

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**STANDARTLAŞTIRILMIŞ YAĞIŞ
EVAPOTRANSPIRASYON İNDEKSİNİN (SPEI) FARKLI
EVAPOTRANSPIRASYON METOTLARIYLA
HESAPLANMASI VE TÜRKİYE ÖLÇEĞİNDE SPI İLE
KARŞILAŞTIRMALI KURAKLIK ANALİZİ**

**Hazırlayan
Fatih SEKENDUR**

**Danışman
Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA**

Doktora Tezi

**Temmuz 2022
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**STANDARTLAŞTIRILMIŞ YAĞIŞ
EVAPOTRANSPIRASYON İNDEKSİNİN (SPEI) FARKLI
EVAPOTRANSPIRASYON METOTLARIYLA
HESAPLANMASI VE TÜRKİYE ÖLÇEĞİNDE SPI İLE
KARŞILAŞTIRMALI KURAKLIK ANALİZİ
(Doktora Tezi)**

**Hazırlayan
Fatih SEKENDUR**

**Danışman
Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA**

**Temmuz 2022
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Fatih Sekendur

İmza

“Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksinin (SPEI) Farklı Evapotranspirasyon Metotlarıyla Hesaplanması ve Türkiye Ölçeğinde SPI ile Karşılaştırmalı Kuraklık Analizi” adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Fatih SEKENDUR

İmza

Danışman

Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA

İmza

Biyosistem Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Zeki GÖKALP

İmza

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitime başladığım günden bu yana, bütün akademik çalışmalarında ve bu tez çalışmasının her aşamasında bilgisini, tecrübesini ve katkılarını esirgemeyen, kuraklık analizi üzerine araştırma yapmaya yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA'ya teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Tez çalışmasının planlı bir şekilde yürütülmesinde, incelenmesinde ve tamamlanmasında vakit ayırıp bilgisiyle ve tecrübesiyle bana yardımcı olan Tez İzleme Komitesi üyesi saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Filiz DADAŞER ÇELİK ve Prof. Dr. Sinan GERÇEK'e teşekkür ederim.

Kıymetli vakitlerini ayırarak, tez çalışmasını titiz bir şekilde inceleyen ve gerekli düzeltmeleri yapmamı sağlayan tez savunma jüri üyeleri saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Mahmut ÇETİN ve Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ'ye teşekkür ederim.

Kuraklık indekslerinin hesaplanması sırasında bütün bilgi ve birikimini hiç esirgmeden benimle paylaşan kıymetli ağabeyim Ziraat Yük. Mühendisi Muhammed Cem AKÇAPINAR'a ve mekansal analiz haritalarının hazırlanmasında bana yardımcı olan değerli kardeşim Meteoroloji Mühendisi Muhammed ALBAYRAK'a teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitimimin her aşamasında birçok fedakarlıklar gösteren ve manevi desteğinden güç aldığım motivasyon kaynağım gözümün nuru eşim Zeynep Büşra'ya ve yoğun tez çalışması sürecinde yeterince ilgilenemediğim canımın içi oğullarım Mustafa Bera'ya ve Kaan Derda'ya çok teşekkür ederim. İyi ki varsınız.

Dualarını hiç eksik etmeyen gül yüzlerinde güller açılan canım anneciğime ve babacığıma iki cihanda da aziz olmaları temennisiyle en kalbi hürmetlerimi sunuyorum.

Fatih SEKENDUR

Temmuz 2022, KAYSERİ

**STANDARTLAŞTIRILMIŞ YAĞIŞ EVAPOTRANSPIRASYON İNDEKSİNİN
(SPEI) FARKLI EVAPOTRANSPIRASYON METOTLARIYLA
HESAPLANMASI VE TÜRKİYE ÖLÇEĞİNDE SPI İLE KARŞILAŞTIRMALI
KURAKLIK ANALİZİ**

Fatih SEKENDUR

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi, Temmuz 2022
Danışman: Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA**

ÖZET

Bu tez çalışmasında; Türkiye'nin 81 il merkezi meteoroloji istasyonuna ait 1980-2019 yılları arası meteorolojik gözlem verileri kullanılarak; Standartlaştırılmış Yağış İndeksine (SPI), FAO-56 Penman-Monteith ve Hargreaves referans evapotranspirasyon metotlarıyla hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksine ($SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$) göre 1, 6 ve 12 ay zaman ölçeğinde Modifiye Mann-Kendall testine göre kuraklık eğilimi ve Sen'in eğim metoduna göre eğim büyüklüğü analizleri hem zamansal hem de mekansal olarak yapılmıştır. 1, 6, ve 12 ay zaman ölçeğinde; SPI indeksi eğilim analizlerine göre özellikle Karadeniz Bölgesi, Doğu Anadolu'nun kuzey kesimleri, Marmara ve Ege Bölgesinde zaman ölçeği arttıkça kuraklığın anlamlı azalan yönde eğilim tavrı gösterdiği alanlar artmıştır. Bu duruma göre bu alanlarda nemli periyotların kurak periyotlardan daha fazla olduğu anlaşılmıştır. SPI'ya göre diğer bölgelerde ise kuraklığın anlamlı artan yönde eğilim tavrı gösterdiği alanlar bulunmuştur. $SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$ indeksi eğilim analizlerine göre Ege bölgesi kıyı illeri, Orta Karadeniz ve Batı Marmara Bölgesinde kuraklığın azalan yönde eğilim gösterdiği alanlar bulunmuştur. $SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$ indeksine göre İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinin çoğunluğunda kuraklık anlamlı artan yönde bir eğilim göstermiştir. 1 ay zaman ölçeği ile kıyaslandığında 6 ve 12 ay zaman ölçeğinde, $SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$ 'de artan yönde kuraklık eğilimlerinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak en fazla kurak periyot $SPEI_{HG}$ zaman serilerinde ikinci olarak da $SPEI_{PM}$ zaman serilerinde bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık, SPI, SPEI, FAO-56 Penman-Monteith, Hargreaves

**CALCULATION OF STANDARDIZED PRECIPITATION
EVAPOTRANSPIRATION INDEX (SPEI) BY DIFFERENT
EVAPOTRANSPIRATION METHODS AND NATION-WIDE (TÜRKİYE)
COMPARATIVE DROUGHT ANALYSIS WITH SPI**

Fatih SEKENDUR

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

PhD Thesis, July 2022

Supervisor: Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA

ABSTRACT

In this thesis study, meteorological observation data, covering the period 1980-2019, supplied from 81 provincial meteorological stations of Türkiye, were used as the primary materials. Standardized Precipitation Index (SPI) and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index values were calculated with the aid of FAO-56 Penman-Monteith and Hargreaves reference evapotranspiration methods ($SPEI_{PM}$ and $SPEI_{HG}$) for 1, 6 and 12-month. Then, temporal, and spatial trend analyses were conducted by Modified Mann-Kendall method and drought slope magnitude analyses by Sen's Slope Estimator. On a 1, 6 and 12-month time scale; according to the SPI index trend analysis, as the time scale increased especially in the Black Sea Region, the northern parts of Eastern Anatolia, the Marmara and Aegean Regions, the areas where the drought showed a significant downward trend increased. Such findings revealed that the humid periods were more prevailing than the dry periods in these areas. According to SPI, a significant upward trend of drought was seen in the other regions. According to the trend analysis of $SPEI_{PM}$ and $SPEI_{HG}$ index, downward trend of drought was encountered in the coastal provinces of the Aegean region, the Central Black Sea, and the West Marmara Region. According to the $SPEI_{PM}$ and $SPEI_{HG}$ index, a significant upward trend of drought was observed in the majority of Central Anatolia, Eastern Anatolia, and Southeastern Anatolia Regions. As compared to the 1-month time scale, in terms of $SPEI_{PM}$ and $SPEI_{HG}$, upward drought trends were more prevailing on the 6 and 12-month time scales. Consequently, the driest period was found in $SPEI_{HG}$ time series and secondly in $SPEI_{PM}$ time series.

Keywords: Drought, SPI, SPEI, FAO-56 Penman-Monteith, Hargreaves

İÇİNDEKİLER

STANDARTLAŞTIRILMIŞ YAĞIŞ EVAPOTRANSPIRASYON İNDEKSİNİN (SPEİ) FARKLI EVAPOTRANSPIRASYON METOTLARIYLA HESAPLANMASI VE TÜRKİYE ÖLÇEĞİNDE SPI İLE KARŞILAŞTIRMALI KURAKLIK ANALİZİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvi
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Literatür Özetleri.....	9
1.2. Problem Durumu	14
1.3. Araştırmanın Amacı	14
1.4. Araştırmanın Önemi.....	15

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal.....	16
2.1.1. Çalışma Alanı ve Veri Aralığı	16
2.1.2. İllerin Meteoroloji İstasyon Bilgileri	16

2.1.3. İllerin Uzun Yıllar Ortalama İklim Verileri	20
2.2. Yöntem	22
2.2.1. Tez Çalışmasının Yöntemine Dair Genel Bilgiler	22
2.2.2. Homojenlik Analizi.....	23
2.2.3. Homojenlik Test Yöntemleri	23
2.2.3.1. Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT).....	24
2.2.3.2 Buishand Range Testi	25
2.2.3.3. Pettitt Testi.....	26
2.2.3.4. Von Neumann Testi.....	26
2.2.4. Meteorolojik Zaman Serileri Homojenlik Testlerinin Sınıflandırılması ..	27
2.2.5. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI).....	28
2.2.6. Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI)	29
2.2.7. Referans Evapotranspirasyon Metotları.....	32
2.2.7.1. FAO-56 Penman-Monteith Yöntemi	34
2.2.7.2. Hargreaves Metodu	34
2.2.8. Zamansal Analiz	35
2.2.8.1. Mann-Kendall Eğilim Testi	35
2.2.8.2. Modifiye Mann-Kendall Eğilim Testi.....	36
2.2.8.3. Sen'in Eğim Metodu (Sen's Slope Estimator)	38
2.2.9. Mekansal Analiz	39
2.2.9.1. Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpoasyon Yöntemi (IDW)	41

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Homojenlik Testi Sonuçları.....	42
3.2. Yıllık Ortalama Yağış, Referans Evapotranspirasyon ve İklimsel Su Dengesi Değerleri.....	48
3.3. Zamansal Analiz Sonuçları	52

3.3.1. SPI ve SPEI İndekslerine Göre Kuraklık Eğilimi ve Sen'in Eğim Analizi	52
3.3.1.1. Akdeniz Bölgesi Analiz Sonuçları.....	53
3.3.1.2. Doğu Anadolu Bölgesi Analiz Sonuçları	57
3.3.1.3. Ege Bölgesi Analiz Sonuçları.....	61
3.3.1.4. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Analiz Sonuçları.....	64
3.3.1.5. İç Anadolu Bölgesi Analiz Sonuçları	67
3.3.1.6. Karadeniz Bölgesi Analiz Sonuçları	71
3.3.1.7. Marmara Bölgesi Analiz Sonuçları.....	75
3.4. Mekansal Analiz Sonuçları	78
3.4.1. Yağış, Referans Evapotranspirasyon ve İklimsel Su Dengesi Değişkenlerinin Alansal Dağılımları.....	78
3.4.2. SPI ve SPEI İndekslerine Göre Kuraklık Eğilim ve Sen'in Eğim Değerlerinin Konumsal Analizi	86
3.4.2.1. 1 Ay Zaman Ölçeğinde Kuraklık Eğilim ve Sen'in Eğim Değerlerinin Konumsal Analiz Sonuçları.....	87
3.4.2.2. 6 Ay Zaman Ölçeğinde Kuraklık Eğilim ve Sen'in Eğim Değerlerinin Konumsal Analiz Sonuçları.....	92
3.4.2.3. 12 Ay Zaman Ölçeğinde Kuraklık Eğilim ve Sen'in Eğim Değerlerinin Konumsal Analiz Sonuçları	97

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç	108
4.2. Öneriler	109
KAYNAKÇA	111
ÖZGEÇMİŞ.....	126

KISALTMALAR VE SİMGELER

ASCE	: Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CI	: Bileşik Meteorolojik Kuraklık İndisi
C_H	: Hargreaves katsayısı
D_i	: İklimsel su dengesi
ET	: Evapotranspirasyon
ET_0	: Referans evapotranspirasyon
e_a	: Gerçek buhar basıncı
e_s	: Doygun buhar basıncı
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
G	: Toprak ısı akış yoğunluğu
HİDS	: Havza İzleme ve Değerlendirme Sistemi
ICID	: Uluslararası Sulama ve Drenaj Komisyonu
IDW	: Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi
MPDSI	: Modifiye Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
NOAA	: Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi
P	: Yağış miktarı
PDSI	: Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi
PNI	: Normalin Yüzdesi İndeksi
P_{ort}	: Ortalama yağış miktarı
RDI	: Keşif Kuraklık İndeksi
R_0	: Ekstraterrestrial (atmosfer dış yüzeyinden gelen) solar radyasyon
Rh_{mak}	: Maksimum nispi nem
Rh_{min}	: Minimum nispi nem
R_n	: Bitki yüzeyindeki net radyasyon
SNHT	: Standart Normal Homojenlik Testi
SPI	: Standartlaştırılmış Yağış İndeksi
SPEI	: Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi
SSI	: Tarımsal Kuraklık-Standart Toprak Nemi İndeksi

T	: Sıcaklık
TÇM	: Türkiye Çölleşme Modeli
T_{ort}	: Ortalama sıcaklık
T_{mak}	: Maksimum sıcaklık
T_{min}	: Minimum sıcaklık
U_2	: 2 metre yüksekliğinde rüzgar hızı
WMO	: Dünya Meteoroloji Teşkilatı
Ygs	: Yağışlı gün sayısı
$^{\circ}C$	: Santigrat Derece
mm	: milimetre
Δ	: Buhar basıncı eğrisinin eğimi
Γ	: Psikrometrik sabit

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Akdeniz Bölgesi illerinin meteoroloji istasyon bilgileri.....	17
Tablo 2.2. Doğu Anadolu Bölgesi illerinin meteoroloji istasyon bilgileri.....	17
Tablo 2.3. Ege Bölgesi illerinin meteoroloji istasyon bilgileri	17
Tablo 2.4. Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin meteoroloji istasyon bilgileri.....	17
Tablo 2.5. İç Anadolu Bölgesi illerinin meteoroloji istasyon bilgileri	18
Tablo 2.6. Karadeniz Bölgesi illerinin meteoroloji istasyon bilgileri.....	18
Tablo 2.7. Marmara Bölgesi illerinin meteoroloji istasyon bilgileri.....	19
Tablo 2.8. Akdeniz Bölgesi uzun yıllar ortalama iklim verileri	20
Tablo 2.9. Doğu Anadolu Bölgesi uzun yıllar ortalama iklim verileri	20
Tablo 2.10. Ege Bölgesi uzun yıllar ortalama iklim verileri.....	20
Tablo 2.11. Güneydoğu Anadolu Bölgesi uzun yıllar ortalama iklim verileri.....	21
Tablo 2.12. İç Anadolu Bölgesi uzun yıllar ortalama iklim verileri	21
Tablo 2.13. Karadeniz Bölgesi uzun yıllar ortalama iklim verileri.....	21
Tablo 2.14. Marmara Bölgesi uzun yıllar ortalama iklim verileri	22
Tablo 2.15. SNHT kritik T_0 test değerleri.....	25
Tablo 2.16. Buishand Range kritik R test değerleri	26
Tablo 2.17. Pettitt kritik X_E test değerleri.....	26
Tablo 2.18. Von Neumann kritik N test değerleri.....	27
Tablo 2.19. Meteoroloji zaman serilerinin homojenlik test sınıflandırması	27
Tablo 2.20. SPEI ve SPI indeksi kuraklık şiddeti sınıflandırması	32
Tablo 3.1. Akdeniz Bölgesi yıllık toplam yağışlara dair istatistik bilgiler	42
Tablo 3.2. Akdeniz Bölgesi homojenlik test sonuçları	43
Tablo 3.3. Doğu Anadolu Bölgesi yıllık toplam yağışlara dair istatistik bilgiler	43
Tablo 3.4. Doğu Anadolu Bölgesi homojenlik test sonuçları	43
Tablo 3.5. Ege Bölgesi yıllık toplam yağışlara dair istatistik bilgiler.....	44
Tablo 3.6. Ege Bölgesi homojenlik test sonuçları.....	44
Tablo 3.7. Güneydoğu Anadolu Bölgesi yıllık toplam yağışlara dair istatistik bilgiler	44
Tablo 3.8. Güneydoğu Anadolu Bölgesi homojenlik test sonuçları	45
Tablo 3.9. İç Anadolu Bölgesi yıllık toplam yağışlara dair istatistik bilgiler	45

Tablo 3.10. İç Anadolu Bölgesi homojenlik test sonuçları	45
Tablo 3.11. Karadeniz Bölgesi yıllık toplam yağışlara dair istatistik bilgiler	46
Tablo 3.12. Karadeniz Bölgesi homojenlik test sonuçları	46
Tablo 3.13. Marmara Bölgesi yıllık toplam yağışlara dair istatistik bilgiler	47
Tablo 3.14. Marmara Bölgesi homojenlik test sonuçları	47
Tablo 3.15. Akdeniz Bölgesi uzun yıllar ortalama yağış, referans evapotranspirasyon ve iklimsel su dengesi değerleri	49
Tablo 3.16. Doğu Anadolu Bölgesi uzun yıllar ortalama yağış, referans evapotranspirasyon ve iklimsel su dengesi değerleri.....	50
Tablo 3.17. Ege Bölgesi uzun yıllar ortalama yağış, referans evapotranspirasyon ve iklimsel su dengesi değerleri.....	50
Tablo 3.18. Güneydoğu Anadolu Bölgesi uzun yıllar ortalama yağış, referans evapotranspirasyon ve iklimsel su dengesi değerleri.....	51
Tablo 3.19. İç Anadolu Bölgesi uzun yıllar ortalama yağış, referans evapotranspirasyon ve iklimsel su dengesi değerleri.....	51
Tablo 3.20. Karadeniz Bölgesi uzun yıllar ortalama yağış, referans evapotranspirasyon ve iklimsel su dengesi değerleri.....	51
Tablo 3.21. Marmara Bölgesi uzun yıllar ortalama yağış, referans evapotranspirasyon ve iklimsel su dengesi değerleri.....	52
Tablo 3.22. Akdeniz Bölgesinin 1 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları.....	53
Tablo 3.23. Akdeniz Bölgesinin 6 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları.....	54
Tablo 3.24. Akdeniz Bölgesinin 12 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları.....	55
Tablo 3.25. Doğu Anadolu Bölgesinin 1 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları.....	57
Tablo 3.26. Doğu Anadolu Bölgesinin 6 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları.....	58
Tablo 3.27. Doğu Anadolu Bölgesinin 12 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları	59
Tablo 3.28. Ege Bölgesinin 1 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları	61

Tablo 3.29. Ege Bölgesinin 6 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğitim analiz sonuçları	61
Tablo 3.30. Ege Bölgesinin 12 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğitim analiz sonuçları.....	62
Tablo 3.31. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin 1 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğitim analiz sonuçları	64
Tablo 3.32. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin 6 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğitim analiz sonuçları	64
Tablo 3.33. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin 12 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğitim analiz sonuçları	65
Tablo 3.34. İç Anadolu Bölgesi 1 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğitim analiz sonuçları.....	67
Tablo 3.35. İç Anadolu Bölgesinin 6 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğitim analiz sonuçları.....	68
Tablo 3.36. İç Anadolu Bölgesinin 12 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğitim analiz sonuçları.....	68
Tablo 3.37. Karadeniz Bölgesinin 1 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğitim analiz sonuçları.....	71
Tablo 3.38. Karadeniz Bölgesinin 6 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğitim analiz sonuçları.....	72
Tablo 3.39. Karadeniz Bölgesinin 12 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğitim analiz sonuçları.....	73
Tablo 3.40. Marmara Bölgesinin 1 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğitim analiz sonuçları.....	75
Tablo 3.41. Marmara Bölgesinin 6 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğitim analiz sonuçları.....	75
Tablo 3.42. Marmara Bölgesinin 12 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğitim analiz sonuçları.....	76

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Meteoroloji istasyonlarının coğrafi konumları ve numaraları	19
Şekil 3.1. Antalya ilinin SPI ve SPEI zaman serisi grafiği	56
Şekil 3.2. Erzurum ilinin SPI ve SPEI zaman serisi grafiği.....	60
Şekil 3.3. Manisa ilinin SPI ve SPEI zaman serisi grafiği	63
Şekil 3.4. Gaziantep ilinin SPI ve SPEI zaman serisi grafiği.....	66
Şekil 3.5. Kayseri ilinin SPI ve SPEI zaman serisi grafiği	70
Şekil 3.6. Samsun ilinin SPI ve SPEI zaman serisi grafiği	74
Şekil 3.7. Bursa ilinin SPI ve SPEI zaman serisi grafiği	77
Şekil 3.8. Türkiye yıllık ortalama yağış alansal dağılım haritası	81
Şekil 3.9. Türkiye yıllık ortalama FAO-56 PM referans evapotranspirasyon alansal dağılım haritası.....	82
Şekil 3.10. Türkiye FAO-56 PM referans evapotranspirasyon iklimsel su dengesi ($D=P-ET_{0PM}$) alansal dağılım haritası	83
Şekil 3.11. Türkiye yıllık ortalama Hargreaves referans evapotranspirasyon alansal dağılım haritası.....	84
Şekil 3.12. Türkiye Hargreaves referans evapotranspirasyon iklimsel su dengesi ($D=P-ET_{0HG}$) alansal dağılım haritası	85
Şekil 3.13. SPI_1 Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası	89
Şekil 3.14. $SPEI_{1PM}$ Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası.....	90
Şekil 3.15. $SPEI_{1HG}$ Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası.....	91
Şekil 3.16. SPI_6 Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası	94
Şekil 3.17. $SPEI_{6PM}$ Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası.....	95
Şekil 3.18. $SPEI_{6HG}$ Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası.....	96
Şekil 3.19. SPI_{12} Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası.....	99
Şekil 3.20. $SPEI_{12PM}$ Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası	100
Şekil 3.21. $SPEI_{12HG}$ Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası	101

GİRİŞ

Dünyamızı ve insan yaşamını önemli derecede etkileme özelliğine sahip doğal afetlerden biri de hiç kuşkusuz kuraklıktır. Kuraklık yavaş yavaş ortaya çıkan ve gelişen bir afet olma özelliğine sahiptir. Bu nedenle kuraklığın bazı afetler gibi direkt olarak kendisini hemen belli etmemesi bu afetin tahmin edilmesi, izlenmesi ve büyük ölçekte önlemlerin alınması yönünde en büyük engel olarak gösterilebilir. Kuraklık yağışların kaydedilen normal seviyelerinin önemli ölçüde altına düşmesi sonucu, arazi ve su kaynaklarının olumsuz etkilenmesine ve hidrolojik dengenin bozulmasına sebep olan doğal bir afet olarak tanımlanabilir (Anonim, 1997; Said vd., 2019). Kuraklık, dünyayı etkileyen en önemli doğal afetlerden biridir. Küresel iklim değişikliği ve bununla birlikte eşlik eden yüksek hava sıcaklıkları, derin alçak basınç merkezleri ve bunlara bağlı fırtınalar, kasırgalar vs. kuraklığın şiddetini, yoğunluğunu ve süresini giderek artırdığı yadsınamaz bir gerçektir (Cook vd., 2014; Fang vd., 2016).

Kuraklık uzun dönemler etkisini sürdürmesi nedeniyle en ciddi meteorolojik afetlerden biridir. Kuraklıklar ilk önce meteorolojik olarak yani yetersiz yağışla başlar, bu durumu haliyle toprak neminin azalması ve toprağın su tutma kapasitesinin en az seviyeye düşmesi takip ederek tarımsal kuraklık meydana gelir. En nihayetinde barajlarda ve akarsulardaki su miktarının azalmasıyla hidrolojik kuraklık oluşur (Tran vd., 2019). Kuraklık sahip olduğu bu süreçler neticesinde büyük çaplı sosyo-ekonomik sorunlara neden olmaktadır.

Küresel ölçekte kuraklığın etkileri gıda güvenliğini de tehdit etmekte; açlık, kıtlık ve en sonunda büyük çaplı ölümlere neden olabilmektedir (Heim, 2002). Kuraklığın bu yüksek tahrip edici gücünü en aza indirebilmek için geliştirilmiş kuraklık izleme ve değerlendirme yöntemleri muhakkak kullanılmalıdır. (Philip vd., 2017).

Kuraklık indeksleri, iklimsel değişkenler ve iklim ile ilişkili süreçler (toprak nemi veya toprak su içeriği) arasındaki karmaşık etkileşimleri özetleyerek görece daha kolay

anlaşılmasını sağladığı için, kuraklığın ölçülmesi, tahmin edilmesi ve izlenmesinde yararlı yöntem ve yaklaşımlar olarak kabul edilir. Kuraklık indekslerinin kullanılması, iklimsel ortalamalarda oluşan farklılıkların şiddet, coğrafi yayılım ve oluşum sıklığı açısından niceliksel olarak değerlendirilmesine olanak sağlar. Ayrıca hem karar vericiler hem de toplum arasında kuraklık durumları hakkında bilgi etkileşimi sağlar (Türkeş ve Tatlı, 2010).

Kuraklık özelliklerinin ve şiddetinin belirlenmesinin karmaşık olması onu izlemeyi ve değerlendirmeyi de zorlaştırmaktadır (Tirivarombo vd., 2018; Wang vd., 2019). Bu nedenle kuraklık olaylarını izlemek ve değerlendirmek için birçok kuraklık indeksi geliştirilmiştir (Vicente-Serrano vd., 2012; Wable vd., 2019). Bunlara; Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) (McKee vd., 1993), Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PDSI) (Palmer, 1965), Keşif Kuraklık İndeksi (RDI) (Tsakiris ve Vangelis, 2005), Bileşik Meteorolojik Kuraklık İndeksi (CI) (Guo vd., 2017) vb. örnek gösterilebilir.

Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) kuraklık tahmini, izlenmesi ve kuraklıkla ilgili karar vericilere yardımcı olması açısından McKee vd. (1993) tarafından geliştirilen Standartlaştırılmış Yağış İndeksinin (SPI) kullanılmasını önermiştir. Ülkemizde de Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI), Normalin Yüzdesi İndeksi (PNI) (Willeke vd., 1994) ve 1973 yılında Prof. Dr. Akgün AYDENİZ tarafından geliştirilen Aydeniz Metodunu kuraklık tahmininde kullanmakta ve periyodik olarak indeks verilerini kamuoyu ile paylaşmaktadır.

Yukarıda bahsedilen kuraklık indekslerine alternatif olarak geliştirilen Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) görece yeni bir indeks olmasına rağmen kuraklık tahmini, izlenmesi ve yönetimi açısından yürütülen birçok çalışmada güvenilir sonuçlar vermiştir (Vicente-Serrano vd., 2010; Begueria vd., 2014). Kuraklık indeksleri ile kuraklık tahmini meteorolojik parametreler kullanarak yapılmaktadır. Hidrolojik olarak taşkın ve kuraklık gibi ekstrem olaylar iklim kaynaklı doğal afetlerin başında gelmektedir. Kuraklığın alansal ve zamansal değişkenlikler göstermesi bu olayın belirlenmesini ve izlenmesini zorlaştırmaktadır. SPI ve PDSI gibi kuraklık indekslerinin modifiye edilme çalışmaları veya yeni kuraklık indeksi geliştirme çabaları; kolaylıkla belirlenemeyen kuraklık tahmini için gerekçe gösterilebilir.

Vicente-Serrano vd. (2010) tarafından geliştirilen Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) yağışla birlikte evapotranspirasyona etki eden faktörleri de dahil ederek kuraklığı çok ölçekli bir sistemde tahmin etmektedir. Matematiksel olarak SPEI indeksi, SPI indeksine benzerdir, fakat SPEI kuraklık tahmininde evapotranspirasyon parametrelerini de dikkate almaktadır. SPI ve SPEI farklı zaman ölçekleri için kuraklığın değişimini daha iyi yansıtabilen indeksler olarak değerlendirilmektedir (Spinoni vd., 2014; Hong vd., 2015). Dünyada ve ülkemizde SPEI ve SPI indekslerinin karşılaştırılması, analizi veya bu indekslere göre gelecek dönemler için belirli eğilim projeksiyon çalışmaları literatürde yerlerini almıştır. SPEI indeksinin hesaplanmasında ilk adım evapotranspirasyonun belirlenmesidir. Evapotranspirasyonun tahmin edilmesi; sıcaklık, hava nemi, güneş radyasyonu, buhar basıncı, gizli ve hissedilir ısı akıları gibi birçok parametrenin dahil edilmesinden dolayı zordur (Allen vd., 1998; Çetin, 2020). Bu yüzden Vicente-Serrano vd. (2010) sadece aylık ortalama sıcaklık verilerini gerektiren Thornthwaite referans evapotranspirasyon hesaplama metodunu (Thornthwaite, 1948) SPEI hesaplaması için benimsemişlerdir. Bu bağlamda birçok SPEI indeksi çalışmalarında Thornthwaite yaklaşımı tercih edilmiştir. Fakat farklı evapotranspirasyon metotları da kullanılmıştır.

Bazı çalışmalar SPEI indeksinin hesaplanmasında farklı Referans Evapotranspirasyon (ET_0) eşitliklerinin de indeks üzerindeki etkilerini karşılaştırmıştır. Örneğin; Van der Schrier vd. (2011) ve Dai (2011), Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksine (SPEI) göre kuraklığı belirlemek için Thornthwaite ve FAO-56 Penman-Monteith metotlarının etkilerini karşılaştırmışlar küçük farklılıklar bulmuşlardır. Fakat; Sheffield vd. (2012) bu çalışmaları incelediklerinde verilerin kalibrasyonunda bazı hatalar yapıldığını fark etmişler ve çalışmanın revizyonunda bu iki ET_0 metodundan elde edilen SPEI indeksleri arasında büyük farklılıklar bulmuşlardır. Ortiz-Gómez vd. (2022) Meksika'da 19 meteoroloji istasyonunun verilerini kullanarak Keşif Kuraklık İndeksi (RDI) (Tsakiris ve Vangelis, 2005) ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksine (SPEI) kuraklığı belirlemedeki hassasiyetlerini karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar SPEI indeksi hesaplamasında FAO-56 Penman-Monteith yönteminin, Thornthwaite ve Hargreaves yöntemlerine göre kuraklığı belirlemede daha hassas olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak kuraklık indeksi hesaplamalarında farklı

evapotranspirasyon eşitliklerini kullanmanın etkileri açık bir soru olarak güncelliğini korumaktadır (Vicente-Serrano vd., 2013).

Bu çalışmada; Türkiye'nin 81 il merkezi meteoroloji istasyonlarına ait 1980-2019 yılları arası iklim verileri kullanılmıştır. Hargreaves (Hargreaves ve Samani, 1985) ve FAO-56 Penman-Monteith (Allen vd., 1998) metotlarıyla hesaplan SPEI indekslerine ve SPI indeksine göre; 1, 6 ve 12 ay zaman ölçekleri için illerin kuraklık eğiliminin Modifiye Mann-Kendall eğilim testi, eğilim büyüklüğünün (hızının) ise Sen'in eğim metoduna (Sen's Slope Estimator) göre zamansal olarak belirlenmesi ve IDW (Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi) yöntemine göre de mekansal incelenmesi amaçlanmıştır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Hidrolojik olarak, taşkın ve kuraklık gibi ekstrem olaylar iklim-tabanlı doğal afetlerin en önemlileri arasındadır. Özellikle kuraklık insan yaşamını tehdit etmesi sosyo-ekonomik durumu bozması ve çevresel sürdürülebilirliği olumsuz yönde etkilemesi nedeniyle en önemli afet olarak görülebilir (Sharma vd., 2009). Taşkın afeti ile karşılaştırıldığında kuraklık zaman içerisinde yavaş yavaş gelişir, insanlar ve çevre kuraklığın etkilerini hissetmeye başladığında tanınır (Vicente-Serrano ve Lopez-Moreno, 2005). Bu nedenle, kuraklığın başlangıç ve sona erme zamanını belirlemek zordur. Ayrıca kuraklığın belirlenmesi doğada geniş alana yayılması nedeniyle karmaşıktır. Kuraklığın bir başka dikkat çekici yönü ise hidrolojik döngünün diğer bileşenlerine de etki etmesidir. Nispeten kısa süreli sayılabilen meteorolojik kuraklığın belirlenmesi uzun süreli devam edebilecek tarımsal ve hidrolojik kuraklığın belirlenmesine yardımcı olur. Su yönetimi, su kaynaklarının planlı kullanılması vs. gibi çalışmalarda kuraklık durumu gözardı edilmemeli ve bu olayın çok ölçekli bir doğa olayı olduğu unutulmamalıdır (Lorenzo-Lacruz vd., 2010).

Dünya’da kuraklığın belirlenmesi, izlenmesi, değerlendirilmesi ve elde edilen bilgiler ışığında kuraklık senaryoları (projeksiyon) oluşturulması için birçok farklı kuraklık indeksi kullanılmaktadır. Bunlar arasında Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI), Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ve Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PDSI) küresel manada en fazla kabul gören kuraklık indeksleridir. McKee vd. (1993) tarafından kuraklığı belirlemek ve izlemek amacıyla geliştirilen SPI, olasılık esaslıdır. Ancak, belirli bir zaman aralığında yağışın ortalama yağıştan çıkarılıp standart sapmaya bölünmesiyle elde edilen bir tür standardizasyon işlemiymiş gibi simüle edilebilir (Aksoy vd., 2019; Aksoy vd., 2021). Standartlaştırılmış Yağış İndeksinin (SPI) farklı zaman ölçeklerinde elde edilebilir olması yanında, zaman ve mekan boyutunda

karşılaştırılabilir olması SPI'nın yaygın bir şekilde kullanılmasında etken olmuştur. SPI sıcaklık, buharlaşma, nem, rüzgar hızı, güneşlenme şiddeti vb. gibi kuraklık koşullarına etki eden meteorolojik parametreleri göz ardı eden ve sadece yağış verilerine dayalı olan bir indekstir (Vicente-Serrano vd., 2010; Çetin vd., 2018). Son 100 yılda gözlenen küresel sıcaklık artışı nedeniyle iklim değişikliği modelleri de sıcaklıkta belirgin bir artış tahmin etmektedir. Kuraklık izleme ve değerlendirmesinde ülkeler nezdinde ve bilimsel çalışmalarda sıkça kullanılan bir diğer kuraklık indeksi ise Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksidir (PDSI). Genellikle aylık olarak hesaplanmaktadır. Girdi olarak yağış, sıcaklık ve toprağın su tutma kapasitesi kullanılmaktadır. Bu girdiler yardımıyla su dengesi eşitliğinin temel bileşenlerinden olan evapotranspirasyon, toprağa giren su, yüzey akışı ve yüzeyden olan nem kaybı belirlenebilmektedir. Sıcaklık verilerini göz ardı etmeyen PDSI gibi indeksler, özellikle gelecek iklim senaryolarını içeren uygulamalar için tercih edilir. Bununla birlikte PDSI, hem farklı hidrolojik sistemler ile ilişkili kuraklık değerlendirmesi hem de farklı kuraklık tiplerini ayırt etmek için gerekli çok ölçekli kriterler konusunda yetersizdir (Çamalan vd., 2017). Kuraklığın çok ölçekli bir doğa olayı olduğu kabul edilmektedir. McKee vd. (1993) yürüttükleri bir çalışmada kullanılabilir su kaynakları, toprak nem içeriği, yeraltı suları, kar örtüsü, nehir deşarj alanları ve su toplama havuzları gibi etkenlerin kuraklığın belirlenmesinde ve değerlendirilmesinde esas kriterler olduğunu açıkça ortaya koymuşlardır.

Bu gibi kriterlerden dolayı kuraklığın tahmin edilmesinde ve değerlendirilmesinde sıcaklık ve evapotranspirasyon gibi parametreleri de hesaba katan kuraklık indekslerine gereksinim duyulmuştur. Bundan dolayı çok ölçekli bir kuraklık indeksi olan Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) geliştirilmiştir. SPEI indeksi, PDSI indeksinin sıcaklık dalgalanmaları ve evapotranspirasyon değişikliklerine duyarlılığı ile SPI indeksinin çoklu-zaman ölçekli özellikleri ve hesaplamadaki kolaylığını birleştirmektedir (Vicente-Serrano, 2013). SPEI indeksi kuraklık şartlarına bağlı küresel ısınmanın sonuçlarını belirlemede, izlemede ve araştırmada özellikle uyumludur. SPEI, evapotranspirasyon isteğindeki değişimlere karşı PDSI'nin hassasiyetine ve SPI'nın doğal alansal dağılımına sahiptir (Vicente-Serrano vd., 2010). SPEI indeksi hesaplama prosedürü SPI indeksine benzerdir. Fakat girdi verisi olarak yağışdan ziyade yağış ve referans evapotranspirasyon arasındaki fark ($P-ET_0$) olarak tanımlanan iklimsel su dengesini (D) kullanmaktadır (Keskiner vd., 2020). İklimsel su

dengeyi mevcut yağış miktarı ile atmosferik buharlaşma talebini kıyaslar ve böylece sadece yağışı göz önüne alarak tahmin edilen kuraklık şiddetinden daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar (Begueria vd., 2014). SPEI indeks hesaplamalarında kullanılan Evapotranspirasyon (ET), buharlaşmayla toprak yüzeyinden oluşan su kaybı ve diğer taraftan terlemeyle bitkiden meydana gelen su kaybı şeklinde iki ayrı sürecin birleştirilmesi olarak tanımlanmıştır. Referans evapotranspirasyon (ET_0), hidrolojik döngünün temel bileşenlerinden biridir. Bu nedenle, Çetin (2020) tarafından açıkça ifade edildiği üzere, ET_0 miktarının doğru hesaplanması hidrolojik su dengesi, su kaynaklarının planlanması ve yönetimi, sulama sistemlerinin planlanması vs. gibi birçok çalışma için büyük öneme sahiptir.

Kuraklık indeksleri meteorolojik parametreler ile kısa veya uzun dönem periyotlarında kuraklık tahminleri ve projeksiyonları sunmaktadır. Kuraklık indeksi hesaplamalarında (örneğin SPEI), kullanılan evapotranspirasyona sıcaklık, atmosferik buharlaşma talebi ve sıcak hava dalgalarının etkisi başlıca etkenlerdir (Begueria vd., 2014; Vicente-Serrano vd., 2015). Sıcaklık su kaynaklarını etkileyen önemli iklimsel faktörlerden biridir ve ayrıca kuraklığın meydana gelme zamanında rol sahibidir.

Ayrıca kuraklığın doğru bir biçimde değerlendirilmesi için spesifik zaman ölçeklerinin kullanılması çok önemlidir. Fonksiyonel olarak meteorolojik kuraklık için 1 aylık, tarımsal kuraklık için 3 ve 6 aylık, hidrolojik kuraklık için ise 12 aylık zaman ölçeği kullanılabilir (Vicente-Serrano vd., 2010; Homdee vd., 2016). Bir bölgenin kuraklığının farklı indekslerle belirli zaman ölçeklerinde (örneğin; 1, 6 ve 12 ay gibi) karşılaştırılması; o bölgede hangi kuraklık indeksinin kısa ve uzun dönemli kuraklıkları belirlemede daha üstün olabileceğini gösterir. Örneğin SPI ve SPEI indeksleriyle bir bölgenin kuraklık durumunun belirlenmesinde yağış, sıcaklık ve evapotranspirasyon parametrelerinin kullanılması kuraklık üzerine bu parametrelerin etkilerini de göstermektedir.

Tüm bu gelişmeler ışığında ve SPEI indeksinin kuraklığı değerlendirmede evapotranspirasyon faktörünü hesaba katmasından dolayı Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO), SPI indeksine ek olarak SPEI indeksinin de kullanımını önermiştir. Her iki indekste kuraklığın büyüklüğünü, yoğunluğunu ve süresini belirlemede temel araçlar olarak kabul görmüştür (Nedialcov vd., 2015). SPI indeksi yağış miktarını, SPEI yağışı

ve evapotranspirasyonu girdi verisi olarak kullanmaktadır. SPI ve SPEI indeksi kuraklığın izlenmesi ve değerlendirilmesine ilave olarak tarımsal üretkenlik programlarında, vahşi orman yangınları tahminine yönelik senaryolarda, su seviyesinin belirlenmesi vb. çalışmalarda da kullanılabilmektedir (Anonim, 2021).

İklim parametrelerine bağlı kuraklık analizleri, trend analizleri vb. çalışmalarda kullanılan verilerin homojen olup olmadığının belirlenmesi analizlere dair sonuçların güvenilirliğini artırmaktadır. Meteorolojik verilerin istatistik analizlerinde parametrik ve parametrik olmayan yöntemler kullanılmaktadır (Helsel ve Hirsch, 1992). İstatistiki değerlendirmelerde veri serileri normal dağılım gösteriyor ise parametrik yöntemler, normal dağılım göstermiyor ise parametrik olmayan yöntemlerin kullanılması tavsiye edilmektedir. Meteorolojik verilerin normal dağılıma uyma zorunluluğuna bakılmaksızın parametrik olmayan yöntemlerin kullanılmasının etkin sonuçlar verdiği görülmüştür (Helsel ve Hirsch, 1992). Bu veriler normal dağılım şartını sağlamazlar. İster parametrik isterse parametrik olmayan yöntemler kullanılsın verilerin aynı örnek evreninden gelip gelmediğinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Veriler aynı kümeye ait ise güvenilir analizler yapılabilecektir. Zaman serilerinin homojen olması için kullanılan verilerin birbirinden tamamen bağımsız olması gerekmektedir (Çetin, 1997).

Meteorolojik verilerle iklim değerlendirmesinin yapılabilmesi için analizde kullanılacak verinin homojenliği sağlanmalıdır. Çetin (1997) tarafından belirtildiği gibi, veri setinde homojenliğin korunmasını sağlamak için verilerin titiz bir şekilde analiz edilmesi ve verinin öncelikle ön analizlere tabi tutulması gerekmektedir. Meteorolojik veriler genellikle iklimsel olmayan bazı faktörlere (istasyon değişimleri, ölçülen verilerin arşiv sistemine yanlış girilmesi, veri setinde mantık hataları vb.) bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu yüzden hatalı verilerin tespit edilebilmesi için homojenlik kontrolünün yapılması önem arz etmektedir (Agiular vd., 2003).

Meteorolojik veri serisinin değişmesinin, yalnızca hava ve iklime dayalı değişimin sonucunda oluşabileceği bildirilmektedir (Conrad ve Pollak, 1950). Kısacası ölçülen meteorolojik parametrelerin aynı ölçüm cihazlarıyla, aynı yöntemlerle ve aynı yerde (istasyonda) elde edilmesi gerekir. Fakat bu durum bazen değişkenlik gösterebilmektedir. Bazen zorunlu sebeplerle bazen de elde olmayan nedenlerle meteorolojik parametrelerin ölçülmesinde aksaklıklar olabilmektedir. Meteorolojik bir veri olan yağışın ölçümlerinde

kullanılan teknolojik cihazlar (yağış sensörü vb. gibi) bazen yanlış yağış değerleri ölçebilmektedir (Hanssen- Bauer ve Forland, 1994). Bu nedenle uzun dönemli iklimsel çalışmalarda kullanılacak veri setlerinin homojenliğinin ve kalitesinin dikkatli bir şekilde yorumlanması gerekir (Houghton vd., 1992). Homojenliği test etmede birçok yöntem geliştirilmiştir. Bazı araştırmacılar istasyon yerleri değişti için bazı araştırmacılar da ellerinde bulunan veri setlerinde bulunan mantık hatalarını incelemek için homojenlik testlerini kullanmışlardır (Karl ve Williams, 1987; Rhoades ve Sallinger, 1993; Buishand, 1982; Alexandersson, 1986; Çetin, 1997).

