Aylık | 18 Aylık | 24 Aylık |
|-------------------|---------------|---------|----------|----------|----------|
| 17265             | Adıyaman      |         | W-ML     | GEV-ML   | W-ML     |
| 17099             | Ağrı          | GLOG-ML | GEV-ML   | GEV-ML   | GLOG-ML  |
| 17282             | Batman        |         | GLOG-ML  |          |          |
| 17203             | Bingöl        | GEV-ML  | GLOG-ML  | GEV-ML   |          |
| 17207             | Bitlis        | GEV-ML  | GLOG-ML  |          | GLOG-ML  |
| 17280             | Diyarbakır    |         | W-ML     |          |          |
| 17201             | Elazığ        |         | GEV-ML   |          |          |
| 17094             | Erzincan      |         |          |          |          |
| 17096             | Erzurum       | GEV-ML  | W-ML     | GEV-ML   |          |
| 17261             | Gaziantep     |         | W-ML     | GEV-ML   | GEV-ML   |
| 17285             | Hakkari       | W-ML    | GEV-ML   | GEV-ML   | GLOG-ML  |
| 17262             | Kilis         |         | GLOG-ML  |          |          |
| 17199             | Malatya       |         | GLOG-ML  |          |          |
| 17275             | Mardin        | GEV-ML  | GLOG-ML  | GEV-ML   |          |
| 17204             | Muş           |         | GLOG-ML  | GEV-ML   | GEV-ML   |
| 17210             | Siirt         |         | GLOG-ML  | GEV-ML   | GLOG-ML  |
| 17270             | Şanlıurfa     |         | GLOG-ML  | GEV-ML   |          |
| 17165             | Tunceli       | GEV-ML  | GEV-ML   |          | GLOG-ML  |
| 17287             | Şırnak        | GEV-ML  | GLOG-ML  | GEV-ML   | GEV-ML   |

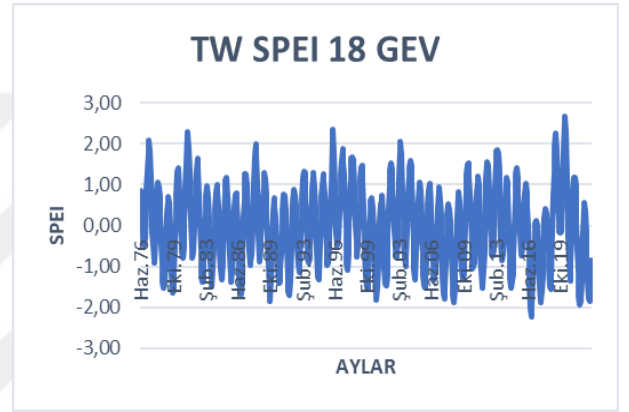


Uygun dağılımlara göre 19 istasyona ait grafikler aşağıdaki gibidir.

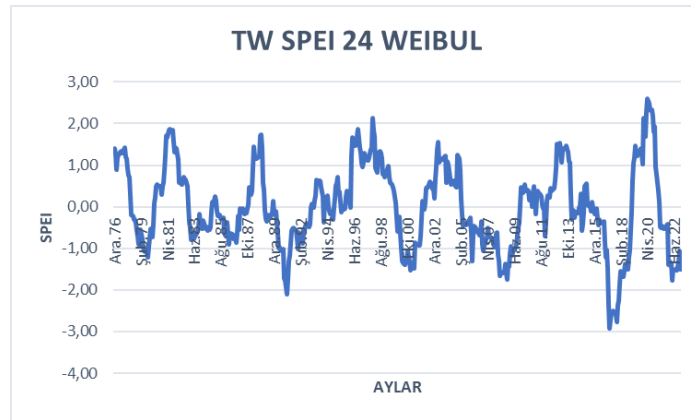
Erzincan istasyonunun da Penman-Monteith yönteminde olduğu gibi Thornthwaite yönteminde de üç parametrelili uygun dağılım bulunamamıştır.



Şekil 4.45. Adıyaman istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (WEIBUL dağılımı)



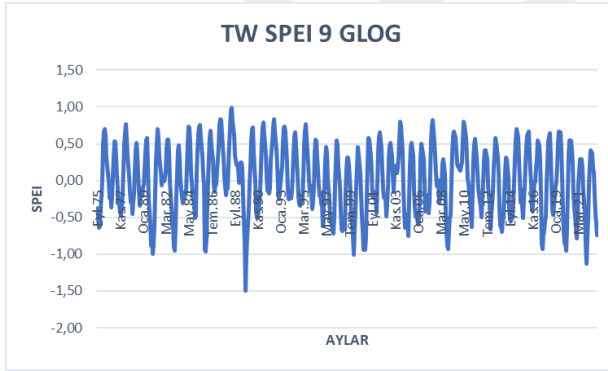
Şekil 4.46. Adıyaman istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



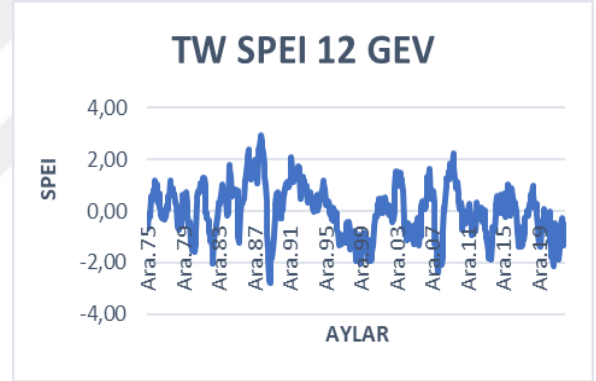
Şekil 4.47. Adıyaman istasyonu SPEI24 sonuç grafiği (WEIBUL dağılımı)

Adıyaman istasyonu için yapılan SPEI analizlerinde, SPEI12 ve SPEI24 zaman ölçeklerinde Weibull dağılımının, SPEI18 zaman ölçeğinde ise GEV dağılımının verilerle uyum sağladığı belirlenmiştir; ancak, SPEI9 zaman ölçeğinde uygun bir dağılım bulunamamıştır.

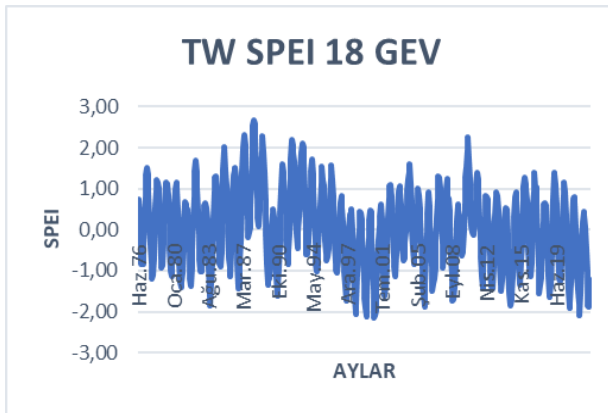
Adıyaman ili için SPEI kuraklık analizine göre SPEI12, SPEI18 ve SPEI24 zaman serileri belirgin bir şekilde kuraklık ve nemlilik döngüleri sergilemektedir. Şekil 4.45. SPEI12 zaman serileri genellikle hafif kuraklık ve normal koşullar arasında değişim göstermekte olup, kısa vadeli su dengesi değişimlerini işaret etmektedir. Şekil 4.46. SPEI18 zaman serilerinde orta vadeli etkiler görülmekte ve zaman zaman orta düzeyde kuraklık ve nemlilik dönemleri dikkat çekmektedir. Şekil 4.47. SPEI24 zaman serileri ise uzun vadeli etkileri yansıtarak ciddi kuraklık ve nemlilik dönemlerine işaret etmektedir. koymaktadır.



Şekil 4.48. Ağrı istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)



Şekil 4.49. Ağrı istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



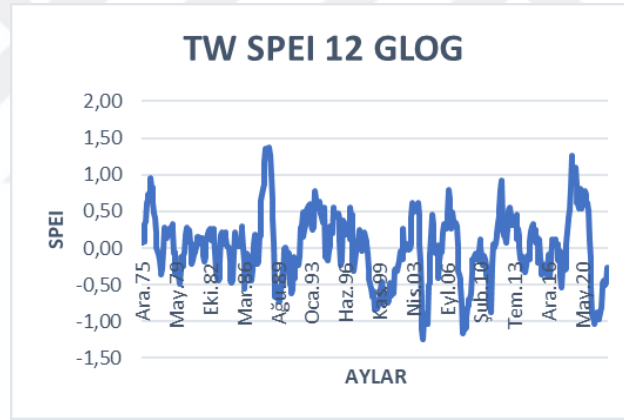
Şekil 4.50. Ağrı istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



Şekil 4.51. Ağrı istasyonu SPEI24 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)

Ağrı istasyonunda SPEI9 ve SPEI24 zaman ölçeklerinde GLOG dağılımı, SPEI12 ve SPEI18 zaman ölçeklerinde ise GEV dağılımı uygun bulunmuştur.

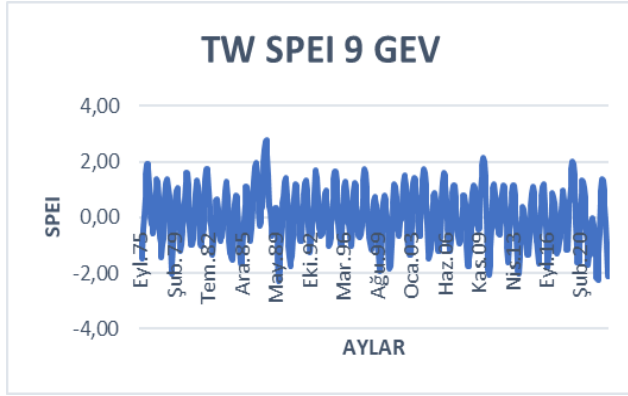
Şekil 4.48 SPEI9 zaman ölçeğinde, kısa vadeli dalgalanmalar dikkat çekerken, SPEI değerlerinin genellikle -1 ile +1 arasında değiştiği görülmüştür. SPEI12 ve SPEI18 zaman ölçeklerinde ise SPEI değerleri daha geniş bir aralıkta değişmekte, özellikle şiddetli kuraklık dönemleri öne çıkmaktadır. Şekil 4.51 SPEI24 zaman ölçeği, uzun vadeli nemlilik ve kuraklık eğilimlerini yansıtarak daha az dalgalanma göstermektedir.



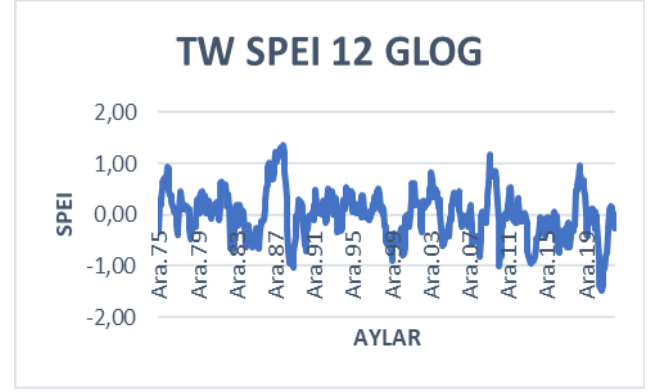
Şekil 4.52. Batman istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)

Batman istasyonunda SPEI9 SPEI18 ve SPEI24 zaman ölçeklerinde uygun dağılım bulunamamıştır. SPEI12 zaman ölçeklerinde ise GLOG dağılımı uygun bulunmuştur.

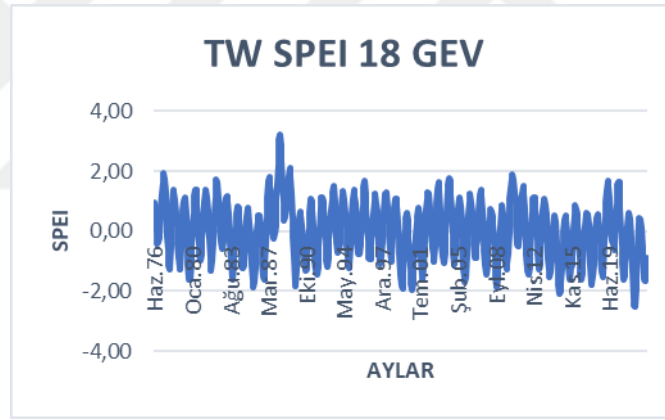
Batman istasyonu için yapılan SPEI12 analizinde, SPEI değerlerinin genellikle -1 ile +1 arasında değiştiği Şekil 4.52'de görülmekte ve zaman zaman belirgin nemlilik ve kuraklık dönemleri öne çıkmaktadır.



Şekil 4.53. Bingöl istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



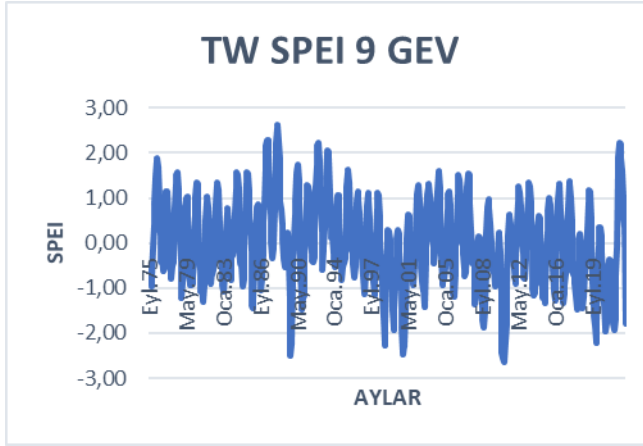
Şekil 4.54. Bingöl istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)



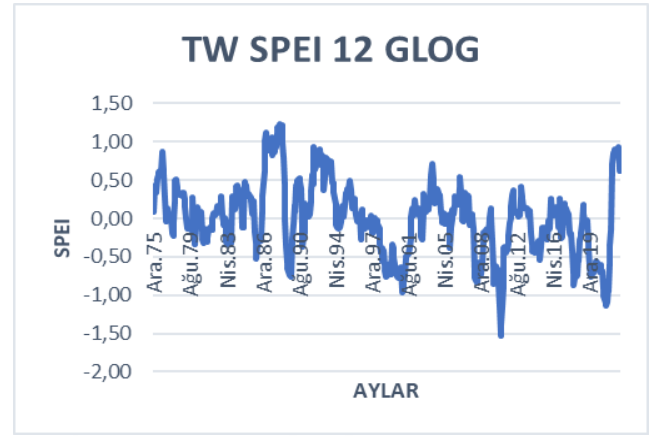
Şekil 4.55. Bingöl istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GEV dağılımı)

SPEI9 ve SPEI18 zaman ölçeklerinde GEV dağılımı, SPEI12 zaman ölçeğinde ise GLOG dağılımı verilerle uyum sağlamıştır. Ancak, SPEI24 zaman ölçeği için uygun bir dağılım bulunamamıştır.

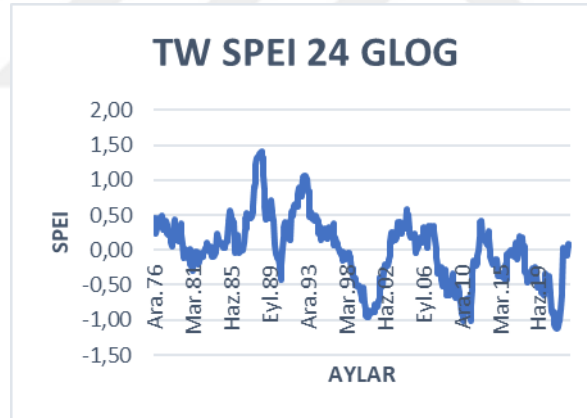
Bingöl istasyonu için yapılan SPEI kuraklık analizinde, SPEI9, SPEI12 ve SPEI18 zaman ölçeklerinde değerlerin genellikle -2 ile +2 arasında dalgalandığı görülmektedir. Şekil 4.53 SPEI9 ölçeği grafiğinde görüldüğü gibi kısa dönemli nemlilik ve kuraklık döngüleri belirgin şekilde ortaya çıkarken, Şekil 4.54 SPEI12 ve Şekil 4.55 SPEI18 ölçeklerinde daha uzun vadeli eğilimler öne çıkmaktadır.



Şekil 4.56. Bitlis istasyonu SPEI9 sonuç grafiği  
(GEV dağılımı)



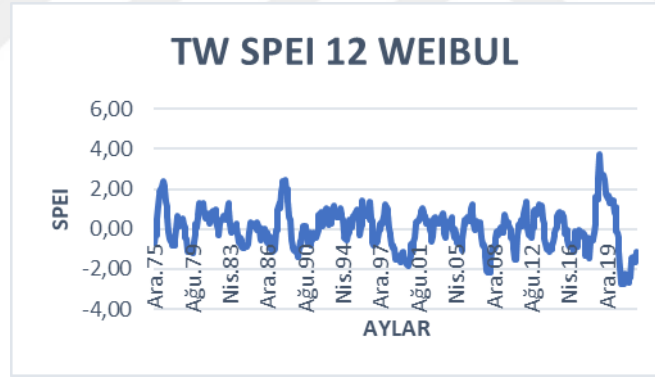
Şekil 4.57. Bitlis istasyonu SPEI12 sonuç grafiği  
(GLOG dağılımı)



Şekil 4.58. Bitlis istasyonu SPEI24 sonuç grafiği  
(GLOG dağılımı)

Bitlis için SPEI12 ve SPEI24 zaman ölçeklerinde GLOG dağılımı, SPEI9 zaman ölçeğinde ise GEV dağılımı verilerle uyum sağlamıştır. Ancak, SPEI18 zaman ölçeği için uygun bir dağılım bulunamamıştır.