1.1. Literatür Özetleri

Küresel ısınma ve etkileri bölgesel veya global ölçekte incelenirken bilhassa geçtiğimiz son 20 yılda, kuraklık gibi ekstrem olayların eğilim analizleri daha fazla bir öneme sahip olmuştur (Chattopadhyay ve Edwards, 2016; Cui vd., 2017; Wu ve Quian, 2017; Labudova vd., 2017; Shiru vd., 2018; Dong vd., 2019; Polong vd., 2019; Danandeh Mehr vd., 2019).

Partal ve Kahya (2006) Türkiye'nin aylık ve yıllık yağış eğilimlerini araştırmak için Mann-Kendall eğilim testini ve Sen'in eğim metodunu (Sen's Slope Estimator) kullanmışlardır. Araştırmacılar çalışmada kullanılan eğilim testlerinin iklim değişikliğini belirlemede önemli olduğunu bildirmişlerdir.

Abarghouei vd. (2011), İran'ın tüm bölgeleri için yürüttükleri çalışmada 3, 6, 9, 12, 18 ve 24 aylık zaman periyotları için SPI indeksine göre eğilim analizleri yapmışlardır. 30 yıllık meteorolojik veri ile yürütülen çalışmada ülkede genel itibariyle kuraklığın artan yönde bir eğilime sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Yürekli vd. (2013), küresel ısınmanın kuraklık üzerindeki etkilerini değerlendirmek için Afyonkarahisar, Burdur, Isparta ve Denizli'nin 1993-2012 yılları arası meteorolojik verilerini SPEI hesaplamasında kullanmışlardır. SPEI hesaplaması FAO-56 Penman-Monteith yöntemine göre yapılmıştır. Küresel ısınma etkisini yansıtması için 100 yıllık periyotta sıcaklığın 5 °C arttığı senaryosuna göre 12 ve 24 zaman ölçeklerinde araştırmalar yapmışlardır. Araştırma bulgularına göre 1993-2012 yılları arasında 4 ilin aşırı nemli ve aşırı kurak zamanlar geçirdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, yağış ve

evapotranspirasyona dayalı SPEI indeksinin, kuraklık üzerine iklim değışikliğinin etkilerini yansıtabildiğini bildirmişlerdir.

Agiralioglu ve Eris (2012), Doğu Karadeniz Bölgesinin yıllık yağış ve akarsu akışının eğilimini belirlemek için Mann-Kendall eğilim testini kullanmışlardır. Yang vd. (2016) SPEI indeksine göre Çin’de yürüttükleri çalışmada Haihe Nehri Havza’sının kuraklık şiddetini ve kuraklık eğilimini belirlemek için bazı eğilim analizlerini kullanmışlardır.

Cui vd. (2017), Çin’de Yangtze Nehir Havza’sının yıllık sıcaklık ve yağış eğilimini belirlemek için basit lineer regresyon, Mann-Kendall ve yenilikçi Şen (ITA) metotlarını kullanmışlardır. Araştırma sonucuna göre hem sıcaklıkta hem de yağış miktarında eğilim analizlerine göre artış bulunmuştur.

Nourani vd. (2018), farklı hidro-klimatolojik değışkenler kullanarak İran’da Urmia Nehri’nin su seviyesinin potansiyel eğilimini belirleyebilmek için Mann-Kendall testini ve Yenilikçi Şen (ITA) metodunu kullanmışlardır. Sonuç olarak nehir akışında istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilim ve sıcaklıkta ise artan yönde bir eğilim bulunmuştur.

Caloiero (2018), Yeni Zelanda’nın SPI indeksine göre kuraklık eğilimini belirleyebilmek için Mann-Kendall testini uygulamış ve farklı bölgelerde artan ve azalan eğilimler bulmuştur. Benzer bir çalışma; Jin vd. (2019) Çin’de Zoige sulak arazisinin SPEI indeksine göre kuraklık eğilimini tespit etmek için Mann-Kendall testini kullanmışlar ve çalışma alanının büyük bir kısmında kuraklık eğiliminin arttığını tespit etmişlerdir.

Bazrafshan vd. (2017), Basra Körfezi ve civarının 1992-2014 yılları arası 12 ve 24 aylık zaman periyotlarında SPI ve SPEI indekslerine göre; kuraklığının izlenmesi ve eğiliminin belirlenebilmesi için Mann-Kendall testini, serisel korelasyonun etkilerini ortadan kaldırmak için Trend Free Pre-Whitening metodunu, ayrıca eğilimin büyüklüğünü belirleyebilmek için de Sen’in eğim metodunu kullanmışlardır. Araştırmacılar, ilgili bölgede her iki indekse göre kuraklığın artan yönde bir eğilime sahip olduğunu ve SPI’e göre SPEI’nin Sen’in kuraklık eğim büyüklüğünün daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Sonuç olarak Basra Körfezi’nin kurak ve aşırı kurak olarak kabul edilen alanlarında SPI indeksinin kuraklığı izlemede ve buna paralel olarak kuraklık eğilimini belirlemede yetersiz olduğunu bildirmişlerdir. Bu sonuçlara gerekçe olarak da SPI indeksinin nem ve

sıcaklık gibi parametreleri gözardı etmesi olarak gösterilmektedir. Çalışma iklimsel olarak bölgesel farklılıkların olduğu alanlarda kuraklığın belirlenmesi, izlenmesi ve eğiliminin belirlenmesinde; sıcaklık, nem vb. meteorolojik parametreleri hesaba dahil edebilen SPEI indeksinin daha verimli olabileceğine dikkat çekmiştir.

Paulo vd. (2012), İspanya ve Portekiz’de 1941-2006 yılları arası olmak üzere 27 meteoroloji istasyonunun verilerini kullanarak SPI, SPEI, Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PDSI) ve Modifiye Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksine (MPDSI) göre kuraklık eğilimlerini belirlemişlerdir. Çalışmada aylık, yıllık ve mevsimlik bazda eğilim analizleri için Mann- Kendall ve Modifiye Mann-Kendall testleri, mevcut eğilimin büyüklüğünün belirlenebilmesi için de Sen’in eğim metodu uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kuraklık şiddetini ve eğilimini belirlemede MPDSI ve SPEI indekslerinin diğer iki indekse göre daha tutarlı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu üstünlüğe MPDSI ve SPEI indeksinin sıcaklık ve yağış faktörlerini hesaba direk katması gerekçe gösterilmiştir.

Wang vd. (2015), 1961-2012 yılları arası için 633 istasyonun verileri ile SPI ve SPEI indekslerine göre kuraklık şiddetlerini ve eğilimlerini belirlemişlerdir. Eğilim analizinde Mann-Kendall testini, SPEI indeksinin hesaplanmasında Thornthwaite ve FAO-56 Penman-Monteith referans evapotranspirasyon metodlarını tercih etmişlerdir. Araştırma bulgularına göre Thornthwaite metodu ile hesaplanan SPEI indeksinin eğilim analizinin bazı bölgeler için %5 anlamlılık seviyesinde anlamlı azalan yönde artışın daha fazla olduğu yani kuraklığın daha fazla olduğu bulunmuştur.

Li vd. (2016), Çin’in Xinjiang bölgesinde 53 meteoroloji istasyonunun verilerini kullanarak 1, 3, 6 ve 12 ay zaman ölçekleri için SPI ve SPEI indekslerine göre kuraklık şiddeti ve eğilimini 1961-2013 yıllarını kapsayan dönem için araştırmışlardır. SPEI indeksinin hesaplanmasında Thornthwaite ve FAO-56 Penman-Monteith evapotranspirasyon belirleme metotlarını, kuraklığının eğiliminin belirlenmesinde Modifiye Mann-Kendall (Yue ve Wang, 2002), eğilim büyüklüğünün belirlenmesinde ise Sen’in eğim metodunu kullanmışlardır. SPI ve FAO-56 Penman-Monteith metoduyla hesaplanan SPEI indeksinin kuraklık eğilimleri, Thornthwaite metoduyla hesaplanan SPEI indeksinin kuraklık eğilimlerine göre daha benzer ve kabul edilebilir sonuçlar vermiştir. Çalışmada Thornthwaite metodunda sadece yağış ve sıcaklık göz önüne alınırken, FAO-56 Penman-Monteith metodunda yağış ve sıcaklığa ek olarak; rüzgar,

nispi nem, güneşlenme şiddeti gibi meteorolojik faktörler de hesaplamaaya dahil edildiğini ve bu nedenle Thornthwaite metodunun kuraklık eğilimini belirlemede ilgili alan için bazı bölgelerde yetersiz kalabileceği belirtilmiştir.

Çin'in Xinjiang bölgesinde 1961-2013 yılları arası meteorolojik parametreleri kullanılarak yürütülen bir çalışmada kuraklık şiddeti ve eğilim analizi yapılmıştır. SPI ve SPEI indeks sonuçları karşılaştırılmıştır. SPEI indeks hesaplanmasında Thornthwaite ($SPEI_{TW}$) ve FAO-56 Penman-Monteith ($SPEI_{PM}$) yöntemleri kullanılmıştır. Araştırmaya göre $SPEI_{TW}$ eğilim değerleri SPI ve $SPEI_{PM}$ eğilim değerlerine göre farklı bulunmuştur. $SPEI_{PM}$ 'nin, $SPEI_{TW}$ kuraklık şiddeti ve eğilim değerlerine göre daha hassas sonuçlar verdiği, küresel ısınma ve kuraklık çalışmalarında kullanmanın daha uygun olabileceği bildirilmiştir (Li vd., 2017).

Bae vd. (2018), Güney Kore'de 1981-2010 yılları arası 8 meteoroloji istasyonun verilerini kullanarak 1 ve 3 ay zaman ölçeğinde SPI, FAO-56 Penman-Monteith ve Thornthwaite metotlarına göre de SPEI indeksleri ile kuraklık şiddeti ve eğilimini bulmuşlardır. Eğilim analizlerini Mann-Kendall testine göre yapan araştırmacılar kuraklık şiddetinin SPEI indeksi ile daha fazla bulunduğunu ve bu doğrultuda eğilim analizlerinin de SPI indeksine göre daha fazla azalan yönde olduğunu yani kuraklık oluşumunun daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Vishwakarma vd. (2020), Hindistan'ın Bundelkhand bölgesindeki 82 yağış istasyonun verileri ile kuraklık eğilimini belirlemek için SPI, SPEI ve SSI (Tarımsal Kuraklık- Standart Toprak Nemi İndeksi) indekslerini yöntem olarak tercih etmişlerdir. Referans evapotranspirasyonun belirlenmesinde FAO-56 Penman-Monteith, eğilim analizinde Mann-Kendall eğilim testi ve eğilimin büyüklüğünün belirlenmesinde Sen'in eğim metodu kullanılmıştır. Araştırma bulgularına göre aylık, yıllık ve mevsimlik zaman ölçeklerinde SSI ve SPEI indekslerine göre çoğu istasyonda anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur.

Bera vd. (2021), Hindistan'da Chhota Nagpur Platosu'nun 1996-2020 arası 25 yıllık meteorolojik verilerini kullanarak SPI ve SPEI indekslerine göre kuraklık eğilimlerini belirlemek için Mann-Kendall eğilim testi, kuraklığın büyüklüğünü belirlemek için ise Sen'in eğim metodunu kullanmışlardır. 3, 6, 9 ve 12 ay zaman periyotları için yapılan çalışmada SPEI indeksi evapotranspirasyon hesaplamalarında FAO-56 Penman-Monteith

metodunu tercih etmişlerdir. Tüm zaman periyotlarında %5 önem seviyesinde SPEI ile, SPI indeksine göre daha fazla azalan yönde eğilim yani kuraklıkta bir artış olduğu bulunmuştur.

Qaisrani vd. (2021), SPI ve SPEI indekslerine göre kuraklığın izlenmesi amacıyla 1981-2018 yılları arası olmak üzere 1, 3, 6, 9 ve 12 ay zaman ölçeğinde 10 meteoroloji istasyonunun meteorolojik verilerini kullanmışlardır. SPEI indeksinin referans evapotranspirasyonunun hesaplanmasında Hargreaves metodu, kuraklık eğilimi için Mann-Kendall eğilim testi, eğilimin büyüklüğünün belirlenmesi için de Sen'in eğim metodu tercih edilmiştir. Araştırma bulgularına göre 1, 3, 6, 9, ve 12 ay zaman ölçeğinde SPI indeksine göre iki istasyonda artan yönde eğilim sekiz istasyonda azalan yönde eğilim bulunmuşken, SPEI indeksine göre 1 ay zaman ölçeğinde 1 istasyonda artan yönde eğilim diğer 9 istasyonda azalan yönde eğilim ve 3, 6, 9, 12 ay zaman ölçeğinde ise tüm istasyonlar için azalan yönde eğilim bulunmuştur. Araştırmacılar kısa süreli zaman ölçeklerinde eğilim dalgalanmasının daha fazla olduğunu ve SPEI indeksinin SPI indeksine göre kuraklık eğilimini daha fazla tespit ettiğini bildirmişlerdir.

Bu tez çalışmasında kullanılan aylık toplam yağış verilerine homojenlik testleri de uygulanmıştır. Bu nedenle bazı homojenlik çalışmalarının literatür özetleri incelenmiş ve bu bölümde sunulmuştur. Buna göre,

Serra (2001), Barcelona'da Farba istasyonuna dair maksimum ve minimum günlük sıcaklık değerlerinin analizini yapmış ve yürüttüğü çalışmada homojenliği irdelemek için Kolmogorov-Zurbenko testini ve günlük, aylık ve yıllık zaman serilerinin rastgele dağılımı sahip olduğunu farzederek Von Neumann testini kullanmıştır.

Alexandrov vd. (2004), Bulgaristan'da 36 istasyonun sıcaklık ve 56 istasyonun yağış verilerinin homojenliğini test etmek için Cussinus-Mestre yöntemini tercih etmiştir. Wulfmeyer ve Henning-Müller (2006), Honhaim Üniversitesi meteoroloji istasyonunun 1878 yılından beri devam eden sıcaklık ve yağış verilerinin homojenlik testini Alexsandersson (1986)'un bağıl standart homojenlik testini kullanmışlardır.

Türkeş vd. (2005), Türkiye'deki 111 istasyonun yağış verilerine dair uzun süreli değişiklikleri ve eğilimleri için homojenlik testi olarak Kruskal-Wallis türdeşlik

sınamasını kullanmışlardır. Kahya vd. (2016), Türkiye’de 1974-2014 yılları arası aylık yağış veri setinin homojenlik analizi için Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT), Buishand Range Testi ve Pettitt testini kullanmışlardır.

Karlsson vd. (2014), Danimarka’da yürüttükleri çalışmada yağış verilerinin tarihsel trendine ait bir çalışmada yağış, sıcaklık ve evapotranspirasyon verilerini kullanmışlar sadece yağış verileri için Standart Normal Homojenlik Testini yapmışlardır. Özçelik (2019), SPEI indisi ile Ege Bölgesi kuraklık analizini yaptığı tez çalışmasında 29 meteoroloji istasyonuna ait aylık toplam yağış değerlerini homojenlik testlerine tabi tutmuştur.

1.2. Problem Durumu

SPI ve SPEI indeksleriyle Türkiye’de lokal veya bölgesel ölçekte kuraklık çalışmaları yapılmıştır. Kuraklığın belirlenmesi ve izlenmesi amacıyla ülkemizde yapılan bilimsel çalışmalar literatüre önemli katkılar sağlamıştır. Fakat, SPI ve farklı evapotranspirasyon metotlarıyla hesaplanan SPEI indekslerine göre Türkiye ölçeğinde, kuraklığın belirli zaman ölçeklerinde zamansal ve mekansal olarak nasıl bir eğilim gösterdiğini karşılaştırmalı inceleyen bir bilimsel çalışmaya rastlanılmamıştır. Ayrıca SPEI tabanlı kuraklık indeksi hesaplamalarında farklı evapotranspirasyon eşitliklerini kullanmanın etkileri açık bir soru olarak güncelliğini korumaktadır (Vicente-Serrano vd., 2013).

1.3. Araştırmanın Amacı

Bu tez çalışmasında; Türkiye genelinde 81 meteoroloji istasyonuna ait 1980-2019 yılları arası meteorolojik gözlem verileri kullanılarak; Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) ve FAO-56 Penman-Monteith (Allen vd., 1998) ve Hargreaves (Hargreaves ve Samani, 1985) referans evapotranspirasyon metotlarıyla hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksine (SPEI) göre 1, 6 ve 12 ay zaman ölçeklerinde Modifiye Mann-Kendall eğilim analizi ve Sen’in eğim metodu (Sen’s Slope Estimator) ile kuraklık eğiliminin ve eğilim büyüklüğünün zamansal ve IDW (Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi) yöntemiyle de mekansal karşılaştırılması amaçlanmıştır.

1.4. Araştırmanın Önemi

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) sadece yağış verilerini kullanarak kuraklık değerlendirmesi yaparken; Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) evapotranspirasyonu hesaba katarak kuraklık değerlendirmesi yapmaktadır. Bu tez çalışmasında FAO-56 Penman-Monteith (Allen vd., 1998) ve Hargreaves (Hargreaves ve Samani, 1985) referans evapotranspirasyon metotlarıyla hesaplanan SPEI indeksinin ve ayrıca SPI indeksinin Türkiye ölçeğinde 1980-2019 yılları arasını kapsayan dönemde 1, 6 ve 12 ay zaman ölçeğinde Modifiye Mann-Kendall eğilim testi ile kuraklığın eğilimini ve Sen'in eğim metodu ile eğilim büyüklüğünü nasıl sergiledikleri saptanmıştır. SPI ve SPEI indekslerine göre elde edilen kuraklık eğilimleri ve eğilim büyüklüklerinin IDW yöntemi ile mekansal olarak değişimleri belirlenmiştir.

Kuraklık eğilim analizlerinin hem zaman hem de mekân ölçeğinde yapılması daha geniş perspektifle araştırmacılara yorum yapma kuraklık analizine göre de bu doğa olayına karşı ilgili otoritelerin kuraklığı hafifletme de ne gibi önlemler alabileceğine ön hazırlık oluşturur. Kuraklık birçok sektöre etki etmektedir, hiç kuşkusuz bunların başında tarım sektörü gelmektedir. Kuraklığın eğilim analizi ilgili bölgeye özgü kuraklığa daha dayanıklı bitki çeşitlerinin yetiştirilmesi, tarımsal sulama planlanması, daha da genel düşünülürse çölleşmeyle mücadele gibi konularda çok fayda sağlar. Tez çalışmasının yukarıda bahsedilen karşılaştırmalı kuraklık analizleri ile literatüre katkı sağlayacağı, kuraklık alanında çalışan karar vericilere ve kullanıcılara aksiyon almalarında yardımcı olacağı düşünülmektedir.

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

2.1.1. Çalışma Alanı ve Veri Aralığı

Bu tez çalışmasında Türkiye'nin 81 ilinin merkez meteoroloji istasyonlarına ait 1980-2019 yılları arası meteorolojik gözlem verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü arşiv sisteminden temin edilmiştir. Meteorolojik veriler aylık olmak üzere yağış miktarı (mm), rüzgar hızı (m.s^{-1}), maksimum ve minimum hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), güneşlenme süresi (saat), güneşlenme şiddeti ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{gün}^{-1}$), maksimum ve minimum nispi nemi (%) kapsamaktadır.

İl merkezlerinde bulunan istasyonlar, araştırmanın daha rahat incelenebilmesi ve karışıklığa sebebiyet vermemek için 7 coğrafi bölgeye göre harf sırası dikkate alınarak tasnif edilmiştir. Her bir coğrafi bölge kendi içerisinde benzer topografik yapıya sahip olmasının yanı sıra benzer bitki örtüsü ve iklim özelliklerine de sahiptir. Bu nedenle çalışma verileri ve bulgularını 7 coğrafi bölge bazında sunmanın daha uygun olacağı düşünülmüştür.

2.1.2. İllerin Meteoroloji İstasyon Bilgileri

Akdeniz, Doğu Anadolu, Ege, Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu, Karadeniz ve Marmara Bölgesi illeri merkez meteoroloji istasyonlarının istasyon numaraları, coğrafi koordinatları ve yükseklikleri sırasıyla Tablo 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 ve 2.7'de gösterilmiştir. Tablolarda bulunan istasyon no, meteorolojik verilerin ölçüldüğü istasyonun ulusal numarasını temsil etmektedir.

Tablo 2.1. Akdeniz Bölgesi illerinin meteoroloji istasyon bilgileri

İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)
Adana	17351	37° 00' 15" K	35° 20' 40" D	23
Antalya	17300	36° 54' 23" K	30° 47' 56" D	64
Burdur	17238	37° 43' 19" K	30° 17' 38" D	957
Hatay	17372	36° 14' 13" K	36° 07' 59" D	104
Isparta	17240	37° 47' 05" K	30° 34' 04" D	997
K.Maraş	17255	37° 34' 34" K	36° 54' 54" D	572
Mersin	17340	36° 46' 51" K	34° 36' 11" D	7
Osmaniye	17355	37° 06' 08" K	36° 15' 14" D	94

Tablo 2.2. Doğu Anadolu Bölgesi illerinin meteoroloji istasyon bilgileri

İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)
Ağrı	17099	39° 43' 31" K	43° 03' 08" D	1646
Ardahan	17046	41° 06' 22" K	42° 42' 20" D	1827
Bingöl	17203	38° 53' 05" K	40° 30' 03" D	1139
Bitlis	17207	38° 28' 30" K	42° 09' 45" D	1785
Elazığ	17201	38° 38' 40" K	39° 15' 22" D	989
Erzincan	17094	39° 45' 08" K	39° 29' 13" D	1216
Erzurum	17096	39° 57' 10" K	41° 11' 23" D	1758
Hakkari	17285	37° 34' 28" K	43° 44' 20" D	1727
Iğdır	17100	39° 55' 22" K	44° 03' 08" D	856
Kars	17097	40° 36' 22" K	43° 06' 43" D	1777
Malatya	17199	38° 20' 12" K	38° 13' 02" D	950
Muş	17204	38° 45' 03" K	41° 30' 08" D	1322
Tunceli	17165	39° 06' 21" K	39° 32' 27" D	981
Van	17172	38° 28' 10" K	43° 20' 46" D	1675

Tablo 2.3. Ege Bölgesi illerinin meteoroloji istasyon bilgileri

İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)
A.Karahisar	17190	38° 44' 17" K	30° 33' 37" D	1034
Aydın	17234	37° 50' 25" K	27° 50' 16" D	56
Denizli	17237	37° 45' 43" K	29° 05' 32" D	425
İzmir	17220	38° 23' 40" K	27° 04' 56" D	29
Kütahya	17155	39° 25' 02" K	29° 59' 21" D	969
Manisa	17186	38° 36' 55" K	27° 24' 18" D	71
Muğla	17292	37° 12' 34" K	28° 22' 01" D	646
Uşak	17188	38° 40' 16" K	29° 24' 15" D	919

Tablo 2.4. Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin meteoroloji istasyon bilgileri

İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)
Adıyaman	17265	37° 45' 19" K	38° 16' 39" D	672
Batman	17282	37° 51' 49" K	41° 09' 22" D	610

Diyarbakır	17280	37° 53' 50" K	40° 12' 10" D	674
Gaziantep	17261	37° 03' 31" K	37° 21' 04" D	854
Kilis	17262	36° 42' 30" K	37° 06' 43" D	640
Mardin	17275	37° 18' 37" K	40° 43' 42" D	1040
Siirt	17210	37° 55' 55" K	41° 56' 07" D	895
Şanlıurfa	17270	37° 09' 39" K	38° 47' 11" D	550
Şırnak	17287	37° 31' 13" K	42° 26' 42" D	1350

Tablo 2.5. İç Anadolu Bölgesi illerinin meteoroloji istasyon bilgileri

İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)
Aksaray	17192	38° 22' 14" K	33° 59' 55" D	970
Ankara	17130	39° 58' 22" K	32° 51' 49" D	891
Çankırı	17080	40° 36' 30" K	33° 36' 37" D	755
Eskişehir	17124	39° 46' 52" K	30° 34' 47" D	801
Karaman	17246	37° 11' 36" K	33° 13' 13" D	1018
Kayseri	17196	38° 41' 13" K	35° 30' 00" D	1094
Kırıkkale	17135	39° 50' 36" K	33° 31' 05" D	751
Kırşehir	17160	39° 09' 50" K	34° 09' 22" D	1007
Konya	17244	37° 59' 01" K	32° 34' 26" D	1031
Nevşehir	17193	38° 36' 59" K	34° 42' 09" D	1260
Niğde	17250	37° 57' 30" K	34° 40' 46" D	1211
Sivas	17090	39° 44' 37" K	37° 00' 07" D	1294
Yozgat	17140	39° 49' 28" K	34° 48' 57" D	1301

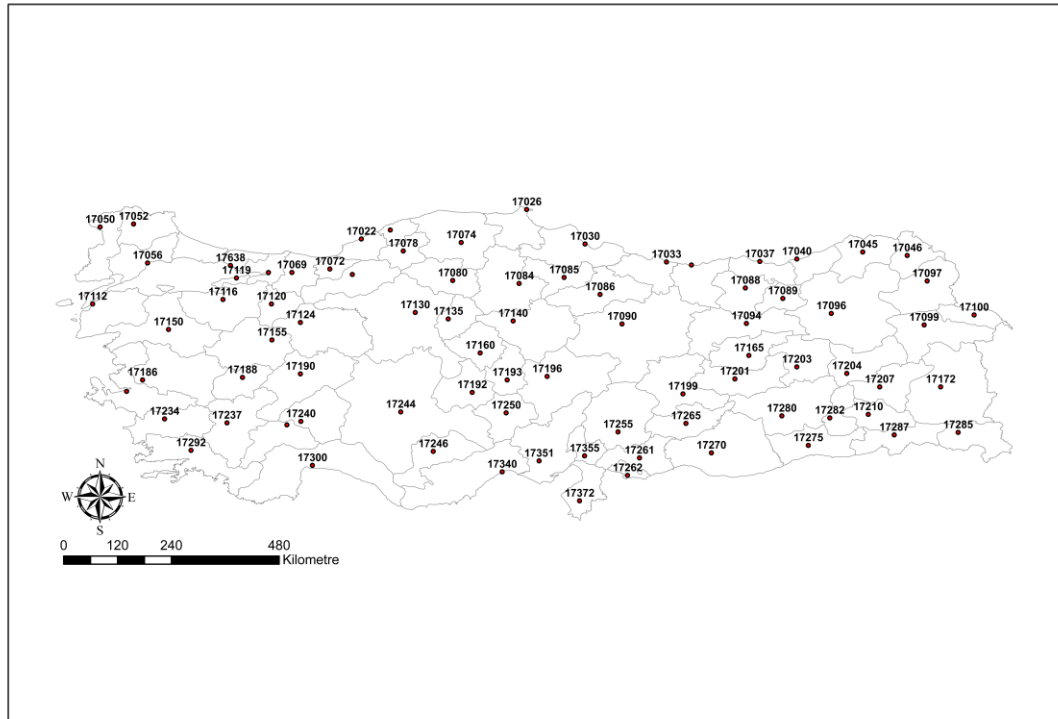
Tablo 2.6. Karadeniz Bölgesi illerinin meteoroloji istasyon bilgileri

İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)
Amasya	17085	40° 40' 01" K	35° 50' 07" D	409
Artvin	17045	41° 10' 30" K	41° 49' 07" D	613
Bartın	17020	41° 37' 29" K	32° 21' 25" D	33
Bayburt	17089	40° 15' 17" K	40° 13' 15" D	1584
Bolu	17070	40° 43' 58" K	31° 36' 08" D	743
Çorum	17084	40° 32' 46" K	34° 56' 10" D	776
Düzce	17072	40° 50' 37" K	31° 08' 56" D	146
Giresun	17034	40° 55' 22" K	38° 23' 16" D	38
Gümüşhane	17088	40° 27' 35" K	39° 27' 55" D	1216
Karabük	17078	41° 12' 16" K	32° 37' 58" D	400
Kastamonu	17074	41° 22' 16" K	33° 46' 32" D	800
Ordu	17033	40° 59' 02" K	37° 53' 09" D	5
Rize	17040	41° 02' 24" K	40° 30' 05" D	3
Samsun	17030	41° 20' 39" K	36° 15' 23" D	4
Sinop	17026	42° 01' 48" K	35° 09' 16" D	32
Tokat	17086	40° 19' 52" K	36° 33' 28" D	611
Trabzon	17037	40° 59' 55" K	39° 45' 54" D	25
Zonguldak	17022	41° 26' 57" K	31° 46' 41" D	135

Tablo 2.7. Marmara Bölgesi illerinin meteoroloji istasyon bilgileri

İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)
Balıkesir	17150	39° 37' 57" K	27° 55' 12" D	102
Bilecik	17120	40° 08' 29" K	29° 58' 38" D	539
Bursa	17116	40° 13' 51" K	29° 00' 48" D	100
Çanakkale	17112	40° 08' 28" K	26° 23' 58" D	6
Edirne	17050	41° 40' 36" K	26° 33' 03" D	51
İstanbul	17638	40° 54' 41" K	29° 09' 21" D	18
Kırklareli	17052	41° 44' 18" K	27° 13' 04" D	232
Kocaeli	17066	40° 45' 59" K	29° 55' 02" D	74
Sakarya	17069	40° 46' 03" K	30° 23' 36" D	30
Tekirdağ	17056	40° 57' 31" K	27° 29' 47" D	4
Yalova	17119	40° 39' 37" K	29° 17' 12" D	4

Meteoroloji istasyonlarının coğrafi konumları ve numaraları Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Meteoroloji istasyonların coğrafi konumları ve numaraları

2.1.3. İllerin Uzun Yıllar Ortalama İklim Verileri

Akdeniz, Doğu Anadolu, Ege, Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu, Karadeniz ve Marmara Bölgesi illerinin; 1980-2019 arası uzun yıllar ortalama iklim verileri sırasıyla Tablo 2.8, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13 ve 2.14’te gösterilmiştir.

Tablo 2.8. Akdeniz Bölgesi uzun yıllar ortalama iklim verileri

İstasyon Adı	U ₂	T _{ort}	T _{mak}	T _{min}	Rh _{mak}	Rh _{min}	n	Ygs	P _{ort}
Adana	0.97	19.2	25.4	13.9	96.2	17.8	7.5	85.8	664.6
Antalya	2.09	18.8	24.2	13.8	95.0	17.5	8.2	85.4	1102.6
Burdur	1.42	13.3	19.4	7.6	91.8	22.0	7.5	101.6	421.1
Hatay	2.09	18.3	23.2	14.1	94.0	22.1	7.2	99.4	1124.2
Isparta	1.42	12.3	18.4	6.2	94.3	23.8	7.1	112.2	538.4
K.Maraş	1.12	16.7	23.0	11.5	92.8	16.3	6.8	83.4	724.0
Mersin	1.42	19.2	23.4	14.8	90.8	33.0	7.5	79.0	603.2
Osmaniye	1.27	18.6	24.9	12.7	93.8	17.9	6.6	83.3	823.8

U₂: 2 metre rüzgar hızı (m.s⁻¹), T_{ort}, T_{mak} ve T_{min} sırasıyla ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık (°C), Rh_{mak} ve Rh_{min}: Maksimum ve minimum nem (%), n: Güneşlenme süresi (saat), Ygs: Yağışlı gün sayısı, Port: Ortalama yağış (mm).

Tablo 2.9. Doğu Anadolu Bölgesi uzun yıllar ortalama iklim verileri

İstasyon Adı	U ₂	T _{ort}	T _{mak}	T _{min}	Rh _{mak}	Rh _{min}	n	Ygs	P _{ort}
Ağrı	1.20	6.2	13.0	-0.4	94.8	31.6	6.3	117.3	525.9
Ardahan	1.35	3.6	10.9	-2.5	95.0	33.2	5.5	129.0	556.5
Bingöl	0.97	12.1	18.6	6.5	90.9	21.7	6.2	107.4	942.5
Bitlis	1.50	9.0	14.0	3.9	95.3	26.9	6.0	108.0	1046.6
Elazığ	1.72	13.1	19.0	7.5	88.5	22.3	7.1	98.6	409.6
Erzincan	1.05	10.9	17.3	4.7	93.4	26.4	6.6	107.7	378.6
Erzurum	1.94	5.7	11.9	-0.5	96.6	27.3	6.9	128.1	402.9
Hakkari	1.20	10.3	15.5	5.5	88.5	24.5	7.7	99.8	791.2
Iğdır	0.90	12.2	19.0	5.6	92.3	19.0	6.3	93.6	259.7
Kars	1.87	4.7	11.6	-1.7	95.2	30.9	6.5	120.8	497.4
Malatya	1.05	13.7	19.0	8.4	88.4	20.5	7.7	92.7	382.5
Muş	0.90	9.7	15.9	4.2	91.0	26.7	6.6	113.0	761.5
Tunceli	0.90	12.7	19.6	6.8	91.2	22.7	7.1	109.7	856.5
Van	1.57	9.4	15.0	3.7	90.5	24.9	7.9	98.5	388.9

Tablo 2.10. Ege Bölgesi uzun yıllar ortalama iklim verileri

İstasyon Adı	U ₂	T _{ort}	T _{mak}	T _{min}	Rh _{mak}	Rh _{min}	n	Ygs	P _{ort}
A.Karahisar	1.50	11.3	17.4	5.1	95.3	23.0	6.8	116.6	424.4
Aydın	1.12	17.7	24.6	11.9	95.3	21.0	6.5	91.0	638.6
Denizli	0.90	16.2	22.5	10.8	93.1	23.7	7.3	95.5	567.7

İzmir	2.24	17.9	22.7	13.5	90.8	29.8	8.1	91.4	699.6
Kütahya	1.20	10.8	17.0	4.9	94.9	22.9	6.1	123.5	569.0
Manisa	1.27	16.9	22.9	11.0	92.1	25.0	6.5	93.7	739.7
Muğla	1.42	15.1	21.2	9.6	95.3	21.3	7.3	100.9	1186.3
Uşak	1.35	12.5	18.5	6.8	94.9	22.6	7.5	98.0	546.1

Tablo 2.11. Güneydoğu Anadolu Bölgesi uzun yıllar ortalama iklim verileri

İstasyon Adı	U ₂	T _{ort}	T _{mak}	T _{min}	Rh _{mak}	Rh _{min}	n	Ygs	P _{ort}
Adıyaman	1.27	17.3	23.1	12.0	88.1	17.8	7.6	95.4	712.7
Batman	1.26	15.9	23.8	8.9	88.2	23.4	7.5	88.2	485.6
Diyarbakır	1.94	15.9	22.6	8.8	87.2	19.3	7.9	99.6	500.1
Gaziantep	0.82	15.2	21.6	9.4	92.8	19.8	7.1	92.2	570.9
Kilis	1.87	17.2	23.4	11.8	93.7	13.5	7.7	90.3	494.6
Mardin	2.77	16.1	20.1	12.3	86.1	17.8	8.1	84.0	670.5
Siirt	0.97	16.2	21.7	11.0	85.0	20.5	7.5	106.5	695.9
Şanlıurfa	1.20	18.5	24.4	12.7	90.4	18.2	8.1	80.6	460.2
Şırnak	1.42	15.1	19.3	10.9	73.2	14.5	7.3	75.7	720.8

Tablo 2.12. İç Anadolu Bölgesi uzun yıllar ortalama iklim verileri

İstasyon Adı	U ₂	T _{ort}	T _{mak}	T _{min}	Rh _{mak}	Rh _{min}	n	Ygs	P _{ort}
Aksaray	1.80	12.1	18.7	6.2	91.7	23.4	7.4	92.5	346.2
Ankara	1.65	11.9	17.9	6.3	93.5	23.6	6.8	134.0	412.5
Çankırı	0.90	11.3	18.1	5.0	96.7	26.5	6.3	112.0	417.0
Eskişehir	1.42	11.3	17.5	5.4	96.4	24.0	6.2	102.4	378.8
Karaman	1.57	12.0	18.8	5.5	91.8	20.3	7.9	83.8	335.5
Kayseri	1.20	10.7	18.1	3.0	95.2	20.7	7.0	107.9	392.2
Kırıkkale	1.42	12.5	18.5	6.9	93.9	25.5	7.0	103.8	388.1
Kırşehir	2.02	11.5	17.8	5.4	95.0	24.5	7.3	105.5	384.9
Konya	1.72	11.7	18.0	5.4	93.0	21.3	7.4	102.8	328.8
Nevşehir	1.50	10.7	16.5	5.4	94.7	21.7	7.1	97.5	415.2
Niğde	1.94	11.2	17.6	5.1	93.4	20.4	7.4	111.2	335.0
Sivas	0.90	9.0	15.4	2.9	94.7	23.2	6.8	112.0	438.6
Yozgat	1.50	9.2	14.7	4.0	96.7	26.1	6.7	115.8	587.5

Tablo 2.13. Karadeniz Bölgesi uzun yıllar ortalama iklim verileri

İstasyon Adı	U ₂	T _{ort}	T _{mak}	T _{min}	Rh _{mak}	Rh _{min}	n	Ygs	P _{ort}
Amasya	1.20	13.5	20.1	8.0	92.7	18.1	5.7	111.7	459.8
Artvin	1.27	12.3	17.3	8.5	95.8	21.2	4.9	147.7	703.1
Bartın	0.97	12.8	19.1	7.7	98.1	29.2	5.8	148.9	1043.9
Bayburt	1.27	7.0	13.8	1.3	92.0	23.3	5.6	110.8	442.4
Bolu	0.97	10.5	17.1	4.7	97.3	26.1	5.5	138.1	561.4

Çorum	1.27	10.8	17.6	4.3	96.9	23.5	6.1	122.9	446.9
Düzce	0.75	13.1	19.4	8.6	97.0	29.0	5.1	143.9	830.7
Giresun	0.90	14.8	18.0	11.7	94.5	34.8	2.8	171.2	1268.0
Gümüşhane	1.27	9.5	16.5	4.4	93.9	20.8	5.7	128.9	459.9
Karabük	0.75	13.4	20.8	7.9	95.4	22.3	5.7	136.3	479.9
Kastamonu	0.97	9.8	16.4	4.1	96.4	25.5	5.8	146.5	503.1
Ordu	1.12	14.5	18.4	11.2	93.4	35.7	4.5	163.9	1045.3
Rize	0.90	14.5	18.1	10.4	98.4	36.3	4.2	183.9	2245.0
Samsun	1.65	14.6	18.3	11.1	94.7	31.6	5.3	154.0	716.9
Sinop	2.17	14.3	17.3	11.6	96.6	34.7	5.4	138.3	689.3
Tokat	1.65	12.5	18.8	7.1	94.5	24.4	5.9	126.8	429.9
Trabzon	1.72	14.7	18.1	11.8	93.9	33.1	4.5	149.8	816.9
Zonguldak	1.80	13.7	17.1	10.5	96.0	30.8	5.5	159.5	1218.5

Tablo 2.14. Marmara Bölgesi uzun yıllar ortalama iklim verileri

İstasyon Adı	U ₂	T _{ort}	T _{mak}	T _{min}	Rh _{mak}	Rh _{min}	n	Ygs	P _{ort}
Balıkesir	1.20	14.7	21.2	8.8	95.8	26.3	6.8	103.0	583.5
Bilecik	1.57	12.5	17.8	8.1	95.0	27.8	6.4	117.4	462.1
Bursa	1.50	14.6	20.4	9.1	97.1	24.4	6.3	123.2	694.8
Çanakkale	2.77	15.1	19.7	10.8	95.5	38.0	7.2	92.9	618.9
Edirne	1.35	13.7	19.7	8.4	96.5	29.5	6.0	115.2	603.8
İstanbul	1.35	16.2	20.8	12.7	96.6	27.4	6.3	125.1	652.7
Kırklareli	1.12	13.2	18.9	8.8	96.1	29.9	5.3	112.1	578.3
Kocaeli	1.05	14.8	19.8	10.8	96.8	30.9	5.7	150.1	816.5
Sakarya	1.12	14.6	20.0	10.1	97.6	30.1	5.4	140.5	850.6
Tekirdağ	1.94	14.1	17.9	10.4	96.5	41.4	5.7	110.1	582.3
Yalova	1.20	14.6	19.1	10.4	95.4	35.2	5.4	121.0	748.7

2.2. Yöntem

2.2.1. Tez Çalışmasının Yöntemine Dair Genel Bilgiler

Çalışmada kullanılan yağış verileri homojenlik testlerine tabi tutulmuştur. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksine (SPEI) göre Türkiye’de kuraklık eğilimi Modifiye Mann-Kendall eğilim testi ve bu eğilimin büyüklüğü (hızı) Sen’in eğim metoduyla belirlenmiş ve hem zamansal hem de mekansal olarak 1, 6 ve 12 ay zaman ölçeklerinde karşılaştırılmıştır. SPEI indeksinin hesaplanmasında FAO-56 Penman-Monteith ve Hargreaves referans evapotranspirasyon metotları kullanılmıştır. Mekansal analiz için IDW (Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi) yöntemi kullanılmıştır.

2.2.2. Homojenlik Analizi

İklim parametrelerine bağlı kuraklık analizleri, eğilim analizleri vb. çalışmalarda kullanılan verilerin homojen olup olmadığının belirlenmesi analizlere dair sonuçların güvenilirliğini artırmaktadır.

SPI indeksine göre kuraklık değerlendirmesi sadece yağış verilerine göre yapılırken SPEI indeksinde ise yağış ve meteorolojik veri kombinasyonları (sıcaklık, nem, rüzgar, güneşlenme süresi ve güneşlenme şiddeti) hesaba katılarak kuraklık analizleri yapılmaktadır (Vicente-Serrano vd.,2010). Vicente-Serrano vd., (2010) geliştirdikleri SPEI kuraklık indeksinde, farklı zaman ölçekleri için oluşturulan iklimsel su dengesi (D_i) serilerine göre hesaplamalarını gerçekleştirmişlerdir Farklı zaman ölçeklerinde SPEI değerlerini hesaplayabilmek için $D_i = P_i - ET_{0i}$ eşitliğini kullanmışlardır. Bu eşitlik, Keskiner vd. (2020) tarafından açıkça belirtildiği gibi, havza su açığının bir göstergesidir. Buradan da anlaşılabileceği üzere iklimsel su dengesinin bulunabilmesi için ölçülen yağış miktarından (P_i) referans evapotranspirasyon (ET_0) değerinin çıkarılması gerekmektedir. SPI ve SPEI indislerine dayalı hesaplamalar için yağış miktarı en önemli iklim parametresidir (Vicente-Serrano vd., 2010).

Tez çalışmasında homojenlik testleri, sadece aylık toplam yağış verilerine uygulanmış, ET_0 hesaplamalarında kullanılacak olan iklim veri kombinasyonları (sıcaklık, nem, rüzgâr, güneşlenme süresi ve güneşlenme şiddeti) için ayrıca homojenlik testleri yapılmamıştır. Türkiye il merkezlerinde kurulu 81 meteoroloji istasyonuna ait 1980-2019 yılları arası aylık toplam yağış miktarları SPI ve SPEI indislerine göre kuraklık analizlerinin güvenilir bir şekilde yapılabilmesi için homojenlik testlerine tabi tutulmuştur.