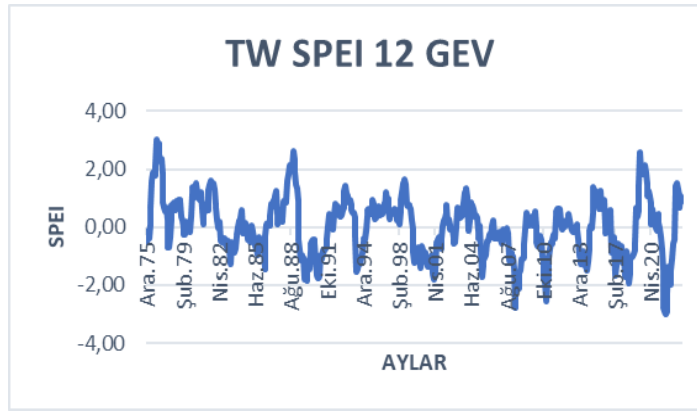
Bitlis ili için yapılan SPEI analizinde, Şekil 4.56. SPEI9 zaman serisi incelendiğinde genelde -2 ile +2 arasında değerler aldığı, hafif ve orta şiddetli kuraklık dönemlerinin sık yaşandığı, zaman zaman nemlilik dönemlerinin de görüldüğü gözlemlenmiştir. Şekil 4.57. SPEI12 zaman serisi, kuraklık şiddetinin hafif ve orta dereceler arasında dalgalandığını, ancak belirli dönemlerde nemli koşulların öne çıktığını göstermektedir. Şekil 4.58. SPEI24 zaman serisinde ise daha uzun vadeli nemlilik ve kuraklık döngüleri dikkati çekmekte olup, özellikle hafif kuraklıkların baskın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.59. Diyarbakır istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (WEIBUL dağılımı)

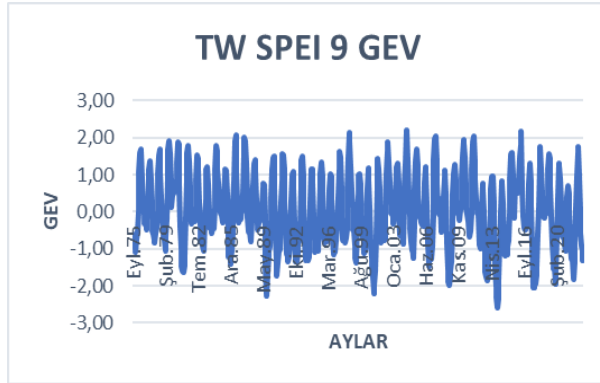
Diyarbakır istasyonu için yapılan SPEI12 analizinde yalnızca WEIBUL dağılımı uygun bulunmuştur.

Diyarbakır istasyonu için yapılan Şekil 4.59 SPEI12 analizine ait grafikte, SPEI değerlerinin genellikle -2 ile +2 arasında dalgalandığı görülmektedir. Zaman zaman belirgin nemlilik ve kuraklık dönemlerinin öne çıktığı analiz, kısa ve orta vadeli su dengesi değişikliklerini göstermektedir.

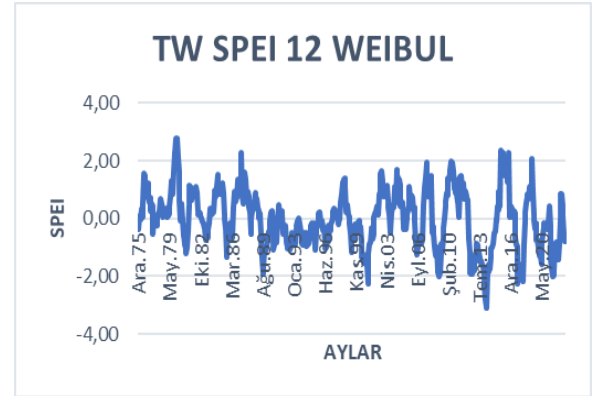


Şekil 4.60. Elazığ istasyonu SPEI12 sonuç grafiği  
(GEV dağılımı)

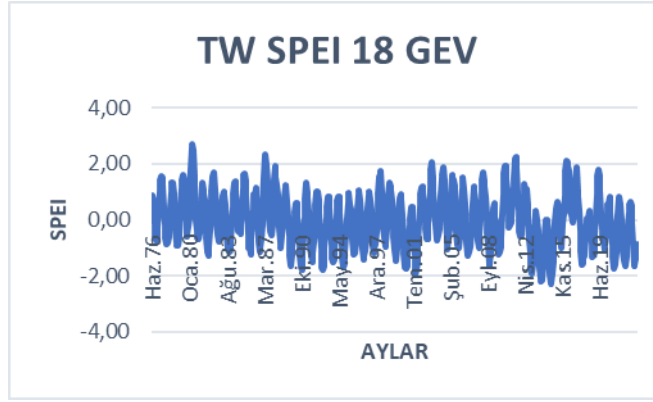
Elazığ istasyonu için yapılan SPEI12 analizinde yalnızca GEV dağılımı uygun bulunmuştur. Elazığ istasyonu için yapılan Şekil 4.60 SPEI12 analizine ait grafikte, SPEI değerlerinin genellikle -2 ile +2 arasında değiştiği ve bazı dönemlerde daha belirgin nemlilik ve kuraklık olaylarının öne çıktığı görülmektedir.



Şekil 4.61. Erzurum istasyonu SPEI9 sonuç grafiği  
(GEV dağılımı)



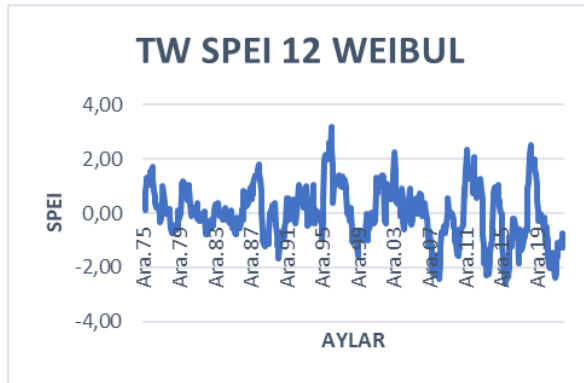
Şekil 4.62. Erzurum istasyonu SPEI12 sonuç grafiği  
(WEIBUL dağılımı)



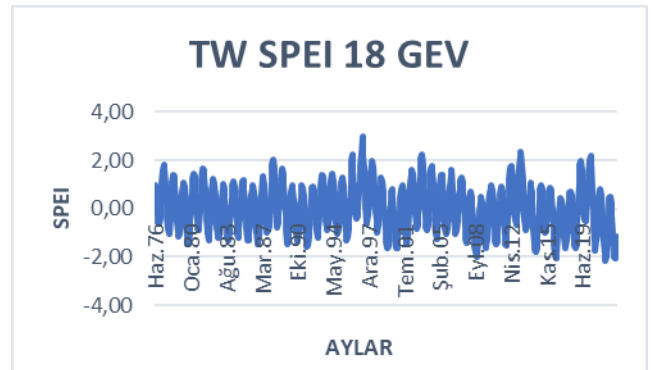
Şekil 4.63. Erzurum istasyonu SPEI18 sonuç grafiği  
(GEV dağılımı)

Erzurum için SPEI9 ve SPEI18 zaman ölçeklerinde GEV dağılımı, SPEI12 zaman ölçeğinde ise WEIBUL dağılımı verilerle uyum sağlamıştır. Ancak, SPEI24 zaman ölçeği için uygun bir dağılım bulunamamıştır.

Erzurum istasyonu için yapılan SPEI analizinde, kuraklık sınıfları zaman ölçeklerine göre farklılık göstermektedir. Şekil 4.61 SPEI9’da hafif ve orta şiddetli kuraklıklar öne çıkarken, Şekil 4.62 SPEI12’de orta ve şiddetli kuraklıklar daha sık görülmektedir. Şekil 4.63 SPEI18’de ise çok şiddetli kuraklık dönemleri belirginleşmiştir.