2.2.3. Homojenlik Test Yöntemleri

Bu tez çalışmasında Wijngaard vd. (2003)'te metodolojileri verilmiş istatistik yaklaşımlar olan Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT), Buishand Range Testi (Buishand, 1982). Pettitt Testi (Pettitt, 1979) ve Von Neumann Testi (Von Neuman, 1941) homojenlik testi olarak kullanılmıştır. SNHT, Buishand Range ve Pettitt testleri, veri setindeki ortalamaları karşılaştırarak homojenlik durumunun yanı sıra veri setindeki kırılmaları ve değişim yıllarını tespit ederler. Von Neumann testi ise kullanılan veri setinin homojen olup olmadığını tespit eder (AL-Lami vd., 2014). Homojenlik testleri

aylık toplam yağış verilerine uygulanmıştır. Aylık toplam yağış miktarları Microsoft Excel 2019 programına girilmiş ve sonrasında ilgili homojenlik testlerinin yapılması için XLSTAT 2018 programına aktarılmıştır. XLSTAT 2018 programı üzerinde ilgili 4 homojenlik testiyle veri serilerinin homojenliği %5 anlamlılık düzeyinde araştırılmıştır.

2.2.3.1. Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT)

Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT), iklim verilerine dayalı zaman serilerinin homojenliğinin araştırılmasında başarılı sonuçlar vermiştir (Alexandersson, 1986). Homojenlik testinde kullanılan verilerin normal dağılıma uyduğu kabul edilir. Zaman serisi verilerinde homojenliği bozan verinin bir kırılma noktası ile bulunduğu bu testte, sıfır hipotezi şartı Y değişkeninin ve testi yapılacak Y_i yıllık değerlerinin bağımsız ve benzer yayılım gösterdiği kabulüne dayanır. Veri serisi ortalamasında bir kırılma olursa karşıt hipotez kabul edilir (Cengiz, 2005). Alexandersson (1986)'a göre; ilk k yılındaki ortalama ile son $(n-k)$ yılları arası ortalamayı karşılaştırmak için $T(k)$ istatistiği hesaplanır. $T(k)$ istatistiği Eşitlik 1 ile hesaplanır.

$$T(k) = k\bar{z}_1^2 + (n - k)\bar{z}_2^2, k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

Burada, $\bar{z}_1$ ve $\bar{z}_2$ sırasıyla Eşitlik 2 ve 3 ile hesaplanır.

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})/s \quad (2)$$

$$\bar{z}_2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=k+1}^n (Y_i - \bar{Y})/s \quad (3)$$

Eşitlik 2 ve 3'te verilen $\bar{Y}$ gözlem değerlerinin ortalamasını, Y_i her bir yıl için gözlem değerlerini, s ise standart sapmayı temsil etmektedir. Seride k yılında bir değişim meydana gelirse $T(k)$ en büyük değere ulaşır. Bu durumda, T_{ocal} test istatistiği Eşitlik 4 ile hesaplanır.

$$T_{ocal} = \max_{1 \leq k \leq n} T(k) \quad (4)$$

T_{ocal} homojenlik testiyle hesaplanan T_0 değerini ifade eder.

Zaman serileri homojenlik testine tabi tutulduktan sonra çıkan test sonucu (T_{ocal}) Wijngaard vd. (2003) tarafından oluşturulan T_0 test istatistiği tablo değerlerine göre %5 anlamlılık düzeyinde (%95 güven seviyesinde) değerlendirilmiştir. Standart normal homojenlik testine dair T_0 test istatistiği kritik değerleri Tablo 2.15'te gösterilmiştir. Homojenlik test değeri (T_{ocal}) test istatistiği tablo değerini (T_0) aşarsa sıfır hipotezi (H_0 =Veriler homojendir) reddedilir ve alternatif hipotez (H_a = Veriler homojen değildir) kabul edilir.

Tablo 2.15. SNHT kritik T_0 test değerleri

n	20	30	40	50	70	100
%5	6.95	7.65	8.10	8.45	8.80	9.15

2.2.3.2. Buishand Range Testi

Buishand (1982) tarafından geliştirilen Buishand Range Testinde 'R' düzeltme değeri olarak kullanılmaktadır. Test istatistiğini hesaplamak için Eşitlik 5 kullanılır.

$$S_0^* = 0 \text{ ve } S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}), k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5)$$

Eşitlik 5'te S , standart sapmayı, S_0^* ve S_k^* kısmi toplamaları temsil eder. Maksimum S_k ve minimum S_k arasındaki farkın standart sapma değerine oranı R düzeltme değerini verir (Wijngaard vd. 2003). R düzeltme değerini hesaplamak için Eşitlik 6 kullanılır.

$$R_{cal} = \left(\max_{0 \leq k \leq n} S_k^* - \min_{0 \leq k \leq n} S_k^* \right) \quad (6)$$

Seride homojenlik olursa S_k^* değeri sıfıra eşit olur. Bu durum seride herhangi bir sebepten kaynaklı sistematik sapma olmadığı anlamına gelir. R_{cal} homojenlik testiyle hesaplanan R değerini ifade eder.

Zaman serileri Buishand Range homojenlik testine tabi tutulduktan çıkan test sonucu (R_{cal}) Wijngaard vd. (2003) tarafından oluşturulan R test istatistiği tablo değerlerine göre %5 anlamlılık düzeyinde (%95 güven seviyesinde) değerlendirilmiştir. R test istatistiği kritik değerleri Tablo. 2.16'da gösterilmiştir. Homojenlik testi sonucunda çıkan sonuç (R_{cal}), kritik test değerinden (R) daha küçük ise o veri seti homojen olarak adlandırılır.

Tablo 2.16. Buishand Range kritik R test değerleri

n	20	30	40	50	70	100
%5	1.43	1.50	1.53	1.55	1.59	1.62

2.2.3.3. Pettitt Testi

Zaman serilerindeki değişim noktalarını belirlemek için Pettitt (1979) tarafından geliştirilen bu yöntemle aylık veya yıllık bazda değişim noktaları belirlenebilmektedir. H_0 hipotezi (sıfır hipotezi) serinin bağımsız ve rastgele dağılıma sahip olduğunu belirtirken H_a hipotezi (alternatif hipotez) ani bir kırılma (zaman serisinde değişim) olma durumunu tespit eder. Serideki değişim noktasını belirlemek amacıyla Y_i gözlem değeri $r_1, r_2, \dots, r_n$ değerleri olarak sıralanır ve 'n' tane gözlem değeri için Eşitlik 7 ile gösterilen X_k istatistiği hesaplanır.

$$X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1), k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (7)$$

E yılında kırılma gerçekleşirse, test istatistiği $k = E$ yılında en yüksek veya en düşük değerlerini alır. Seride herhangi bir E noktasında meydana gelen değişim X_k mutlak değeri için en büyük değeri alır. X_E kritik değer tablosunu Pettitt (1979) hazırlamıştır.

$$X_{Ecal} = \max_{1 \leq k \leq n} |X_k| \quad (8)$$

Pettitt testi sonucunda elde edilen X_{Ecal} değeri (%5 anlamlılık düzeyinde) veri sayısına göre Tablo 2.17'de belirtilen ilgili kritik değerden daha küçük ise homojenlik testine tabi tutulan veri seti homojen olarak kabul edilir.

Tablo 2.17. Pettitt kritik X_E test değerleri

n	20	30	40	50	70	100
%5	57	107	167	235	393	677

2.2.3.4. Von Neumann Testi

Von Neumann oranı olarak adlandırılan N, yıllık bazda veri serilerinin ortalama toplamalarının varyans değerine oranı olarak belirtilmiştir (Von Neumann, 1941). Von

Neumann homojenlik testiyle bulunan N_{cal} istatistiğinin hesaplanması Eşitlik 9'a göre yapılır.

$$N_{cal} = \sum_{i=1}^{n-1} (Y_i - Y_{i+1})^2 / \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (9)$$

Homojenlik testi sonucunda çıkan N_{cal} değeri (%5 anlamlılık düzeyinde) Tablo 2.18'de verilen N kritik değerinden daha büyük ise o veri seti homojen olarak belirlenir.

Tablo 2.18. Von Neumann kritik N test değerleri

n	20	30	40	50	70	100
%5	1.30	1.42	1.49	1.54	1.61	1.67

2.2.4. Meteorolojik Zaman Serileri Homojenlik Testlerinin Sınıflandırılması

Wijngaard vd. (2003) tarafından yürütülen çalışmada, meteorolojik verilerin homojenliğinin analizinde bu tez çalışmasında da dikkate alınan homojenlik testleri kullanılmıştır. Wijngaard vd. (2003) tarafından benimsenen yöntemle göre sınıflandırma iki bölümde gerçekleştirilmiştir. Birinci bölümde meteorolojik verilerin bu dört homojenlik testine göre kontrol edilmesi, ikinci bölümde ise her istasyon özelinde homojenlik test sonuçlarının kullanılabilirliğinin belirlenmesinde bir sınıflandırma oluşturmuşlardır. Çalışmada Wijngaard vd. (2003) tarafından oluşturulan sınıflandırma kullanılmış ve Tablo 2.19'da gösterilmiştir.

Tablo 2.19. Meteorolojik zaman serilerinin homojenlik test sınıflandırması

Sınıf	Açıklama	Değerlendirme
1	En çok bir test H_0 hipotezini %5 hata düzeyinde reddetmiştir. Zaman serisi iklim çalışmalarında kullanılabilir.	Kullanışlı
2	En çok iki test H_0 hipotezini %5 hata düzeyinde reddetmiştir. Zaman serisi nispeten heterojen olduğundan iklim çalışmalarında göz ardı edilmemelidir.	Belirsiz
3	3 veya 4 test H_0 hipotezini %5 hata düzeyinde reddetmiştir. Zaman serisi iklim çalışmalarında homojen hale getirilmeli veya kullanılmamalıdır.	Şüpheli

2.2.5. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI)

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI), kuraklığı izlemek ve bunun üzerine değerlendirme yapabilmek için McKee vd. (1993) tarafından geliştirilmiştir. SPI indeksine göre kuraklık analizi yapılabilmesi için aylık toplam yağış verileri kullanılmaktadır. SPI, gama fonksiyonunu kullanarak uzun vadeli yağışların olasılık dağılımına dayalı olarak kuraklık koşullarını değerlendirmek için tasarlanmıştır (McKee vd. 1993). SPI indeksi kuraklığı izlemede ve şiddetini belirlemede en çok tercih edilen yöntemlerden birisi olmakla beraber hem zamansal hem de mekansal olarak kullanılabilir. Araştırmada kullanılacak verinin normal dağılım göstermesi durumunda, SPI indeksinin en genel ilişkisi, bir i istasyonunun belli bir zaman ölçeği için, yağış miktarının (x_i) ortalama yağış miktarından ($\bar{x}_i$) olan farkının standart sapmaya (σ_i) bölünmesi ile elde edilebileceğine dair simülasyon gerçeğini esas alır. Eldeki verinin popülasyon beklenen değeri ve standart sapması bilinmesi halinde, SPI değeri hipotetik olarak Eşitlik 10'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Çetin vd., 2018; Aksoy vd., 2021).

$$SPI = \frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i} \quad (10)$$

SPI indeksine göre hesaplama yapılırken en az 30 yıllık sürekli ve hatalardan arındırılmış yağış serileri kullanılmalıdır. Bununla birlikte, Said vd. (2019) tarafından gerekelendirildiği gibi, zorunlu hallerde daha kısa kayıt uzunluğundaki yağış serileri ile de kuraklık analizi yapılabilmektedir. Sonra her yağış serisi Gama dağılımına uydurulur. Gama dağılımı yağış serileri için en uygun dağılım olarak kabul edilmektedir (Thom, 1958). Bu dağılım, dağılım frekansı veya olasılık yoğunluk fonksiyonu şeklinde tanımlanmaktadır.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, x > 0 \text{ için} \quad (11)$$

$\alpha > 0$, α şekil parametresi, $\beta > 0$ ölçek parametresi, $x > 0$; x yağış miktarını ve $\Gamma(\alpha)$ gama fonksiyonunu ifade etmektedir. α ve β gama teorik olasılık dağılım modelinin parametreleridir. α ve β hesaplamaları Eşitlik 12'de verilmiştir.

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \text{ ve } \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (12)$$

Eşitlik 12’de bulunan A değeri eşitlik 13’te tanımlanmıştır.

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (13)$$

n; yağış gözlemlerinin sayısını ifade etmektedir. Herhangi veriye ait kümülatif olasılık değeri aşağıda ilişkisi (Eşitlik 14) verilen Gama kümülatif olasılık dağılım fonksiyonundan elde edilir.

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (14)$$

Gama fonksiyonu x=0 için tanımsız olduğundan yağış verisinin sıfır olması durumunda, Eşitlik 14’e Eşitlik 15’teki şekilde düzenleme yapılır.

$$H(x) = q + (1 - q) \cdot G(x) \quad (15)$$

Eşitlik 15’te q sıfır (0) değeri için olasılığı ifade etmede kullanılır.

2.2.6. Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI)

Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI), yağışla beraber diğer meteorolojik parametreleri hesaplamaya dahil eden çok ölçekli ve çoklu sayısal bir özelliğe sahiptir. Vicente-Serrano vd. (2010) tarafından geliştirilen indeks aylık iklimsel su dengesinin (D) farklı zaman ölçeklerinde değişimini esas alır. SPEI hesaplama algoritması için referans evapotranspirasyonun (ET₀) tahmin edilmesi, farklı zaman ölçeklerinde iklimsel su dengesi açığının (D_i= P_i-ET_{0i}) belirlenerek, Log-logistik olasılık dağılımıyla atmosfer su dengesinin normalize edilmesi gerekmektedir. İklimsel su dengesi açığı Eşitlik 16’da verilmiştir.

$$D_i = P_i - ET_{0i} \quad (16)$$

Eşitlik 16’da; D_i; iklimsel su dengesi açığı (mm), P_i; toplam yağış miktarı (mm), ET_{0i}; referans evapotranspirasyonu (mm) temsil eder. SPEI değerlerinin hesaplanabilmesi için zaman ölçekleri için üç parametrelili Log-logistik teorik olasılık dağılım modeli kullanılmaktadır. SPI indeksi iki parametrelili dağılımı (0 < x < ∞) kullanmaktadır ki x sadece pozitif değerler alabilmektedir. Oysa ki SPEI ‘de kullanılan üç parametrelili dağılımlarda (γ > x < ∞), x negatif değerler de alabilmektedir (Vicente-Serrano vd., 2010).

Burada; γ dağılımın başlangıç parametresini temsil etmektedir. Bu yüzden Log-logistik dağılımı ekstrem negatif değerlere daha iyi uyum sağladığı için SPEI hesaplamasında tercih edilmektedir (Hernandez ve Venkatesh, 2014). Farklı zaman ölçekleri için iklimsel su dengesi Eşitlik 17 yardımıyla hesaplanır

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-i} - ET_{0n-i}), \quad n \geq k \quad (17)$$

Eşitlikte; k seçilen zaman ölçeğini (ay) ve n hesap frekansını temsil etmektedir. Üç parametrelili Log-logistik dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu eşitlik 18’de gösterilmiştir.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \left(1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right)^{-2} \quad (18)$$

Eşitlikte; D değerleri $\gamma > D < \infty$ içinde α, β ve γ sırası ile ölçek, şekil ve orijin parametreleridir. Vicente-Serrano vd. (2010) SPEI hesaplama çalışmalarında α, β ve γ parametrelerini L-momentler metoduyla belirlemişlerdir. Bu tez çalışmasında da L-momentler metoduna göre α, β ve γ parametreleri tahmin edilmiştir (Eşitlik 19,20 ve 21).

$$\beta = \frac{2w_1 - w_0}{6w_1 - w_0 - 6w_2} \quad (19)$$

$$\alpha = \frac{(w_0 - 2w_1)\beta}{\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})\Gamma(1 - \frac{1}{\beta})} \quad (20)$$

$$\gamma = w_0 - \alpha\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})\Gamma(1 - \frac{1}{\beta}) \quad (21)$$

Burada $\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$, $(1 + \frac{1}{\beta})$ ’nin gama fonksiyonu, w_s ise sıralı olasılık yoğunluk fonksiyonudur. Eşitlik 22’e göre hesaplanır ve s = 0,1,2 değerlerini alır.

$$w_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{j-0.35}{n}\right)^s D_i \quad (22)$$

Eşitlik 22’de n veri noktalarının sayısını, j ise artan sıradaki gözlem aralığını temsil etmektedir.

Zaman ölçeklerinde D_i serilerinin standart normal dağılıma dönüştürülmesi için, Log-logistik dağılıma bağlı olarak kümülatif olasılıklar aşağıdaki ilişkiden (Eşitlik 23) belirlenir.

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (23)$$

SPEI değeri $F(x)$ 'in standartlaştırılmış değeri olarak Eşitlik 24'teki gibi hesaplanır.

$$SPEI = W - \frac{c_0 + c_1 W + c_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (24)$$

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)}, P \leq 0.5 \quad (25)$$

Eşitlik 25'te P belirlenen bir D değerini aşma olasılığını ifade eder. Eğer $P > 0.5$ ise, $1-P$ değiştirilir ve sonuçtaki SPEI işareti tersine çevrilir. Burada; P belirlenmiş bir D_i değerini aşma olasılığıdır.

$P = 1 - F(x)$; $P > 0.5$ iken, $P = 1 - P$ ve sabitlerde aşağıda gösterildiği gibi olurlar (Yang vd., 2016).

$$c_0 = 2.515517$$

$$c_1 = 0.802853$$

$$c_2 = 0.010328$$

$$d_1 = 1.432788$$

$$d_2 = 0.189269$$

$$d_3 = 0.001308$$

Vicente-Serrano vd. (2010) SPEI değerlerinin kuraklık sınıflandırması için; McKee vd. (1993) kullandığı SPI kuraklık sınıflandırmasını benimsemişlerdir (Tablo 2.20).

Tablo 2.20. SPEI ve SPI indeksi kuraklık şiddeti sınıflandırması (McKee vd., 1993)

SPEI / SPI	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 ≤ -1	Orta Derecede Kurak
> -2 ile ≤ -1.5	Şiddetli Kurak
≤ -2	Çok Şiddetli Kurak

2.2.7. Referans Evapotranspirasyon Metotları

Buharlaşmayla (evaporasyon) toprak yüzeyinden oluşan su kaybı ve bitkide terlemeyle (transpirasyon) meydana gelen su kaybı şeklinde tanımlanan iki farklı sürecin birleştirilmesi, evapotranspirasyon (ET) olarak tanımlanmıştır. Su eksikliğinin olmadığı referans bir yüzeyde gerçekleşen evapotranspirasyon hızı, referans evapotranspirasyon (ET_0) şeklinde tanımlanır ve referans yüzey özel karaktere sahip çim bitkisidir. Referans evapotranspirasyon, referans bitki su tüketimi şeklinde de ifade edilebilir. Bitkinin su tüketimi, ilgili bitkinin yetiştirildiği alanın meteorolojik ve coğrafi özelliklerinden etkilenmektedir. Bilhassa meteorolojik şartlar değişkenlik gösterdikçe bitkinin tükettiği su miktarı da değişkenlik gösterecektir. Bu sebeple bitki su tüketimi, aynı bölge içerisinde bile farklılıklar arz edebilir. Etkili sulama, su yönetimi, sulama planlanması vb. iş ve işlemlerin en verimli şekilde yerine getirilebilmesi için bitki su tüketiminin doğruya en yakın şekilde hesaplanması çok önemlidir. Bitki su tüketiminin en güvenilir şekilde hesaplanabilmesi için lizimetre yöntemi kullanılmaktadır. Lizimetre yöntemiyle hesaplama yapmak uzun zaman gerektirdiğinden ve maliyetli olduğundan araştırmacılar daha çok amprik yöntemlere yönelmişlerdir. Bitki su tüketiminin hesaplanmasında meteorolojik verilere dayalı amprik yöntemler başarılı sonuçlar vermiştir. SPEI indeksi hesaplamalarında da amprik yöntemlere dayalı referans bitki su tüketimi hesaplama metotları tercih edilmiştir.

SPEI indeksini geliştiren Vicente-Serrano vd. (2010), SPEI hesaplamalarında sadece aylık ortalama sıcaklık verilerini gerektiren ve bu yönüyle avantaj sağlayan Thorntwaite referans evapotranspirasyon hesaplama yöntemini tercih etmişlerdir. SPEI indeks hesaplamalarında bazı çalışmalar da farklı ET_0 eşitlikleri de karşılaştırılmıştır (Begueria vd., 2014). Meteoroloji istasyonlarından temin edilen parametrelerle amprik olarak ET_0 hesaplamaları yapılmaktadır (Vicente-Serrano vd., 2010). Evapotranspirasyon doğrusal olmayan dinamik bir süreçtir. Bu yüzden farklı iklim koşulları altında güvenilir sonuçlar verebilen basit eşitlikler oluşturmak zordur (Kumar vd., 2002). Bu zorluklardan dolayı evapotranspirasyonun tahmin edilmesinde çok sayıda metot önerilmiştir (Brutsaert, 1982; Jensen vd., 1990). Genel olarak ET_0 hesaplamalarında enerji dengesi/aerodinamik eşitlik kombinasyonları en doğru sonuçları sağlayabilmektedir (Jensen vd., 1990). Referans Evapotranspirasyon (ET_0) eşitlikleri sıcaklığa dayalı, radyasyona dayalı ve karma metotlar şeklinde gruplandırılmaktadır.

Birçok ET_0 hesaplama metodu olmasına rağmen bazıları dünya çapında kurum ve kuruluşlar ve bilim çevreleri tarafından güncel bir şekilde kullanılmakta ve benimsenmektedir. Örneğin; Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ET 'nin hesaplanması için FAO 56 Penman-Monteith metodunu standart eşitlik olarak benimsemiştir (Allen vd., 1998). Sulama ve Drenaj Dairesi, Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği (ASCE) ve Uluslararası Sulama ve Drenaj Komisyonu (ICID) Penman-Monteith eşitliğinin modifiye edilmiş (standartlaştırılmış) halinin kullanılmasını tavsiye etmiştir (Çetin, 2020). FAO-56 Penman-Monteith (Allen vd., 1998) yöntemi ile hesaplama yapılabilmesi için birçok meteorolojik parametreye ihtiyaç duyulmaktadır. Sadece sıcaklık verileri ile referans evapotranspirasyon hesaplaması yapılabilen metotlarda geliştirilmiştir. Bunlara Thornthwaite ve Hargreaves (Hargreaves ve Samani, 1985) metotları örnek gösterilebilir. SPEI indeksi hesaplamalarında Thornthwaite yöntemine sıkça başvurulduğuna şahit olunmaktadır. Thornthwaite (1948), tarafından geliştirilen ET_0 hesaplama metodu sıcaklığa dayalı bir eşitliktir. Thornthwaite metodu sadece aylık ortalama sıcaklık parametresini gerektirdiği için, ET_0 hesaplamalarında eksik meteorolojik parametrenin olduğu alanlarda benimsenmiştir. Fakat Thornthwaite metoduna göre ortalama sıcaklık değeri nin sıfır derece ve altına düştüğünde evapotranspirasyon durduğu için negatif sıcaklık değeri lerinde evapotranspirasyon sıfır olarak hesaplamaya dahil edildiği belirtilmiştir (Sellinger, 1996; Van der Schrier, 2011).

Sıcaklık verilerinin kullanıldığı bir diğer metot olan Hargreaves’de SPEI indeksi hesaplama çalışmalarında başarılı sonuçlar vermiştir (Begueria vd., 2014). Bu nedenle Türkiye ölçeğinde yürütülen bu çalışmada, ortalama sıcaklığın sıfır derece ve altına düştüğü istasyonlar olduğu için sıcaklık verisine dayalı hesaplama yapan Hargreaves (Hargreaves ve Samani, 1985) tercih edilmiştir. Bu tez çalışmasında, SPEI indeksi hesaplamalarında FAO-56 Penman-Monteith (Allen vd., 1998) ve Hargreaves (Hargreaves ve Samani, 1985) metotları kullanılmıştır.

2.2.7.1. FAO 56 Penman-Monteith Yöntemi

Referans evapotranspirasyon (ET_0) atmosferin buharlaşma talebini gösteren bitki su tüketimi miktarıdır. Referans evapotranspirasyonun (ET_0) FAO56 Penman-Monteith yöntemiyle elde edilmesinde ise Allen vd. (1998)’de belirtilen aşağıdaki Eşitlik 26 kullanılmıştır.

$$ET_{0PM} = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (26)$$

Eşitlik 26’da;

ET_0 : Referans evapotranspirasyonu (mm.gün^{-1}), R_n : Bitki yüzeyindeki net radyasyonu ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{gün}^{-1}$), G : Toprak ısı akış yoğunluğunu ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{gün}^{-1}$), T : 2 m yükseklikte ortalama günlük hava sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), u_2 : 2 metre yükseklikte rüzgar hızını (m.s^{-1}), e_s : Doygun buhar basıncını (kPa), e_a : Gerçek buhar basıncını (kPa), Δ : Buhar basıncı eğrisinin eğimini ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$) ve γ : Psikrometrik sabiti ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$) temsil etmektedir.

2.2.7.2. Hargreaves Metodu

Hargreaves ve Samani (1985) tarafından alternatif amprik ET_0 hesaplama yaklaşımı önerilmiştir. Hesaplama, önerildiği gibi Eşitlik 27’e göre yapılmıştır.

$$ET_{0HG} = C_H 0.408 R_0 (T + 17.8) \sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (27)$$

Eşitlikte T : ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), R_0 : ekstrasferrestial (atmosfer dış yüzeyinden gelen) solar radyasyon $T_{\max}$ ve $T_{\min}$ sırasıyla; maksimum ve minimum sıcaklıklar ($^{\circ}\text{C}$) ve C_H : Hargreaves katsayısıdır. C_H katsayısı için 0.0023 değeri kullanılmıştır.

1, 6 ve 12 ay zaman ölçeklerinde hem SPI indeksi hem de SPEI indeksi , Vicente-Serrano vd. (2010) tarafından R Programlama Diline (kullanım arayüzü olarak R Studio Masaüstü 1.2.5033 sürümü kullanılmıştır) eklenen SPEI paketiyle hesaplanmıştır. FAO-56 Penman- Monteith metoduna göre aylık referans evapotranspirasyon değerleri Excel-2019 ortamında, Hargreaves metoduna göre referans evapotranspirasyon değerleri ise yine R Studio üzerinde hesaplanmıştır.

2.2.8. Zamansal Analiz

Klimatolojik zaman serilerinde önemli eğilimlerin tespitine yönelik testler, parametrik ve parametrik olmayan yöntemler olarak sınıflandırılabilir. Parametrik eğilim testleri, verilerin bağımsız ve normal dağılmış olmasını gerektirirken parametrik olmayan eğilim testleri yalnızca verilerin bağımsız olmasını gerektirir. Kuraklık gibi iklimsel tabanlı doğa olaylarının analizlerinde parametrik olmayan testler sıklıkla kullanılmaktadır (Gocic ve Trajkovic, 2013).

Çalışmada 1,6 ve 12 ay zaman ölçeklerinde Türkiye 81 il merkez istasyonunun 1980-2019 yılları arası meteorolojik verileri kullanılarak SPI ve SPEI indekslerine göre elde edilen sonuçlara Modifiye Mann-Kendall eğilim testi (Hamed ve Rao, 1998) uygulanmış, Sen'in eğim metodu (Sen, 1968) ile de eğilimin büyüklüğü saptanmıştır. Bu iki test de parametrik olmayan yöntemler sınıfına girmektedir.

2.2.8.1. Mann-Kendall Eğilim Testi

Mann-Kendall, parametrik olmayan test yöntemlerinden biri olup meteorolojik ve hidrolojik değişkenlerin analizinde kullanılmasını Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) tavsiye etmektedir (Çetin, 1996; Li vd., 2012; Liu vd., 2016; Li vd., 2019). Kendall'ın Tau istatistiği olarak da bilinen Mann-Kendall eğilim testi meteorolojik ve hidro-meteorolojik zaman serilerinin eğimlerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır (Çetin vd., 1998; Çetin ve Tülücü, 1998; Douglas vd., 2000; Yue vd., 2002; Partal ve Kahya, 2006; Modarres ve Silva, 2007; Tabari ve Marofi, 2011; Tabari vd., 2011).

Mann-Kendall eğilim testi aşağıdaki Eşitlik 28 ile hesaplanır.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \text{sgn}(x_j - x_k) &= 1 && \text{eğer } x_j - x_k > 0 \\ &= 0 && \text{eğer } x_j - x_k = 0 \\ &= -1 && \text{eğer } x_j - x_k < 0 \end{aligned} \quad (29)$$

Eşitlik 29’da verilen $x_j - x_k$ sırasıyla j ve k yıllarındaki yıllık değerlerdir ($j > k$). n veri sayısını, sgn ise işaret (Signum) fonksiyonunu ifade eder.

S’nin varyansı aşağıdaki Eşitlik 30 ile hesaplanır

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (30)$$

Zaman serilerinde eşit değerler olması durumunda Eşitlik 31 kullanılır.

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (31)$$

Mann-Kendall trend testinin istatistiki olarak önemli olup olmadığı Eşitlik 32 ile hesaplanır (Z_{cal}) ve kritik (Z_α) değeri ile karşılaştırılıp belirlenir.

$$Z_{cal} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S > 0 \\ 0 & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (32)$$

İstatistiki olarak $\alpha=0.05$ önem (anlamlılık) seviyesinde $|Z_{cal}| \leq Z_\alpha$ ise H_0 hipotezi kabul edilir, aksi durumda ise reddedilir. Hesap ile bulunan Z değeri pozitif ise artan yönde bir eğilimin, negatif ise azalan yönde bir eğilimin olduğunu belirtir. (Çetin, 1996).

2.2.8.2. Modifiye Mann-Kendall Eğilim Testi

Meteorolojik veriler vb. gibi zaman serisine dayalı çalışmalarda serisel korelasyonlar oluşabilmektedir. Veri setlerinde serisel korelasyonların yani otokorelasyonun varlığı veride eğilim olmasa bile eğilim varmış gibi sonuçlara sebebiyet verebilmektedir. Klasik Mann-Kendall eğilim testi ile bulunan eğilim değerlerinde bazen hatalı sonuçlar

çıkabilmektedir. Modifiye Mann-Kendall eğilim testi ile hesaplanan varyans değerine serisel korelasyonun etkisi de dahil edilmektedir (Cox ve Stuart, 1955). Bu tez çalışmasında eğilimin belirlenmesi için Hamed ve Rao (1998) tarafından düzenlenmiş ve otokorelasyon varlığını da gözardı etmeyen Modifiye Mann-Kendall eğilim testi kullanılmıştır.

Modifiye Mann-Kendall eğilim testinde, Mann-Kendall eğilim testinde kullanılan S istatistik hesaplama eşitliği kullanılır (Eşitlik 33).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (33)$$

$$\begin{aligned} \text{sgn}(x_j - x_k) &= 1 && \text{eğer } x_j - x_k > 0 \\ &= 0 && \text{eğer } x_j - x_k = 0 \\ &= -1 && \text{eğer } x_j - x_k < 0 \end{aligned} \quad (34)$$

Modifiye Mann-Kendall eğilim testi için S istatistiğinin varyansı aşağıdaki Eşitlik 35 ile hesaplanır.

$$\text{Var}(S) = \left[\frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \right] \frac{n}{n_s^*} \quad (35)$$

$\frac{n}{n_s^*}$ serisel korelasyon (otokorelasyon) düzeltme faktörünü belirtmektedir ve aşağıdaki Eşitlik 36 ile bulunur.

$$\frac{n}{n_s^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)\rho(i) \quad (36)$$

Eşitlikte $\rho(i)$ zaman serisi sıralamasının otokorelasyon fonksiyonunu göstermektedir.

Serisel korelasyonun (otokorelasyon) olduğu zaman serilerinde eğilimin istatistiksel olarak önemli olup olmadığı, yeniden düzenlenmiş Z_{cal} değerine göre hesaplanır (Eşitlik 37) ve kritik Z değerleriyle karşılaştırılarak bulunur.

$$Z_{cal} = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S > 0 \\ 0 & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (37)$$

Bulunan Z_{cal} değerleri $\alpha=0.05$ anlam seviyesinde, Z standart normal dağılım tablosunda belirlenen $Z_{\alpha/2}$ değeri ile karşılaştırılır. $|Z_{cal}| > Z_{\alpha/2}$ ise H_0 hipotezi reddedilir ve zaman serisinde istatistiki olarak önemli bir eğilimin olduğu kabul edilir. Z değeri pozitif ise artan, negatif ise azalan yönde bir eğilimin olduğu kabul edilir.

2.2.8.3. Sen'in Eğim Metodu (Sen's Slope Estimator)

Sen (1968), zaman serilerindeki eğilim büyüklüğünü tahmin edebilmek için parametrik olmayan bu yöntemi geliştirmiştir. Sen'in eğim metodu uç değerlerden etkilenmeyen, Mann-Kendall eğilim testiyle paralel bir şekilde sıklıkla kullanılan bir istatistik yöntemidir (Sen, 1968; Şen, 2014). Örneğin; Mann-Kendall eğilim testiyle analizi yapılan iklim parametresinin veya kuraklık indeksinin eğilimi belirlenirken Sen'in eğim metoduyla da bu eğilimin büyüklüğü belirlenmektedir. Dünya Meteoroloji Teşilatı (WMO) hidro-meteorolojik verilere dayalı eğilim analizi çalışmasının bir parçası olarak Sen'in eğim metodunun kullanılmasını önermektedir (WMO, 2018). Sen'in eğim metodu hidro-meteorolojik zaman serilerinde geniş ölçüde kullanılmıştır (Lettenmaier vd., 1994; Yue ve Hashino, 2003; El Nesr vd., 2010; Ülke ve Özkoca, 2018; Collaud Coen vd., 2020; Topçu ve Karaçor, 2020). Sen'in eğim metodu, doğrusal model kullanarak zaman serilerinde meydana gelen eğilimin büyüklüğü hakkında bilgi verir (Sen, 1968; Salmi vd., 2002; Keskiner ve Çetin 2022).

Eşitlik 38'de n veri sayısını, N ise j ve k zamanlarında gözlenen verileri (x_j ve x_k) temsil etmek üzere zaman serisinde hesaplanması gereken Sen'in eğim sayısını temsil etmektedir (Tonkaz vd., 2007; Kaur vd., 2021).

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (38)$$

N sayıdaki örnek çiftinin Sen'in eğim istatistiği (Q_i) Eşitlik 39 ile hesaplanır.

$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{(j - k)}, j > k; i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (39)$$

Eşitlik 39 ile elde edilen Q_i değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanır ve medyan değeri bulunur. N sayısının tek ve çift olmasına göre Q_i değerlerinin medyanı (Q_{medyan}) Eşitlik 40'ta gösterildiği şekilde elde edilir.

$$Q_{medyan} = \begin{cases} Q_{[(n+1)/2]}, & N \text{ tek} \\ \frac{Q_{[n/2]} + Q_{[(n+2)/2]}}{2}, & N \text{ çift} \end{cases} \quad (40)$$

Q_{medyan} değeri, ilgili gözlemlerin birim zamandaki değişimini verir. Q_{medyan} değeri pozitif olduğunda artan yönde bir eğim, negatif olması durumunda ise azalan yönde bir eğim olduğuna karar verilir (Gocic ve Trajkovic, 2013). Q_{medyan} değeri istatistiksel olarak %5 anlam düzeyinde test edilir ve analiz tamamlanır (Sen, 1968; Salmi vd., 2002).

2.2.9. Mekansal Analiz

Günümüzde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bilhassa fen bilimlerinde araştırmaların daha kolay bir şekilde yorumlanması, analiz edilebilmesi için eldeki veriler konumsal olarak ilişkilendirilmektedir. CBS yazılımları (örneğin ArcGIS, QGIS vb.) coğrafi koordinatlara bağlanan verileri güçlü bir analitik yoruma dönüştürebilir. CBS yazılımları vasıtasıyla karmaşık veriler daha anlaşılır kılınabilir. Bu yazılımlar ile veriler daha anlamlı bir şekilde görselleştirebildiği için karar vericiler daha isabetli aksiyonlarda bulunabilmektedirler. CBS yazılımları ile gerçekleştirilen istatistik çalışmalarına konumsal analiz denilmektedir. Konumsal analizler, jeostatistiksel teknikleri de içine almaktadır (Çetin, 1996). Jeostatistiğin amacı, uzaysal bağımlılık yapısını modellemek suretiyle mekansal tabanlı verilerin alansal dağılımını tahmin etmektir (Çetin ve Tülücü, 1998). CBS yazılımları ile jeostatistiksel ve klasik birçok analiz yapılabilir. Klasik enterpolasyon tekniklerine Difüzyon Enterpolasyon Yöntemi, Küresel Polynominal Enterpolasyon Yöntemi, Radyal Tabanlı Fonksiyon Yöntemi, Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (IDW) Yöntemi, jeostatistik enterpolasyon tekniklerine de Kriging Enterpolasyon Yöntemi örnek olarak gösterilebilir.

Enterpolasyon, bir matematiksel model olup, herhangi bir lokasyonda ölçü yapılmaksızın o yere ait ölçme verisinin fonksiyonel olarak kestirilmesi (tahmin edilmesi) işlemi olarak

tanımlanabilir (Çetin ve Tülücü, 1998; Çetin vd., 1998). Bir başka deyişle, jeodezik uygulamalarda arazi koşullarının ölçüme el vermediği alanlarda veya eksik verilerden dolayı ölçümün sağlıklı yapılamadığı alanlarda veya yüksek maliyet vb. nedenlerden dolayı en yakın ölçü alanlarından bahsi geçen alanların tahmin edilmesi çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılmaktadır (Yanalak, 1997; Yaprak, 2007).

Hava tahmini haritaları, iklim parametrelerine göre hazırlanan uzun yıllar ve aktüel haritaları (sıcaklık, rüzgar, nem, yağış vb.) toprak analiz haritaları, kuraklık analiz haritaları vb. birçok alanda CBS tabanlı enterpolasyon haritaları oluşturulmakta ve bu haritalara dayalı çözüm yolları üretilebilmektedir (Taylan ve Damçayırı, 2016; Doğan vd., 2013; Mousavi vd., 2017; Chen vd., 2012; Şahin vd., 2016; Tunçay vd., 2016). Meteorolojik verilere dayalı çalışmalarda, kuraklık şiddeti ve büyüklüğünün haritalanmasında Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi, Radyal Tabanlı Fonksiyon Yöntemi ve Kriging Yöntemi araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilmektedir (Çetin, 1996; Ali vd., 2011; Amini vd., 2019; Katipoğlu vd., 2021).

Kuraklık indekslerine dayalı kuraklığın izlenmesi, değerlendirilmesi ve bu amaçla geleceğe dönük projeksiyonların oluşturabilmesi için zamansal ve mekansal analizler büyük öneme sahiptir. Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (IDW) fen bilimleri, mühendislik gibi alanlarda yaygın olarak tercih edilmektedir. IDW yöntemi iklimik ve hidrolojik nokta çalışmalarında alansal dağılımı en az hata ile belirleyen bir yöntem olması sebebiyle SPI, SPEI gibi indekslerine göre kuraklık eğilimlerinin ve eğilim büyüklüklerinin alansal analizlerini yapmakta da dünyada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Feng vd., 2017; Qi vd., 2017; Ma vd., 2017). Ayrıca meteorolojik parametrelere dayalı alansal dağılımın araştırılması vb. gibi çalışmalarda IDW yönteminin, Spline ve Ordinary Kriging Enterpolasyon Yöntemlerine göre en az hatayı verdiği bildirilmiştir (Chuanyan vd., 2005; Tang vd., 2013). IDW yönteminin hem hesap kolaylığı hem de çözüm doğruluğu sıklıkla tercih edilmesine gerekçe olarak gösterilebilir.

Çalışmada; 81 il merkez istasyonu için 1,6 ve 12 ay zaman ölçeklerinde Modifiye Mann-Kendall eğilim testiyle bulunan eğilimler ve Sen'in eğim metoduyla bulunan eğimler Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (IDW) yöntemi ile Türkiye'nin tüm yüzeyine yansıtılmıştır. Kuraklık eğilim ve büyüklük haritalarının IDW yöntemine göre oluşturulmasında ArgGIS 10.5 yazılımı kullanılmıştır.

2.2.9.1. Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (IDW)

IDW yöntemi dayanak noktalar ile tahmin (kestirim) yapılacak noktalar arasındaki mesafenin tersinin ağırlıklandırılması mantığına göre kullanılır. Bu yöntemde dayanak noktalarına olan mesafe arttıkça uzakta olan noktanın kestirimi yapılacak olan değere etkisinin azaltılması amaçlanır. IDW yönteminde $N = (X, Y, Z)$ nokta kümesinin kapsadığı alanda $P(x, y)$ konumundaki enterpolasyon noktasının yüksekliği Eşitlik 41 ile hesaplanır.

$$z_e = \sum_{i=1}^n S_i * \frac{Z_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (41)$$

Eşitlikte x, y konumundaki noktanın yüksekliğini belirtmek için z_e değeri kullanılır. Dayanak noktalarının yüksekliği Z_i ile temsil edilirken, S_i ağırlık değerlerini, n dayanak nokta sayısını temsil etmektedir. S_i ağırlık değerleri, bir fonksiyon olarak (d_i) enterpolasyon noktasıyla dayanak noktası arasındaki mesafe Eşitlik 42 ile hesaplanır.

$$S_i = \frac{1}{d_i^p}, i = 1, 2, 3, 4 \dots p = 1, 2, 3, 4 \quad (42)$$

Fonksiyonda p güç parametresi değeri olup üstel bir katsayıdır. IDW yönteminde doğruluğu etkileyen ana faktör p parametresinin aldığı değerdir (Burrough ve McDonell, 1998). p parametre değeri 1 ile 5 arasında değişebilir (Goovaerts, 2000; Lloyd, 2005). Literatür araştırıldığında ise sıklıkla p güç parametresinin 2 olarak alındığı görülmektedir. Dayanak noktaları ile enterpolasyon noktaları arasındaki mesafe fonksiyonda d_i ile gösterilmektedir ve Eşitlik 43 ile hesaplanır.

$$d_i = \sqrt{(x_e - x_i)^2 + (y_e - y_i)^2} \quad (43)$$

Eşitlik 42’de d_i gözlenen ve tahmin edilen nokta arasındaki Öklid uzaklığını (m), x_e ve y_e tahmin edilen noktanın UTM koordinatını (m), x_i ve y_i gözlenen noktanın koordinatını (m) göstermektedir.

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Homojenlik Testi Sonuçları

Türkiye'nin SPI ve SPEI indekslerine göre kuraklık analizlerinin ve değerlendirmesinin güvenilir bir şekilde yapılabilmesi için; il merkezlerinde bulunan 81 meteoroloji istasyonuna ait 1980-2019 yılları arası aylık toplam yağış miktarlarının homojenlikleri test edilmiştir. İl merkezlerinde bulunan istasyonlar, araştırma bulgularının daha rahat incelenebilmesi ve karışıklığa sebebiyet vermemek için 7 coğrafi bölgeye göre tasnif edilmiştir. Coğrafi bölgelere göre; meteoroloji istasyonlarının istatistiki olarak minimum, maksimum ve ortalama yıllık yağış miktarları ile standart sapma değerleri ve homojenlik test sonuçları illerin alfabetik sırasına göre Tablo 3.1-3.14'te gösterilmiştir. Tablolarda sunulan yıllık toplam yağışlara dair istatistik bilgiler başlığı altında bulunan P_{min} , P_{mak} , P_{ort} ve S sırasıyla yıllık minimum yağış (mm), maksimum yağış (mm), ortalama yağış (mm) ve standart sapmalarını temsil etmektedir. Coğrafik bölge bazında istasyonların aylık ortalama yağış verilerinin homojenlik sonuçlarının sunulduğu tablolarda test sonuçları H_0 (sıfır hipotezi) ve H_a (alternatif hipotez) ile verilmiştir. İstasyonların test sonuçlarının H_0 ile gösterilmesi verinin homojen olduğunu, H_a ile gösterilmesi ise verinin homojenliğe sahip olmadığını belirtmektedir. Sınıflandırma kısmında ise 1 ve 2 sırasıyla homojenlik test sonuçlarına göre aylık toplam yağış miktarlarının iklim çalışmalarına dahil edilmesi '*Kullanışlı*' veya '*Belirsiz*' duruma karşılık gelmektedir.

Tablo 3.1. Akdeniz Bölgesi yıllık toplam yağışlara dair istatistik bilgiler

İstasyon Adı	P_{min}	P_{mak}	P_{ort}	S
Adana	316.8	1264.3	664.6	200.5
Antalya	552.9	1914.3	1102.66	310.7
Burdur	269.5	615.2	421.1	83.7
Hatay	600.0	1947.7	1124.2	273.0
Isparta	284.0	968.9	538.4	142.6
K.Maraş	442.7	1169.0	724.0	167.3

Mersin	278.8	1039.0	603.2	168.3
Osmaniye	492.5	1230.9	823.8	165.4

P_{min} , P_{mak} ve P_{ort} sırasıyla minimum, maksimum ve ortalama yağış (mm), S: Standart sapma.

Tablo 3.2. Akdeniz Bölgesi homojenlik test sonuçları

İstasyon Adı	Pettitt	SNHT	Buishand	Von Neumann	Sınıflandırma
Adana	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Antalya	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Burdur	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Hatay	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Isparta	H ₀	H _a	H ₀	H ₀	1
K.Maraş	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Mersin	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Osmaniye	H ₀	H _a	H ₀	H ₀	1

H₀: Homojen, H_a: Homojen değil, 1: 'Kullanışlı', 2: 'Belirsiz'.

Tablo 3.3. Doğu Anadolu Bölgesi yıllık toplam yağışlara dair istatistik bilgiler

İstasyon Adı	P _{min}	P _{mak}	P _{ort}	S
Ağrı	329.6	779.6	525.9	104.3
Ardahan	315.8	824.7	556.5	123.8
Bingöl	532.4	1579.1	942.5	216.6
Bitlis	671.9	1609.2	1046.6	240.7
Elazığ	205.6	733.0	409.6	99.7
Erzincan	238.4	626.0	378.6	76.8
Erzurum	240.6	636.3	402.9	83.1
Hakkari	483.8	1331.0	791.2	177.4
Iğdır	114.5	502.2	259.7	68.7
Kars	293.5	759.0	497.4	111.3
Malatya	246.6	597.4	382.5	86.9
Muş	479.3	1085.5	761.5	144.6
Tunceli	521.2	1735.2	856.5	228.0
Van	234.9	542.6	388.9	74.7

Tablo 3.4. Doğu Anadolu Bölgesi homojenlik test sonuçları

İstasyon Adı	Pettitt	SNHT	Buishand	Von Neumann	Sınıflandırma
Ağrı	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Ardahan	H _a	H _a	H ₀	H ₀	2
Bingöl	H _a	H ₀	H ₀	H ₀	1
Bitlis	H ₀	H ₀	H ₀	H _a	1
Elazığ	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Erzincan	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Erzurum	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Hakkari	H ₀	H _a	H _a	H ₀	2
Iğdır	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1

Kars	H_0	H_a	H_0	H_0	1
Malatya	H_0	H_a	H_0	H_0	1
Muş	H_0	H_0	H_0	H_0	1
Tunceli	H_0	H_a	H_0	H_0	1
Van	H_0	H_0	H_0	H_0	1

Tablo 3.5. Ege Bölgesi yıllık toplam yağışlara dair istatistik bilgiler

İstasyon Adı	P_{min}	P_{mak}	P_{ort}	S
A.Karahisar	238.2	750.7	424.4	88.5
Aydın	359.2	946.4	638.6	137.3
Denizli	322.9	800.6	567.7	116.4
İzmir	339.3	1086.1	699.6	173.6
Kütahya	339.4	733.2	569.0	104.7
Manisa	406.2	1165.8	739.7	165.6
Muğla	564.6	1805.0	1186.3	273.4
Uşak	346.5	853.3	546.1	102.1

Tablo 3.6. Ege Bölgesi homojenlik test sonuçları

İstasyon Adı	Pettitt	SNHT	Buishand	Von Neumann	Sınıflandırma
A.Karahisar	H_0	H_0	H_0	H_0	1
Aydın	H_0	H_0	H_0	H_0	1
Denizli	H_0	H_0	H_0	H_0	1
İzmir	H_0	H_0	H_0	H_0	1
Kütahya	H_a	H_0	H_0	H_0	1
Manisa	H_0	H_0	H_0	H_0	1
Muğla	H_0	H_0	H_0	H_0	1
Uşak	H_0	H_0	H_0	H_0	1

Tablo 3.7. Güneydoğu Anadolu Bölgesi yıllık toplam yağışlara dair istatistik bilgiler

İstasyon Adı	P_{min}	P_{mak}	P_{ort}	S
Adıyaman	419.9	1169.9	712.7	193.7
Batman	240.1	820.8	485.6	128.6
Diyarbakır	260.2	749.0	500.1	117.9
Gaziantep	330.6	994.0	570.9	131.9
Kilis	290.7	814.4	494.6	136.7
Mardin	343.0	1193.9	670.5	209.7
Siirt	430.8	1228.3	695.9	170.5
Şanlıurfa	219.3	854.7	460.2	146.3
Şırnak	505.8	1115.7	720.8	146.4

Tablo 3.8. Güneydoğu Anadolu Bölgesi homojenlik test sonuçları

İstasyon Adı	Pettitt	SNHT	Buishand	Von Neumann	Sınıflandırma
Adıyaman	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Batman	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Diyarbakır	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Gaziantep	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Kilis	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Mardin	H ₀	H_a	H ₀	H ₀	1
Siirt	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Şanlıurfa	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Şırnak	H ₀	H_a	H ₀	H_a	2

Tablo 3.9. İç Anadolu Bölgesi yıllık toplam yağışlara dair istatistik bilgiler

İstasyon Adı	P _{min}	P _{mak}	P _{ort}	S
Aksaray	228.8	506.2	346.2	66.4
Ankara	242.0	612.6	412.5	81.9
Çankırı	229.8	661.5	417.0	88.8
Eskişehir	209.4	518.1	378.8	64.2
Karaman	212.6	513.4	335.5	69.6
Kayseri	257.9	614.1	392.2	78.1
Kırıkkale	244.6	610.1	388.1	86.1
Kırşehir	254.2	541.9	384.9	73.2
Konya	176.1	544.9	328.8	77.8
Nevşehir	281.0	589.0	415.2	78.5
Niğde	192.9	483.3	335.0	72.4
Sivas	284.8	587.1	438.6	74.3
Yozgat	391.0	858.2	587.5	100.0

Tablo 3.10. İç Anadolu Bölgesi homojenlik test sonuçları

İstasyon Adı	Pettitt	SNHT	Buishand	Von Neumann	Sınıflandırma
Aksaray	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Ankara	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Çankırı	H ₀	H_a	H_a	H ₀	2
Eskişehir	H ₀	H ₀	H_a	H ₀	1
Karaman	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Kayseri	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Kırıkkale	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Kırşehir	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Konya	H ₀	H ₀	H ₀	H_a	1
Nevşehir	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Niğde	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Sivas	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Yozgat	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1

Tablo 3.11. Karadeniz Bölgesi yıllık toplam yağışlara dair istatistik bilgiler

İstasyon Adı	P _{min}	P _{mak}	P _{ort}	S
Amasya	330.3	681.2	459.8	78.3
Artvin	409.4	1005.9	703.1	137.1
Bartın	722.4	1350.3	1043.9	161.4
Bayburt	275.3	667.6	442.4	86.0
Bolu	377.4	754.5	561.4	86.0
Çorum	242.9	633.8	446.9	78.3
Düzce	527.0	1084.9	830.7	134.4
Giresun	970.7	1742.6	1268.0	161.8
Gümüşhane	311.0	651.0	459.9	78.6
Karabük	309.2	645.4	479.9	75.0
Kastamonu	338.2	867.1	503.1	109.0
Ordu	787.2	1425.5	1045.3	133.9
Rize	1600	3073.9	2245.0	268.7
Samsun	496.7	1012.2	716.9	113.4
Sinop	333.3	1006.4	689.3	138.5
Tokat	309.0	593.0	429.9	65.4
Trabzon	576.0	1100.4	816.9	114.2
Zonguldak	818.8	1740.1	1218.5	178.0

Tablo 3.12. Karadeniz Bölgesi homojenlik test sonuçları

İstasyon Adı	Pettitt	SNHT	Buishand	Von Neumann	Sınıflandırma
Amasya	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Artvin	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Bartın	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Bayburt	H_a	H_a	H ₀	H ₀	2
Bolu	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Çorum	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Düzce	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Giresun	H_a	H ₀	H ₀	H ₀	1
Gümüşhane	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Karabük	H ₀	H ₀	H ₀	H_a	1
Kastamonu	H ₀	H ₀	H_a	H ₀	1
Ordu	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Rize	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Samsun	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Sinop	H_a	H ₀	H ₀	H ₀	1
Tokat	H ₀	H ₀	H_a	H ₀	1
Trabzon	H ₀	H_a	H ₀	H ₀	1
Zonguldak	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1

Tablo 3.13. Marmara Bölgesi yıllık ortalama yağışlara dair istatistik bilgiler

İstasyon Adı	P _{min}	P _{mak}	P _{ort}	S
Balıkesir	353.0	997.1	583.5	124.0
Bilecik	320.4	668.7	462.1	79.8
Bursa	446.4	1045.5	694.8	111.7
Çanakkale	343.9	977.7	618.9	137.1
Edirne	387.0	958.4	603.8	129.0
İstanbul	420.1	1076.0	652.7	143.9
Kırklareli	326.6	990.3	578.3	144.7
Kocaeli	579.3	1180.8	816.5	141.8
Sakarya	600.7	1268.7	850.6	140.1
Tekirdağ	334.8	896.3	582.3	134.2
Yalova	479.2	1293.2	748.7	152.9

Tablo 3.14. Marmara Bölgesi homojenlik test sonuçları

İstasyon Adı	Pettitt	SNHT	Buishand	Von Neumann	Sınıflandırma
Balıkesir	H ₀	H ₀	H ₀	H _a	1
Bilecik	H ₀	H _a	H ₀	H ₀	1
Bursa	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Çanakkale	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Edirne	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
İstanbul	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Kırklareli	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Kocaeli	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Sakarya	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Tekirdağ	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1
Yalova	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	1

Elde edilen bulgular ışığında; homojenlik test sonuçlarına göre Akdeniz Bölgesi illerinin verilerinin ‘*Kullanışlı*’ olduğu belirlenmiştir. Sadece Isparta ve Osmaniye illerinin SNHT testlerinde aylık yağış verilerinin homojen olmadığı saptanmıştır (Tablo 3.2). Doğu Anadolu Bölgesi homojenlik testlerine göre Ardahan ve Hakkari ili aylık yağış verilerinin ‘*Belirsiz*’, diğer illerin verilerinin ‘*Kullanışlı*’ olduğu bulunmuştur. Bingöl’de Pettitt, Bitlis’de Von Neumann, Kars, Malatya ve Tunceli’de SNHT testlerine göre homojen olmadığı belirlenmiştir (Tablo 3.4). Ege Bölgesi illerine ilişkin veriler incelendiğinde ise aylık yağış verilerinin tamamının ‘*Kullanışlı*’ sınıflandırmaya girdiği görülmektedir. Kütahya ili yağış verilerinin Pettitt test sonuçlarına göre homojen olmadığı bulunmuştur (Tablo 3.6). Güneydoğu Anadolu Bölgesi test sonuçlarına göre Şırnak ili aylık yağış

verilerinin ‘*Belirsiz*’ diğer illerin verilerinin ‘*Kullanışlı*’ olduğu bulunmuştur. Mardin’in SNHT test sonucunun homojen olmadığı da Tablo 3.8’de görülmektedir. İç Anadolu Bölgesi illeri aylık yağış verileri homojenlik test sonuçlarına göre ‘*Kullanışlı*’ olarak belirlenmiş sadece Çankırı ilinin ‘*Belirsiz*’ sınıflandırma dahil olduğu saptanmıştır. Eskişehir ilinin Buishand testine ve Konya ilinin ise Von Neumann testine göre homojen olmadığı belirlenmiştir (Tablo 3.10). Karadeniz Bölgesi illerine bakıldığında ise Bayburt ilinin homojenlik sınıflandırmasında ‘*Belirsiz*’ olduğu diğer tüm illerin ise ‘*Kullanışlı*’ sınıf grubuna girdiği görülmektedir. Giresun ve Sinop ilinin Pettitt, Trabzon’un SNHT, Kastamonu ve Tokat’ın Buishand, Karabük ilinin ise Von Neumann testine göre homojen olmadığı Tablo 3.12’de gösterilmiştir. Son olarak Marmara Bölgesi homojenlik test sonuçlarına göre tüm illerin aylık yağış verilerinin ‘*Kullanışlı*’ sınıflandırmaya girdiği bulunmuştur. Balıkesir ilinin Von Neumann testine, Bilecik ilinin ise SNHT testine göre homojen olmadığı Tablo 3.14’te gösterilmiştir.

Wijngaard vd. (2003) tarafından ortaya konulan homojenlik sınıflandırması ve değerlendirmesi esas alındığında homojenlik test sonuçları tablolarında 1. ‘*Kullanışlı*’ ve 2. ‘*Belirsiz*’ sınıfa giren istasyonların homojen olarak nitelendirilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında araştırma bulguları bu ölçüt esas alınarak değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan 81 il merkezi meteoroloji istasyonlarından elde edilen aylık ortalama yağış verileri homojenlik test sonuçlarına göre 3. ‘*Şüpheli*’ sınıfa giren hiçbir il olmadığından; yağış verilerinin homojen hale getirilmesine gerek kalmamıştır. Sonuçlar toplu olarak değerlendirildiğinde 81 ilin aylık ortalama yağış verileri, SPI ve SPEI hesaplamalarında kullanılmıştır.

3.2. Yıllık Ortalama Yağış, Referans Evapotranspirasyon ve İklimsel Su Dengesi Değerleri

SPI ile kuraklık izleme ve değerlendirmesinin yapılabilmesi için yağış verilerine ihtiyaç duyulurken, SPEI ile hesaplama yapılabilmesi için meteorolojik parametrelere dayalı referans evapotranspirasyon (ET_0) verilerine ve yağış verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yani SPEI’nin hesaplanması SPI metoduna benzer fakat SPEI’nin hesaplanabilmesi için yağış ve ET_0 arasındaki farkın bulunması gerekir. Yağış miktarından (P), hesaplanan referans evapotranspirasyon (ET_0) miktarının çıkartılması ile iklimsel su dengesi (D) miktarı bulunmaktadır ($D_i = P_i - ET_{0i}$).

Küresel ısınma, yağış (P) ve evapotranspirasyon (ET) dahil olmak üzere birçok çevresel faktörü direkt etkilemektedir. Isınma süreci devam eden dünyada evaporasyon (buharlaşıma) ve transpirasyonun (bitki terlemesi) tümüyle değişmesinin bir sonucu olarak, dünyanın su döngüsü de değişmektedir (Stocker, 2014). İklimsel su dengesinin (D_i) daha iyi anlaşılabilmesi için toprak nem dengesi kavramının ne olduğu iyi bilinmelidir. Hidrolojik su döngüsü sonucunda atmosferden yeryüzüne düşen yağış miktarının büyük bir kısmı evapotranspirasyon yoluyla, yüzeysel akışa geçmeden ya da yer altı suyuna ulaşmadan atmosfere yeniden dönmektedir. Bu kayıpların belirlenmesi bilhassa kuraklık çalışmalarında ve tarımda sulama planlaması yapılmasında önem arz etmektedir.

İklimsel su dengesinde (D_i) miktar artışı ise iklimsel su fazlalığı, eksi ise iklimsel su açığı var demektir. İklimsel su dengesinde mevsimlere bağlı olarak değişimler gözlenmektedir. Yıllık periyotta bakıldığında yağışlı sezonda yağış, o sezona ait evapotranspirasyon miktarından daha fazla olursa toprakta su fazlalığı oluşur, böylelikle toprak suya doyar ve toprak neminde artış gözlenir. Kurak sezonda da bunun tersi durum gerçekleşerek toprağın depoladığı su miktarı ve haliyle toprak neminde azalma gözlenir. Teorik olarak evapotranspirasyon miktarı yağış miktarından fazlaysa ve sulama yapılmazsa toprak giderek kurumaya başlayacaktır (Kadıoğlu vd., 2017). SPEI yağış ve referans evapotranspirasyon arasındaki farkı kullanarak iklimsel su dengesini de göz önüne almaktadır. FAO-56 PM ve Hargreaves yöntemine göre hesaplanan ET_0 miktarları ve yağış miktarına göre iklimsel su fazlası veya açığının oluşması; SPI ve SPEI indislerine göre yapılan trend analizlerindeki değişimlerin gerekçelerinden biri olarak gösterilebilir.

Aşağıda verilen tablolarda (Tablo 3.15-3.21) coğrafi bölgelere göre tüm illerin 1980-2019 yılları arası uzun yıllar ortalama yağış, referans evapotranspirasyon ve iklimsel su dengesi değerleri sunulmuştur.

Tablo 3.15. Akdeniz Bölgesi uzun yıllar ortalama yağış, referans evapotranspirasyon ve iklimsel su dengesi değerleri

İstasyon Adı	P	ET_{0PM}	D (P- ET_{0PM})	ET_{0HG}	D (P- ET_{0HG})
Adana	664.6	1190	-525.4	1315	-650.4
Antalya	1102.7	1433	-330.3	1293	-190.3
Burdur	421.1	1161	-739.9	1225	-803.9

Hatay	1124.2	1328	-203.8	1172	-47.8
Isparta	538.4	1097	-558.6	1187	-648.6
K.Maraş	724.0	1239	-515.0	1309	-585.0
Mersin	603.2	1208	-604.8	1074	-470.8
Osmaniye	823.8	1120	-296.2	1214	-390.2

P: Yağış miktarı (mm), ET_{0PM} : FAO-56 Penman Monteith ET_0 miktarı (mm), D (P- ET_{0PM}): Yağış ve ET_{0PM} miktarı arasındaki fark (mm), ET_{0HG} : Hargreaves ET_0 miktarı (mm), D (P- ET_{0HG}): Yağış ve ET_{0HG} miktarı arasındaki fark (mm).

Tablo 3.16. Doğu Anadolu Bölgesi uzun yıllar ortalama yağış, referans evapotranspirasyon ve iklimsel su dengesi değerleri

İstasyon Adı	P	ET_{0PM}	D (P- ET_{0PM})	ET_{0HG}	D (P- ET_{0HG})
Ağrı	525.9	912	-386.1	1043	-517.1
Ardahan	556.5	785	-228.5	900	-343.5
Bingöl	942.5	1033	-90.5	1199	-256.5
Bitlis	1046.6	1028	18.6	1050	-3.4
Elazığ	409.6	1269	-859.4	1229	-819.4
Erzincan	378.6	986	-607.4	1155	-776.4
Erzurum	402.9	998	-595.1	996	-593.1
Hakkari	791.2	1104	-312.8	1022	-230.8
Iğdır	259.7	1031	-771.3	1220	-960.3
Kars	497.4	904	-406.6	960	-462.6
Malatya	382.5	1144	-761.5	1202	-819.5
Muş	761.5	1012	-250.5	1132	-370.5
Tunceli	856.5	1053	-196.5	1245	-388.5
Van	388.9	1096	-707.1	1000	-611.1

Tablo 3.17. Ege Bölgesi uzun yıllar ortalama yağış, referans evapotranspirasyon ve iklimsel su dengesi değerleri

İstasyon Adı	P	ET_{0PM}	D (P- ET_{0PM})	ET_{0HG}	D (P- ET_{0HG})
A.Karahisar	424.4	1017	-592.6	1119	-694.6
Aydın	638.6	1219	-580.4	1411	-772.4
Denizli	567.7	982	-414.3	1295	-727.3
İzmir	699.6	1343	-643.4	1165	-465.4
Kütahya	569.0	926	-357.0	1121	-552.0
Manisa	739.7	1187	-447.3	1297	-557.3
Muğla	1186.3	1092	94.3	1270	-83.7
Uşak	546.1	891	-344.9	1155	-608.9

Tablo 3.18. Güneydoğu Anadolu Bölgesi uzun yıllar ortalama yağış, referans evapotranspirasyon ve iklimsel su dengesi değerleri

İstasyon Adı	P	ET _{0PM}	D (P- ET _{0PM})	ET _{0HG}	D (P- ET _{0HG})
Adıyaman	712.7	1302	-589.3	1330	-617.3
Batman	485.6	1275	-789.4	1475	-989.4
Diyarbakır	500.1	1469	-968.9	1411	-910.9
Gaziantep	570.9	1089	-518.1	1308	-737.1
Kilis	494.6	1483	-988.4	1330	-835.4
Mardin	670.5	1223	-552.5	1103	-432.5
Siirt	695.9	1185	-489.1	1260	-564.1
Şanlıurfa	460.2	1357	-896.8	1389	-928.8
Şırnak	720.8	1125	-404.2	1242	-521.2

Tablo 3.19. İç Anadolu Bölgesi uzun yıllar ortalama yağış, referans evapotranspirasyon ve iklimsel su dengesi değerleri

İstasyon Adı	P	ET _{0PM}	D (P- ET _{0PM})	ET _{0HG}	D (P- ET _{0HG})
Aksaray	346.2	1218	-871.8	1175	-828.8
Ankara	412.5	1032	-619.5	1117	-704.5
Çankırı	417.0	922	-505.0	1187	-770.0
Eskişehir	378.8	1012	-633.2	1108	-729.2
Karaman	335.5	1142	-806.5	1223	-887.5
Kayseri	392.2	1032	-639.8	1217	-824.8
Kırıkkale	388.1	1105	-716.9	1149	-760.9
Kırşehir	384.9	1198	-813.1	1130	-745.1
Konya	328.8	1180	-851.2	1156	-827.2
Nevşehir	415.2	1040	-624.8	1074	-658.8
Niğde	335.0	1194	-859.0	1142	-807.0
Sivas	438.6	934	-495.4	1043	-604.4
Yozgat	587.5	970	-382.5	987	-399.5

Tablo 3.20. Karadeniz Bölgesi uzun yıllar ortalama yağış, referans evapotranspirasyon ve iklimsel su dengesi değerleri

İstasyon Adı	P	ET _{0PM}	D (P- ET _{0PM})	ET _{0HG}	D (P- ET _{0HG})
Amasya	459.8	1050	-590.2	1211	-751.2
Artvin	703.1	894	-190.9	952	-248.9
Bartın	1043.9	849	194.9	1084	-40.1
Bayburt	442.4	970	-527.6	1045	-602.6
Bolu	561.4	843	-281.6	1082	-520.6
Çorum	446.9	985	-538.1	1163	-716.1

Düzce	830.7	836	-5.3	1098	-267.3
Giresun	1268.0	824	444.0	866	402.0
Gümüşhane	459.9	965	-505.1	1072	-612.1
Karabük	479.9	872	-392.1	943	-463.1
Kastamonu	503.1	864	-360.9	1075	-571.9
Ordu	1045.3	819	226.3	893	152.3
Rize	2245.0	765	1480.0	869	1376.0
Samsun	716.9	914	-197.1	876	-159.1
Sinop	689.3	896	-206.7	790	-100.7
Tokat	429.9	1073	-643.1	1142	-712.1
Trabzon	816.9	882	-65.1	855	-38.1
Zonguldak	1218.5	924	294.5	834	384.5

Tablo 3.21. Marmara Bölgesi uzun yıllar ortalama yağış, referans evapotranspirasyon ve iklimsel su dengesi değerleri

İstasyon Adı	P	ET _{0PM}	D (P- ET _{0PM})	ET _{0HG}	D (P- ET _{0HG})
Balıkesir	583.5	1159	-575.5	1197	-613.5
Bilecik	462.1	1028	-565.9	1055	-592.9
Bursa	694.8	1050	-355.2	1162	-467.2
Çanakkale	618.9	1147	-528.1	1032	-413.1
Edirne	603.8	1018	-414.2	1172	-568.2
İstanbul	652.7	975	-322.3	971	-318.3
Kırklareli	578.3	960	-381.7	988	-409.7
Kocaeli	816.5	921	-104.5	1042	-225.5
Sakarya	850.6	915	-64.4	1087	-236.4
Tekirdağ	582.3	928	-345.7	929	-346.7
Yalova	748.7	928	-179.3	1035	-286.3

3.3. Zamansal Analiz Sonuçları

3.3.1. SPI ve SPEI İndekslerine Göre Kuraklık Eğilimi ve Sen'in Eğim Analizi

1980 – 2019 yılları arası Türkiye’de 81 il merkezinde bulunan meteoroloji istasyonlarına ait meteorolojik veriler kullanılarak SPI, SPEI_{PM} ve SPEI_{HG} indekslerine göre 1, 6 ve 12 ay zaman ölçekleri için Modifiye Mann-Kendall eğilim testine ve Sen’in eğim metoduna göre istatistik sonuçları elde edilmiştir. Araştırma bulguları iller için coğrafi bölgeler bazında aşağıdaki tablolarda sunulmuştur.

Tablolarda bulunan SPI₁, SPEI_{1PM}, SPEI_{1HG}, SPI₆, SPEI_{6PM}, SPEI_{6HG}, SPI₁₂, SPEI_{12PM} ve SPEI_{12HG} sırasıyla 1, 6 ve 12 ay zaman ölçeğinde SPI, FAO-56 Penman-Monteith yöntemine göre hesaplanmış SPEI indeksini ve Hargreaves yöntemine göre hesaplanmış

SPEI indeksini temsil etmektedir. Tablolarda bulunan Tr kısaltması ise SPI ve SPEI zaman serisi değerlerinin Modifiye Mann-Kendall testine göre eğilimini temsil etmektedir. Tr kısaltması altında ilgili il için düz çizgi istatistiksel olarak eğilimin anlamlı olmadığını, yukarı yönlü mavi ok işareti %5 anlam seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı artan yönde bir eğilimin yani kuraklık koşulunun azaldığını, aşağı yönlü kırmızı ok işareti ise %5 anlam seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde bir eğilimi yani kuraklık koşulunun arttığını belirtmektedir. Mann-Kendall testinde Z kritik değeri $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyinde, +1.96 ile -1.96 arasındadır. Hesaplanan Z_{cal} bu değerler arasında ise istatistiksel olarak anlamlı artan ya da azalan bir eğilim yoktur. +1.96 üzeri değerler istatistiksel olarak artan yönde bir eğilim olduğunu, -1.96'dan daha düşük değerler ise istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde bir eğilimin olduğunu belirtmektedir. Tablolarda bulunan Sen's Slope (Sen'in eğim) değerleri ise eğilimin büyüklüğünü (yıllık değişimini) göstermektedir.

3.3.1.1. Akdeniz Bölgesi Analiz Sonuçları

Tablo 3.22. Akdeniz Bölgesinin 1 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI ₁			SPEI _{1PM}			SPEI _{1HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
Adana	-0.10	-0.000034	-	-1.03	-0.000407	-	-0.41	-0.000121	-
Antalya	-0.38	-0.000087	-	-3.69	-0.001259	↓	-1.15	-0.000424	-
Burdur	0.39	0.000104	-	-0.54	-0.000238	-	-1.80	-0.000526	-
Hatay	-0.58	-0.000194	-	-0.10	-0.000270	-	-0.58	-0.000247	-
Isparta	1.81	0.000527	-	1.94	0.000707	-	0.32	0.000118	-
K.Maraş	-0.54	-0.000096	-	-3.80	-0.001418	↓	-3.82	-0.001423	↓
Mersin	0.56	0.000111	-	-2.02	-0.000685	↓	-2.24	-0.000790	↓
Osmaniye	-0.08	-0.000262	-	-0.88	-0.000322	-	-0.28	-0.000102	-

Tr (Eğilim) $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyinde – işareti istatistiksel olarak anlamlı artan ya da azalan eğilim olmadığını, aşağı yönlü kırmızı ok istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilimi, yukarı yönlü mavi ok istatistiksel olarak anlamlı artan yönde eğilimi ifade eder.

Tablo 3.22'de verilen analiz sonuçlarına göre 1 ay zaman ölçeğinde Antalya ilinin SPEI_{1PM}, Mersin ilinin ise SPEI_{1PM} ve SPEI_{1HG} zaman serileri analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı ($\alpha=0.05$) azalan yönde eğilim bulunmuştur. Diğer bir ifadeyle kuraklık koşulunda artan yönde bir eğilim tavrı olduğu saptanmıştır. Ayrıca 1 ay zaman ölçeğinde

SPI₁'e göre Akdeniz Bölgesi illerinin zaman serileri istatistiki olarak anlamlı artan ya da azalan yönde bir eğilim tavrı göstermemiştir.

Tablo 3.23. Akdeniz Bölgesinin 6 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI ₆			SPEI _{6PM}			SPEI _{6HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
Adana	-0.52	-0.000275	-	-1.90	-0.000800	-	-0.71	-0.000374	-
Antalya	-0.47	-0.000344	-	-2.07	-0.001922	↓	-0.05	0.000037	-
Burdur	0.64	0.000316	-	-0.20	-0.000239	-	-1.86	-0.000896	-
Hatay	0.97	0.000274	-	1.66	0.000642	-	0.88	0.000167	-
Isparta	3.93	0.001311	↑	3.95	0.001311	↑	1.08	0.000460	-
K.Maraş	-2.07	-0.000706	↓	-5.40	-0.001986	↓	-5.78	-0.002052	↓
Mersin	0.82	0.000495	-	-0.59	-0.000536	-	-0.99	-0.000714	-
Osmaniye	-0.36	-0.000222	-	-1.64	-0.000622	-	-0.52	-0.000288	-

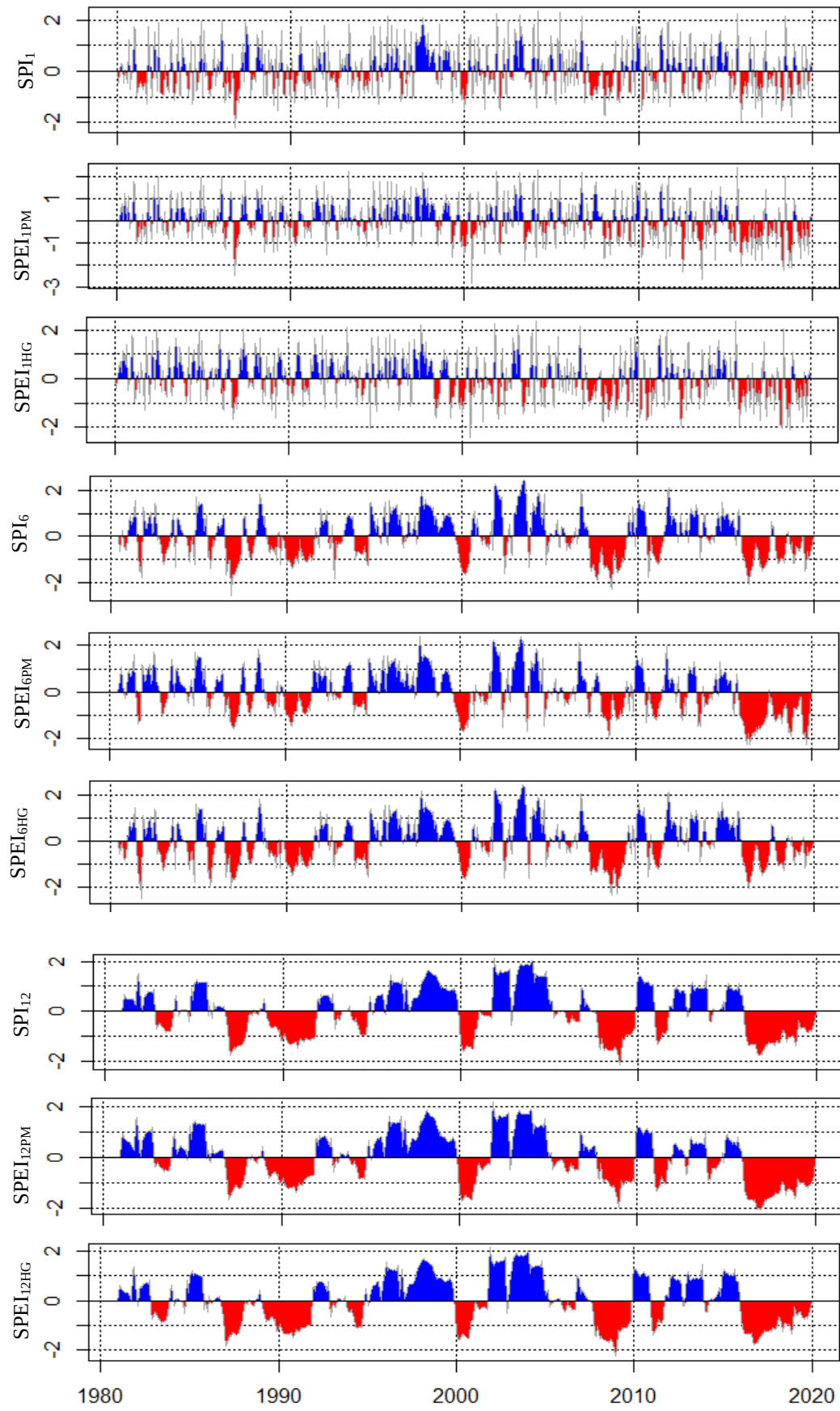
Tablo 3.23'e göre 6 ay zaman ölçeğinde Antalya ilinin SPEI_{6PM} ve Kahramanmaraş ilinin SPI₆, SPEI_{6PM} ve SPEI_{6HG} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı azalan eğilim bulunmuştur. 1 ve 6 ay zaman ölçekleri karşılaştırıldığında SPI ve SPEI değerleri eğilim analiz sonuçlarının birbirlerinden çok farklı olmadığı görülmüştür. Isparta ilinin SPI₆ ve SPEI_{6PM} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı azalan artan yönde eğilim bulunmuştur. Diğer bir değişle nemlilik koşullarına geçiş saptanmıştır. Adana, Burdur, Hatay, Mersin ve Osmaniye illerinin zaman serileri analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı artan ya da azalan yönde eğilim bulunmamıştır. Bu duruma göre bu illerin zaman serileri istatistiksel olarak anlamlı artan ya da azalan yönde bir eğilim tavrı göstermemiştir.

Tablo 3.24. Akdeniz Bölgesinin 12 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI ₁₂			SPEI _{12PM}			SPEI _{12HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
Adana	-0.32	-0.000180	-	-1.11	-0.000826	-	-0.41	-0.000294	-
Antalya	-0.61	-0.000644	-	-1.63	-0.001880	-	-0.28	-0.000307	-
Burdur	0.35	0.000245	-	-0.18	-0.000261	-	-1.36	-0.000986	-
Hatay	1.15	0.000701	-	1.56	0.000612	-	0.95	0.000594	-
Isparta	2.34	0.001641	↑	2.90	0.001951	↑	0.62	0.000513	-
K.Maraş	-3.09	-0.001089	↓	-3.36	-0.002552	↓	-3.69	-0.002754	↓
Mersin	0.93	0.001001	-	0.10	0.000122	-	-0.10	-0.000115	-
Osmaniye	-0.38	-0.000226	-	-1.18	-0.000924	-	-0.52	-0.000324	-

Tablo 3.24'te verilen sonuçlara göre, 6 aylık zaman ölçeğinde olduğu gibi (Tablo 3.23) Isparta ilinin SPI₁₂ ve SPEI_{12PM} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı artan yönde eğilim bulunmuştur. Kahramanmaraş SPI₁₂, SPEI_{12PM} ve SPEI_{12HG} zaman serilerinde istatistiki olarak önemli azalan yönde eğilim bulunmuştur. Kahramanmaraş ilinin zaman serileri istatistiki olarak anlamlı artan yönde kuraklık eğilim tavrı göstermiştir. Adana, Antalya, Burdur, Hatay, Mersin ve Osmaniye illerinin SPI₁₂, SPEI_{12PM} ve SPEI_{12HG} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı artan ya da azalan yönde bir eğilim bulunmamıştır. Bu duruma göre bu illerin zaman serileri artan ya da azalan yönde bir eğilim tavrı göstermemiştir.

Eğilim istatistiklerinin (Tablo 3.22-3.42) daha anlaşılabilir olması için her bölgeden belirlenmiş 1 il olmak üzere 7 ilin 1980-2019 arası dönemi kapsayan SPI ve SPEI zaman serisi grafikleri verilmiştir (Şekil 3.1-3.7). Zaman serisi grafiklerinde 0 çizgisinin üzerinde kalan alanlar (mavi renkli alanlar) nemli dönemleri, 0 çizgisinin altında kalan alanlar (kırmızı renkli alanlar) kurak dönemleri göstermektedir.



Şekil 3.1. Antalya ilinin SPI ve SPEI zaman serisi grafiği

3.3.1.2. Doğu Anadolu Bölgesi Analiz Sonuçları

Tablo 3.25. Doğu Anadolu Bölgesinin 1 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI ₁			SPEI _{1PM}			SPEI _{1HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
Ağrı	-1.27	-0.000316	-	-0.10	-0.000052	-	-2.71	-0.000937	↓
Ardahan	-0.96	-0.000286	-	-1.10	-0.000326	-	-1.58	-0.000584	-
Bingöl	-1.14	-0.000353	-	-1.20	-0.000359	-	-1.26	-0.000515	-
Bitlis	-1.50	-0.000509	-	-0.24	-0.000128	-	0.52	0.000292	-
Elazığ	-0.13	-0.000029	-	-4.53	-0.001775	↓	-5.48	-0.001782	↓
Erzincan	0.33	0.000104	-	0.41	0.000176	-	-2.96	-0.000935	↓
Erzurum	-2.37	-0.000546	↓	-5.58	-0.001640	↓	-4.62	-0.001418	-
Hakkari	0.81	0.000164	-	-1.30	-0.000512	-	-1.58	-0.000577	-
Iğdır	1.06	0.000305	-	-1.17	-0.000431	-	0.99	0.000393	-
Kars	-0.94	-0.000264	-	-1.14	-0.000342	-	-1.68	-0.000602	-
Malatya	-1.60	-0.000204	-	-3.46	-0.001869	↓	-3.60	-0.001260	↓
Muş	0.89	0.000289	-	1.36	0.000543	-	0.33	0.000105	-
Tunceli	0.85	0.000282	-	-1.33	-0.000451	-	-4.76	-0.001299	↓
Van	0.80	0.000233	-	0.06	0.000024	-	-1.14	-0.000419	-

Tablo 3.25'te 1 aylık zaman ölçeğinde Doğu Anadolu Bölgesi illerinin eğilim ve Sen'in eğim analizleri gösterilmiştir. Araştırma bulgularına göre Ağrı ilinin SPEI_{1HG}, Elazığ ilinin SPEI_{1PM} ve SPEI_{1HG}, Erzincan ilinin SPEI_{1HG}, Erzurum ilinin SPI₁ ve SPEI_{1PM}, Malatya ilinin SPEI_{1PM} ve SPEI_{1HG} ve Tunceli ilinin SPEI_{1HG} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur. Ayrıca Ardahan, Bingöl, Bitlis, Hakkari, Iğdır, Kars, Muş ve Van illerinin SPI₁, SPEI_{1PM} ve SPEI_{1HG} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı artan ya da azalan yönde eğilim bulunmamıştır. Bu illerin zaman serileri istatistiki olarak anlamlı artan ya da azalan yönde bir eğilim tavrı göstermemiştir.

Tablo 3.26. Doğu Anadolu Bölgesinin 6 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

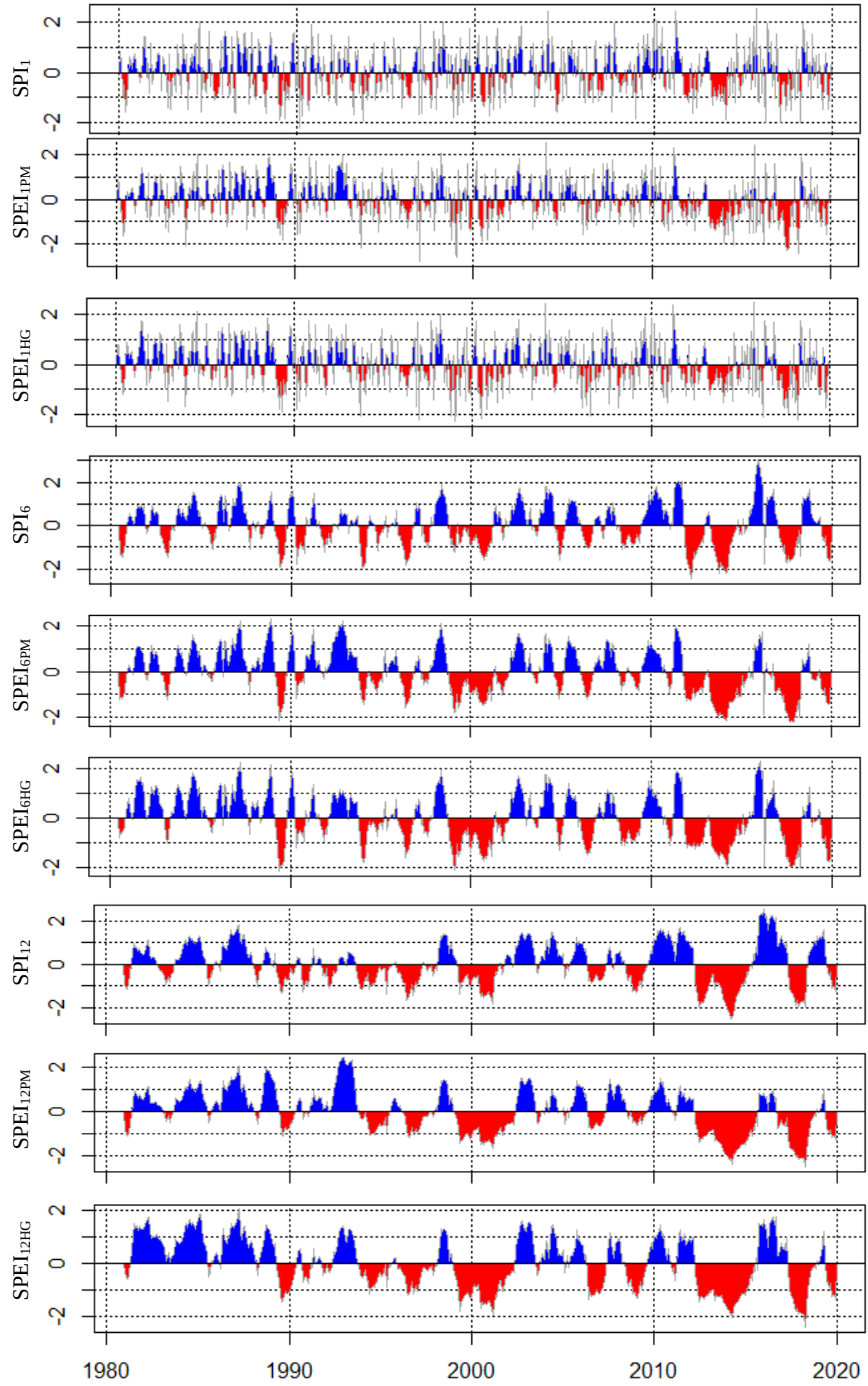
İstasyon	SPI ₆			SPEI _{6PM}			SPEI _{6HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
Ağrı	-1.22	-0.000929	-	-0.30	-0.000265	-	-1.92	-0.001685	-
Ardahan	-1.02	-0.000312	-	-1.26	-0.000512	-	-1.85	-0.000980	-
Bingöl	-2.00	-0.000656	↓	-2.20	-0.000722	↓	-2.53	-0.001057	↓
Bitlis	-2.05	-0.001170	↓	-0.97	-0.000730	-	-0.58	-0.000432	-
Elazığ	-0.81	-0.000305	-	-3.78	-0.002377	↓	-6.56	-0.002317	↓
Erzincan	0.29	0.000165	-	0.09	0.000083	-	-1.42	-0.000894	-
Erzurum	-0.92	-0.000485	-	-4.10	-0.002304	↓	-3.57	-0.002281	↓
Hakkari	-0.41	-0.000173	-	-1.91	-0.000841	-	-2.36	-0.000819	↓
Iğdır	1.30	0.000813	-	-1.52	-0.000961	-	0.99	0.000597	-
Kars	-1.08	-0.000318	-	-1.30	-0.000622	-	-1.86	-0.000982	-
Malatya	-1.91	-0.001120	-	-3.42	-0.003313	↓	-3.40	-0.002289	↓
Muş	-0.01	-0.000001	-	1.59	0.001198	-	-0.02	-0.000013	-
Tunceli	0.30	0.000191	-	-0.64	-0.000415	-	-2.98	-0.001700	↓
Van	0.47	0.000257	-	-0.22	-0.000206	-	-1.51	-0.001009	-

Tablo 3.26'da ise 6 ay zaman ölçeğine göre Bitlis ilinin SPI₆, Elazığ ilinin SPEI_{6PM} ve SPEI_{6HG}, Erzurum ilinin SPEI_{6PM} ve SPEI_{6HG}, Hakkari ilinin SPEI_{6HG}, Malatya ilinin SPEI_{6PM} ve SPEI_{6HG}, Tunceli ilinin SPEI_{6HG} ile Bingöl ilinin SPI₆, SPEI_{6PM} ve SPEI_{6HG} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur. Ağrı, Ardahan, Erzincan, Iğdır, Kars, Muş, Tunceli ve Van illerinin SPI₆, SPEI_{6PM} ve SPEI_{6HG} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı artan ya da azalan yönde eğilim bulunmamıştır. Bu illerin zaman serileri istatistiki olarak anlamlı artan ya da azalan yönde bir eğilim tavrı göstermemiştir.