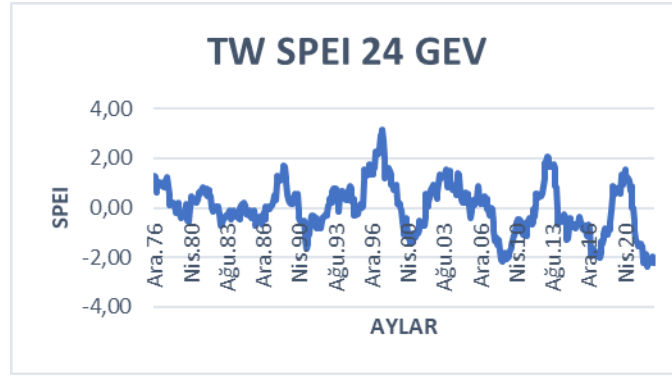


Şekil 4.64. Gaziantep istasyonu SPEI12 sonuç grafiği  
(WEIBUL dağılımı)



Şekil 4.65. Gaziantep istasyonu SPEI18 sonuç grafiği  
(GEV dağılımı)

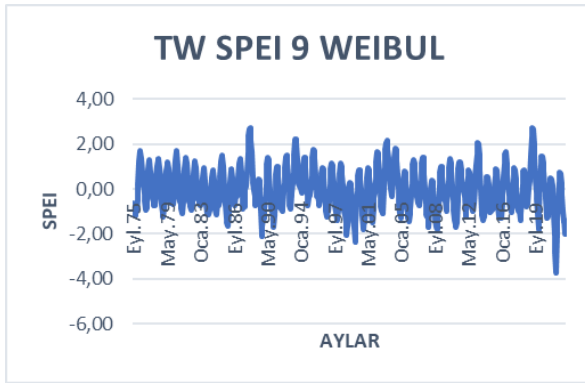




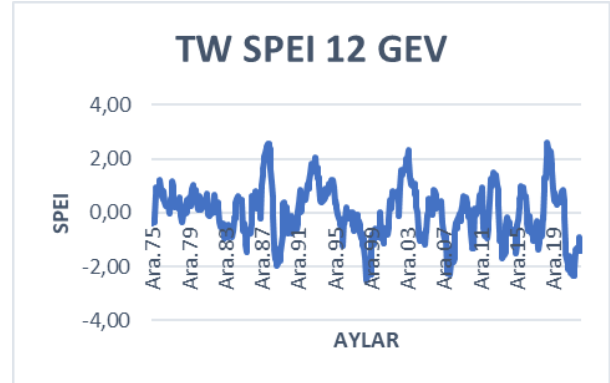
Şekil 4.66. Gaziantep istasyonu SPEI24 sonuç grafiği  
(GEV dağılımı)

Gaziantep istasyonu için SPEI18 ve SPEI24 zaman ölçeklerinde GEV dağılımı, SPEI12 zaman ölçeğinde ise WEIBUL dağılımı verilerle uyum sağlamıştır. Ancak, SPEI9 zaman ölçeği için uygun bir dağılım bulunamamıştır.

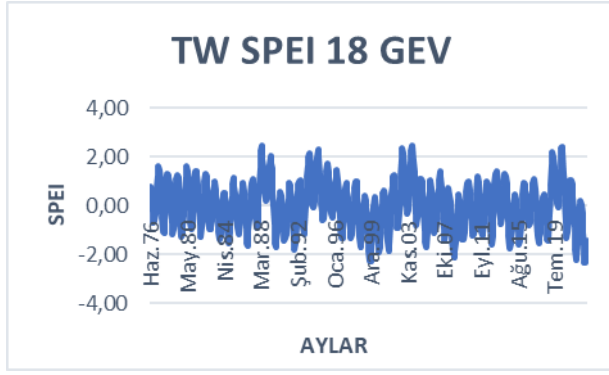
Grafikler incelendiğinde Şekil 4.64. SPEI12 grafiği, zaman zaman hafif ve orta şiddetli kuraklıkların yaşandığını, ancak uzun dönemli nemlilik eğilimlerinin de bulunduğunu göstermektedir. Şekil 4.65. SPEI18 grafiği, orta ve şiddetli kuraklıkların belirli dönemlerde yoğunlaştığını ve kuraklık süresinin daha uzun olabildiğini işaret etmektedir. Şekil 4. 66. SPEI24 grafiğinde ise uzun vadeli kuraklık eğilimlerinin daha belirgin olduğu ve zaman zaman aşırı kuraklık seviyesine ulaşıldığı gözlemlenmektedir.



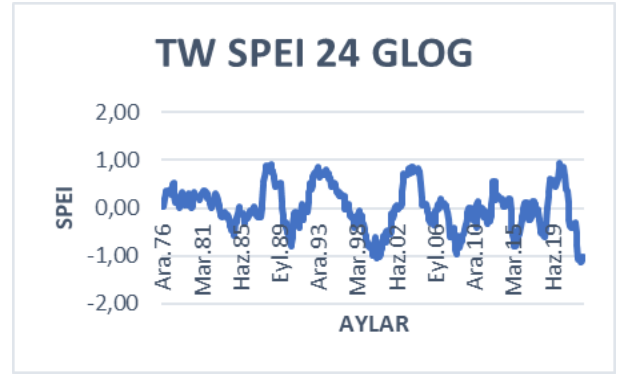
Şekil 4.67. Hakkari istasyonu SPEI9sonuç grafiği  
(WEIBUL dağılımı)



Şekil 4.68. Hakkari istasyonu SPEI12 sonuç grafiği  
(GEV dağılımı)



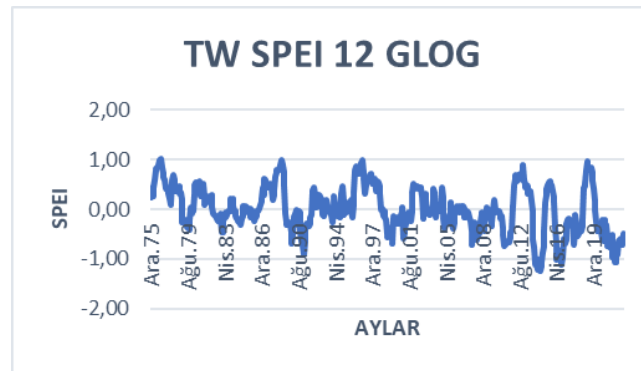
Şekil 4.69. Hakkari istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



Şekil 4.70. Hakkari istasyonu SPEI24 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)

Hakkari için SPEI12 ve SPEI18 zaman ölçeklerinde GEV dağılımı, SPEI9 zaman ölçeğinde ise WEIBUL dağılımı verilerle uyum sağlamıştır. SPEI24 zaman ölçeği için de GLOG dağılımı uyum sağlamıştır.

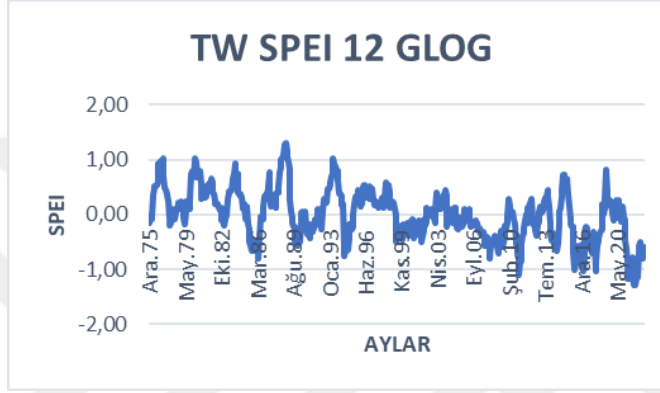
Hakkari istasyonuna ait SPEI analizinde, 9 aylık dönemde SPEI değerlerinin -2 ile +2 arasında değiştiği ve dalgalanmaların belirgin olduğu Şekil 4.67 gözlemlenmiştir. 12 aylık dönemde ise SPEI değerleri -2 ile +2 arasında yoğunlaşmış ve orta vadeli nemlilik ile kuraklık döngüleri tespit edilmiştir ve Şekil 4.68 grafiğinde görülmektedir. 18 aylık analizde SPEI değerlerinin yine -2 ile +2 aralığında kaldığı, ancak kuraklık ve nemlilik değişimlerinin daha düzenli bir şekilde seyrettiği de Şekil 4.69'da görülmektedir. 24 aylık dönemde SPEI değerlerinde -1 ile +1 arasında dar bir aralıkta dalgalanmalar olduğu, uzun vadeli su dengesi değişikliklerinin daha sınırlı olduğuda Şekil 4.70'de anlaşılmaktadır.



Şekil 4.71. Kilis istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)

Kilis istasyonu için sadece SPEI12 zaman ölçeklerinde GLOG dağılımı uygun dağılım olarak bulunmuştur. Diğer zaman serileri için uygun dağılım bulunamamıştır.

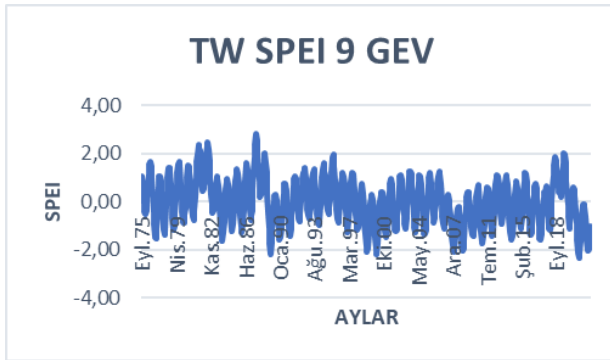
Kilis istasyonuna ait Şekil 4.71 SPEI12 grafiğine göre, SPEI değerlerinin genellikle -1 ile +1 arasında değiştiği görülmekte ve kuraklık ile nemlilik arasında düzenli dalgalanmalar yaşanmaktadır.