Tablo 3.27. Doğu Anadolu Bölgesinin 12 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI ₁₂			SPEI _{12PM}			SPEI _{12HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
Ağrı	-1.29	-0.001354	-	-0.26	-0.000247	-	-2.48	-0.002353	↓
Ardahan	-1.16	-0.000346	-	-1.56	-0.000876	-	-1.92	-0.001012	-
Bingöl	-2.05	-0.001206	↓	-2.14	-0.001246	↓	-2.19	-0.001264	↓
Bitlis	-2.49	-0.001749	↓	-1.52	-0.001367	-	-0.89	-0.000854	-
Elazığ	-1.23	-0.000370	-	-3.19	-0.002996	↓	-3.24	-0.003049	↓
Erzincan	1.09	0.000546	-	0.40	0.000468	-	-2.48	-0.002159	↓
Erzurum	-0.45	-0.000358	-	-3.51	-0.002818	↓	-2.86	-0.002750	↓
Hakkari	0.04	0.000028	-	-1.86	-0.000835	-	-1.42	-0.000714	-
Iğdır	1.17	0.001030	-	-1.36	-0.001384	-	0.95	0.000997	-
Kars	-1.30	-0.000486	-	-1.68	-0.001006	-	-1.94	-0.001018	-
Malatya	-2.38	-0.001539	↓	-3.60	-0.004087	↓	-4.81	-0.002816	↓
Muş	0.17	0.000141	-	1.55	0.001402	-	-0.09	-0.000086	-
Tunceli	1.61	0.000588	-	-0.40	-0.000225	-	-5.22	-0.001821	↓
Van	0.55	0.000362	-	-0.51	-0.000547	-	-2.05	-0.001440	↓

Tablo 3.27’de verilen araştırma bulgularına göre Ağrı ilinin SPEI_{12HG}, Bitlis ilinin SPI₁₂, Elazığ ilinin SPEI_{12PM} ve SPEI_{12HG}, Erzincan ilinin SPEI_{12HG}, Erzurum ilinin SPEI_{12PM} ve SPEI_{12HG}, Tunceli ve Van illerinin SPEI_{12HG} ile Bingöl ve Malatya illerinin SPI₁₂, SPEI_{12PM} ve SPEI_{12HG} analizlerinde istatistiki olarak önemli azalan yönde eğilim bulunmuştur. Bilhassa SPI₁₂ ve SPEI_{12PM} zaman serileri ile kıyaslandığında SPEI_{12HG}’de daha fazla ilde zaman serilerinde istatistiki olarak anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur. Ardahan, Hakkari, Iğdır, Kars ve Muş illerinin SPI₁₂, SPEI_{12PM} ve SPEI_{12HG} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı artan ya da azalan yönde eğilim bulunmamıştır. Bu illerin zaman serileri istatistiki olarak anlamlı artan ya da azalan yönde bir eğilim tavrı göstermemiştir.



Şekil 3.2. Erzurum ilinin SPI ve SPEI zaman serisi grafiği

3.3.1.3. Ege Bölgesi Analiz Sonuçları

Tablo 3.28. Ege Bölgesinin 1 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI ₁			SPEI _{1PM}			SPEI _{1HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
A.Karahisar	1.51	0.000324	-	0.88	0.000342	-	-0.53	-0.000172	-
Aydın	1.48	0.000496	-	1.88	0.000988	-	0.72	0.000190	-
Denizli	0.60	0.000189	-	-1.14	-0.000886	-	-1.68	-0.000982	-
İzmir	1.11	0.000336	-	-1.95	-0.000618	-	-1.28	-0.000478	-
Kütahya	0.93	0.000408	-	0.27	0.000122	-	-0.37	-0.000154	-
Manisa	1.74	0.000639	-	2.08	0.001002	↑	1.63	0.000562	-
Muğla	1.84	0.000756	-	2.12	0.001088	↑	0.25	0.000117	-
Uşak	0.02	0.000006	-	-0.74	-0.000255	-	-1.35	-0.000521	-

Tablo 3.28'de Manisa ve Muğla illerinin SPEI_{1PM} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak önemli artan yönde eğilim göstermiştir. Bu durum Manisa ve Muğla illeri için SPEI_{1PM} özelinde kuraklık koşulundan nemlilik koşuluna geçişi işaret etmektedir. Afyonkarahisar, Aydın, Denizli, İzmir, Kütahya ve Uşak illerinin zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı artan ya da azalan yönde bir eğilim bulunmamıştır. Bu illerin zaman serileri istatistiki olarak anlamlı artan ya da azalan yönde bir eğilim tavrı göstermemiştir.

Tablo 3.29. Ege Bölgesinin 6 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

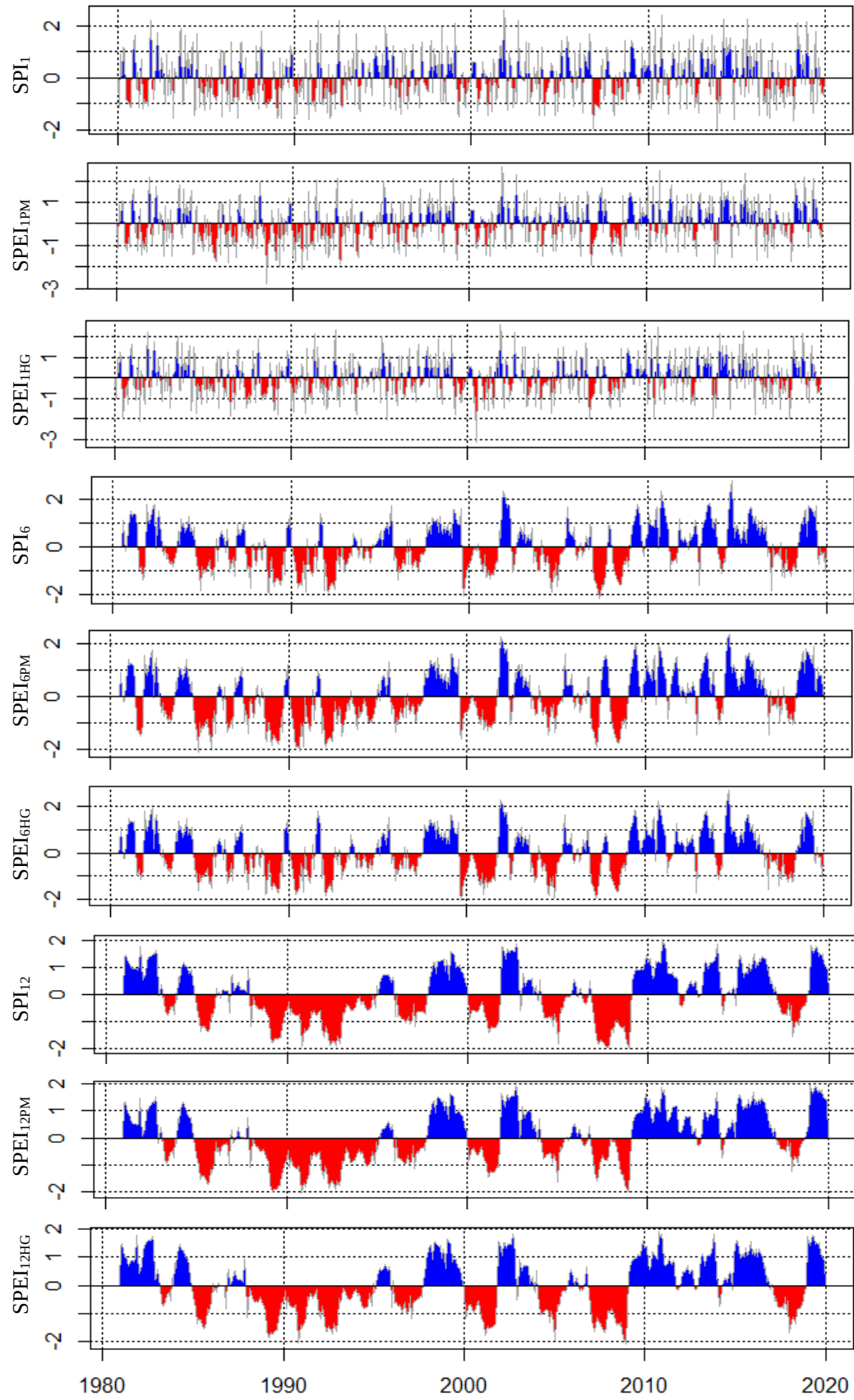
İstasyon	SPI ₆			SPEI _{6PM}			SPEI _{6HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
A.Karahisar	3.67	0.001456	↑	2.04	0.001396	↑	0.75	0.000286	-
Aydın	1.05	0.000707	-	1.38	0.001395	-	0.36	0.000291	-
Denizli	0.98	0.000658	-	-3.50	-0.001254	↓	-1.82	-0.000854	-
İzmir	2.34	0.001380	↑	-0.19	-0.000150	-	2.01	0.001281	↑
Kütahya	1.59	0.000937	-	1.00	0.000561	-	-1.47	-0.000279	-
Manisa	2.10	0.001134	↑	3.37	0.002204	↑	1.60	0.000995	-
Muğla	1.10	0.001017	-	1.94	0.001636	-	0.02	0.000017	-
Uşak	1.15	0.000471	-	-0.44	-0.000220	-	-2.11	-0.000663	↓

Tablo 3.29’a göre Afyonkarahisar ilinin SPI_6 ve $SPEI_{6PM}$, İzmir ilinin SPI_6 ve $SPEI_{6HG}$, Manisa ilinin SPI_6 ve $SPEI_{6PM}$ zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı artan yönde, Denizli ilinin $SPEI_{6PM}$ ve Uşak $SPEI_{6HG}$ zaman serileri analizlerinde ise istatistiki olarak anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur. 1 ay zaman ölçeğine göre (Tablo 3.28), 6 ay zaman ölçeğinde daha fazla ilde ve indekste zaman serilerinde istatistiki olarak anlamlı artan yönde eğilim bulunmuştur. Ayrıca 1 ay zaman ölçeğinde Denizli ve Uşak ilinin zaman serilerinde istatistiki olarak önemli artan ya da azalan bir eğilim yok iken 6 ay zaman ölçeğinde Denizli ilinin $SPEI_{6PM}$ ve Uşak ilinin $SPEI_{6HG}$ zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur. Aydın, Kütahya ve Muğla ilinin SPI_6 , $SPEI_{6PM}$ ve $SPEI_{6HG}$ zaman serileri analizlerinde artan ya da azalan yönde bir eğilim bulunmamıştır. Bu illerin zaman serileri istatistiki olarak anlamlı artan ya da azalan yönde bir eğilim tavrı göstermemiştir.

Tablo 3.30. Ege Bölgesinin 12 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen’in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI_{12}			$SPEI_{12PM}$			$SPEI_{12HG}$		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
A.Karahisar	4.05	0.002190	↑	1.77	0.001978	-	0.49	0.000392	-
Aydın	0.72	0.000792	-	1.13	0.001501	-	0.37	0.000460	-
Denizli	1.43	0.001053	-	-5.65	-0.002466	↓	-1.44	-0.000886	-
İzmir	2.08	0.001707	↑	0.08	0.000070	-	1.72	0.001586	-
Kütahya	1.81	0.001416	-	1.10	0.000910	-	-0.37	-0.000261	-
Manisa	1.42	0.001345	-	2.59	0.002572	↑	1.27	0.001211	-
Muğla	0.57	0.000624	-	1.35	0.001380	-	-0.30	-0.000296	-
Uşak	0.77	0.000567	-	-0.22	-0.000143	-	-1.02	-0.000673	-

Tablo 3.30’da 12 ay zaman ölçeğinde Afyonkarahisar ve İzmir ilinin SPI_{12} ve Manisa ilinin $SPEI_{12PM}$ zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak önemli artan yönde, Denizli ilinin $SPEI_{12PM}$ zaman serisi analizlerinde ise istatistiki olarak önemli azalan yönde eğilim bulunmuştur. Aydın, Kütahya, Muğla, Muğla ve Uşak illerinin SPI_{12} , $SPEI_{12PM}$ ve $SPEI_{12HG}$ zaman serileri analizlerinde artan ya da azalan yönde bir eğilim bulunmamıştır. Bu illerin zaman serileri istatistiki olarak anlamlı artan ya da azalan yönde bir eğilim tavrı göstermemiştir.



Şekil 3.3. Manisa ilinin SPI ve SPEI zaman serisi grafiği

3.3.1.4. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Analiz Sonuçları

Tablo 3.31. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin 1 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI ₁			SPEI _{1PM}			SPEI _{1HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
Adıyaman	-0.34	-0.000062	-	-4.10	-0.001280	↓	-4.15	-0.001353	↓
Batman	-1.77	-0.000447	-	-4.43	-0.002072	↓	-3.27	-0.001427	↓
Diyarbakır	-0.94	-0.000247	-	-2.36	-0.000886	↓	-2.85	-0.000906	↓
Gaziantep	-0.61	-0.000154	-	-0.58	-0.000179	-	-0.56	0.000174	-
Kilis	0.15	0.000038	-	-0.30	-0.000078	-	-0.11	-0.000046	-
Mardin	-2.68	-0.000746	↓	-2.02	-0.001114	↓	-2.04	-0.001115	↓
Siirt	-1.56	-0.000429	-	-2.50	-0.001020	↓	-2.60	-0.001120	↓
Şanlıurfa	-1.58	-0.000401	-	-2.06	-0.000679	↓	-3.78	-0.001294	↓
Şırnak	-1.64	-0.000426	-	-2.42	-0.000892	↓	-3.82	-0.001326	↓

Tablo 3.31'de Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin 1 ay zaman ölçeğinde eğilim ve Sen'in eğim analizleri gösterilmiştir. Buna göre Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Siirt, Şanlıurfa ve Şırnak illerinin SPEI_{1PM} ve SPEI_{1HG} ile Mardin ilinin SPI₁, SPEI_{1PM} ve SPEI_{1HG} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı azalan yönde bulunmuştur. Diğer bir ifadeyle kurak koşullar artan yönde bir eğilim tavrı göstermiştir. Gaziantep ve Kilis illerinin SPI₁, SPEI_{1PM} ve SPEI_{1HG} zaman serileri istatistiki olarak anlamlı artan ya da azalan yönde bir eğilim tavrı göstermemiştir.

Tablo 3.32. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin 6 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI ₆			SPEI _{6PM}			SPEI _{6HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
Adıyaman	-0.68	-0.000215	-	-4.70	-0.001645	↓	-4.91	-0.001789	↓
Batman	-0.69	-0.000566	-	-3.60	-0.002746	↓	-2.24	-0.001920	↓
Diyarbakır	-0.93	-0.000405	-	-1.24	-0.001088	-	-1.62	-0.000986	-
Gaziantep	-0.62	0.000324	-	-0.32	-0.000226	-	-0.20	0.000106	-
Kilis	-0.55	-0.000291	-	-1.42	-0.000624	-	-1.30	-0.000539	-

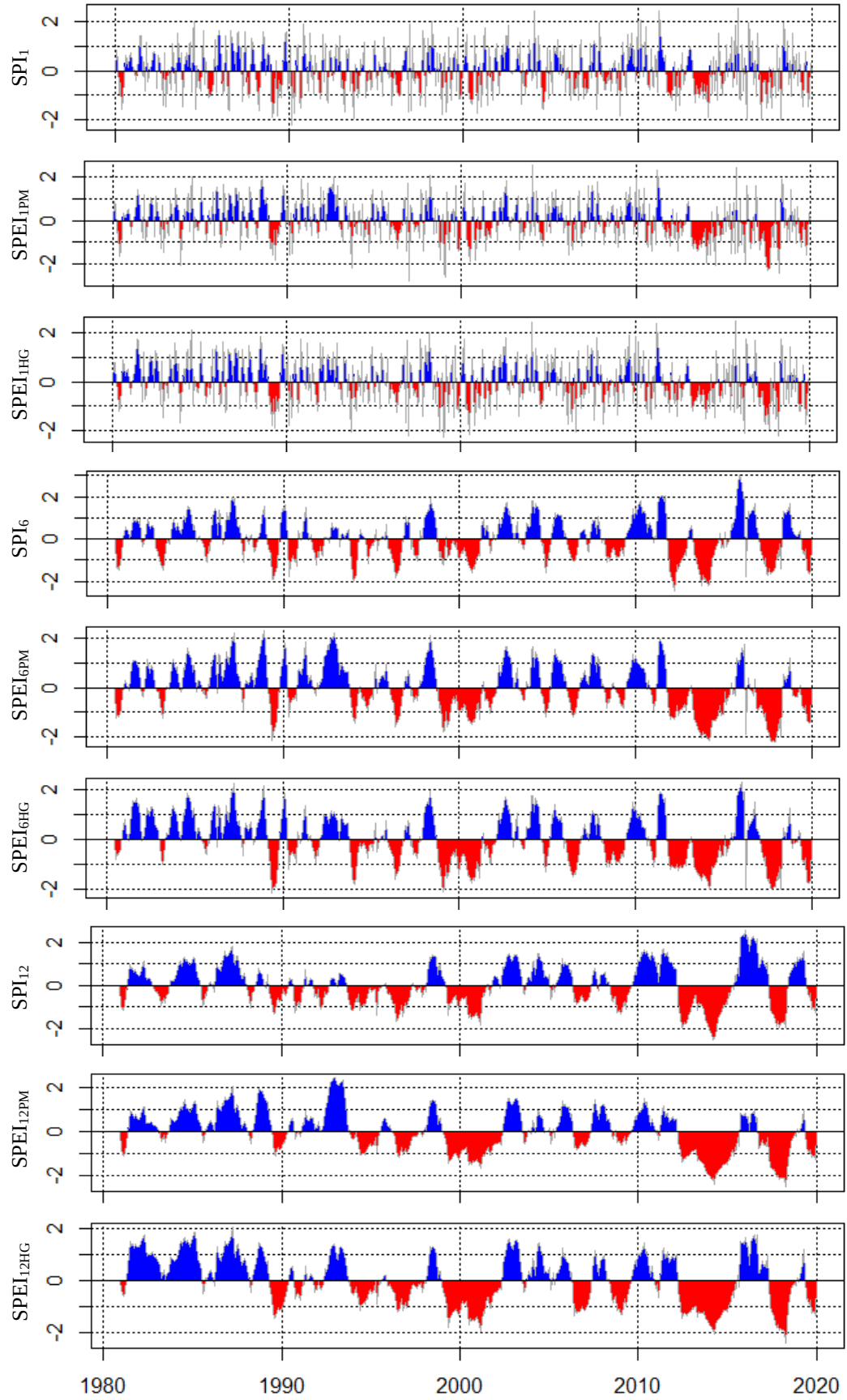
Mardin	-2.77	-0.001725	↓	-3.98	-0.002190	↓	-2.57	-0.002056	↓
Siirt	-1.56	-0.001030	-	-2.18	-0.001622	↓	-2.14	-0.001548	↓
Şanlıurfa	-2.49	-0.001290	↓	-2.15	-0.001758	↓	-4.24	-0.002239	↓
Şırnak	-2.26	-0.001024	↓	-2.10	-0.001618	↓	-3.92	-0.002164	↓

Tablo 3.32’de gösterilen 6 ay zaman ölçeği araştırma bulgularına göre Adıyaman, Batman ve Siirt illerinin SPEI_{6PM} ve SPEI_{6HG} ile Mardin, Şanlıurfa ve Şırnak illerinin SPI₆, SPEI_{6PM} ve SPEI_{6HG} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur. Diğer bir ifadeyle kurak koşullar artan yönde bir eğilim tavrı göstermiştir. Diyarbakır, Gaziantep ve Kilis illerinin SPI₆, SPEI_{6PM} ve SPEI_{6HG} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı artan ya da azalan yönde bir eğilim bulunmamıştır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde 1 ay zaman ölçeğine göre, 6 ay zaman ölçeğinde daha fazla ilin SPI₁ zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur.

Tablo 3.33. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin 12 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen’in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI ₁₂			SPEI _{12PM}			SPEI _{12HG}		
	Mann Ken.	Sen’s Slope	Tr	Mann Ken.	Sen’s Slope	Tr	Mann Ken.	Sen’s Slope	Tr
Adıyaman	0.21	-0.000166	-	-2.40	-0.001742	↓	-2.63	-0.001808	↓
Batman	-1.47	-0.001010	-	-3.39	-0.003381	↓	-3.02	-0.002607	↓
Diyarbakır	-0.63	0.000416	-	-1.39	-0.001393	-	-1.50	-0.001350	-
Gaziantep	-0.70	-0.000602	-	-0.42	-0.000392	-	-0.28	-0.000262	-
Kilis	-1.06	-0.000367	-	-1.78	-0.000870	-	-1.57	-0.000570	-
Mardin	-3.90	-0.002635	↓	-3.95	-0.003332	↓	-2.89	-0.003094	↓
Siirt	-1.76	-0.001478	-	-2.28	-0.002289	↓	-2.10	-0.002200	↓
Şanlıurfa	-4.32	-0.002189	↓	-4.65	-0.002998	↓	-4.76	-0.003017	↓
Şırnak	-3.86	-0.002632	↓	-3.92	-0.003298	↓	-4.02	-0.002122	↓

Tablo 3.33’e bakıldığında, Tablo 3.32’de verildiği üzere 6 ay zaman ölçeğinde olduğu gibi, 12 ay zaman ölçeğinde de aynı illerin zaman serisi analizlerinde istatistiki olarak anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur. Diğer bir ifadeyle kurak koşullar artan yönde bir eğilim tavrı göstermiştir.



Şekil 3.4. Gaziantep ilinin SPI ve SPEI zaman serisi grafiği

3.3.1.5. İç Anadolu Bölgesi Analiz Sonuçları

Tablo 3.34. İç Anadolu Bölgesinin 1 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI ₁			SPEI _{1PM}			SPEI _{1HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
Aksaray	-1.75	-0.000547	-	-2.59	-0.000936	↓	-2.77	-0.000954	↓
Ankara	0.81	0.000243	-	-2.25	-0.000731	↓	-0.66	-0.000186	-
Çankırı	0.83	0.000282	-	-2.63	-0.001133	↓	-0.98	-0.000463	-
Eskişehir	0.78	0.000260	-	-2.40	-0.001088	↓	-1.12	-0.000486	-
Karaman	0.28	0.000084	-	0.36	0.000105	-	-1.13	-0.000252	-
Kayseri	-1.74	-0.000493	-	-1.00	-0.000381	-	-1.46	-0.000571	-
Kırıkkale	-1.54	-0.000612	-	-4.15	-0.002002	↓	-3.70	-0.001300	↓
Kırşehir	-0.81	-0.000201	-	-5.01	-0.001424	↓	-5.63	-0.001279	↓
Konya	0.42	0.000158	-	-5.10	-0.001624	↓	-3.47	-0.001188	↓
Nevşehir	-2.53	-0.000648	↓	-2.86	-0.000853	↓	-4.07	-0.001196	↓
Niğde	1.64	0.000555	-	-1.03	-0.000397	-	-1.75	-0.000591	-
Sivas	-1.10	-0.000369	-	-2.39	-0.000893	↓	-3.72	-0.001262	↓
Yozgat	-3.19	-0.000961	↓	-4.57	-0.001343	↓	-4.17	-0.001576	↓

Tablo 3.34'te İç Anadolu Bölgesi illerinin 1 ay zaman ölçeğinde eğilim ve Sen'in eğim analizleri gösterilmiştir. Buna göre; Ankara, Çankırı ve Eskişehir illerinin SPEI_{1PM}, Aksaray, Kırıkkale, Kırşehir, Konya ve Sivas illerinin SPEI_{1PM} ve SPEI_{1HG} ile Nevşehir ve Yozgat illerinin SPI₁, SPEI_{1PM} ve SPEI_{1HG} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur. Diğer bir ifadeyle kurak koşullar artan yönde bir eğilim tavrı göstermiştir. Karaman, Kayseri ve Niğde illerinin SPI₁, SPEI_{1PM} ve SPEI_{1HG} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı artan ya da azalan yönde bir eğilim bulunmamıştır.

Tablo 3.35. İç Anadolu Bölgesinin 6 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI ₆			SPEI _{6PM}			SPEI _{6HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
Aksaray	-2.31	-0.001466	↓	-2.40	-0.002067	↓	-3.89	-0.002248	↓
Ankara	0.98	0.000649	-	-2.08	-0.001677	↓	-0.44	-0.000301	-
Çankırı	1.01	0.000665	-	-2.76	-0.002055	↓	-1.25	-0.000741	-
Eskişehir	0.88	0.000588	-	-2.56	-0.001988	↓	-1.17	-0.000688	-
Karaman	0.59	0.000260	-	-0.22	-0.000132	-	-1.06	-0.000573	-
Kayseri	-1.13	-0.000801	-	-1.57	-0.001166	-	-1.92	-0.001597	-
Kırıkkale	-1.53	-0.000780	-	-4.87	-0.003212	↓	-3.85	-0.002233	↓
Kırşehir	-0.34	-0.000156	-	-3.92	-0.002680	↓	-3.66	-0.002486	↓
Konya	-0.44	-0.000422	-	-4.88	-0.003212	↓	-0.73	-0.000574	-
Nevşehir	-2.41	-0.001128	↓	-3.25	-0.001674	↓	-3.75	-0.002491	↓
Niğde	1.91	0.001009	-	-0.61	-0.000528	-	-1.87	-0.001137	-
Sivas	-1.57	-0.000924	-	-3.22	-0.001652	↓	-3.74	-0.002709	↓
Yozgat	-3.92	-0.002472	↓	-4.89	-0.003208	↓	-5.45	-0.003708	↓

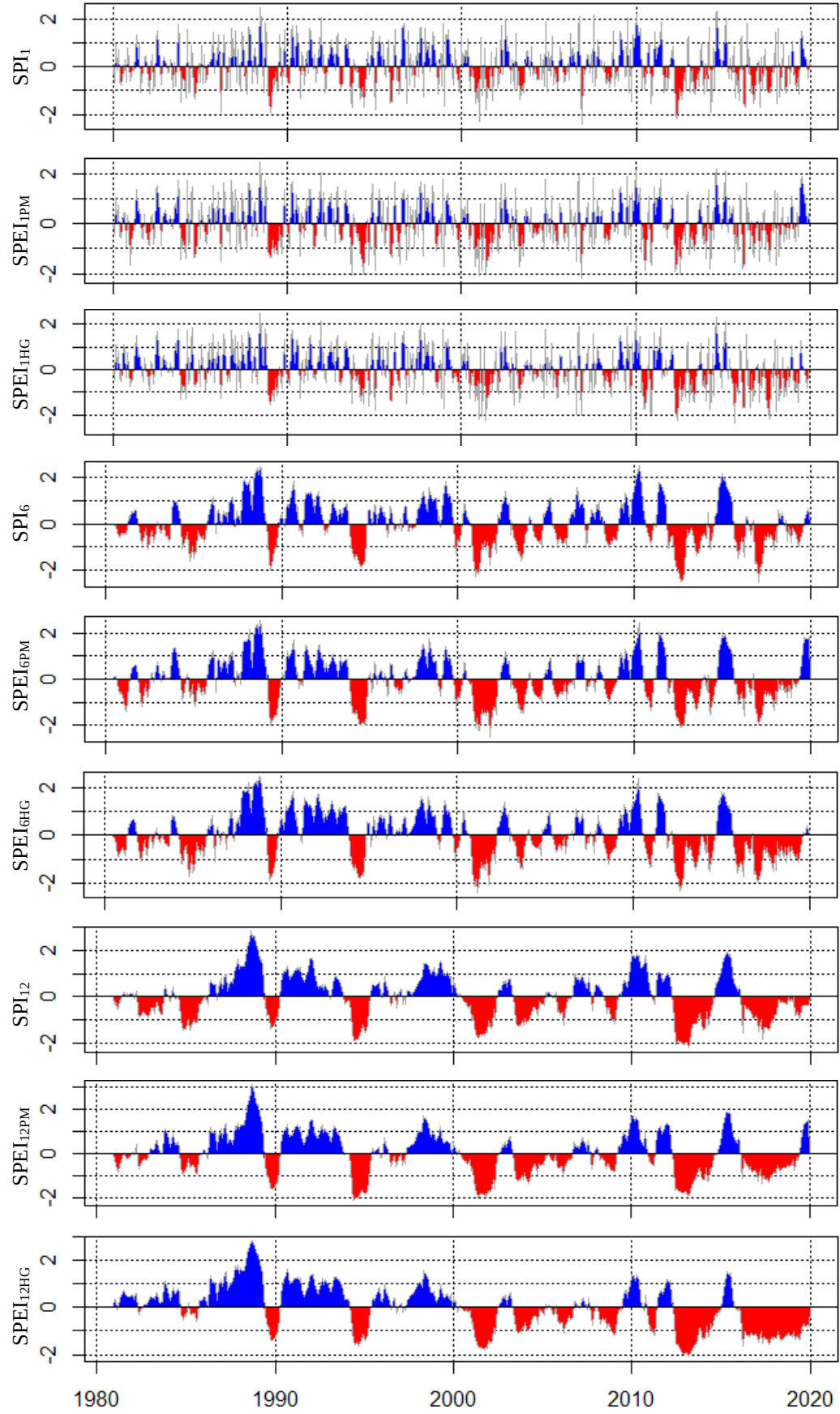
Tablo 3.35'te verilen bilgilere göre; Ankara, Çankırı, Eskişehir ve Konya illerinin SPEI_{6PM}, Kırıkkale, Kırşehir ve Sivas illerinin SPEI_{6PM} ve SPEI_{6HG}, Aksaray, Nevşehir ve Yozgat illerinin SPI₆, SPEI_{6PM} ve SPEI_{6HG} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur. Karaman, Kayseri ve Niğde illerinin SPI₆, SPEI_{6PM} ve SPEI_{6HG} zaman serileri analizlerinde ise istatistiki olarak anlamlı artan ya da azalan yönde bir eğilim bulunmamış bu duruma göre bu illerin zaman serileri artan ya da azalan yönde bir eğilim tavrı göstermemiştir.

Tablo 3.36. İç Anadolu Bölgesinin 12 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI ₁₂			SPEI _{12PM}			SPEI _{12HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
Aksaray	-2.21	-0.001892	↓	-2.53	-0.002858	↓	-5.38	-0.003044	-
Ankara	0.20	0.000833	-	-2.20	-0.002644	↓	-0.75	-0.000561	-
Çankırı	0.63	0.000610	-	-3.34	-0.002860	↓	-1.28	-0.001205	-
Eskişehir	0.46	0.000522	-	-2.92	-0.002642	↓	-1.08	-0.001022	-

Karaman	-0.04	-0.000017	-	-1.57	-0.000990	-	-2.04	-0.001298	↓
Kayseri	-1.29	-0.001005	-	-2.13	-0.001600	↓	-1.84	-0.002086	-
Kırıkkale	-1.82	-0.001140	-	-5.08	-0.003923	↓	-5.60	-0.002932	↓
Kırşehir	-0.28	-0.000190	-	-3.78	-0.003442	↓	-3.90	-0.003285	↓
Konya	-0.32	0.000412	-	-5.10	-0.003923	↓	-0.81	-0.000827	-
Nevşehir	-2.96	-0.001457	↓	-3.50	-0.002193	↓	-3.96	-0.003021	↓
Niğde	1.92	0.001522	-	-0.61	-0.000533	-	-1.81	-0.001403	-
Sivas	-1.50	-0.001244	-	-3.48	-0.002186	↓	-3.54	-0.003511	↓
Yozgat	-5.48	-0.003428	↓	-5.65	-0.004313	↓	-5.78	-0.004796	↓

Tablo 3.36’da gösterilen bulgulara göre; Ankara, Çankırı, Eskişehir, Kayseri ve Konya illerinin $SPEI_{12PM}$, Karaman ilinin $SPEI_{12HG}$, Aksaray ilinin SPI_{12} ve $SPEI_{12PM}$, Kırıkkale, Kırşehir ve Sivas illerinin $SPEI_{12PM}$ ve $SPEI_{12HG}$ ile Nevşehir ve Yozgat illerinin SPI_{12} , $SPEI_{12PM}$ ve $SPEI_{12HG}$ zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur. 12 ay zaman ölçeğinde sadece Niğde ilinin SPI_{12} , $SPEI_{12PM}$ ve $SPEI_{12HG}$ zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı artan ya da azalan bir eğilim bulunmamıştır.



Şekil 3.5. Kayseri ilinin SPI ve SPEI zaman serisi grafiği

3.3.1.6. Karadeniz Bölgesi Analiz Sonuçları

Tablo 3.37. Karadeniz Bölgesinin 1 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI ₁			SPEI _{1PM}			SPEI _{1HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
Amasya	0.78	0.000240	-	-0.91	-0.000398	-	-1.04	-0.000375	-
Artvin	0.77	0.000236	-	-2.56	-0.000851	↓	-0.13	-0.000054	-
Bartın	1.12	0.000329	-	0.21	0.000071	-	-0.05	-0.000022	-
Bayburt	1.40	0.000386	-	-1.18	-0.000436	-	-1.70	-0.000592	-
Bolu	1.42	0.000440	-	-0.19	-0.000060	-	-0.32	-0.000121	-
Çorum	0.58	0.000172	-	-0.86	-0.000247	-	-2.09	-0.000691	↓
Düzce	-0.10	-0.000031	-	-1.53	-0.000554	-	-1.79	-0.000655	-
Giresun	1.24	0.000346	-	0.60	0.000254	-	0.90	0.000294	-
Gümüşhane	1.59	0.000434	-	-1.10	-0.000383	-	-1.69	-0.000583	-
Karabük	0.48	0.000188	-	-0.62	-0.000288	-	-1.52	-0.000622	-
Kastamonu	0.51	0.000202	-	-0.58	-0.000260	-	-1.45	-0.000541	-
Ordu	0.90	0.000288	-	0.15	0.000052	-	0.70	0.000261	-
Rize	2.39	0.000593	↑	2.53	0.000533	↑	2.02	0.000622	↑
Samsun	2.28	0.000773	↑	-0.01	-0.000002	-	1.39	0.000428	-
Sinop	2.24	0.000789	↑	3.23	0.001168	↑	1.31	0.000459	-
Tokat	-1.18	-0.000393	-	-2.78	-0.001217	↓	-2.97	-0.001079	↓
Trabzon	0.36	0.000143	-	-1.73	-0.000630	-	-1.27	-0.000408	-
Zonguldak	0.48	0.000186	-	0.90	0.000343	-	-0.11	-0.000047	-

Tablo 3.37’de Karadeniz Bölgesi illerinin 1 ay zaman ölçeğinde eğilim ve Sen’in eğim analizleri gösterilmiştir. Buna göre; Artvin ilinin SPEI_{1PM}, Çorum ilinin SPEI_{1HG} ile Tokat ilinin SPEI_{1PM} ve SPEI_{1HG} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur. Samsun ilinin SPI₁, Sinop ilinin SPI₁ ve SPEI_{1PM} ve Rize ilinin SPI₁, SPEI_{1PM} ve SPEI_{1HG} zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı artan yönde eğilim bulunmuştur. Amasya, Bartın, Bayburt, Bolu, Düzce, Giresun, Gümüşhane, Karabük, Kastamonu, Ordu, Trabzon ve Zonguldak illerinin SPI₁, SPEI_{1PM} ve SPEI_{1HG} zaman serileri analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı artan ya da azalan bir eğilim bulunmamıştır. Bu duruma göre bu illerin zaman serileri artan ya da azalan yönde bir eğilim tavrı göstermemiştir.

Tablo 3.38. Karadeniz Bölgesinin 6 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

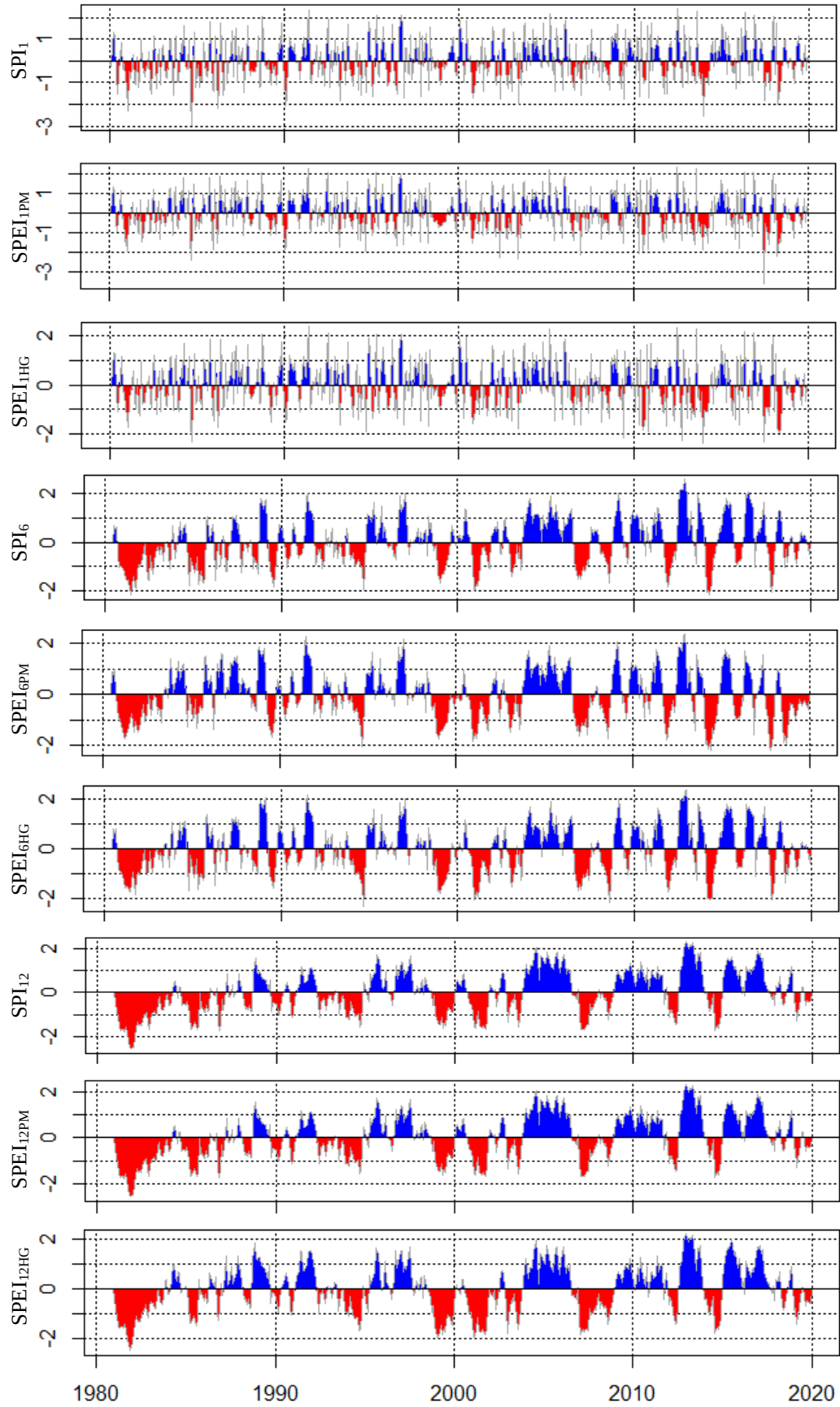
İstasyon	SPI ₆			SPEI _{6PM}			SPEI _{6HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
Amasya	1.64	0.000703	-	-0.50	-0.000569	-	-1.55	-0.000723	-
Artvin	0.49	0.000349	-	-2.48	-0.001873	↓	-0.15	-0.000157	-
Bartın	1.60	0.000999	-	0.60	0.000440	-	0.20	0.000133	-
Bayburt	1.10	0.000622	-	-1.10	-0.000788	-	-2.42	-0.001724	↓
Bolu	2.61	0.001510	↑	0.85	0.000487	-	0.66	0.000331	-
Çorum	1.13	0.000737	-	-0.29	-0.000213	-	-1.48	-0.001181	-
Düzce	-0.64	-0.000385	-	-2.10	-0.001454	↓	-2.42	-0.001767	↓
Giresun	0.80	0.000342	-	-0.10	-0.000142	-	0.62	0.000388	-
Gümüşhane	1.26	0.000700	-	-1.13	-0.000840	-	-2.36	-0.001206	↓
Karabük	1.66	0.001388	-	0.70	0.000580	-	-0.54	-0.000288	-
Kastamonu	1.74	0.001406	-	0.67	0.000560	-	-0.48	-0.000257	-
Ordu	0.56	0.000256	-	-0.49	-0.000244	-	0.41	0.000200	-
Rize	2.65	0.001457	↑	2.19	0.001454	↑	1.29	0.000800	-
Samsun	5.05	0.001869	↑	0.35	0.000099	-	3.37	0.001097	↑
Sinop	2.61	0.001906	↑	4.24	0.002511	↑	1.75	0.001161	-
Tokat	-1.47	-0.000902	-	-2.57	-0.002482	↓	-5.38	-0.002309	↓
Trabzon	1.33	0.001020	-	-1.09	-0.000949	-	-0.54	-0.000358	-
Zonguldak	0.37	0.000193	-	0.88	0.000572	-	-0.61	-0.000352	-

Tablo 3.38'e göre; Artvin ilinin SPEI_{6PM}, Bayburt ve Gümüşhane illerinin SPEI_{6HG} ile Düzce ve Tokat illerinin SPEI_{6PM} ve SPEI_{6HG} zaman serileri analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur. Bolu ilinin SPI₆, Rize ve Sinop illerinin SPI₆ ve SPEI_{6PM}, Samsun ilinin SPI₆ ve SPEI_{6HG} zaman serileri analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı artan yönde eğilim bulunmuştur. Amasya, Bartın, Bayburt, Çorum, Giresun, Karabük, Kastamonu, Ordu, Trabzon ve Zonguldak illerinin zaman serileri analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı artan ya da azalan bir eğilim bulunmamıştır. Bu duruma göre bu illerin zaman serileri artan ya da azalan yönde bir eğilim tavrı göstermemiştir.

Tablo 3.39. Karadeniz Bölgesinin 12 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI ₁₂			SPEI _{12PM}			SPEI _{12HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
Amasya	1.54	0.00113	-	-0.42	-0.000706	-	-1.21	-0.000931	-
Artvin	0.59	0.000546	-	-2.83	-0.002486	↓	-0.09	-0.000111	-
Bartın	1.74	0.001282	-	0.51	0.000415	-	-0.06	-0.000050	-
Bayburt	0.62	0.000934	-	-1.02	-0.000902	-	-2.48	-0.001642	↓
Bolu	2.66	0.002153	↑	1.16	0.000741	-	0.48	0.000316	-
Çorum	1.22	0.000848	-	-0.94	-0.000562	-	-1.81	-0.001989	-
Düzce	-0.64	-0.000479	-	-1.67	-0.001779	-	-2.68	-0.002355	↓
Giresun	0.74	0.000324	-	-0.10	-0.000124	-	0.64	0.000452	-
Gümüşhane	1.61	0.001008	-	-0.98	-0.000874	-	-2.65	-0.001818	↓
Karabük	1.66	0.001782	-	0.64	0.000654	-	-0.32	-0.000244	-
Kastamonu	1.82	0.001808	-	0.85	0.000772	-	-0.44	-0.000318	-
Ordu	0.45	0.000296	-	-0.62	-0.000451	-	0.33	0.000151	-
Rize	3.41	0.002223	↑	2.86	0.002155	↑	2.48	0.001387	↑
Samsun	4.40	0.002858	↑	0.28	0.000154	-	2.72	0.001702	↑
Sinop	2.64	0.002088	↑	5.72	0.003065	↑	1.65	0.001237	-
Tokat	-1.35	-0.001299	-	-2.39	-0.003077	↓	-5.06	-0.003109	↓
Trabzon	1.85	0.001522	-	-0.84	-0.000901	-	-0.38	-0.000306	-
Zonguldak	-0.23	-0.000202	-	0.39	0.000352	-	-1.19	-0.001006	-

Tablo 3.39'da gösterilen verilere göre; Artvin ilinin SPEI_{12PM}, Bayburt, Düzce ve Gümüşhane illerinin SPEI_{12HG}, Tokat ilinin SPEI_{12PM} ve SPEI_{12HG} zaman serileri analizlerinde istatistiki açıdan anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur. Bolu ilinin SPI₁₂, Samsun ilinin SPI₁₂ ve SPEI_{12HG}, Sinop ilinin SPI₁₂ ve SPEI_{12PM} ile Rize ilinin SPI₁₂, SPEI_{12PM} ve SPEI_{12HG} zaman serileri analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı artan yönde eğilim bulunmuştur. 1,6 ve 12 aylık zaman ölçeğinde tablolar incelendiğinde Rize, Samsun ve Sinop illerinde SPI₁₂ zaman serileri analizlerinde istatistiki olarak anlamlı artan yönde eğilim bulunmuştur. Amasya, Bartın, Çorum, Giresun, Karabük, Kastamonu, Ordu, Trabzon ve Zonguldak illerinin zaman serileri analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı artan ya da azalan yönde eğilim bulunmamıştır.



Şekil 3.6. Samsun ilinin SPI ve SPEI zaman serisi grafiği

3.3.1.7. Marmara Bölgesi Analiz Sonuçları

Tablo 3.40. Marmara Bölgesinin 1 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI ₁			SPEI _{1PM}			SPEI _{1HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
Balıkesir	2.42	0.000807	↑	-1.87	-0.000679	-	-1.25	-0.000447	-
Bilecik	1.63	0.000519	-	-0.46	-0.000110	-	-1.27	-0.000387	-
Bursa	1.26	0.000377	-	-0.28	-0.000081	-	-0.21	-0.000072	-
Çanakkale	-0.66	-0.000184	-	-3.42	-0.001327	↓	-1.70	-0.000542	-
Edirne	2.06	0.000710	↑	-1.34	-0.000407	-	0.20	0.000071	-
İstanbul	0.98	0.000309	-	-1.72	-0.000673	-	-1.50	-0.000453	-
Kırklareli	2.11	0.000742	↑	-1.12	-0.000388	-	0.12	0.000042	-
Kocaeli	1.02	0.000355	-	-0.62	-0.000179	-	-0.68	-0.000191	-
Sakarya	1.25	0.000390	-	-0.42	-0.000126	-	-0.60	-0.000187	-
Tekirdağ	0.33	0.000111	-	-1.90	-0.000880	-	-1.01	-0.000266	-
Yalova	1.89	0.000596	-	0.92	0.000296	-	0.88	0.000256	-

Tablo 3.40'ta Marmara Bölgesi illerinin 1 ay zaman ölçeğinde eğilim ve Sen'in eğim analizleri gösterilmiştir. Buna göre; Balıkesir, Edirne ve Kırklareli illerinin SPI₁ zaman serileri analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı artan eğilim, Çanakkale ilinin SPEI_{1PM} zaman serisi analizinde ise istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur. Bilecik, Bursa, İstanbul, Kocaeli, Sakarya, Tekirdağ ve Yalova illerinin SPI₁, SPEI_{1PM} ve SPEI_{1HG} zaman serileri analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı artan ya da azalan eğilim bulunmamıştır.

Tablo 3.41. Marmara Bölgesi 6 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen'in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI ₆			SPEI _{6PM}			SPEI _{6HG}		
	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr	Mann Ken.	Sen's Slope	Tr
Balıkesir	2.97	0.001852	↑	-0.82	-0.000538	-	-0.06	-0.000047	-
Bilecik	2.32	0.001472	↑	0.14	0.000122	-	-0.68	-0.000439	-
Bursa	1.44	0.000984	-	0.29	0.000178	-	0.18	0.000129	-
Çanakkale	-0.32	-0.000189	-	-3.93	-0.002183	↓	-1.10	-0.000714	-
Edirne	3.10	0.001990	↑	-0.52	-0.000192	-	2.45	0.000783	↑
İstanbul	1.90	0.000925	-	-1.32	-0.000769	-	-0.67	-0.000373	-

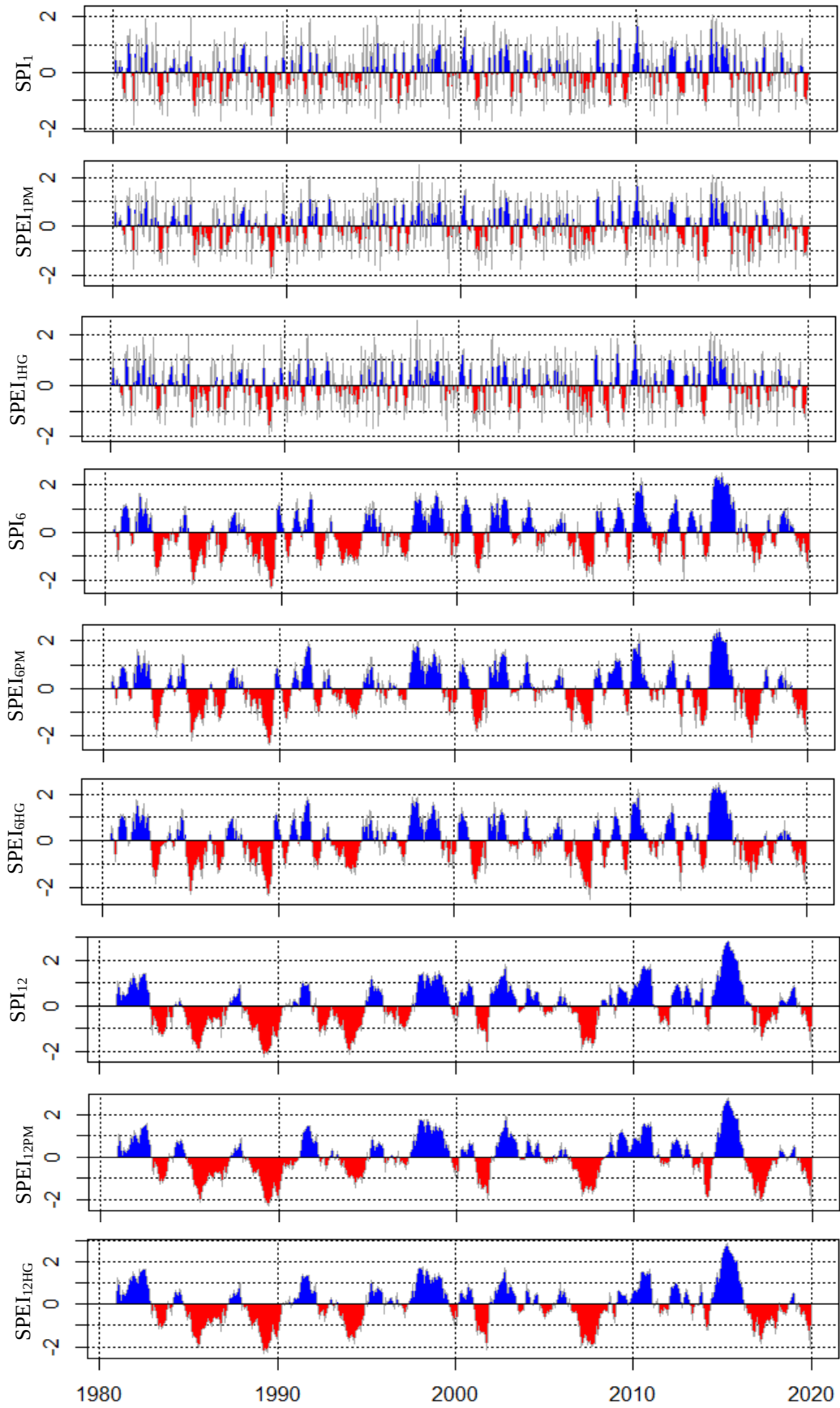
Kırklareli	2.20	0.001286	↑	-0.30	-0.000110	-	2.06	0.000968	↑
Kocaeli	1.50	0.000724	-	-0.75	-0.000436	-	-0.92	-0.000428	-
Sakarya	1.57	0.001091	-	0.03	0.000024	-	-0.15	-0.000124	-
Tekirdağ	1.24	0.000629	-	-1.90	-0.000882	-	-0.04	0.000026	-
Yalova	2.46	0.001544	↑	1.45	0.001053	-	1.34	0.000986	-

Tablo 3.41’te verilen bulgulara göre ise; Balıkesir, Bilecik ve Yalova illerinin SPI_6 , Edirne ve Kırklareli illerinin ise SPI_6 ve $SPEI_{6HG}$ zaman serileri analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı artan yönde eğilim bulunmuştur. Çanakkale ilinin ise $SPEI_{6PM}$ zaman serisi analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur. Bursa, İstanbul, Kocaeli, Sakarya ve Tekirdağ illerinin SPI_6 , $SPEI_{6PM}$ ve $SPEI_{6HG}$ zaman serileri analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı artan ya da azalan yönde eğilim bulunmamıştır.

Tablo 3.42. Marmara Bölgesinin 12 ay zaman ölçeği eğilim ve Sen’in eğim analiz sonuçları

İstasyon	SPI_{12}			$SPEI_{12PM}$			$SPEI_{12HG}$		
	Mann Ken.	Sen’s Slope	Tr	Mann Ken.	Sen’s Slope	Tr	Mann Ken.	Sen’s Slope	Tr
Balıkesir	3.28	0.002732	↑	-0.41	-0.000413	-	0.40	0.000464	-
Bilecik	2.39	0.001916	↑	-0.18	-0.000155	-	-0.89	-0.000787	-
Bursa	2.15	0.001599	↑	0.78	0.000587	-	0.40	0.000345	-
Çanakkale	0.02	0.000019	-	-3.11	-0.002462	↓	-0.71	-0.000534	-
Edirne	3.42	0.002992	↑	-0.02	-0.000009	-	2.60	0.001275	↑
İstanbul	1.92	0.000986	-	-1.75	-0.000909	-	-0.52	-0.000285	-
Kırklareli	2.40	0.001924	↑	-0.10	-0.000122	-	2.20	0.001124	↑
Kocaeli	1.76	0.000967	-	-1.12	-0.000664	-	-1.50	-0.000611	-
Sakarya	1.51	0.001196	-	-0.24	-0.000250	-	-0.59	-0.000527	-
Tekirdağ	1.75	0.001266	-	-0.70	-0.000556	-	0.75	0.000650	-
Yalova	3.35	0.002136	↑	2.23	0.001625	↑	2.08	0.001424	↑

Tablo 3.42’de ki verilere göre; Balıkesir, Bilecik ve Bursa illerinin SPI_{12} , Edirne ve Kırklareli illerinin SPI_{12} ve $SPEI_{12HG}$, Yalova ilinin ise SPI_{12} , $SPEI_{12PM}$ ve $SPEI_{12HG}$ zaman serileri analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı artan yönde bir eğilim bulunmuşken Çanakkale ilinin $SPEI_{12PM}$ zaman serisi analizinde ise istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilim bulunmuştur.



Şekil 3.7. Bursa ilinin SPI ve SPEI kuraklık zaman serisi grafiği

3.4. Mekansal Analiz Sonuçları

Mekansal analizler IDW yöntemi göre alansal dağılım haritaları oluşturularak hazırlanmıştır. Haritalarda semboloji tekniği kullanılarak renklendirme yapılmış ve renklere göre lejant skalası oluşturulmuştur. Renk lejant skalası ilgili haritaların sağ alt kısmına, yatay mesafeyi ölçmede kullanılan kilometre lejantı ve yön işareti ise sol alt kısmına yerleştirilmiştir.

3.4.1. Yağış, Referans Evapotranspirasyon ve İklimsel Su Dengesi Değişkenlerinin Alansal Dağılımları

Türkiye 81 il merkezi meteoroloji istasyonu için 1980-2019 dönemine ait yıllık ortalama miktarlar dikkate alınarak, yağış (P) alansal dağılım haritası Şekil 3.8’de , FAO-56 PM yöntemine göre referans evapotranspirasyon alansal dağılım haritası Şekil 3.9’da, FAO-56 PM yöntemine göre bulunan referans evapotranspirasyon miktarının yağış miktarından çıkartılmasıyla bulunan iklimsel su dengesi ($D=P-ET_0$) alansal dağılım haritası Şekil 3.10’da, Hargreaves yöntemine göre referans evapotranspirasyon alansal dağılım haritası Şekil 3.11’de ve Hargreaves yöntemine göre bulunan referans evapotranspirasyon miktarının yağış miktarından çıkartılmasıyla bulunan iklimsel su dengesi ($D=P-ET_0$) alansal dağılım haritası Şekil 3.12’de gösterilmiştir.

Türkiye’nin yıllık ortalama yağış alansal dağılımının haritasına (Şekil 3.8) bakıldığında iller genelinde yağışların ortalama 259 mm ile 2243 mm arasında değiştiği görülmektedir. En düşük yağış ortalaması Iğdır iline (259 mm) ve en yüksek yağış ortalaması ise Rize iline (2243 mm) aittir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün yayınlamış olduğu 1991-2020 yılları arası ortalama yağış verilerine göre Türkiye geneli yağış normali (ortalaması) 573.4 mm olarak bildirilmiştir. Topografik açıdan değişken yapıya sahip bölgelerde meteorolojik parametreler ve bunlara bağlı değişkenler alansal olarak çok kısa mesafelerde önemli bir şekilde farklılık göstermektedir (Akacak ve Taş, 2021). Türkiye genelinde yürütülen bir çalışmada Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde yağış değişkenliğinin %25’ten fazla olduğu ve en az değişkenliğin ise Doğu Karadeniz bölgesinde olduğu bildirilmiştir. Uzun yıllara ait yağışlarda meydana gelen büyük değişkenlikler nedeniyle sık sık kuraklıklar yaşanmaktadır (Ölgen, 2010). İller genelinde Türkiye normalinin altında ve üstünde ortalama yağışların görülmesi kuraklık çalışmalarının ne denli titizlikle yapılması gerektiğine işaret etmektedir. Şekil 3.8’ e göre

en az yağış alan bölgeler İç Anadolu Bölgesinin neredeyse tamamı, Ege Bölgesinin iç kesimleri, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesinde Iğdır, Kars, Ağrı ve Van çevreleridir. En fazla yağış alan bölgeler ise Doğu ve Batı Karadeniz Bölgesi, Akdeniz ve Ege Bölgesinde Hatay, Osmaniye, Antalya, Muğla ve Manisa çevreleri, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Tunceli, Bingöl, Bitlis ve Hakkari çevreleridir.

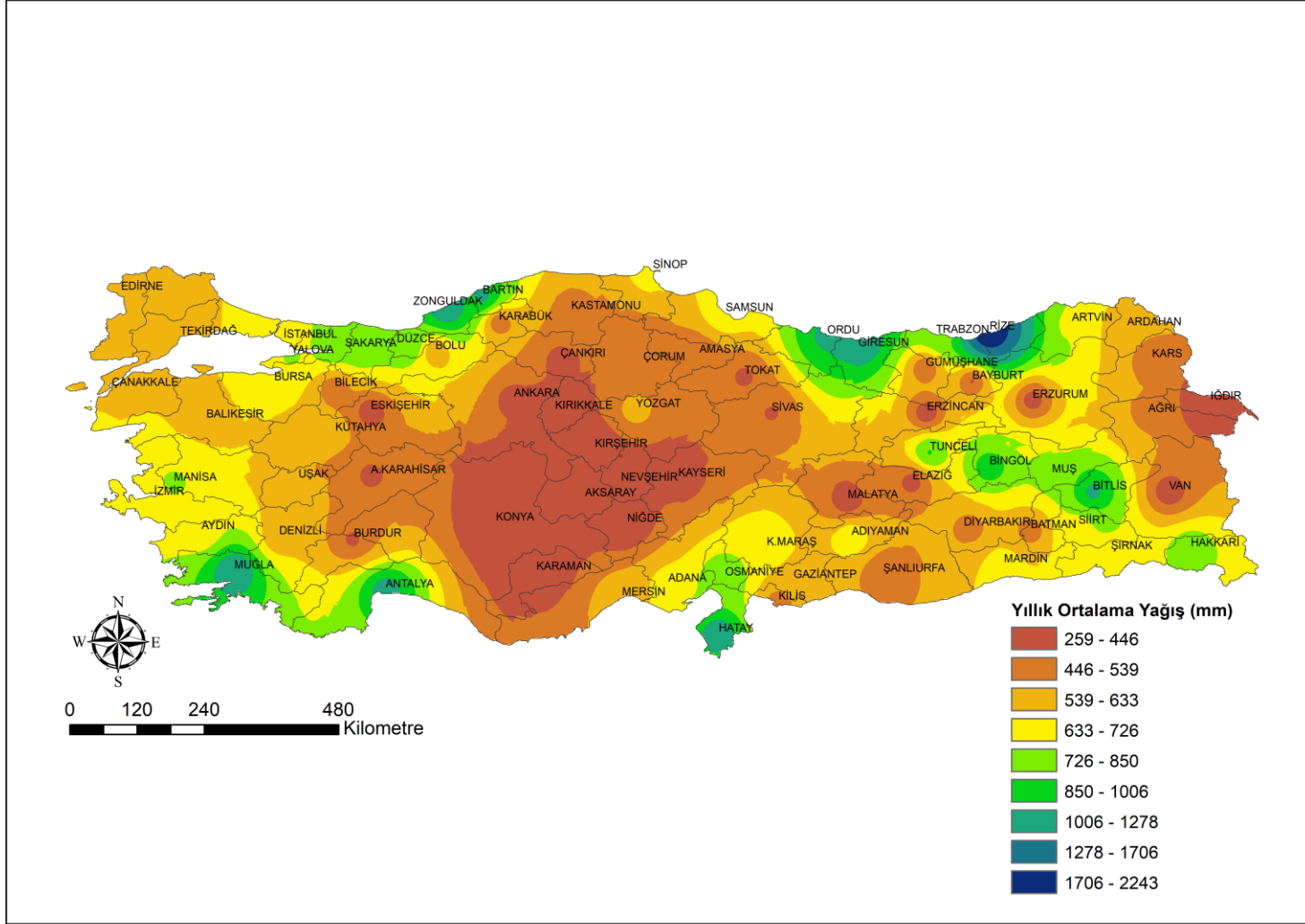
Türkiye yıllık ortalama FAO-56 PM referans evapotranspirasyon alansal dağılım haritası (Şekil 3.9) incelendiğinde; ortalama referans evapotranspirasyon miktarının 765 mm ile 1482 mm arasında değiştiği görülmektedir. Referans evapotranspirasyonun diğer illere kıyasla oldukça yüksek değerler aldığı yerler Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Akdeniz Bölgesi, İç Anadolu Bölgesinin güneyi ve Ege Bölgesinde Manisa, İzmir ve Aydın çevreleridir. En az referans evapotranspirasyon miktarına sahip olan yerler ise genel itibarıyla Doğu Anadolu Bölgesinin doğusu ve kuzeyi, Karadeniz Bölgesinin bilhassa kıyı şeridi ve Marmara Bölgesinin kuzey doğusudur.

Şekil 3.10'da Türkiye FAO-56 PM referans evapotranspirasyon iklimsel su dengesi alansal dağılım haritası gösterilmiştir. İklimsel su dengesi değerleri bulunurken, uzun yıllar (1980-2019) ortalama yağış miktarından, FAO-56 PM yöntemine göre hesaplanan ET_0 miktarı çıkartılmıştır. Bulunan değerler Şekil 3.10'da alansal dağılım şeklinde harita üzerine işlenmiştir. Haritaya bakıldığında iklimsel su dengesi değerlerinin pozitif ve negatif değerler aldığı görülecektir. İklimsel su dengesi değeri pozitif ise yağışın referans evapotranspirasyondan fazla olduğu ve iklimsel su fazlalığı olduğu, aksi durumda ise yani; iklimsel su dengesi değeri negatif ise yağışın referans evapotranspirasyon miktarından az olduğu iklimsel su açığı olduğu anlaşılmalıdır. SPI yöntemine dayalı kuraklık çalışmalarında sadece yağışa dayalı hesaplama yapılırken; SPEI indeksinde iklimsel su dengesi verilerinin kullanıldığı tezin ilgili kısımlarında belirtilmiştir. Burada Şekil 3.10 ve 3.12'de verilen haritalar tez çalışmasının esas amaçlarından birisi olan SPEI indeksine göre kuraklık eğilimlerinin belirlenmesinde kullanılan iklimsel su dengesi verilerinin uzun yıllar ortalamada alansal dağılımının ne olduğunu göstermek için hazırlanmıştır. Şekil 3.10'a göre; alansal dağılımda iklimsel su dengesi değerinin -988 ve 1478 mm arasında değiştiği görülmektedir. İklimsel su açığının en fazla olduğu yerler Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi geneli, Iğdır, Van, Burdur ve İzmir çevreleridir. İklimsel su fazlasının olduğu yerler ise Rize, Trabzon, Ordu, Giresun,

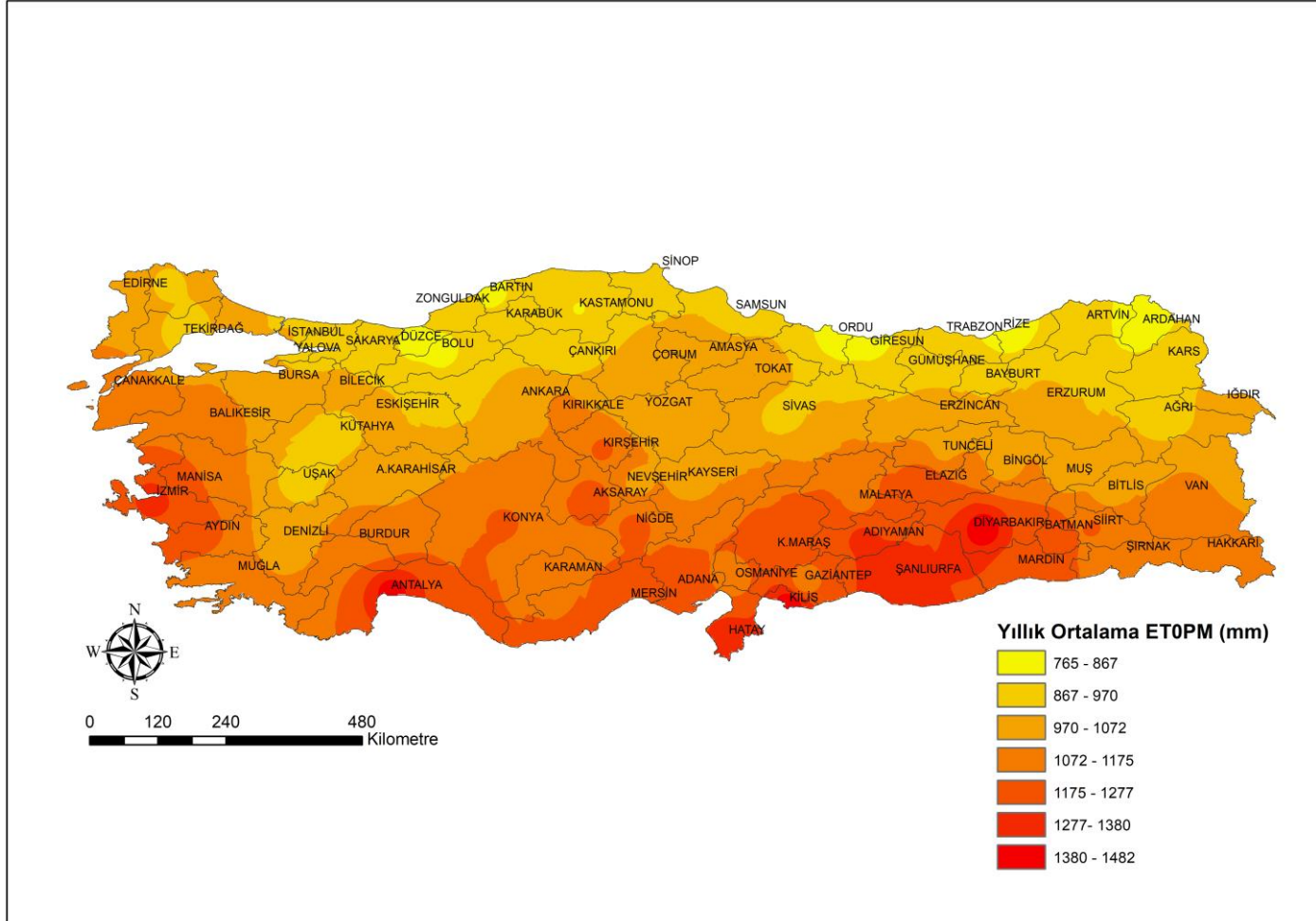
Zonguldak, Bartın ve Muğla çevreleridir. Haritaya bakıldığında ülkemizin çoğu kesiminde iklimsel su açığının olduğu görülmektedir.

Şekil 3.11’de Hargreaves yöntemine göre hesaplanmış Türkiye yıllık ortalama referans evapotranspirasyon alansal dağılım haritası verilmiştir. Buna göre; ortalama referans evapotranspirasyon miktarının 790 mm ile 1474 mm arasında değiştiği görülmektedir. Bu aralık değerlerinin Şekil 3.9’da gösterilen FAO-56 PM yöntemine göre hesaplanan ET_0 aralık değerlerine yakın olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 3.9 ve 3.11’de alansal dağılımda koyu turuncudan koyu kırmızıya doğru renklendirme en yüksek ET_0 değerlerinin hesaplandığı yerleri göstermektedir. Bu iki şekil karşılaştırıldığında Hargreaves yöntemine göre (Şekil 3.11) Türkiye üzerinde daha fazla alanda yüksek ET_0 değerlerinin olduğu görülmektedir. Referans evapotranspirasyon değerinin en yüksek olduğu yerler Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesinin bilhassa güneyi, Iğdır çevreleri, İç Anadolu Bölgesinin geneli ve Akdeniz Bölgesidir.

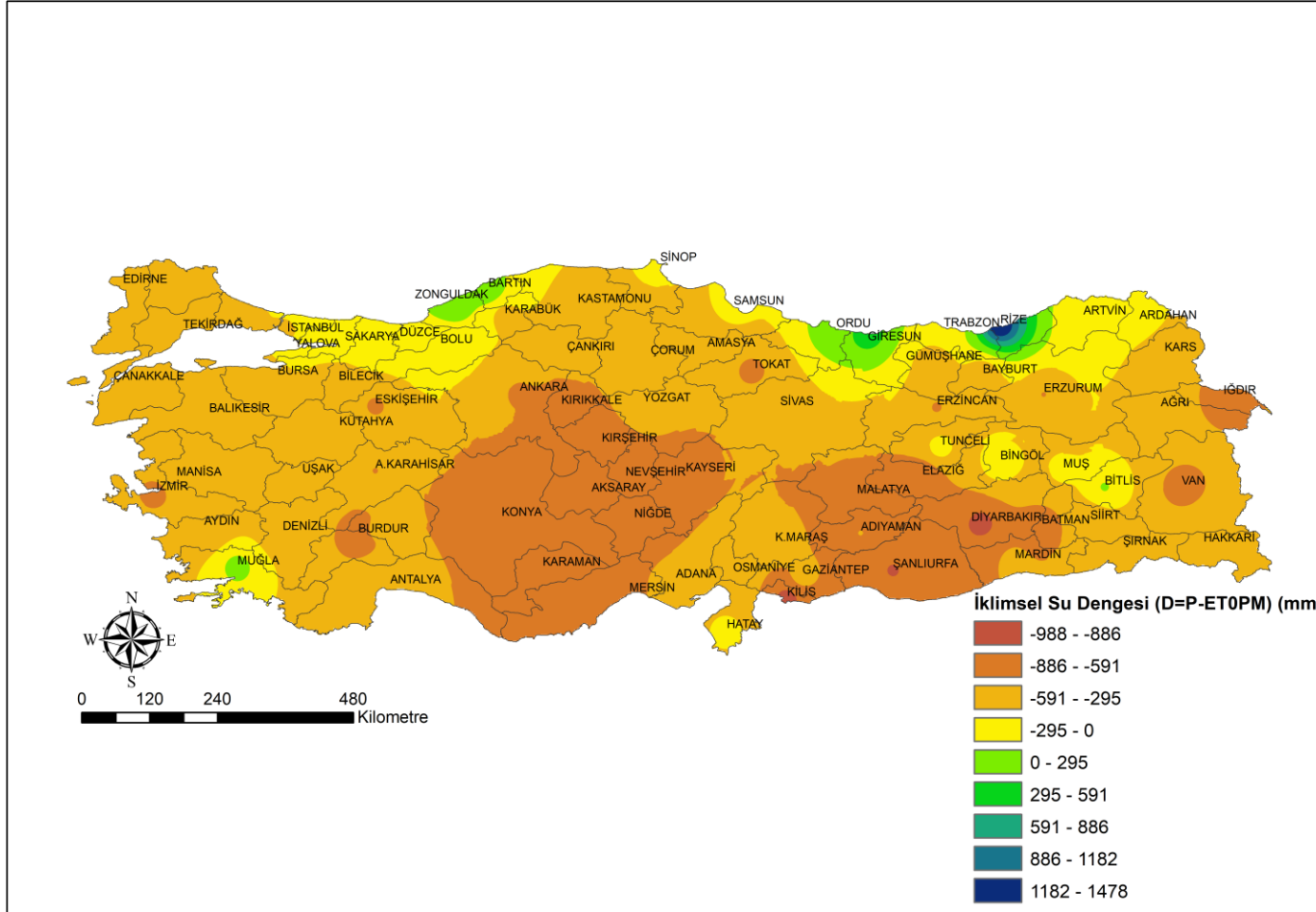
Şekil 3.12’de ise Türkiye Hargreaves referans evapotranspirasyon iklimsel su dengesi alansal dağılım haritası gösterilmiştir. Alansal dağılımda iklimsel su dengesi değerinin -989 ve 1374 mm arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 3.10’da sunulan FAO-56 P-M yöntemine göre hesaplanan iklimsel su dengesi değerleri; Şekil 3.12 ile karşılaştırıldığında Hargreaves yönteminde Türkiye’de daha fazla alanda yüksek iklimsel su açığının olduğu görülmektedir. İklimsel su fazlasının olduğu yerler ise yine Şekil 3.10’a benzer şekilde Rize, Trabzon, Ordu, Giresun ve Zonguldak çevreleridir.



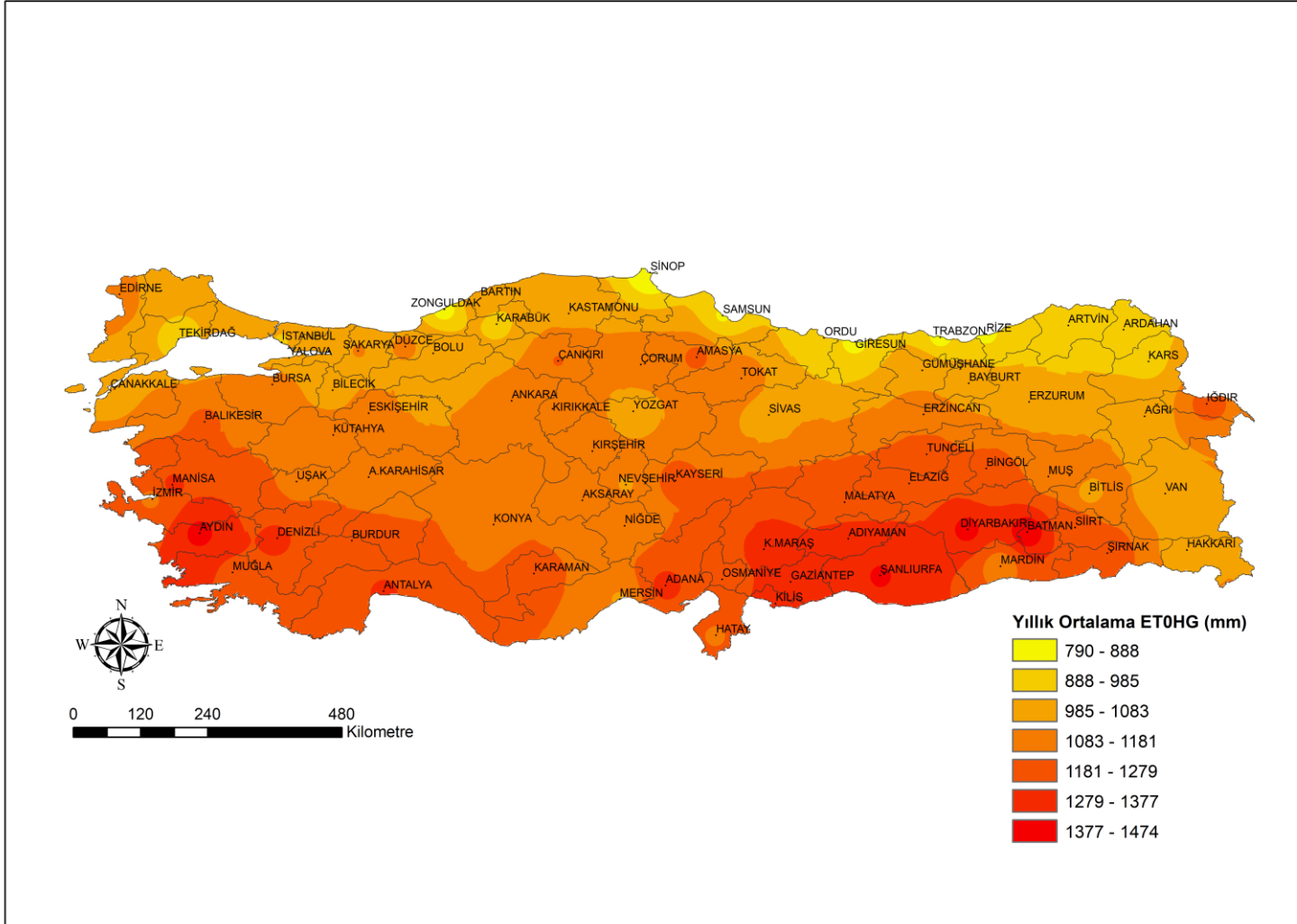
Şekil 3.8. Türkiye yıllık ortalama yağış alansal dağılım haritası



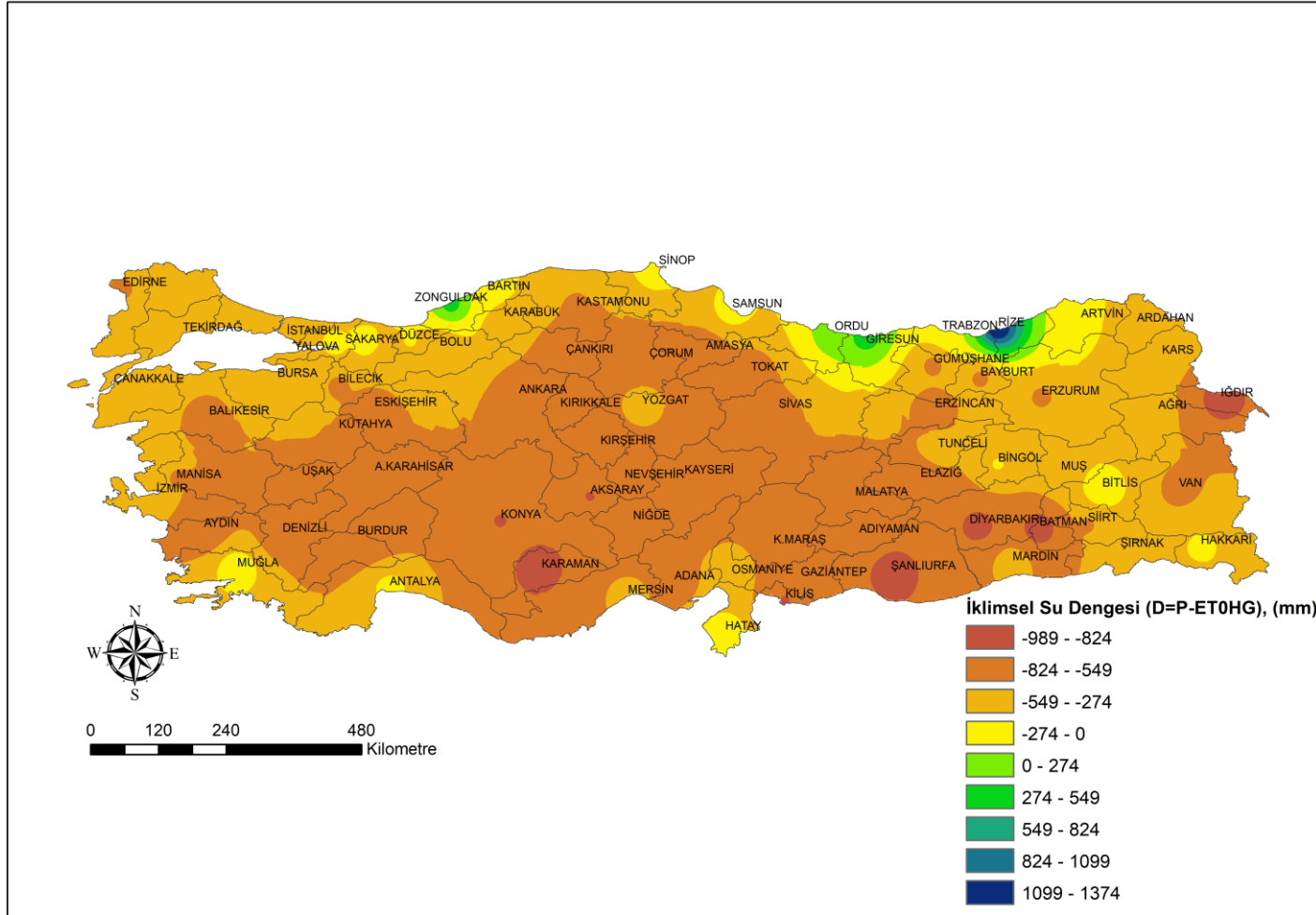
Şekil 3.9. Türkiye yıllık ortalama FAO-56 PM referans evapotranspirasyon alansal dağılım haritası



Şekil 3.10. Türkiye FAO-56 PM referans evapotranspirasyon iklimsel su dengesi ($D=P-ET_{0PM}$) alansal dağılım haritası



Şekil 3.11. Türkiye yıllık ortalama Hargreaves referans evapotranspirasyon alansal dağılım haritası



Şekil 3.12. Türkiye Hargreaves referans evapotranspirasyon iklimsel su dengesi ($D=P-ET_{0HG}$) alansal dağılım haritası

3.4.2. SPI ve SPEI İndekslerine Göre Kuraklık Eğilim ve Sen'in Eğim Değerlerinin Konumsal Analizi

1980-2019 yılları arası meteorolojik veriler kullanılarak; Türkiye 81 il merkezi için Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile FAO-56 PM ve Hargreaves ET_0 yöntemleriyle hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi değerleri Modifiye Mann-Kendall eğilim testine tabi tutulmuş ve Sen'in eğim metoduyla (Sen's Slope Estimator) da eğilimin büyüklüğü saptanmıştır. Bunlara dair araştırma bulguları tezin zamansal analiz kısmında 1, 6 ve 12 ay zaman ölçeklerine göre ve Tablo 3.22 ile Tablo 3.42 arasında sunulmuştur. Kuraklık eğimlerinin zamansal analizlerinin en sağlıklı şekilde yorumlanabilmesi ve Türkiye'nin kuraklık eğilim durumunun konumsal gösterilmesi ve eğilim büyüklüğünün (hızının) alansal dağılımının belirlenebilmesi için IDW klasik enterpolasyon yöntemiyle mekansal analizleri yapılmış ve aşağıda ilgili haritalarda (Şekil 3.13 ile Şekil 3.21 arasında) sunulmuştur. İllerin kuraklık eğilim durumlarının gösterilmesi için belirli semboller kullanılmıştır. Mavi üçgen istatistiksel olarak anlamlı artan yönde eğilimi ($Z > +1.96$), mavi nokta istatistiksel olarak anlamlı olmayan artan yönde eğilimi ($0 < Z < +1.96$) göstermektedir. Kırmızı üçgen istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilimi ($Z < -1.96$) kırmızı nokta ise istatistiksel olarak anlamlı olmayan azalan yönde eğilimi ($-1.96 < Z < 0$) belirtmek için kullanılmıştır. Haritalar üzerinde Sen's Slope lejant kısmında ise Sen'in eğim metoduna göre belirlenmiş eğilim büyüklükleri (hızları) verilmiştir. Sen's Slope lejantında sarıdan maviye doğru renklendirme eğilim büyüklüklerinin (hızlarının) artan yönde artışını alansal olarak göstermektedir. Sarıdan kırmızıya doğru renklendirme ise eğilim büyüklüklerinin (hızlarının) azalan yönde artışını alansal olarak olarak göstermektedir.