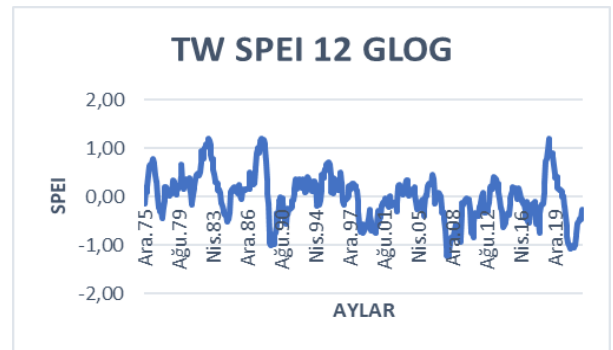
Şekil 4.72. Malatya istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)

Malatya istasyonunda da Kilis istasyonuna benzer şekilde sadece SPEI12 zaman serisinde uygun dağılım bulunmuştur. Diğer aylık dönemlerde uygun dağılım bulunamamıştır.

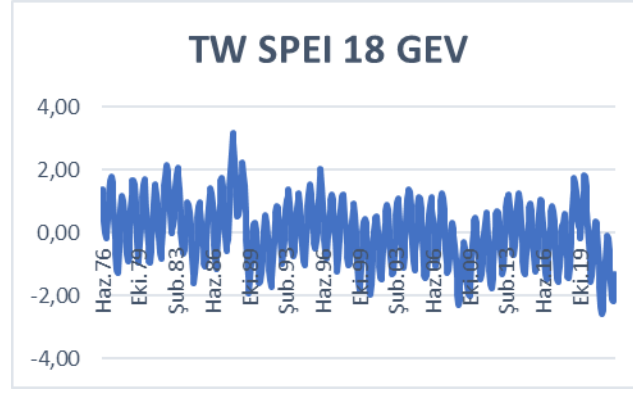
Malatya istasyonuna ait Şekil 4.72 SPEI12 analiz sonuç grafiğine göre, SPEI değerlerinin genellikle -1 ile +1 arasında değiştiği, bazı dönemlerde ise bu sınırların dışına çıkarak belirgin nemlilik ve kuraklık durumları oluşturduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.73. Mardin istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



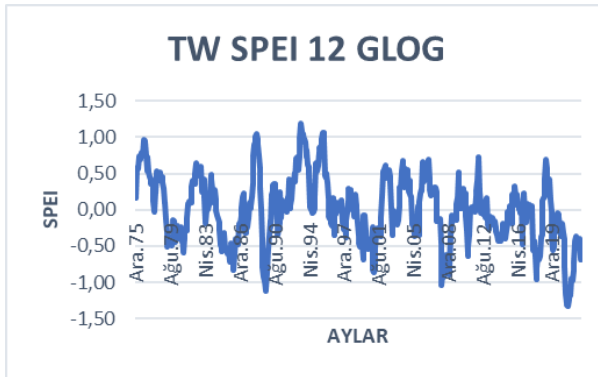
Şekil 4.74. Mardin istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)



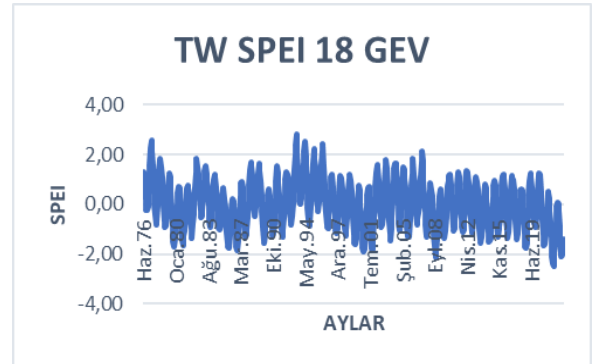
Şekil 4.75. Mardin istasyonu SPEI18 sonuç grafiği  
(GEV dağılımı)

Mardin istasyonu için yapılan, SPEI9 ve SPEI18 zaman serisinin GEV dağılımına, SPEI12 zaman serisinin GLOG dağılımlarına uygunluk göstermektedir. Ancak, SPEI24 zaman serisine uygun bir dağılım bulunamamıştır.

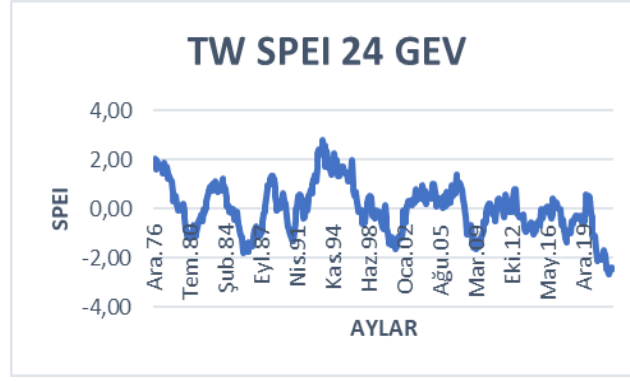
SPEI analizine göre, Şekil 4.73 SPEI9 grafiğinde kuraklık ve nemlilik dönemlerinin sık sık dalgalandığı gözlemlenmektedir. Kuraklık sınıflandırmasına göre, SPEI değerleri genellikle -2 ile +2 arasında değişim göstermiştir. -1 ile -1,5 arasında "hafif kuraklık", -1,5 ile -2 arasında ise "orta şiddetli kuraklık" dönemleri yaşanmış, bazı dönemlerde ise +1 üzerindeki değerlerle "hafif nemlilik" gözlemlenmiştir. Şekil 4.74 SPEI12 zaman ölçeğinde, orta vadeli su dengesi değişimlerine ilişkin daha belirgin dalgalanmalar kaydedilmiştir. Bu zaman ölçeğinde de kuraklık değerlerinin -2'ye kadar düştüğü ve "orta şiddetli kuraklık" dönemlerinin etkili olduğu görülmektedir. Şekil 4.75 SPEI18 grafiğinde ise uzun vadeli eğilimler ön plana çıkmış, -2'nin altında "şiddetli kuraklık" dönemleri olduğu gibi +2'ye yakın "yoğun nemlilik" dönemleri de kaydedilmiştir.



Şekil 4.76. Muş istasyonu SPEI12 sonuç grafiği  
(GLOG dağılımı)



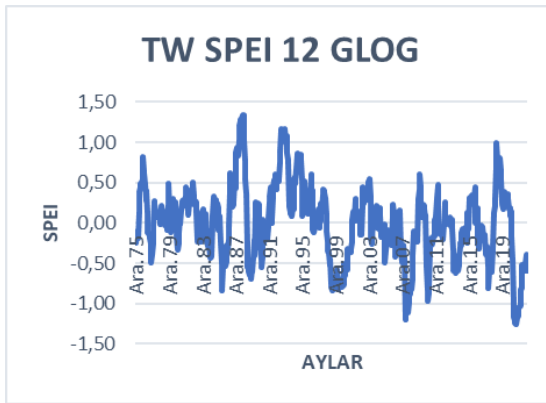
Şekil 4.77. Muş istasyonu SPEI18 sonuç grafiği  
(GEV dağılımı)



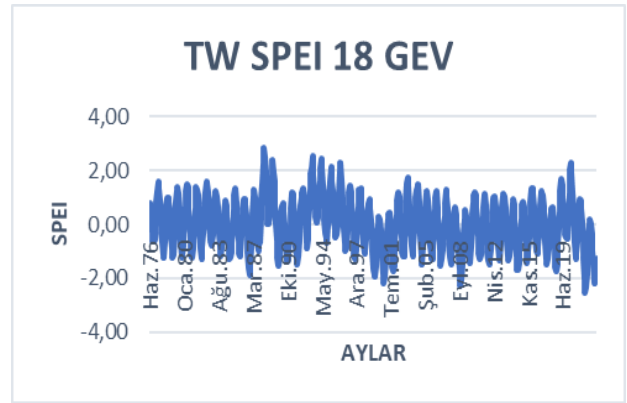
Şekil 4.78. Muş istasyonu SPEI124 sonuç grafiği  
(GEV dağılımı)

Muş istasyonu için yapılan, SPEI18 ve SPEI24 zaman serisinin GEV dağılımına, SPEI12 zaman serisinin GLOG dağılımlarına uygunluk göstermektedir. Ancak, SPEI9 zaman serisine uygun bir dağılım bulunamamıştır.