3.4.2.1. 1 Ay Zaman Ölçeğinde Kuraklık Eğilim ve Sen'in Eğim Değerlerinin Konumsal Analiz Sonuçları

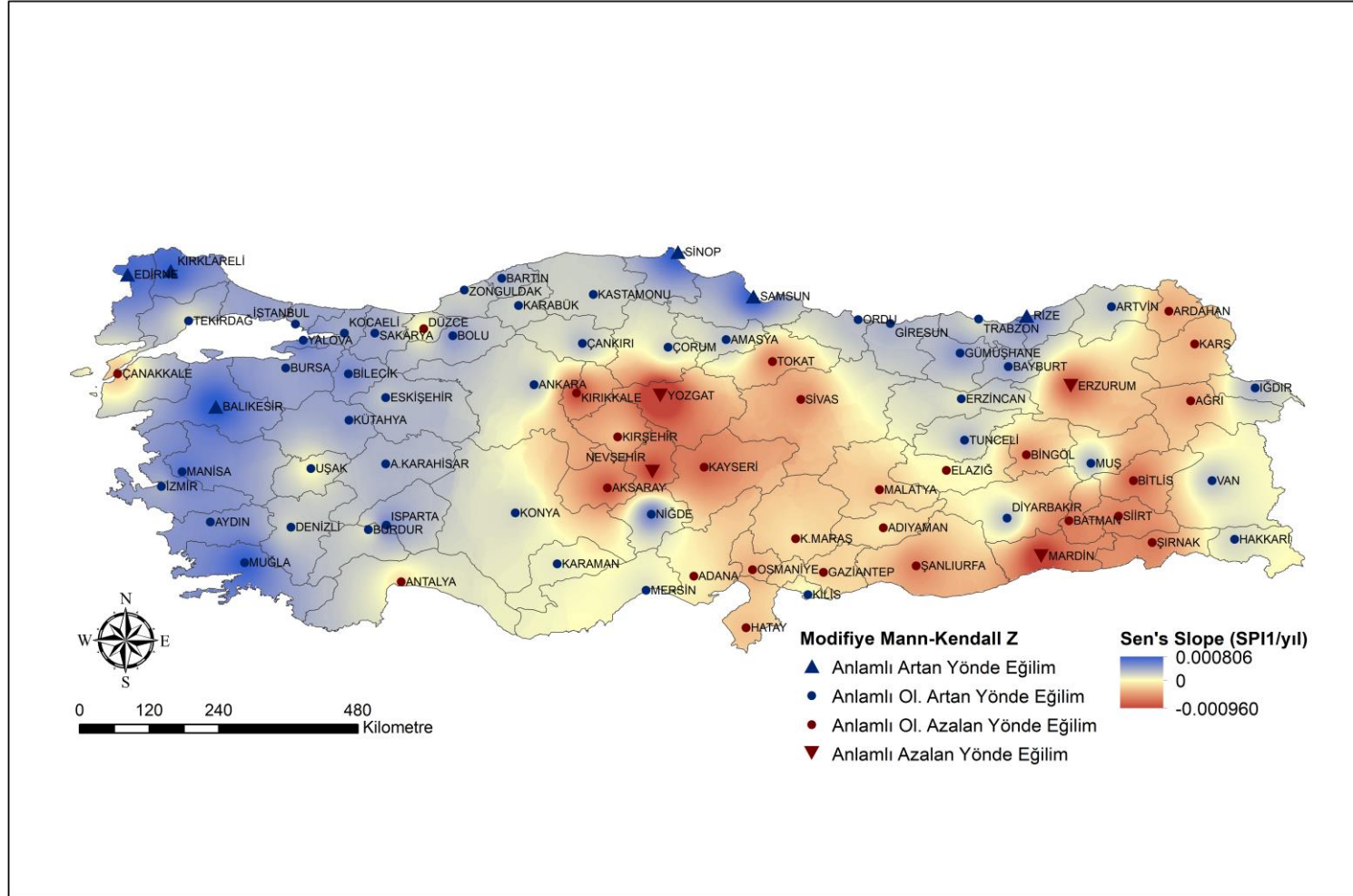
1 ay zaman ölçeğinde tüm illerin SPI_1 , $SPEI_{1PM}$ ve $SPEI_{1HG}$ Modifiye Mann-Kendall eğilimleri ve Sen'in eğim metoduyla bulunan eğilim büyüklükleri sırasıyla Şekil 3.13, 3.14 ve 3.15'te gösterilmiştir.

Türkiye ölçeğinde illerin SPI_1 Modifiye Mann-Kendall eğilimleri ve Sen'in eğim metoduna göre hesaplanmış eğilim büyüklükleri Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Buna göre Yozgat, Nevşehir, Erzurum ve Mardin illerinde istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilim olduğu buna göre kurak koşulların daha baskın olmaya başladığı anlaşılmıştır. Edirne, Kırklareli, Balıkesir, Sinop, Samsun ve Rize illerinin ise istatistiksel olarak anlamlı artan yönde eğilime sahip olduğu bu duruma göre kurak koşullar yerine nemli koşulların daha baskın olmaya başladığı anlaşılmıştır. 27 ilde istatistiksel olarak anlamlı olmayan azalan yönde eğilim, 44 ilde ise istatistiksel olarak anlamlı olmayan artan yönde eğilim olduğu harita üzerinde konumsal olarak gösterilmiştir. Sen'in eğim metoduna göre harita üzerindeki alansal eğilim büyüklüklerine (hızlarına) bakıldığında ise artan yönde eğim değerleri Düzce hariç Karadeniz bölgesinin tamamında, Çanakkale hariç Marmara Bölgesinin ve Ege Bölgesinin tamamında, Doğu Anadolu Bölgesinin kuzeydoğusunda, İç Anadolu Bölgesi batı sınır hattında ve Iğdır, Van ve Hakkari çevrelerinde görülmüştür. Ayrıca Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinin büyük bir kısmında, İç Anadolu Bölgesinin ise neredeyse tamamında azalan yönde eğilim büyüklükleri görülmüştür. Şekil 3.13'teki haritaya göre eğilim büyüklükleri 0.000806 ile -0.000960 SPI_1 /yıl arasında değişmiştir.

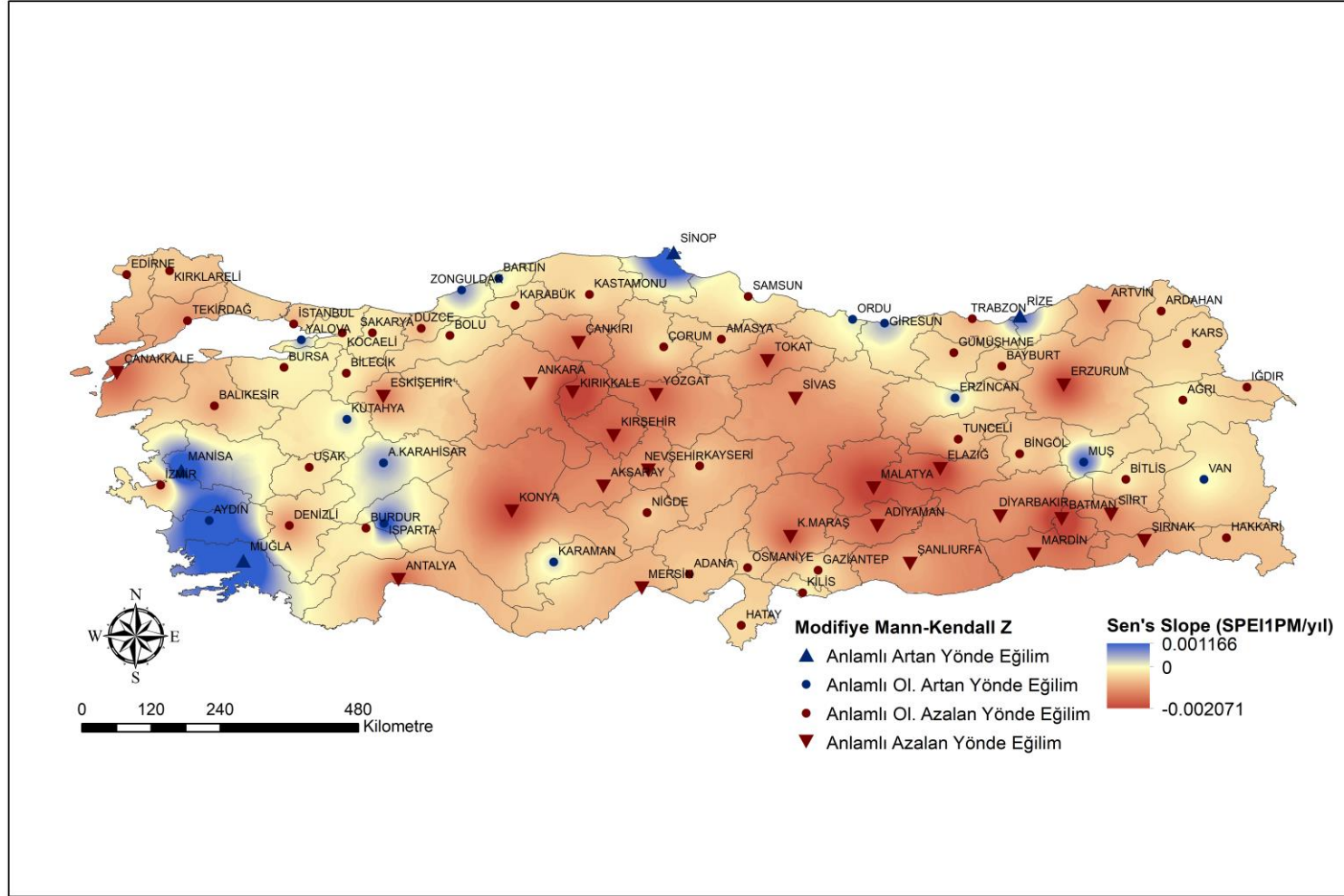
Şekil 3.14 incelendiğinde $SPEI_{1PM}$ 'e göre 26 ilin istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilime, 4 ilin ise istatistiki olarak anlamlı artan yönde eğilime sahip olduğu konumsal olarak gösterilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilime sahip iller alansal olarak çoğunlukla İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yayılım göstermiştir. Sen'in eğim büyüklüklerine bakıldığında ise Manisa, Aydın, Muğla, Burdur, Isparta, Muş, Erzincan, Trabzon, Rize, Ordu, Giresun, Sinop, Zonguldak ve Yalova illeri ile yakın çevreleri hariç ülkemizin büyük kesiminde azalan yönde eğim değerleri yayılmıştır. Şekil 3.14'teki haritaya göre eğilim büyüklükleri 0.001166 ile -0.002071 $SPEI_{1PM}$ /yıl arasında değişmiştir.

Şekil 3.15 incelendiğinde $SPEI_{1HG}$ 'e göre; 23 ilin istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilime ve sadece Rize'nin istatistiksel olarak anlamlı artan yönde eğilime sahip olduğu görülmüştür. Şekil 3.14'te olduğu gibi Şekil 3.15'te de eğilim büyüklükleri benzer alansal dağılım göstermiştir. Şekil 3.15'teki haritaya göre eğilim büyüklükleri 0.000620 ile - 0.001781 $SPI_{1HG}/yıl$ arasında değişmiştir.

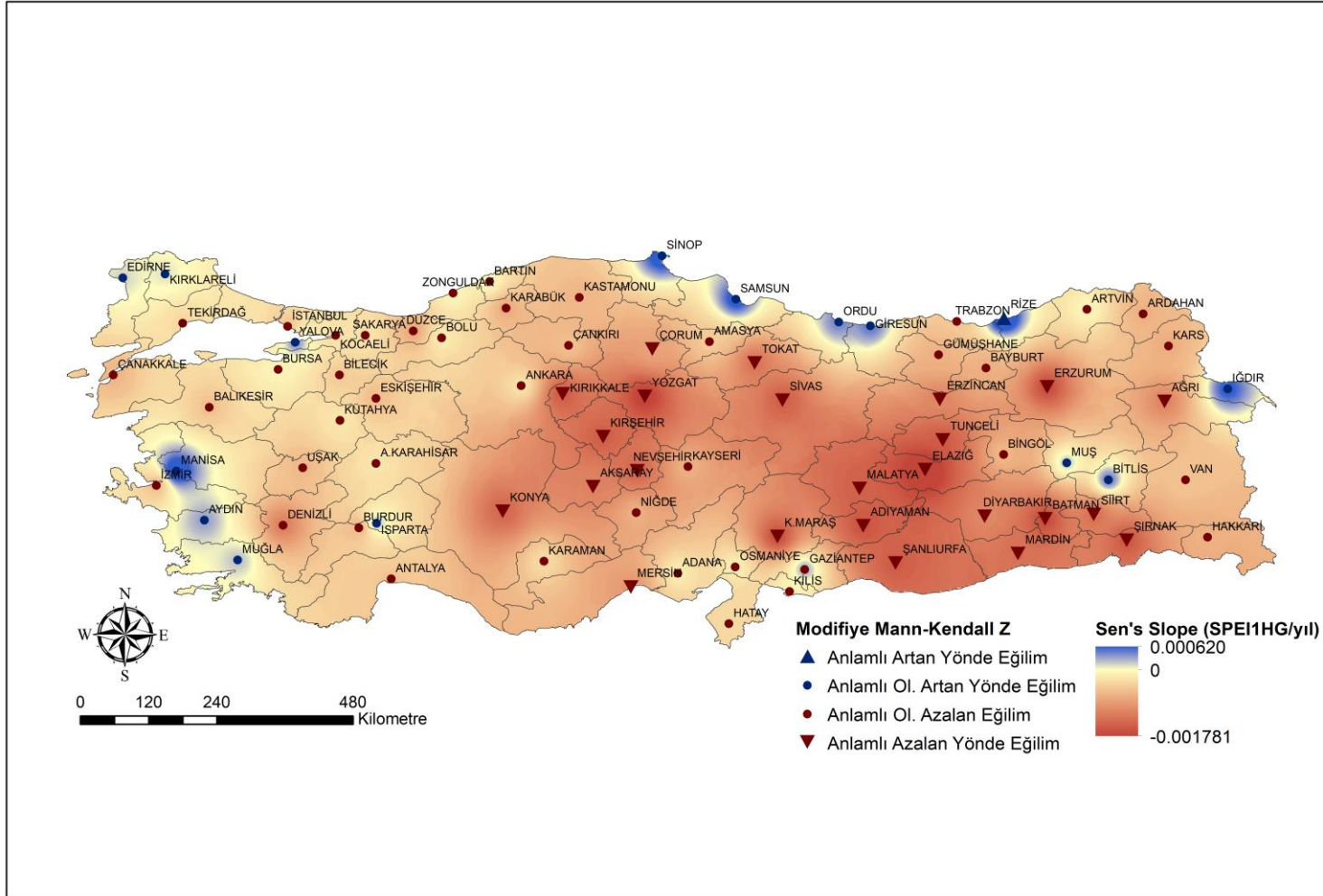
Şekil 3.13, 3.14 ve 3.15 karşılaştırıldığında; SPI_1 indeksine göre artan yönde eğilim büyüklüklerine (hızlarına) sahip olan alanların büyük kısmı $SPEI_{1PM}$ ve $SPEI_{1HG}$ haritalarında azalan yönde eğilim büyüklüklerine sahip alanlara dönüşmüştür. Modifiye Mann-Kendall eğilim testine göre bulunan Z istatistik değerlerinin Sen'in eğim metoduna göre hesaplanan eğilim büyüklükleriyle paralellik gösterdiği anlaşılmıştır.



Şekil 3.13. SPI₁ Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası



Şekil 3.14. SPEI_{1PM} Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası



Şekil 3.15. SPEI_{1HG} Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası

3.4.2.2. 6 Ay Zaman Ölçeğinde Kuraklık Eğilim ve Sen'in Eğim Değerlerinin Konumsal Analiz Sonuçları

6 ay zaman ölçeğinde tüm illerin SPI_6 , $SPEI_{6PM}$ ve $SPEI_{6HG}$ Modifiye Mann-Kendall eğilimleri ve Sen'in eğim metoduyla bulunan eğilim büyüklükleri (hızları) sırasıyla Şekil 3.16, 3.17 ve 3.18'de gösterilmiştir.

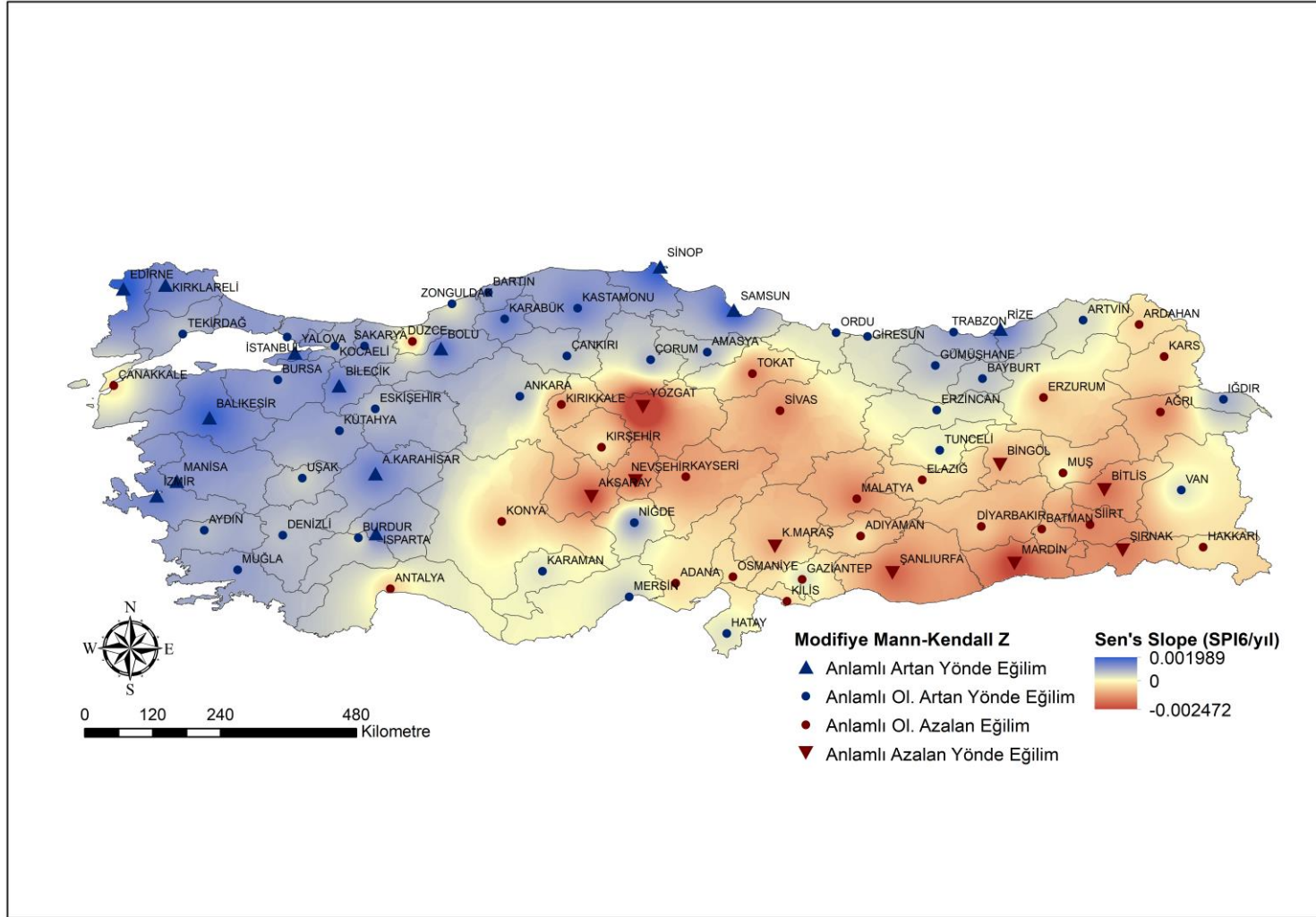
SPI_6 'ya göre Yozgat, Nevşehir, Aksaray, Kahramanmaraş, Şanlıurfa, Bingöl, Mardin, Bitlis ve Şırnak illerindeki istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilimler Şekil 3.16'da konumsal olarak gösterilmiştir. Diğer taraftan Edirne, Kırklareli, Yalova, Balıkesir, Bilecik, İzmir, Manisa, Afyonkarahisar, Isparta, Bolu, Rize, Samsun ve Sinop illerindeki istatistiksel olarak anlamlı artan yönde eğilimler konumsal olarak gösterilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı olmayan 25 ildeki azalan yönde eğilimler ve 34 ildeki artan yönde eğilimler de konumsal olarak gösterilmiştir. Harita üzerinde Sen'in eğilim büyüklüklerine bakıldığında; Düzce ve Tokat hariç Karadeniz Bölgesinde, Çanakkale hariç Marmara Bölgesinde ve Ege Bölgesinde artan yönde eğilim büyüklükleri görülmüştür. Artan yönde eğilim büyüklüklerinin Karadeniz, Marmara ve Ege Bölgesinin büyük bir kısmında, İç Anadolu Bölgesinde Ankara, Eskişehir, Karaman ve Niğde çevrelerinde alansal dağılım gösterdiği saptanmıştır. Azalan yönde eğilim büyüklükleri ise Iğdır, Van ve Tunceli hariç Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde, İç Anadolu bölgesinin orta kesimlerinde, Mersin ve Hatay hariç Akdeniz Bölgesinde alansal dağılım gösterdiği bulunmuştur. Şekil 3.16'daki haritaya göre eğilim büyüklükleri (hızları) 0.001989 ile -0.002472 SPI_6 /yıl arasında değişmiştir.

$SPEI_{6PM}$ 'ye göre Antalya, Kahramanmaraş, Bingöl, Elazığ, Erzurum, Malatya, Denizli; Diyarbakır, Gaziantep ve Kilis hariç Güneydoğu Anadolu Bölgesinin tüm illerinde; Karaman, Kayseri ve Niğde hariç İç Anadolu Bölgesinin tüm illerinde; Karadeniz Bölgesinin Artvin, Düzce ve Tokat illerinde ve Marmara Bölgesinde Çanakkale ilinde bulunan istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilimler Şekil 3.17'de konumsal olarak gösterilmiştir. Afyonkarahisar, Manisa, Isparta, Sinop ve Rize illerindeki istatistiksel olarak anlamlı artan yönde eğilimler konumsal olarak gösterilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı olmayan 33 ildeki azalan yönde eğilimler, 16 ildeki artan yönde eğilimler konumsal olarak gösterilmiştir. Şekil 3.17'de Sen'in eğilim büyüklüklerine bakıldığında; Ege Bölgesinde Manisa, İzmir, Aydın, Muğla, Burdur, Marmara Bölgesinde Bursa,

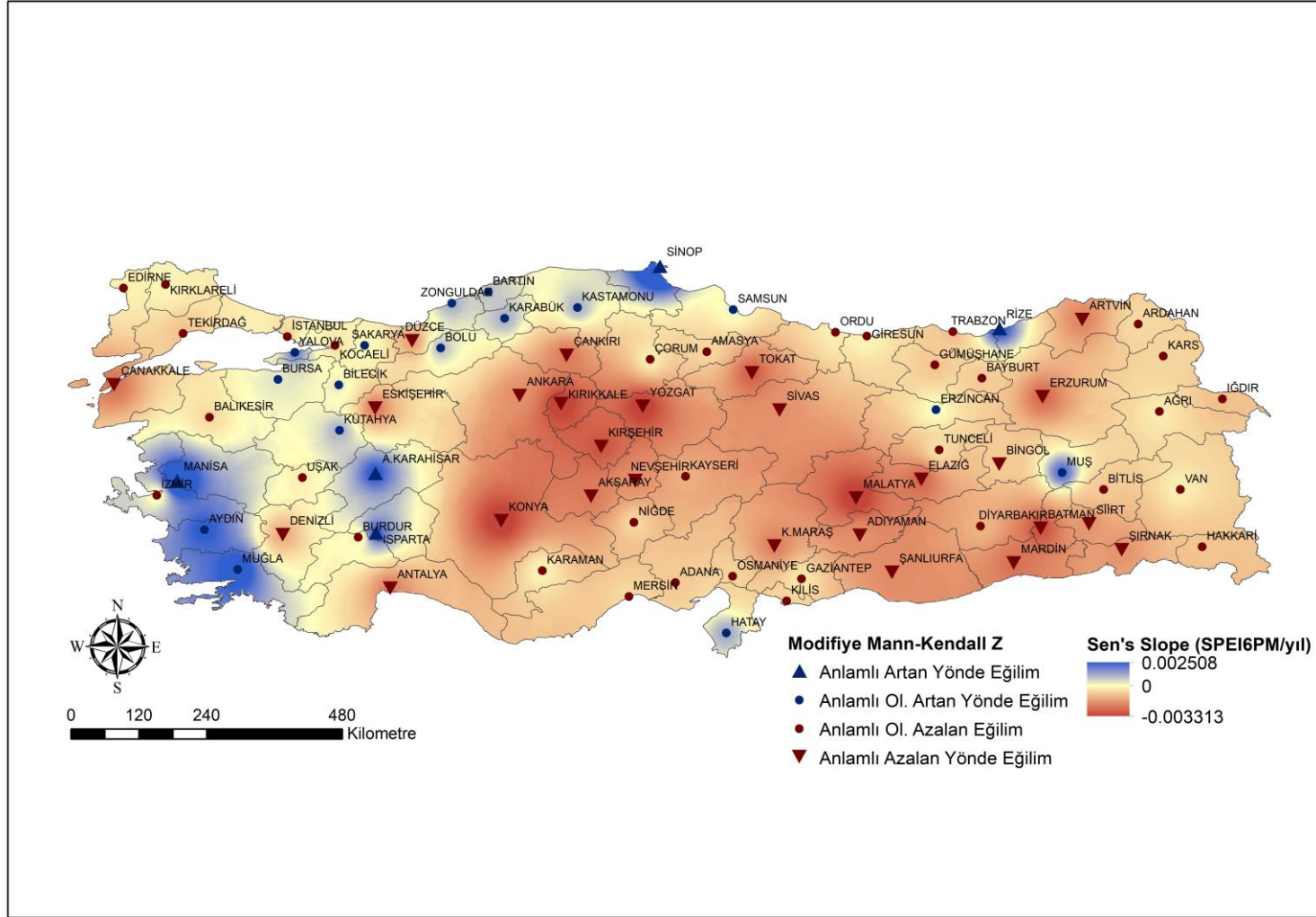
Bilecik ve Yalova, Karadeniz Bölgesinde Rize, Sinop, Kastamonu, Karabük, Bartın, Zonguldak ve Bolu çevrelerinin artan yönde eğilim büyüklükleri aldığı görülmüştür. Alansal dağılıma bakıldığında Türkiye'nin büyük bir kısmının azalan yönde eğilim büyüklükleri alması dikkat çekmiştir. Şekil 3.17'deki haritaya göre eğilim büyüklükleri 0.002508 ile -0.003313 $SPEI_{6PM}/yıl$ arasında değişmiştir.

Şekil 3.18'de SPI_{6HG} 'ye göre Akdeniz Bölgesinde Kahramanmaraş ilinde, Doğu Anadolu Bölgesinde Bingöl, Elazığ, Erzurum, Hakkari, Malatya ve Tunceli illerinde, Ege Bölgesinde Uşak ilinde, Diyarbakır, Gaziantep ve Kilis hariç Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinde, Çankırı, Eskişehir, Karaman ve Kayseri hariç İç Anadolu Bölgesi illerinde, Karadeniz Bölgesinde Bolu, Düzce, Gümüşhane ve Tokat illerindeki istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilimler Şekil 3.18'de konumsal olarak gösterilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı olmayan 37 ildeki azalan yönde eğilimler ve 15 ildeki artan yönde eğilimler konumsal olarak gösterilmiştir. Şekil 3.18'de Sen'in eğilim büyüklüklerine bakıldığında; Iğdır, Rize, Ordu, Giresun, Sinop, Bartın, Bolu, Bursa, Yalova, Edirne, Kırklareli, İzmir, Aydın ve Isparta merkez ve yakın çevresi hariç ülkemizin büyük kısmı azalan eğilim büyüklükleri almıştır. Şekil 3.18'deki haritaya göre eğilim büyüklükleri 0.001280 ile -0.003707 $SPI_{6HG}/yıl$ arasında değişmiştir.

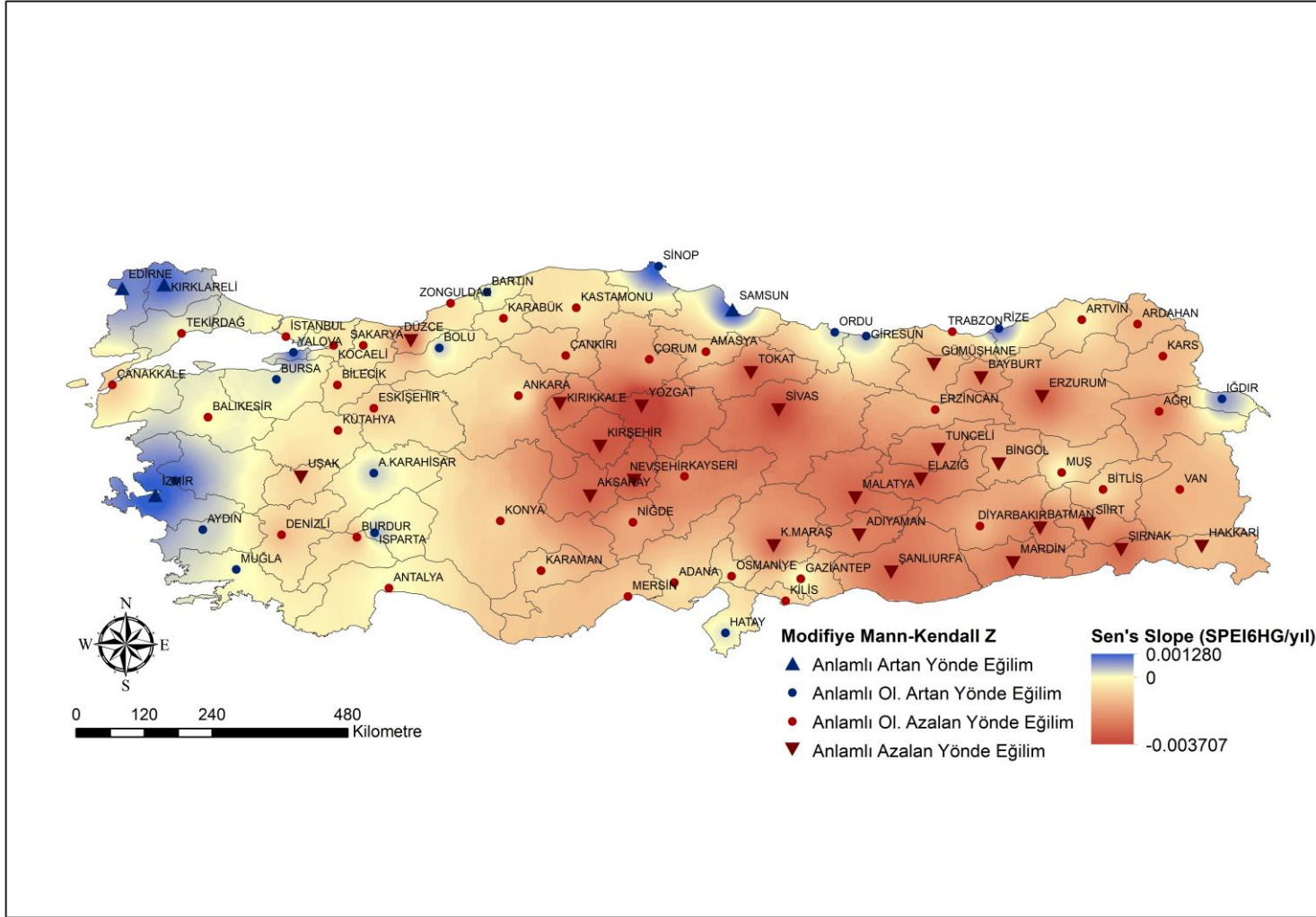
Şekil 3.16, 3.17 ve 3.18 beraber incelendiğinde eğilim büyüklüklerinde azalan yönde artış en fazla SPI_{6HG} 'te bulunmuştur. Modifiye Mann-Kendall eğilim testine göre bulunan Z istatistik değerlerinin Sen'in eğim metoduna göre hesaplanan eğilim büyüklükleriyle paralellik gösterdiği anlaşılmıştır.



Şekil 3.16. SPI₆ Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası



Şekil 3.17. SPEI_{6PM} Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası



Şekil 3.18. SPEI_{6HG} Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası

3.4.2.3. 12 Ay Zaman Ölçeğinde Kuraklık Eğilim ve Sen'in Eğim Değerlerinin Konumsal Analiz Sonuçları

12 ay zaman ölçeğinde tüm illerin SPI_{12} , $SPEI_{12PM}$ ve $SPEI_{12HG}$ Modifiye Mann-Kendall eğilimleri ve Sen'in eğim metoduyla bulunan eğilim büyüklükleri sırasıyla Şekil 3.19, 3.20 ve 3.21'de gösterilmiştir.

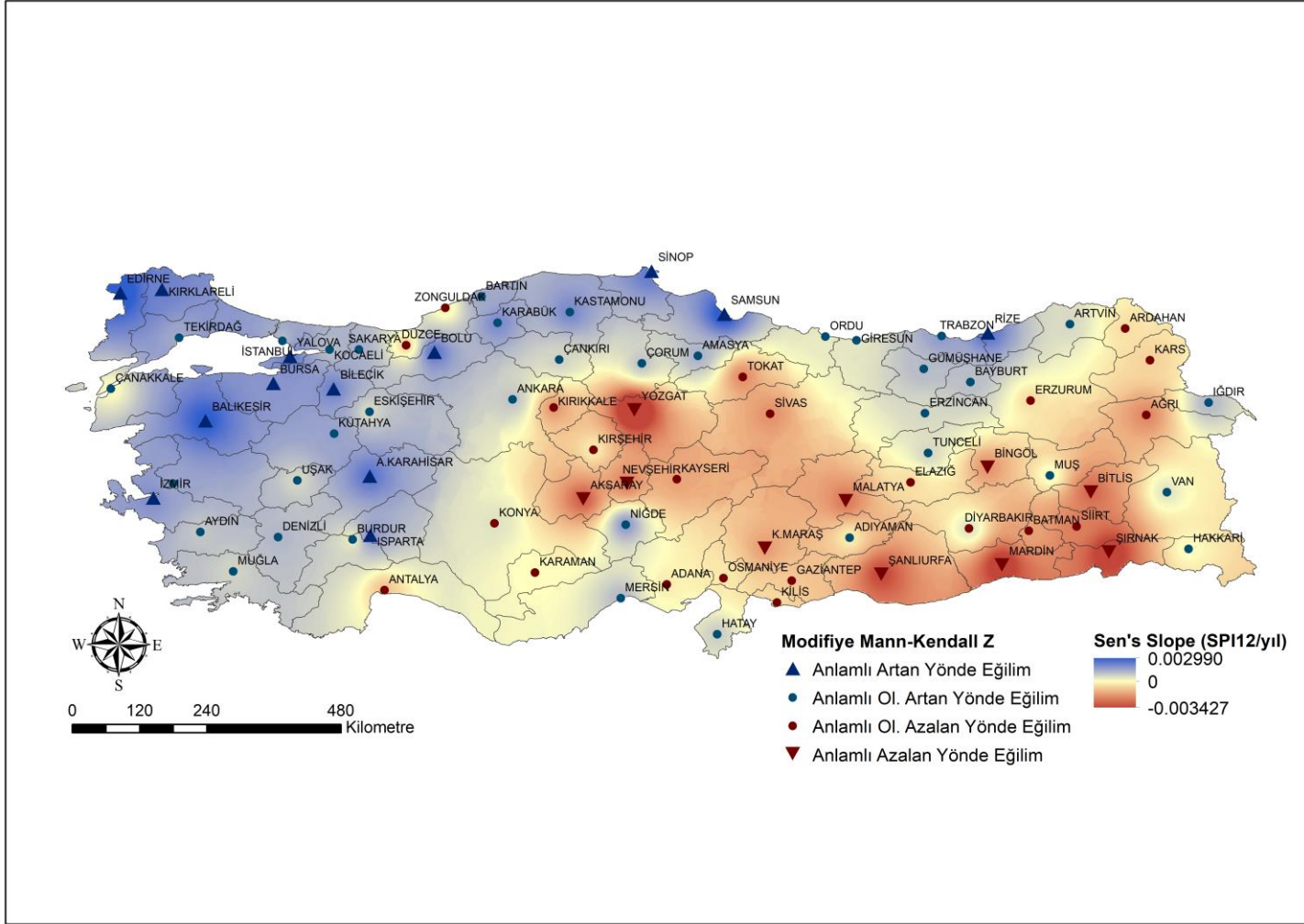
SPI_{12} 'ye göre Kahramanmaraş, Bingöl, Bitlis, Malatya, Mardin, Şanlıurfa, Şırnak, Aksaray, Nevşehir ve Yozgat illerinde istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilimler Şekil 3.19'da konumsal olarak gösterilmiştir. Isparta, Afyonkarahisar, İzmir, Bolu, Rize, Samsun, Sinop, Balıkesir, Bilecik, Bursa, Edirne, Kırklareli ve Yalova illerinde istatistiksel olarak anlamlı artan yönde eğilimler konumsal olarak gösterilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı olmayan 22 ildeki azalan yöndeki eğilimler ve 35 ildeki artan yöndeki eğilimler konumsal olarak gösterilmiştir. Şekil 3.19'da Sen'in eğilim büyüklüklerine bakıldığında; Düzce, Zonguldak ve Tokat hariç Karadeniz bölgesinde, Marmara ve Ege Bölgesinde, Doğu Anadolu Bölgesinin Erzincan, Tunceli ve Iğdır çevrelerinde, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Van ve Hakkari çevrelerinde, Akdeniz Bölgesinde Hatay ve Mersin çevrelerinde, İç Anadolu Bölgesinde Çankırı, Ankara, Eskişehir ve Niğde çevrelerinde Sen'in eğim metoduna göre artan yönde eğilim büyüklükleri aldığı görülmüştür. Diğer yerlerde ise alansal olarak irdelendiğinde azalan yönde eğilim büyüklükleri saptanmıştır. Azalan yönde eğilim büyüklüklerinin İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgesinin büyük bir kısmında yayılım gösterdiği görülmüştür. Şekil 3.19'daki haritaya göre eğilim büyüklükleri 0.002990 ile - 0.003427 $SPI_{12}/yıl$ arasında değişmiştir.

SPI_{12PM} 'ye göre Akdeniz Bölgesinde Kahramanmaraş'ta, Doğu Anadolu Bölgesinde Bingöl, Elazığ, Erzurum, Malatya illerinde, Ege Bölgesinde Denizli ilinde, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Diyarbakır, Gaziantep ve Kilis hariç tüm illerde, Karaman ve Niğde hariç İç Anadolu Bölgesi illerinde, Karadeniz Bölgesinde Artvin ve Tokat ile Marmara Bölgesinde Çanakkale ilindeki istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilimler Şekil 3.20'de konumsal olarak gösterilmiştir. Isparta, İzmir, Rize, Sinop ve Yalova illerindeki istatistiksel olarak anlamlı artan yönde eğilimler konumsal olarak gösterilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı olmayan 34 ildeki azalan yöndeki eğilimler ve 16 ildeki artan yönde eğilimler konumsal olarak gösterilmiştir. Şekil 3.20'de Sen'in eğilim

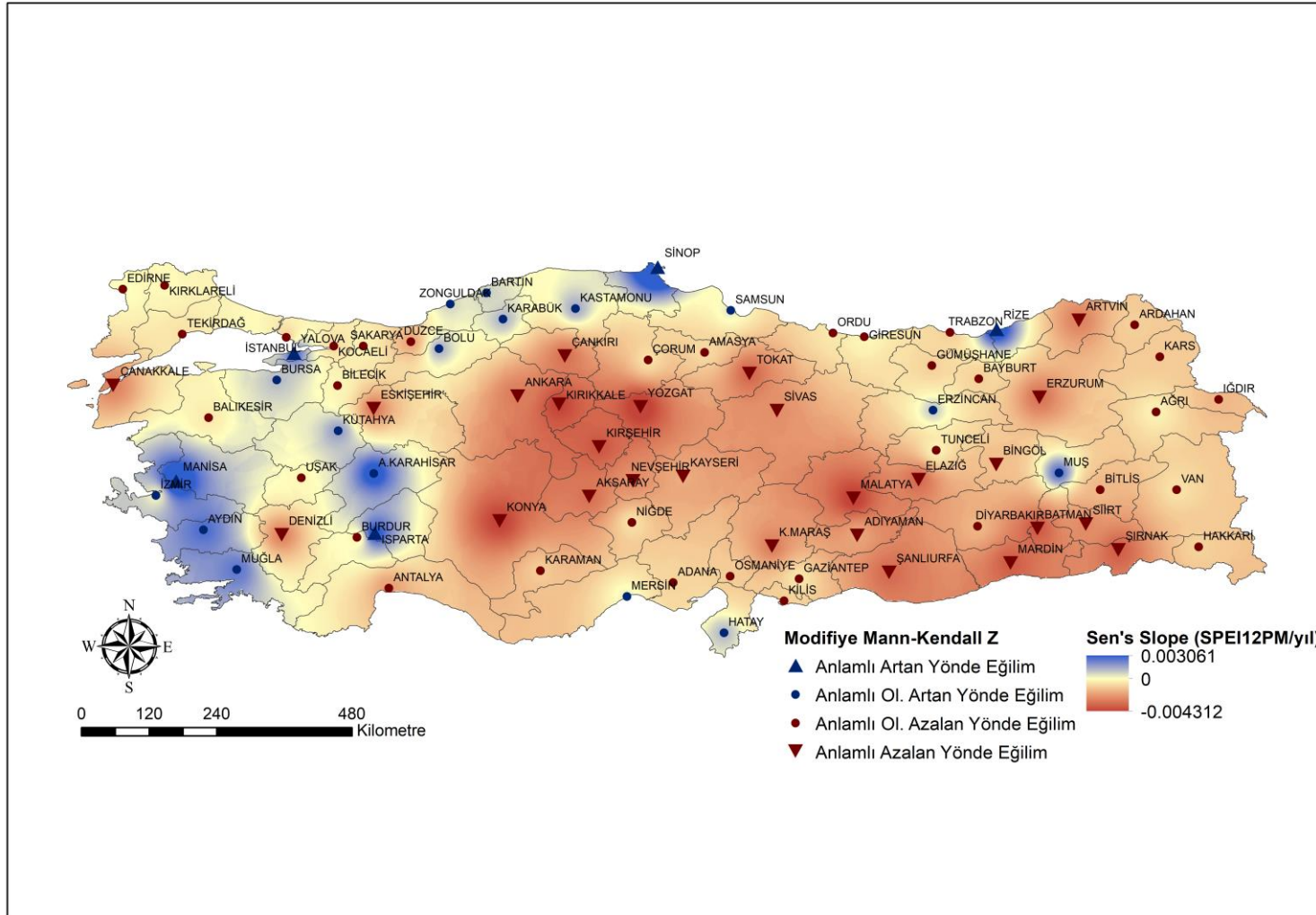
büyükliklerine bakıldığında; Rize, Muş, Sinop, Kastamonu, Bartın, Karabük, Bursa, Yalova, Afyonkarahisar, Isparta, Manisa, İzmir, Aydın ve Muğla çevreleri hariç diğer yerlerin tamamında azalan yönde eğilim büyüklükleri yayılım göstermiştir. Şekil 3.20'deki haritaya göre eğilim büyüklükleri 0.003061 ile -0.004312 $SPI_{12PM}/yıl$ arasında değişmiştir.

SPI_{12HG} 'ye göre Rize, Samsun, Edirne, Kırklareli ve Yalova illerindeki istatistiksel olarak anlamlı artan yönde eğilimler Şekil 3.21'de konumsal olarak gösterilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilime sahip iller Şekil 3.20'de verilen dağılım ile benzerlik göstermektedir. İstatistiksel olarak anlamlı olmayan 36 ildeki azalan yönde eğilimler ve 12 ildeki artan yönde eğilimler konumsal olarak gösterilmiştir. Şekil 3.21'de Sen'in eğilim büyüklüklerine bakıldığında; Iğdır, Rize, Giresun, Ordu, Samsun, Sinop, Bursa, Yalova, Edirne, Kırklareli, Tekirdağ, Balıkesir, Manisa, İzmir, Aydın, Afyonkarahisar, Isparta çevreleri hariç diğer yerlerde azalan yönde eğilim büyüklükleri dağılım göstermiştir. Şekil 3.21'deki haritaya göre eğilim büyüklükleri 0.001701 ile -0.004796 $SPI_{12HG}/yıl$ arasında değişmiştir.