Şekil 4.76 SPEI12 zaman serisi grafiğinde kuraklık ve nemlilik değerlerinin genellikle -1 ile +1 arasında değiştiği görülmektedir. Bu durum, kısa vadeli kuraklıkların sık sık yaşandığını ancak şiddetli kuraklık durumlarının nadiren meydana geldiğini göstermektedir. Şekil 4.77 SPEI18 zaman serisinde, SPEI değerleri geniş bir dalgalanma aralığına sahiptir ve -2 ile +2 arasında değişim göstermektedir. Bu da orta vadeli su dengesinde belirgin değişimlere işaret etmektedir. Şekil 4.78 SPEI24 zaman serisinde analiz ise -2'nin altında değerlere sıkça rastlanmasıyla şiddetli kuraklık dönemlerini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.79. Siirt istasyonu SPEI12 sonuç grafiği  
(GLOG dağılımı)



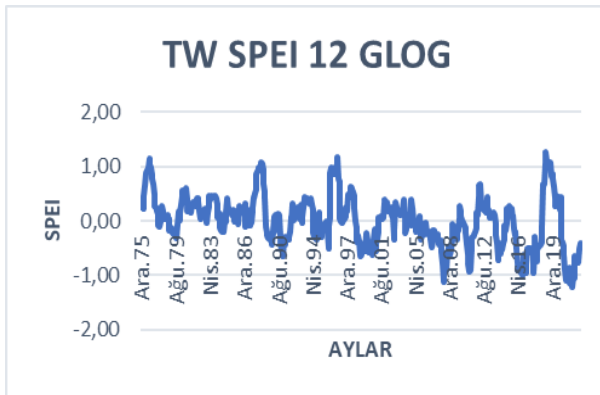
Şekil 4.80. Siirt istasyonu SPEI18 sonuç grafiği  
(GEV dağılımı)



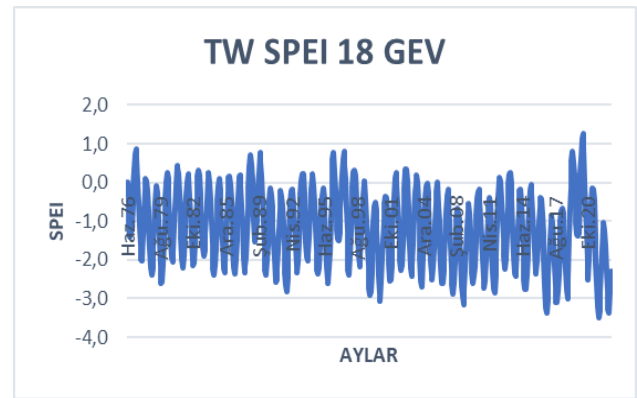
Şekil 4.81. Siirt istasyonu SPEI24 sonuç grafiği  
(GLOG dağılımı)

Siirt istasyonu için yapılan, SPEI12 ve SPEI24 zaman serisinin GLOG dağılımına, SPEI18 zaman serisinin GEV dağılımlarına uygunluk göstermektedir. Ancak, SPEI9 zaman serisine uygun bir dağılım bulunamamıştır.

Şekil 4.79 SPEI12 zaman serisi grafiğinde hafif kuraklık ile nemlilik arasında dalgalanmalar gözlemlenmiştir. SPEI değerleri genellikle -1 ile +1 arasında seyrederek orta düzey kuraklık ve nemlilik durumlarına işaret etmektedir. Şekil 4.80 SPEI18 zaman serisinde ise kuraklık ve nemlilik döngülerinde benzer bir durum gözlenmiş, ancak dönemsel olarak daha belirgin kuraklık (-2'ye kadar) ve nemlilik (+2'ye kadar) durumları öne çıkmıştır. Şekil 4.81 SPEI24 zaman serisinde ise uzun dönemli kuraklık eğilimleri güçlenerek özellikle -1'in altında kalan değerler dikkat çekmiştir.



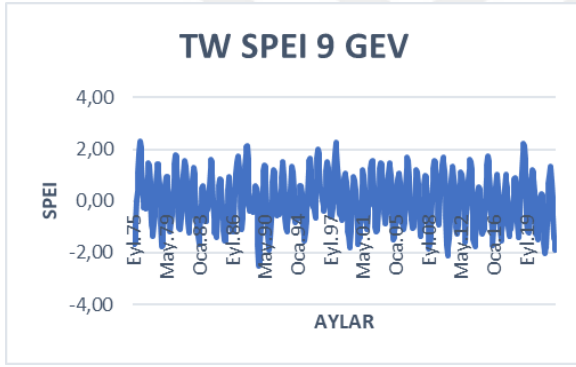
Şekil 4.82. Şanlıurfa istasyonu SPEI12 sonuç grafiği  
(GLOG dağılımı)



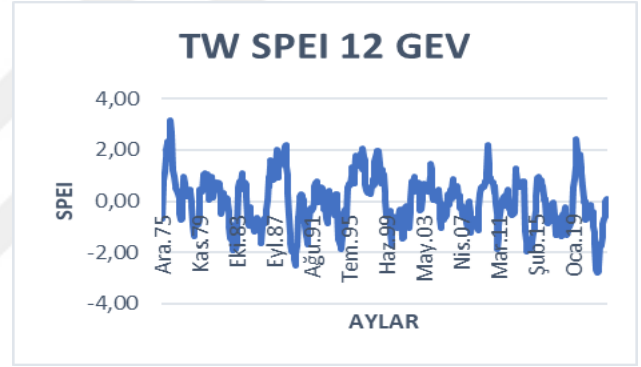
Şekil 4.83. Şanlıurfa istasyonu SPEI18 sonuç grafiği  
(GEV dağılımı)

Şanlıurfa istasyonunda yapılan dağılım sonuçlarında sadece SPEI12 ve SPEI18 zaman serisinde GLOG ve GEV dağılımı bulunmuştur. Diğer zaman serilerinde uygun dağılım bulunamamıştır.

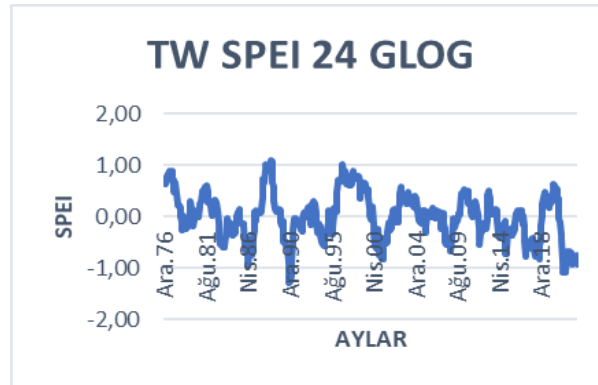
Şekil 4.82 SPEI12 zaman serileri genel olarak -1 ile +1 arasında değişmekte, bu da hafif kuraklık ve hafif nemlilik koşullarının hâkim olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, zaman zaman değerlerin -2 seviyesine indiği görülmüş, bu da orta şiddetli kuraklık dönemlerini işaret etmektedir. Şekil 4.83 SPEI18 zaman serileri ise daha geniş bir aralık göstermekte olup, hem kuraklık hem de nemlilik döngülerinin daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Özellikle -2'nin altına inen değerler, orta şiddetli veya şiddetli kuraklık durumlarına işaret ederken, +1'in üzerindeki değerler nemlilik eğilimlerini vurgulamaktadır.



Şekil 4.84. Tunceli istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



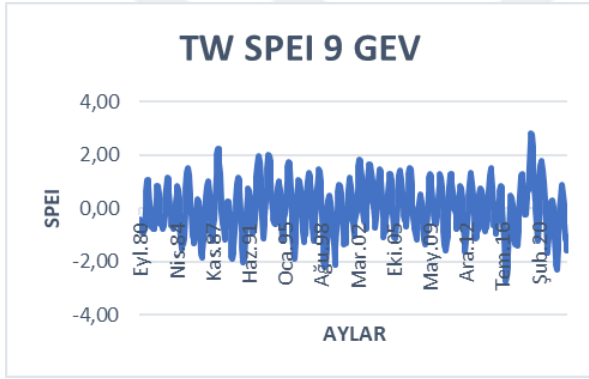
Şekil 4.85. Tunceli istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



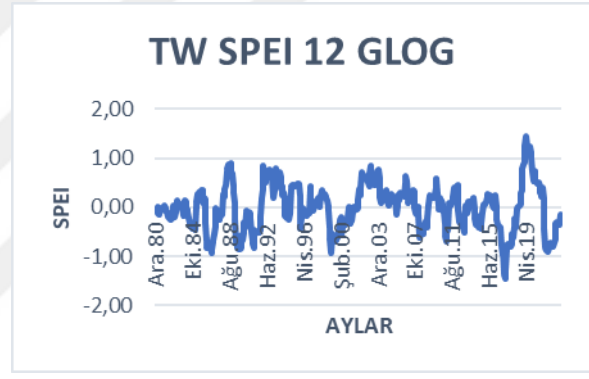
Şekil 4.86. Tunceli istasyonu SPEI24 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)

Tunceli istasyonu için yapılan, SPEI9 ve SPEI12 zaman serisinin GEV dağılımına, SPEI24 zaman serisinin GLOG dağılımlarına uygunluk göstermektedir. Ancak, SPEI18 zaman serisine uygun bir dağılım bulunamamıştır.

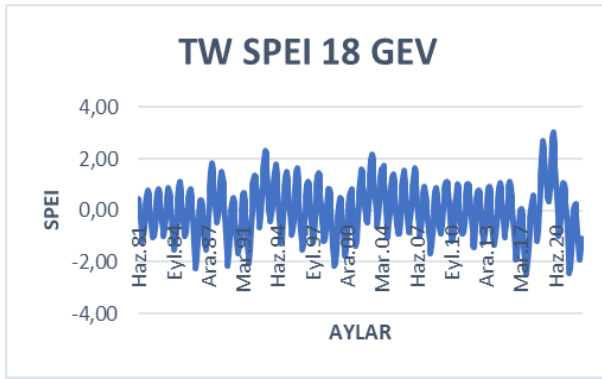
Tunceli istasyonunun SPEI kuraklık analiz grafikleri incelendiğinde, Şekil 4.84 SPEI12 zaman serilerinde -2 ile +2 arasında dalgalanmalar gözlemlenmektedir. Bu durum, genellikle hafif kuraklık ile hafif nemlilik arasında değişen bir iklim profiline işaret etmektedir. Şekil 4.85 SPEI18 ve Şekil 4.86 SPEI24 zaman serileri de benzer bir dalgalanma aralığı göstermekte olup, uzun vadede aşırı kuraklık sınıfına ( $SPEI \leq -2$ ) giren dönemler nadiren görülmüştür.



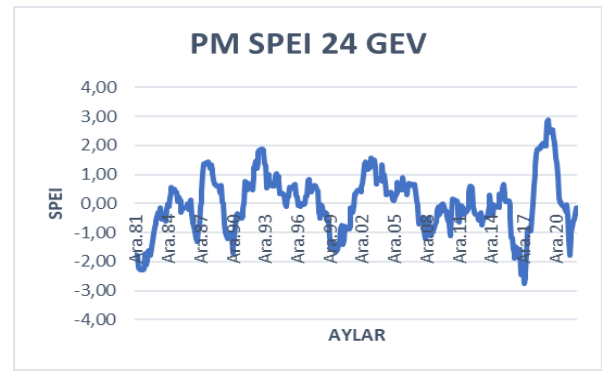
Şekil 4.87. Şırnak istasyonu SPEI9 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



Şekil 4.88. Şırnak istasyonu SPEI12 sonuç grafiği (GLOG dağılımı)



Şekil 4.89. Şırnak istasyonu SPEI18 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



Şekil 4.90. Şırnak istasyonu SPEI24 sonuç grafiği (GEV dağılımı)



Şırnak istasyonunun da SPEI9, SPEI18 ve SPEI24 zaman serilerinde GEV dağılımı uygun dağılım olarak bulunmuştur. SPEI12 zaman serisinde GLOG dağılımı uygun dağılım olarak bulunmuştur. Şekil 4.87 SPEI9 zaman serisi grafiğinde, kısa vadeli kuraklık ve nemlilik durumlarını yansıtmaktadır. Grafikte görüldüğü gibi, SPEI değerleri genellikle -2.0 ile +2.0 arasında dalgalanmaktadır. Bu durum, hafif (-1.0 ile -1.5) ve orta şiddetli kuraklık (-1.5 ile -2.0) dönemlerinin sıkça yaşandığını göstermektedir. Özellikle bazı zaman aralıklarında -2.0 değerinin altına düşerek şiddetli kuraklık seviyelerine ulaştığı gözlenmiştir. Bu dönemler, kısa vadeli su dengesinin bozulduğu ve kuraklık etkilerinin belirginleştiği zamanları göstermektedir. Öte yandan, pozitif değerlerin 1.0 ve üzerinde yoğunlaştığı dönemlerde ise nemlilik artışı görülmüştür. Şekil 4.88 SPEI12 zaman serileri incelendiğinde, -2 ile +2 arasında dalgalanan değerler, bölgede orta dereceli nemlilik ve kuraklık dönemlerinin sıkça yaşandığını göstermektedir. Şekil 4.89 SPEI18 zaman serilerinde kuraklık şiddeti belirli dönemlerde artış göstermekte ve bu serilerde kuraklık değerleri (-1'nin altına düşen) gözlenmektedir. Şekil 4.90 SPEI24 zaman serileri, uzun vadeli nemlilik ve kuraklık döngülerini ortaya koymaktadır; bu dönemde şiddetli kuraklıklar (-2'nin altında) ve orta dereceli nemlilik dönemleri dikkat çekmektedir.

#### **4.5. En Uygun Dağılım Analizi, Penman-Monteith ve Thornthwaite Yöntemine Göre Hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI)**

Penman-Monteith yöntemine göre Diyarbakır, Kilis ve Malatya istasyonlarında uygun bir dağılım bulunamazken, Thornthwaite yöntemine göre Diyarbakır istasyonunda SPEI12 zaman serisinde WEIBUL dağılımı, Kilis ve Malatya istasyonlarında ise SPEI12 zaman serisinde GLOG dağılımı uygun dağılım olarak belirlenmiştir. Erzincan istasyonu için ise her iki yöntemde de uygun bir dağılım tespit edilememiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fırat-Dicle havasında Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisine göre kuraklık analizi, geleneksel olarak kabul edilmiş teorik olasılık dağılım (Genelleştirilmiş Log-Logistik Dağılımı) ve ilgili zaman periyodları için (3-, 6-, 9-, 12- ve 24-ay) yağış ve evapotranspirasyon farkı ile oluşturulmuş kümülatif fark değerleri serilerine (D) en iyi uyumu sağlayan teorik olasılık dağılıma göre yapılmıştır. Evapotranspirasyonun hesaplanmasında iki farklı yöntem (Penman-Monteith ve Thornthwaite) kullanılmıştır. Fark değerleri serilerine en uygun teorik olasılık dağılım modelleri belirlenirken, teorik olasılık dağılımların parametrelerinin tahmininde momentler, maksimum olasılık ve L-momentler yaklaşımları kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- SPEI analizi sonuçlarına göre, farklı istasyonlarda ve zaman ölçeklerinde en uygun dağılımlar değişiklik göstermiştir. Genel olarak, GEV ve GLOG dağılımlarının birçok istasyonda ve zaman ölçeğinde en iyi uyumu sağladığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, bazı durumlarda Weibull ve GLOG dağılımlarının bazı verilere daha iyi uyum sağladığı gözlenmiştir.
- Adıyaman, Ağrı, Bingöl, Bitlis, Hakkari ve Şırnak gibi istasyonlarda zaman ölçeklerine bağlı olarak GEV ve GLOG dağılımları arasında geçişler görülmüş, bu durum analizlerde tek bir dağılıma bağlı kalmanın yetersiz olabileceğini göstermiştir. Özellikle Diyarbakır, Kilis, Malatya ve Erzincan istasyonlarında bazı zaman ölçeklerinde uygun bir dağılım bulunamaması dikkat çekmiştir. Diyarbakır, Kilis ve Malatya istasyonlarında Penman-Monteith yöntemi ile uygun dağılım tespit edilemezken, Thornthwaite yöntemine göre Diyarbakır istasyonunda SPEI12 zaman serisinde Weibull dağılımı, Kilis ve Malatya istasyonlarında ise GLOG dağılımı en uygun dağılım olarak belirlenmiştir. Erzincan istasyonu için ise her iki yöntemde de uygun bir dağılım bulunamamıştır. Bu sonuçlar, SPEI analizlerinde dağılım seçiminin zaman ölçeğine ve yöntemle ilgili olarak farklılık gösterebileceğini ve bu seçimlerin titizlikle yapılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Bu sonuçlara dayanarak, analizlerin doğruluğunu artırmak ve daha tutarlı sonuçlar elde etmek için bazı önerilerde bulunulabilir. Öncelikle elde edilen sonuçların güvenilirliğini artırmak amacıyla amaca uygun olarak seçilen verileri kalitesinin (veri uzunluğu, veri eksikliğinin olmaması ve veri

gözlemlerindeki homojenlik) sağlanması gerekmektedir. İkinci olarak, zaman ölçeklerine göre dağılım seçiminde farklı dağılımlar sistematik olarak test edilmelidir. Son olarak, SPEI analiz sonuçlarının su yönetimi ve iklim planlaması gibi alanlarda daha etkili bir şekilde kullanılabilmesi için bu sonuçlar detaylı grafikler ve modellerle desteklenmeli ve ilgili kurumlarla paylaşılmalıdır. Bu şekilde, kuraklık risklerinin daha iyi yönetilmesi ve bölgesel su kaynaklarının sürdürülebilirliği sağlanabilir.



## 6. KAYNAKLAR

- Agnew, C., 1990. Spatial aspects of drought in the Sahel. *Journal of Arid Environments*, 18(3), 279–293.
- Agnew, C. ve Warren, A., 1996. A framework for tackling drought and land degradation. *Journal of Arid Environments*, 33(3), 309–320.
- Akçay, E. ve Demir, Y., 2021. Sustainable water management in transboundary river basins: The case of the Euphrates and Tigris. *Environmental Sustainability*, 13(1), 67–79.
- Anonim., (2015). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI): User guide. <https://spei.csic.es> (Erişim Tarihi: 11.10.2024).
- Arslan, M., 2020. Ege Bölgesi'nde Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ile kuraklık analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 57(3), 125–135.
- Bacanlı, U. G. ve Kargı, P. G., 2019. Drought analysis in long and short term periods: Bursa example. *Journal of Natural Disasters and Environment*, 5(1), 166–174. <https://doi.org/10.21324/dacd.429391>
- Bera, B., Shit, P. K., Sengupta, N., Saha, S. ve Bhattacharjee, S., 2021. Trends and variability of drought in the extended part of Chhota Nagpur plateau (Singbhum Protocontinent), India applying SPI and SPEI indices. *Environmental Challenges*, 5, 100310. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100310>
- Caloiero, T., 2018. SPI trend analysis of New Zealand applying the ITA technique. *Geosciences*, 8(3), 101. <https://doi.org/10.3390/geosciences8030101>
- Çamalan, G., Akgündüz, A. S., Ayvaci, H., Çetin, S., Arabacı, H. ve Coşkun, M., 2017. SPEI İndisine göre Türkiye geneli kuraklık değişim ve eğilim projeksiyonları. IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi Bildirileri, İstanbul.
- Demir, Ö., Şen, Z. ve Yıldırım, M., 2020. Hydrological analysis of the Euphrates-Tigris Basin under climate change scenarios. *Water Resources Management*, 34(3), 891–905.
- Dracup, J. A., Lee, K. S. ve Paulson, E. G., 1980. On the definition of droughts. *Water Resources Research*, 16(2), 297–302.
- Hao, Z., Singh, V. P. ve Xia, Y., 2019. Evaluation of the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) in characterizing hydroclimatic extremes over the contiguous United States. *Journal of Hydrology*, 575, 471–485. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.054>
- Jin, Y., Zhang, X. ve Guo, E., 2019. Analysis of drought trends in the Zoige wetland in China based on the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) and Mann-Kendall test. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(4), 226. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7388-8>
- Kadıoğlu, M., Özdemir, H. ve Akçay, E., 2018. Climate change impacts on water resources in the Euphrates-Tigris Basin. *Journal of Climate Research*, 12(2), 145–160.
- Kaya, Z., 2022. Türkiye'de kuraklığın Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ile analizi. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Tez Arşivi*.

- Kotz, S. ve Nadarajah, S., 2004. *Extreme value distributions: Theory and applications*. World Scientific Publishing.
- Kumar, V. ve Singh, P., 2019. Suitability of distributions for standard precipitation and evapotranspiration index in India. *Journal of Earth System Science*, 128(8), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12040-019-1214-2>
- Lana, X., Burgueno, A., Martinez, M. D. ve Serra, C., 2006. Statistical distributions and sampling strategies for the analysis of extreme dry spells in Catalonia (NE Spain). *Journal of Hydrology*, 324(1–4), 94–114.
- Lee, S., Moriasi, D. N., Danandeh Mehr, A. ve Mirchi, A., 2024. Sensitivity of Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI) to the choice of SPEI probability distribution and evapotranspiration method. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 53, 101761. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101761>
- Li, X., Wang, X., Liu, M. ve Zhang, J., 2017. Drought severity and trends in Xinjiang, China, during 1961–2013 based on meteorological data. *Theoretical and Applied Climatology*, 130(3–4), 1059–1072. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1940-y>
- Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Beguería, S., García-Ruiz, J. M., Cuadrat-Prats, J. M. ve Azorín-Molina, C., 2010. The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). *Journal of Hydrology*, 386(1–4), 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.001>
- Mann, H. B. ve Whitney, D. R., 1947. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics*, 18(1), 50–60. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491>
- McKee, T. B., Doesken, N. J. ve Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Preprints, 8th Conference on Applied Climatology*, 17–22 January, Anaheim, CA, 179–184.
- Erdoğan, M., 2020. *Fırat-Dicle havzasında farklı şiddetteki maksimum yağmurların L-momentler yaklaşımıyla bölgesel frekans analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Tokat.
- Nachar, N., 2008. The Mann Whitney U: A test for assessing whether two independent samples come from the same distribution. *Quantitative Methods in Psychology*, 4(1), 13–20. <https://doi.org/10.20982/tqmp.04.1.p013>
- Öney, M., 2020. *Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ile Gediz Havzasında bölgesel kuraklık analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Ankara.
- Öney, M. ve Anlı, S., 2020. Regional drought analysis in the Gediz Basin with Standard Rainfall Evapotranspiration Index (SPEI). *Ankara University, Institute of Science and Technology*.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı 2018. ON Birinci Kalkınma Planı(2019-2023), Su Kaynakları ve Yönetimi Güvenliği, Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 110 sayfa, Ankara.
- Öztürk, H., 2023. *Türkiye’de Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisine (SPEI) göre kuraklıkların zamansal değişimi (1951-2022)*.

- Palmer, W. C., 1965. *Meteorological drought* (Research Paper No. 45). United States Department of Commerce, Weather Bureau.
- Paulo, A. A., Rosa, R. D. ve Pereira, L. S., 2012. Climate trends and behaviour of drought indices based on precipitation and evapotranspiration in Portugal. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(5), 1481–1491. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-1481-2012>
- Potop, V. ve Mořn, M., 2011. The application of a new drought index—Standardized Precipitation Evapotranspiration Index in the Czech Republic. *Mikroklima a Mezoklima Krajinných Struktur a Antropogenních Prostředí*. Skalní Mlýn, 2–4 řubat 2011. ISBN 978-80-86690-87-2.
- Qaisrani, Z. N., Nuthammachot, N., ve Techato, K. (2021). Drought monitoring based on Standardized Precipitation Index and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index in the arid zone of Balochistan province, Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06320-7>
- Rao, A. R., ve Hamed, K. H. (2000). *Flood frequency analysis*. CRC Press LLC.
- Razali, N. M. ve Wah, Y. B., 2011. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21–33.
- Reis, M., Dutal, H., ve Bolat, N. (2016). An evaluation on IDI (Integrated Drought Index): The case of Kahramanmaraş Province. *1st International Mediterranean Science and Engineering Congress*, 4650–4655, Paper ID: 1338, Adana.
- Shapiro, S. S. ve Wilk, M. B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3–4), 591–611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- Serrano, S. M., Beguería, S. ve 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>
- Serrano, S. M. V., Beguería, S., Lacruz, J. L., Camarero, J. J., Moreno, J. I. L., Molina, C. A., Revuelto, J., Tejeda, E. M. ve Lorenzo, A. S., 2012. Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications. *Earth Interactions*, 16(10), 1–27. <https://doi.org/10.1175/2012EI000434.1>
- Somorowska, U., 2016. Changes in drought conditions in Poland over the past 60 years evaluated by the Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index. *Acta Geophysica*, 64(6), 2530–2549. <https://doi.org/10.1515/acgeo-2016-0119>
- Stagge, J. H., Tallaksen, L. M., Gudmundsson, L., Van Loon, A. F. ve Stahl, K., 2015. Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology*, 35(13), 4027–4040. <https://doi.org/10.1002/joc.4267>
- şen, Z. ve Yıldırım, G., 2019. The role of rainfall regimes in the Euphrates and Tigris basins. *Hydrological Sciences Journal*, 64(4), 456–471.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S. ve López-Moreno, J. I., 2010a. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718.

- Vishwakarma, A., Choudhary, M. K. ve Chaunah, M. S., 2020. Trend analysis of meteorological variables and drought indices in the Bundelkhand Region using the non-parametric approach. *Russian Meteorology and Hydrology*, 45(12), 870–875. <https://doi.org/10.3103/S1068373920120104>
- Wilhite, D. A., 2000. Drought as a natural hazard: Concept and definition. In D. A. Wilhite (Ed.), *Drought: A global assessment* (pp. 3–18). Routledge.
- Wilcoxon, F., 1945. Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics Bulletin*, 1(6), 80–83. <https://doi.org/10.2307/3001968>
- Yürekli, K. ve Ünlükara, A., 2013. Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ile Tokat İlinin Kuraklık Analizi. *III. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi Bildirileri*, 511–515.
- Yürekli, K., Ünlükara, A. ve Yıldırım, M. (2010). Farklı yaklaşımlarla Karaman ilinin kuraklık analizi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(1), 19-23.
- Yu, M., Li, Q., Hayes, M. J., Svoboda, M. D. ve 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. <https://doi.org/10.1002/joc.3701>
- Zang, Y., Li, W., Chen, Q., Pu, X. ve Xiang, L., 2017. Multi-models for SPI drought forecasting in the north of Haihe River Basin, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31(9), 2471–2481.