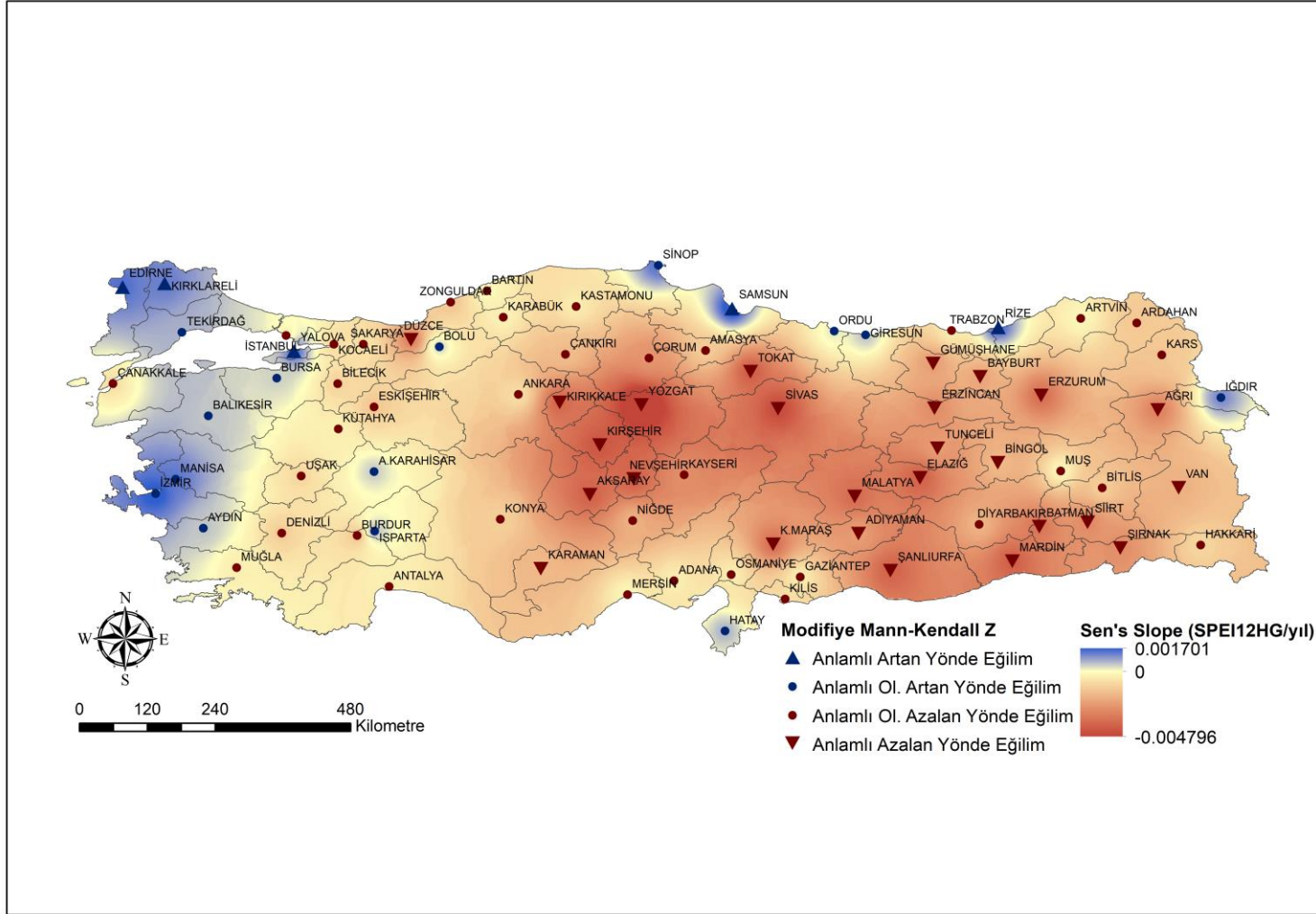
Şekil 3.19, 3.20 ve 3.21 beraber incelendiğinde eğilim büyüklüklerinde azalan yönde artış en fazla SPI_{12HG} 'de bulunmuştur. Modifiye Mann-Kendall eğilim testine göre bulunan Z istatistik değerlerinin Sen'in eğim metoduna göre hesaplanan eğilim büyüklükleriyle paralellik gösterdiği anlaşılmıştır.



Şekil 3.19. SPI₁₂ Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası



Şekil 3.20. SPEI_{12PM} Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası



Şekil 3.21. SPEI_{12HG} Modifiye Mann-Kendall eğilim ve Sen'in eğim haritası

1, 6 ve 12 ay zaman ölçeğinde genel bir değerlendirme yapıldığında SPI'ya göre, Hargreaves ve FAO-56 PM referans evapotranspirasyon metotlarıyla hesaplan $SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$ zaman serilerinde daha fazla istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilimler bulunmuştur. Bu durum SPI zaman serilerine göre, $SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$ zaman serilerinde kurak periyotların daha fazla olduğunu yani nemli koşullar yerine kurak koşulların daha baskın olduğunu göstermiştir. Hargreaves yöntemine göre; FAO-56 PM yönteminde daha fazla meteorolojik parametrenin kullanılması kuraklık eğiliminin hesaplanmasını daha hassas hale getirebilmektedir (Wang vd., 2011; Li vd., 2016; Bera vd., 2018; Bera vd., 2021).

Bu tez çalışmasında, SPEI indeksinin hesaplanmasında kullanılan FAO-56 Penman-Monteith metodu için rüzgar hızı, sıcaklık, nispi nem, güneşlenme süresi veya güneşlenme şiddeti verileri kullanılırken Hargreaves metodunda ise sıcaklık verileri kullanılmıştır. Araştırma bulgularına göre 1, 6 ve 12 ay zaman ölçeklerinde; alansal olarak incelendiğinde $SPEI_{PM}$ 'e göre $SPEI_{HG}$, kurak koşulları daha baskın bulmuştur. Bu karşılaştırmanın ötesinde hem $SPEI_{HG}$ hem de $SPEI_{PM}$ 'de kuraklık alansal dağılımlarının birbirlerine görece benzerliği dikkat çekmiştir. ET_0 hesaplamasının kapsamlı bir şekilde yapılabilmesi için hava sıcaklığı, rüzgar hızı, nispi nem, güneşlenme süresi veya güneşlenme şiddeti verilerinin kullanılması önerilmektedir (Allen vd., 1998). Bu meteorolojik parametrelerin ET_0 üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğunun bulunması için dünyanın farklı yerlerinde çalışmalar yürütülmüştür. Birkaç örnek çalışma verilecek olursa; Zhang vd. (2009), Yin vd. (2010a, 2010b), Jhajharia vd. (2012) güneşlenme şiddeti ve rüzgar hızının, Yin vd. (2010a, 2010b), Tabari vd. (2011) sıcaklığın ve Liu and Zhang (2013) ise rüzgar hızının ET_0 hesaplanmasında nasıl bir etkiye sahip olduklarını araştırmışlardır. Dadaşer Çelik vd. (2016) Türkiye'de 77 meteoroloji istasyonunun 1975-2006 yılları arası meteorolojik parametrelerini kullanarak FAO-56 Penman-Monteith metoduna göre referans evapotranspirasyonun eğilim analizlerini yapmışlardır. Çalışmada ET_0 üzerindeki değişimleri açıklayabilmek için hesaplamada kullanılan sıcaklık, rüzgar hızı, nispi nem ve güneşlenme şiddetinin eğilim analizlerini de yapmışlardır. Türkiye'de sıcaklık açısından artan yönde eğilimlerin, rüzgar açısından da azalan yönde eğilimlerin daha baskın olduğu belirtilen çalışmada ET_0 eğilimin artan yönde olduğu bütün istasyonlarda sıcaklığın da arttığı, aynı şekilde rüzgar eğilimde gerçekleşen artan yönde eğilimin ET_0 eğiliminde de paralel olarak gerçekleştiği

bildirilmiştir. ET_0 'da artan yönlü eğilim gerçekleşirken nispi nem de aksine azalan yönde eğilim gerçekleşmiştir. Araştırmaya göre ET_0 'da artan yönde eğilimin en önemli ana itici güçlerinden birisi olarak sıcaklıktaki artan yönde eğilim gösterilmiştir. Ayrıca rüzgar hızlarındaki artışlar, nispi nemdeki düşüşler ve güneşlenme şiddetindeki değişimler ET_0 değişimine direk etki eden faktörler olarak gösterilmiştir. Tez çalışmasında da $SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$ arasındaki benzerlikte referans evapotranspirasyon (ET_0) hesaplamasında kullanılan sıcaklık verisinin önemli bir role sahip olduğu düşünülmektedir. Ayrıca $SPEI_{PM}$ hesaplamasında kullanılan diğer meteorolojik parametrelerin, evaporatif durumun daha hassas değerlendirilmesine katkı sağlaması bu tez çalışması özelinde $SPEI_{HG}$ 'ye göre $SPEI_{PM}$ 'de daha az kurak koşulların yani daha az kurak periyotların gerçekleşmesine gerekçe gösterilebilir.

Dadaşer Çelik vd. (2017), 1980-2015 yılları arasını kapsayan yürüttükleri bir çalışmada Türkiye'de 195 meteoroloji istasyonunun aylık yağış verilerini kullanmışlardır. Araştırmacılar 1, 3, 6, 12, 24 ve 48 ay zaman ölçeklerinde SPI indeksine göre kuraklık eğilimlerinin belirlenmesinde Mann-Kendall eğilim testini kullanmışlar ve kısa süreli zaman periyotlarına göre uzun dönemli zaman periyotları için daha fazla istatistiksel olarak anlamlı artan yönde eğilimler bulmuşlardır. Araştırmacılar eğilim analizlerine göre Türkiye'nin batı kesimlerinde nemli koşulların daha baskın olduğunu yani istatistiksel olarak anlamlı artan yönde eğilimler olduğunu diğer taraftan ise ülkenin doğu ve güneydoğu kesimlerinde kurak koşulların daha baskın olduğunu yani istatistiksel olarak azalan yönde eğilimler olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde bu tez çalışmasında da 1 ay zaman ölçeğinden 12 ay zaman ölçeğine doğru Karadeniz, Marmara ve Ege Bölgesi illerinde daha fazla istatistiksel olarak anlamlı artan yönde eğilim bulunmuştur. İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde ise 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde benzer olmakla birlikte Mann-Kendall testine göre azalan yönde eğilimlerin olduğu yerler saptanmıştır.

Türkeş vd. (2020), Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü'nün Tübitak Bilgem ile iş birliğinde oluşturdukları Türkiye Çölleşme Modeli (TÇM) özelinde Havza İzleme ve Değerlendirme Sistemi (HİDS) modelini 2016-2017 yıllarında yaptıkları saha çalışmaları ile yeniden revize etmişlerdir. HİDS modeline göre Türkiye'de başlıca bulunan hidrolojik havzaların çölleşme riskinin yüzde dağılımını araştırdıkları çalışmalarında kuraklığın değerlendirilmesi için SPI indeksini kullanmışlardır.

Araştırmacılar Aras, Batı Karadeniz Havzası, Konya Kapalı Havzası, Marmara ve Meriç-Ergene havzası hariç diğer havzaların her birinin alanlarında orta-yüksek çölleşme riskinin en az %15 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Araştırma bulgularına göre Aras, Batı Karadeniz Havzası, Konya Kapalı Havzası, Marmara ve Meriç-Ergene havzası çölleşme riskinin düşük-orta grupta olduğu anlaşılmaktadır. Yüksek çölleşme riski ise sırasıyla en fazla Güneydoğu Anadolu Bölgesinde ve İç Anadolu Bölgesinde bulunmuştur. Araştırmacıların elde ettikleri sonuçlar bu tez çalışması sonuçlarıyla beraber değerlendirildiğinde çölleşme-kuraklık bağlamında bazı çıkarımlarda bulunulabilir. Şöyle ki bu tez çalışmasında 1, 6 ve 12 ay zaman ölçeklerinde SPI indeksi için hazırlanmış zamansal analizler ve haritalar (Şekil 3.13, 3.16 ve 3.19) incelendiğinde Karadeniz, Marmara, Ege bölgesi ve nispeten İç Anadolu Bölgesinin batı kesimlerinin nemlilik oluşumuna sahip oldukları görülmektedir. Bu nemlilik oluşumu zaman ölçeği arttıkça da genel itibariyle artış göstermiştir. SPI indeksine göre bu bölgelerdeki nemlilik oluşumun artış durumu Batı Karadeniz Havzası, Konya Kapalı Havzası, Marmara ve Meriç-Ergene havzasında çölleşme riskinin düşük-orta grupta kalmasında ve daha yüksek risk durumunun oluşmamasında bir etkiye sahip olabilir. Ayrıca Türkeş vd. (2020), araştırmalarında yüksek çölleşme riskinin en fazla Güneydoğu Anadolu ve İç Anadolu Bölgesinde olduğu işaret etmişlerdi, bu tez çalışmasında SPI indeksine göre kuraklık durumunun da en fazla bu bölgelerde artış gösterdiği görülmektedir.

Ege Bölgesinde, FAO-56 PM yöntemine göre hesaplanan SPEI indeksine göre 1, 3, 6, 12 ve 24 ay zaman ölçeklerinde 1975-2014 yılları arası meteorolojik verileri kullanarak yürütülen bir kuraklık analizi çalışmasında zamansal ve mekansal analiz bulgularına göre zaman ölçeği arttıkça Ege Bölgesinin iç kesimlerinde istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilimler olduğu belirtilmiştir (Özçelik, 2019). Ege bölgesinde saptanan bu değişimler bu tez çalışmasında benzer şekilde bulunmuş olup bilhassa Denizli ve Uşak çevrelerinde $SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$ azalan yönde eğilimlerin artışının fazla olduğu belirlenmiştir.

Yürekli ve Ünlükara (2013), küresel ısınmanın kuraklığa etkilerinin değerlendirilmesi için 1, 3, 6, 12, 18 ve 24 ay zaman ölçeklerine göre SPI ve FAO-56 Penman-Monteith yöntemine göre SPEI indekslerini karşılaştırdıkları çalışmalarında Kayseri ilinin 1975-2009 yılları arası 35 yıllık meteorolojik verilerini kullanmışlardır. Araştırmacılar Kayseri ilinin sıcaklık verileri 35 yıllık periyotta birinci ve ikinci senaryoya göre sırasıyla 3 °C ve

5 °C artacağını varsaymışlardır. Gerçek SPEI ve senaryo SPEI değerleri arasında karşılaştırma yaptıklarında Kayseri’de sıcaklığın 3-5 °C artması durumunda 1990’lı yıllardan sonra kuraklığın giderek şiddetini artıracağı bildirilmiştir. SPI ve SPEI indekslerinde 35 yıllık periyot için benzer kuraklık süreleri saptanmış fakat özellikle 12 aylık zaman ölçeğinde SPEI’ye göre önemli bir kuraklığın yaşandığı fakat bunun SPI’de gözükmediği bildirilmiştir. Sonuç olarak araştırmacılar farklı zaman ölçeklerine göre kuraklığın belirlenmesinde SPEI indeksinin, SPI indeksinden farklı olarak sıcaklık artışının kuraklık üzerine etkilerini belirlemede üstünlüğe sahip olduğunu aktarmışlardır. Ayrıca Kızılelma vd. (2015), 1970-2010 yılları arası meteorolojik veriler ile İç Anadolu Bölgesinde sıcaklık ve yağışların eğilimlerini araştırdıkları çalışmalarında Ürgüp istasyonu hariç tüm istasyonlarda maksimum ve minimum sıcaklık eğilimlerinde istatistiki olarak önemli artışların olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca maksimum sıcaklık eğiliminde en fazla artışların yaz mevsiminde olduğu aktarılmıştır. Bu araştırmaların sonuçları ile bu tez çalışması İç Anadolu Bölgesi illerinin eğilim ve Sen’in eğim değerleri irdelendiğinde birbirlerini desteklemektedirler. Kayseri ve İç Anadolu Bölgesinin diğer illerinde SPI’ye göre $SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$ ’de istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilimler ve bu doğrultuda daha fazla kuraklık eğilimi saptanmıştır. İç Anadolu Bölgesi sıcaklık eğilimlerindeki artışlar $SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$ ’nin, SPI’e göre daha fazla kuraklık durumunu saptamasında etkili olabilir.

Keskiner ve Çetin (2022), Şanlıurfa, Birecik, Akçakale, Ceylanpınar ve Siverek meteoroloji istasyonlarının 1965-2020, Bozova istasyonunun ise 2000-2020 yıllarına ait yıllık toplam yağış ortalama yıllık maksimum sıcaklık serilerini kullanmışlardır. Çalışmada her istasyon için Erinç Kuraklık İndeksi (EKİ) yıllık olarak hesaplanmıştır. Araştırmacılar kuraklık eğiliminin belirlenmesi için Mann Kendall eğilim testini, eğilim büyüklüğünün (hızının) belirlenmesi için Sen’in eğim metodunu kullanmışlardır. Sonra IDW yöntemine göre Mann-Kendall eğilim, Sen’in eğim ve Erinç Kuraklık İndeksi (EKİ) haritalarını elde etmişlerdir. Sonuç olarak Şanlıurfa ilinde kuzeyden güneye doğru EKİ değerlerinin azalan yönde istatistiksel olarak anlamlı eğimler oluşturduğu, eğilim hızlarının da azalan yönde artış gösterdiğini ve kuraklık şiddetinin arttığı belirtilmiştir. Bu tez çalışmasında da Şanlıurfa ilinde 1, 6 ve 12 ay zaman ölçeğinde $SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$ zaman serilerinde istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilimler bulunmuştur. Bu duruma göre Şanlıurfa ilinde 1, 6 ve 12 ay zaman ölçeğinde kuraklığın istatistiksel olarak

anlamli artan yönde bir eğilim tavrı gösterdiği ve kurak koğulların daha baskın hale geldiği anlaşılmıştır.

Topçu ve Karaçor (2020), Erzurum il merkezi meteoroloji istasyonunun 1975-2008 yılları arası meteorolojik verilerini kullanarak Thorntwaite metoduna göre SPEI indeksiyle 1, 3, 6, 12 ve 24 ay zaman ölçeğinde kuraklık analizlerini yapmışlardır. Thornthwaite metoduna göre sıcaklığın 0 °C ve altına düştüğünde evapotranspirasyon değerinin 0 olarak hesaplandığını belirttikleri çalışmalarında kış aylarında referans evapotranspirasyon değerlerini $ET_0 = 0.0$ mm olarak SPEI hesaplamasına dahil etmişlerdir. 1, 3, 6, 12 ve 24 ay zaman ölçeklerinde ve $\alpha = 0.01$ önemlilik seviyesinde Mann-Kendall eğilim testi Z_{cal} değerlerini sırasıyla 1.01, 0.47, -0.44, -0.83 ve -1.02 olarak bulunmuştur. İstatistiki olarak anlamli olmamasına karşın zaman lçeği arttıkça eğilim değerlerinin de kademeli olarak azalan yönde eğilim gösterdiği yani nemlilik durumundan kuraklık durumuna geçiş görülmüştür. Bu tez çalışmasında ise $\alpha = 0.05$ anlamlılık seviyesinde Erzurum'da 1, 6 ve 12 ay zaman ölçeklerinde $SPEI_{PM}$ 'ye göre sırasıyla -5.58, -4.10, -3.51 ve $SPEI_{HG}$ 'ye göre sırasıyla -4.62, -3.57 ve -2.86 Modifiye Mann-Kendall eğilim testi Z değerleri bulunmuştur (Tablo 3.25, 3.26 ve 3.27). Yani üç zaman ölçeğinde de istatistiksel olarak azalan yönde eğilim hesaplanmış ve bu doğrultuda anlamli kuraklık eğilimi olduğu anlaşılmıştır. Erzurum için Topçu ve Karaçor'un (2020) çalışmalarında buldukları istatistiksel olarak anlamli olmayan eğilim değerlerine göre bu tez çalışmasında bulunan istatistiksel olarak anlamli azalan yönde eğilim olmasına, SPEI indeksi hesaplamasında kullanılan FAO-56 Penman-Monteith ve Hargreaves metodunun sıcaklığın 0 °C ve altına düştüğünde de evapotranspirasyon miktarını hesaplaması ve evapotranspirasyon miktarının artması neden olabilir.

Alivi vd. (2021), Fırat-Dicle havzasında son 30 yıl ve üzeri akım verisine sahip olan 20 adet alt havzanın akarsu akımlarının, yağış, referans evapotranspirasyon (ET_0) ve kuraklık indisindeki değişimlere karşı hassasiyetini iklim elastikiyeti metodu ile değerlendirdikleri çalışmalarında ET_0 hesaplamasında Hargreaves yöntemini kullanmışlardır. Araştırma bulgularına göre alt havzalarda akışta azalma eğilimlerinin görüldüğü dönemlerde yağışta azalma ve ET_0 ve sıcaklıklardaki artış eğilimlerinin genellikle uyum içerisinde olduğu saptanmıştır. Ayrıca akış verilerinde istatistiksel olarak anlamli eğilimlere sahip alt havzaların iki tanesinde yağış, diğer alt havzaların tamamında ise ET_0 değerleri bakımından anlamli eğilimler bulunmuştur. Yani yağış ve özellikle

evapotranspirasyon faktörlerinin Fırat-Dicle havzası akarsu akımlarında etken role sahip olduğu anlaşılmaktadır. Fırat- Dicle havzası Diyarbakır, Bitlis, Batman, Siirt, Şırnak, Hakkari illerini kat ederek ülkemiz sınırlarını aşan bir havzadır. Tez çalışmasında Hargreaves yöntemine göre uzun yıllar alansal ortalama referans evapotranspirasyon miktarlarına (Şekil 3.11) bakıldığında en fazla referans evapotranspirasyon Fırat-Dicle Havzasının da içinde olduğu Güneydoğu Anadolu Bölgesinde gerçekleşmiştir. Ayrıca Hargreaves yöntemine göre oluşturulan SPEI_{HG} eğilim ve Sen'in eğim haritalarına (Şekil 3.15, Şekil 3.18 ve Şekil 3.21) bakıldığında Fırat-Dicle havzasını kapsayan bölgedeki illerin zaman serilerinde istatistiksel olarak anlamlı azalan yönde eğilimlere sahip olduğu bulunmuştur. Alivi vd.'nin (2021) araştırma bulgularındaki havza akım değerlerindeki düşüşlerde etkisi olan yağış ve evaporatif etki verileri, bu tez çalışmasındaki verilerle örtüşmektedir. Kahya ve Kalaycı (2004), Türkiye'nin 26 havzasının akım değerlerinin eğilim analizlerini çıkardıkları araştırmalarında; havza, akarsu vb. alanların akım eğilim analizleri ve akarsu akış modeli gibi çalışmalarda yağış ve sıcaklık parametrelerinin etkileri dahil edilerek, gözlemlenen akış eğilimleri ile iklim değişikliği arasındaki ilişkinin ele alınması gerektiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca Türkiye'de akarsu akış modellerindeki akış eğilimlerinin yağışlarda görülen düşüşlere ve sıcaklıktaki artışlara bağlanabileceğini ifade etmişlerdir. Lettenmaier vd. (1994) ise akarsu akış süreçlerinin iklimsel tabanlı modellerle ve yöntemlerle birleştirilmesinin ve geniş alanlardaki akış eğilimlerinin yağış ve sıcaklık gibi iklimsel parametrelerle nasıl bir ilişki içerisinde olduğunu araştırmanın esas olduğunu bildirmişlerdir. Kuraklık, genel itibariyle meteorolojik kuraklık, tarımsal kuraklık ve hidrolojik kuraklık olarak sınıflandırılmaktadır. Bir alanda gerçekleşen meteorolojik ve tarımsal kuraklığın devam etmesi durumunda o alanda bulunan yüzey suları ve yer altı sularındaki azalma hidrolojik kuraklığa neden olabilmektedir. Kuraklık durumunun atmosferik ve iklim tabanlı verilere göre araştırılması; nehir akım ölçümleri, göl, rezervuar ve yeraltı su seviyesi ölçümleri gibi hidrolojik tabanlı verilerle hidrolojik kuraklığın belirlenmesini, havza akım verilerinin değerlendirilmesi vb. gibi çalışmaları daha hassas bir şekilde ortaya koyabilmektedir.

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç

Bu tez çalışmasında Türkiye genelinde 81 meteoroloji istasyonuna ait 1980-2019 yılları arası meteorolojik gözlem verileri kullanılarak; Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) ve FAO-56 Penman-Monteith ve Hargreaves referans evapotranspirasyon metotlarıyla hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksine ($SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$) göre 1, 6 ve 12 ay zaman ölçeğinde Modifiye Mann-Kendall eğilim analizi ve Sen'in Eğim Metodu (Sen's Slope Estimator) ile kuraklık eğiliminin ve büyüklüğünün (hızının) zamansal ve mekansal karşılaştırılması yapılmıştır. Mekansal analizlerde, klasik enterpolasyon yöntemi olan ters uzaklık yöntemi (IDW) kullanılmıştır.

1, 6 ve 12 ay zaman ölçeğinde SPI indeksi eğilim analizlerine göre özellikle Karadeniz Bölgesi, Doğu Anadolu'nun kuzey kesimleri, Marmara ve Ege Bölgesinin çoğunluğunda kuraklık azalan yönde bir eğilim tavrı göstermiştir. Bu alanlarda zaman ölçeği arttıkça kuraklığın istatistiksel olarak anlamlı gittikçe azalan yönde eğilim tavrı gösterdiği yerler artmıştır. Bu durum nemli periyotların daha fazla olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca zaman ölçeği arttıkça bu alanlarda eğilim büyüklüklerinin artan yönde artış gösterdiği belirlenmiştir. 1, 6 ve 12 ay zaman ölçeğinde SPI'ya göre İç Anadolu, Akdeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde istatistiksel olarak anlamlı kuraklığın artan yönde eğilim tavrı gösterdiği yerler olmuştur. Bu alanlarda zaman ölçeği arttıkça eğilim büyüklüklerinin azalan yönde artış gösterdiği belirlenmiştir.

$SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$ indeksi eğilim analizlerine göre Ege bölgesi kıyı illeri, Orta Karadeniz, Batı Marmara Bölgesinde kuraklık azalan yönde, diğer yerlerde kuraklık artan yönde bir eğilim tavrı göstermiştir. $SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$ indeksine göre İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinin çoğunluğunda kuraklık istatistiksel olarak anlamlı

artan yönde bir eğilim göstermiştir. Bu durum $SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$ zaman serilerinde kurak periyotların nemli periyotlardan daha fazla olduğunu göstermiştir. Ayrıca zaman ölçeği arttıkça bu bölgelerde eğilim büyüklüklerinin azalan yönde artış gösterdiği belirlenmiştir. 1 ay zaman ölçeği ile kıyaslandığında 6 ve 12 aylık zaman ölçeğinde, $SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$ 'de artan yönde kuraklık eğilimlerinin daha fazla olduğu belirlenmiştir. SPI, $SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$ karşılaştırıldığında en fazla kurak periyot $SPEI_{HG}$ zaman serilerinde ikinci olarak da $SPEI_{PM}$ zaman serilerinde bulunmuştur.

İklimsel su dengesi miktarı ve hesaplamalarda kullanılan meteorolojik parametreler $SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$ 'e göre kuraklık eğilimlerinde değişimlere neden olmuş olabilir. Hargreaves metoduna göre hesaplanan referans evapotranspirasyon miktarları ve iklimsel su açığının, FAO-56 PM yöntemine göre hesaplanan referans evapotranspirasyon ve iklimsel su açığı değerlerinden daha fazla olması; 1, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğinde $SPEI_{HG}$ 'nin $SPEI_{PM}$ 'ye göre artan yönde daha fazla kuraklık eğilimi bulmasına neden olmuş olabilir. Bu durum, $SPEI_{HG}$ kullanılarak yapılan kuraklık değerlendirmelerinde daha fazla kuraklık periyodunun meydana gelmesine gerekçe gösterilebilir.

4.2. Öneriler

Kuraklık yaşamı etkileyen en önemli doğal afetlerden biridir. Su kaynaklarının doğru kullanımı, kuraklık riski bulunan bölgelerin belirlenmesi, sulama uygulamalarından daha verimli sonuçlar alınabilmesi için kuraklığın en hassas şekilde izlenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Kuraklık indeksleri kuraklığın belirlenmesi, izlenmesi ve değerlendirilmesinde kullanılan en önemli yöntemlerdir.

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) yağış tabanlı bir indeks olmasına karşın Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) yağış ve evapotranspirasyon tabanlı bir indekstir. Bu tez çalışmasında SPI ile bulunan kuraklık eğilimleri bilhassa zaman ölçeği arttıkça SPEI indeksine ($SPEI_{PM}$ ve $SPEI_{HG}$) göre bulunan kuraklık eğilimlerine göre önemli farklılıklar göstermiştir. Meteorolojik parametreleri ve iklimsel su dengesi verilerini kullanan SPEI indeksi kuraklık durumunu belirlemede daha hassas sonuçlar vermiştir. Kuraklığın daha hassas belirlenebilmesi için meteorolojik parametreler ve evapotranspirasyon mümkün olduğu ölçüde kullanılmalıdır. Literatür incelendiğinde FAO-56 Penman- Monteith yönteminin daha çok meteorolojik parametreyi kullanması nedeniyle kuraklık durumunun saptanmasında daha hassas

sonuçların elde edilmesine imkan verebilmektedir. Öte yandan Hargreaves yöntemi sadece sıcaklık verisini kullanmaktadır. Bu tez çalışmasında FAO-56 Penman- Monteith ve Hargreaves yöntemine göre bulunan SPEI eğilim ve büyüklüklerinin (hızlarının) benzerlik gösterdiği anlaşılmıştır. Türkiye özelinde düşünüldüğünde eksik meteorolojik parametre olmaması durumunda FAO-56 Penman-Monteith yöntemine göre SPEI kuraklık çalışmalarının yapılması daha hassas sonuçlar verebilir.

SPEI indeksiyle, SPI indeksinin handikap sayılabilecek eksik yanı (iklimsel su dengesi) tamamlanabilmektedir. Bu sayede ileriye dönük kuraklık projeksiyonları için bölgesel ve ulusal ölçekte karar vericiler daha doğru politikalar oluşturabilir.

Türkiye’de kuraklaşma eğiliminin arttığı göz önüne alındığında, gelecekte oluşabilecek önemli su sıkıntılarının önüne geçilebilmesi için devlet desteğinde ve yasalarla alt zemini hazırlanan su politikaların oluşturulması gerekmektedir.

İklim değişikliğinin kuraklık durumunu daha da kötüleştirebileceği varsayılarak bu afet durumuna karşı hazırlıksız yakalanmamak için etkili kuraklık yönetim planları oluşturulmalı ve uygulanmalıdır. Kuraklık yönetim programların etkin ve işlevsel bir şekilde yürütülebilmesi için kuraklık analizi, izleme ve değerlendirmede hidro-meteorolojik durumu en iyi yansıtabilen hassas kuraklık indeksleri kullanılmalıdır. Bu indekslerin değerleri haritalanarak mekansal analizleri yapılabilir ve yorumlanabilir.

KAYNAKÇA

- Abarghouei, H., Asadi Zarch, M. A., Dastorani, M. T., Kousari, M. R., & Safari Zarch, M., 2011. The survey of climatic drought trend in Iran. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, 25 (6), 851-863.
- Agiralioglu, N., Eris, E., 2012. Homogeneity and trend analysis of hydrometeorological data of the Eastern Black Sea Region, Türkiye. **Journal of Water Resource and Protection**, 4 (2), 99-105.
- Akacak, A. K. Tas, İ., 2021. Farklı mekânsal enterpolasyon yöntemleriyle alansal yağış hesaplanması: kuzey ege havza örneği. **Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi**, 8 (2), 528-539
- Aksoy, H., Çetin, M., Önöz, B., Yüce, M. I., Eriş, E., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H. İ., Çavuş, Y., Eşit, M., Orta, S., 2019. Frekans analizi ile kritik kuraklık şiddet-süre-frekans eğrilerinin elde edilmesi. 10. *Ulusal Hidroloji Kongresi*, 09-12 Ekim 2019, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, Sözlü Bildiri, Bildiriler Kitabı, s. 641-649.
- Aksoy, H., Cetin, M., Eris, E., Burgan, H. I., Cavus, Y., Yildirim, I., Sivapalan, M., 2021. Critical drought intensity-duration-frequency curves based on total probability theorem-coupled frequency analysis. **Hydrological Sciences Journal**, 66(8), 1337-1358.
- AL-Lami, A. M., AL-Timimi, Y. K., AL-Salihi, A. M., 2014. The homogeneity analysis of rainfall time series for selected meteorological stations in Iraq. **Diyala Journal for Pure Science**, 10(2), 60-77.
- Alexandersson, H., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. **Journal of climatology**, 6(6), 661-675.
- Alexandrov, V., Schneider, M., Koleva, E., Moisselin, J. M., 2004. Climate variability and change in Bulgaria during the 20th century. **Theoretical and Applied Climatology**, 79(3), 133-149.

- Ali, M. G., Younes, K., Esmail, A., Fatemeh, T., 2011. Assessment of geostatistical methods for spatial analysis of SPI and EDI drought indices. **World Applied Sciences Journal**, 15 (4), 474-482.
- Alivi, A., Yıldız, O., Aktürk, G. 2021. Fırat-Dicle havzasında yıllık ortalama akımlar üzerinde iklim değişikliği etkilerinin iklim elastikiyeti metodu ile incelenmesi. **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 36(3), 1449-1466.
- Amini, M. A., Torkan, G., Eslamian, S., Zareian, M. J., Adamowski, J. F. 2019. Analysis of deterministic and geostatistical interpolation techniques for mapping meteorological variables at large watershed scales. **Acta Geophysica**, 67 (1), 191-203.
- Anonim, 1997. Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi, Paris.
- Anonim, 2021. <http://www.ncdc.noaa.gov/news/drought-importance-drought-indicators>, (Erişim tarihi: Ocak 2022).
- Bae, S., Lee, S. H., Yoo, S. H., Kim, T., 2018. Analysis of drought intensity and trends using the modified SPEI in South Korea from 1981 to 2010. **Water**, 10 (3), 327.
- Bazrafshan, O., Mahmudzadeh, F., Bazrafshan, J., 2017. Evaluation of temporal trends of the drought indices SPI and SPEI in the Southern Coast of Iran. **Desert Management**, 4 (8), 54-69.
- Bera, B., Shit, P. K., Sengupta, N., Saha, S., 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.
- Brutsaert, W.H., 1982. Evaporation into the atmosphere: theory, history and applications. D. Reidel Publication, Dordrecht, 299 p.
- Burrough, P. A., McDonnell, R. A., 1998. Creating continuous surfaces from point data. Principles of Geographic Information Systems. Oxford University Press, Oxford, UK.

- Buishand, T. A., 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. **Journal of hydrology**, **58**(1-2), 11-27.
- Caloiero, T., 2018. SPI trend analysis of New Zealand applying the ITA technique. **Geosciences**, **8** (3), 101.
- Cengiz, T. M. (2005). Türkiye Göl Seviyelerinin Hidroklimatolojik Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 160s.
- Chattopadhyay, S., Edwards, D., 2016. Long-term trend analysis of precipitation and air temperature for Kentucky, United States. **Climate**, **4** (1):10
- Chuanyan, Z., Zhongren, N., & Guodong, C. (2005). Methods for modelling of temporal and spatial distribution of air temperature at landscape scale in the southern Qilian mountains, China. **Ecological Modelling**, **189**(1-2), 209-220.
- Collaud Coen, M., Andrews, E., Bigi, A., Martucci, G., Romanens, G., Vogt, F., Vuilleumier, L., 2020. Effects of the prewhitening method, the time granularity, and the time segmentation on the Mann–Kendall trend detection and the associated Sen's slope. **Atmospheric Measurement Techniques**, **13**(12), 6945-6964.
- Cook, B.I., Smerdon, J.E., Seager, R., Coats, S., 2014. Global warming and 21st century drying. **Climate Dynamics**, **43**, 2607–2627.
- Cox, D. R., Stuart, A., 1955. Some quick sign tests for trend in location and dispersion. **Biometrika**, **42** (1/2), 80-95.
- Cui, L., Wang, L., Lai, Z., Tian, Q., Liu, W., Li, J., 2017. Innovative trend analysis of annual and seasonal air temperature and rainfall in the Yangtze River Basin, China during 1960–2015. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, **164**, 48-59.
- Çamalan, G., Akgündüz, A. S., Ayvacı, H., Çetin, S., Arabacı, H., Coşkun, M., 2017. SPEI indisine göre Türkiye geneli kuraklık değişim ve eğilim projeksiyonları. *IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi*, Tıkdek, 5(7)

- Çetin, M., 1996. Jeostatistiksel Yöntem İle Nokta Ve Alansal Yağışların Saptanması ve Stokastik Olarak Modellenmesi Örnek Havza Uygulamaları. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 127s.
- Çetin, M., 1997. Hidrolojik veri analizlerinde bazı ön istatistiksel analiz teknikleri ve uygulamaları. **DSİ Teknik Bülteni**, (86), 53-63.
- Çetin, M., Topaloğlu, F., Tülücü, K., 1998. Doğu Akdeniz Bölgesinde aylık alansal yağışların jeostatistiksel yöntemle saptanması ve stokastik olarak modellenmesi. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, 23(supp3), 691-698.
- Çetin, M., Tülücü, K., 1998. Doğu Akdeniz bölgesinde aylık yağışların yersel değişimlerinin jeostatistik yöntemle incelenmesi. **Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences**, 22(4), 279-288.
- Çetin, M., Aksoy, H., Önöz, B., Eriş, E., Yüce, M. İ., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H. İ., Eşit, M., Çavuş, Y., Orta, S., 2018. Deriving accumulated precipitation deficits from drought severity-duration-frequency curves: A case study in Adana province, Türkiye. 1st International Congress on Agricultural Structures and Irrigation, Proceedings and Abstracts Book, Antalya, Türkiye, 26-28 September 2018, pp. 39-48.
- Çetin, M., 2020. Agricultural Water Use. In: N. B. Harmancioglu, D. Altinbilek , Water Resources of Turkey, Chapter 9, World Water Resources, Vol. 2, Springer Nature Switzerland, pp. 257-302.
- Dadaşer Çelik, F., Cengiz, E., Guzel, O., 2016. Trends in reference evapotranspiration in Turkey: 1975–2006. **International Journal of Climatology**, 36(4), 1733-1743.
- Dadaşer Çelik F., Kömüşçü A. Ü., Turgu E., Uçar R., Çelik M., 2017. Recent trends in meteorological drought in Turkey: 1980-2015, 474-479. 8th Atmospheric Sciences Symposium, 01-04 November 2017, İstanbul.

- Danandeh Mehr, A., Sorman, A. U., Kahya, E., Hesami Afshar, M., 2020. Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey. **Hydrological Sciences Journal**, **65** (2), 254-268.
- Doğan, H. M., Yılmaz, D. S., Kılıç, O. M., 2013. Orta Kelkit Havzası'nın bazıtoprak özelliklerinin ters mesafe ağırlık yöntemi (IDW) ile haritalanması ve yorumlanması. **Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi**, **(6)**, 46-54.
- Dong, C., MacDonald, G. M., Willis, K., Gillespie, T. W., Okin, G. S., Williams, A. P., 2019. Vegetation responses to 2012–2016 drought in Northern and Southern California. **Geophysical Research Letters**, **46** (7), 3810-3821.
- Douglas, E. M., Vogel, R. M., Kroll, C. N., 2000. Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. **Journal of hydrology**, **240** (1-2), 90-105.
- El-Nesr, M. N., Abu-Zreig, M. M., Alazba, A. A., 2010. Temperature trends and distribution in the Arabian Peninsula. **American Journal of Environmental Sciences**, **6**(2), 191-203.
- Fang, S., Qi, Y., Yu, W., Liang, H., Han, G., Li, Q., Shen, S., Zhou, G., Shi, G., 2016. Change in temperature extremes and its correlation with mean temperature in mainland China from 1960 to 2015. **International Journal of Climatology**, **37**, 3910–3918.
- Feng, Y., Cui, N., Zhao, L., Gong, D., Zhang, K., 2017. Spatiotemporal variation of reference evapotranspiration during 1954–2013 in Southwest China. **Quaternary International**, **441**, 129-139.
- Gocic, M., Trajkovic, S., 2013. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. **Global and Planetary Change**, **100**, 172-182.
- Goovaerts, P., 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. **Journal of hydrology**, **228** (1-2), 113-129.

- Guo, E., Liu, X., Zhang, J., Wang, Y., Wang, C., Wang, R., Li, D., 2017. Assessing spatiotemporal variation of drought and its impact on maize yield in Northeast China. **Journal of Hydrology**, **553**, 231–247.
- Hamed, K. H., Rao, A. R., 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. **Journal of hydrology**, **204** (1-4), 182-196.
- Hargreaves, G. H., Samani, Z. A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied engineering in agriculture**, **1**(2), 96-99.
- Heim, R.R., 2002, A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States, American Meteorological Society, 83, 1149-1165 pp.
- Helsel, D. R., Hirsch, R. M., 1992. **Statistical methods in water resources** (Vol. 49). Elsevier.
- Hernandez, E. A., Uddameri, V., 2014. Standardized precipitation evaporation index (SPEI)-based drought assessment in semi-arid south Texas. **Environmental Earth Sciences**, **71**(6), 2491-2501.
- Homdee, T., Pongput, K., Kanae, S., 2016. A comparative performance analysis of three standardized climatic drought indices in the Chi River basin. Thailand. **Agriculture and Natural Resources**, **50**, 211–219.
- Hong, X., Guo, S., Xiong, L., Liu, Z., 2015. Spatial and temporal analysis of drought using entropy-based standardized precipitation index: A case study in Poyang Lake basin, China. **Theoretical and Applied Climatology**, **122**, 543–556.
- Jensen, M.E., Burman, R.D., Allen R.G., 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE manuals and reports on engineering practices No. 70, New York.
- Jhajharia, D., Dinpashoh, Y., Kahya, E., Singh, V. P., & Fakheri-Fard, A. (2012). Trends in reference evapotranspiration in the humid region of northeast India. **Hydrological Processes**, **26**(3), 421-435.

- Jin, X., Qiang, H., Zhao, L., Jiang, S., Cui, N., Cao, Y., Feng, Y., 2019. SPEI-based analysis of spatio-temporal variation characteristics for annual and seasonal drought in the Zoige wetland, Southwest China from 1961 to 2016. **Theoretical and Applied Climatology**, 1-15
- Kadioğlu, M., Ünal Y., İlhan, A., Yürük, C., 2017. Türkiye’de iklim değişikliği ve tarımda sürdürülebilirlik. s: 86 (10-11).
- Kahya, E., Kalaycı, S. 2004. Trend analysis of streamflow in Türkiye. **Journal of hydrology**, **289**(1-4), 128-144.
- Kahya, E., Arıkan, B. B., Akdeniz, E., 2016. Homogeneity analysis of precipitation series in Türkiye. 12th. International Congress On Advances In Civil Engineering, 21-23 September 2016, Boğaziçi University, Istanbul, Türkiye.
- Katipoğlu, O. M., Acar, R., Şenocak, S. 2021. Spatio-temporal analysis of meteorological and hydrological droughts in the Euphrates Basin, Türkiye. **Water Supply**, **21** (4), 1657-1673.
- Karlsson, I. B., Sonnenborg, T. O., Jensen, K. H., Refsgaard, J. C., 2014. Historical trends in precipitation and stream discharge at the Skjern River catchment, Denmark. **Hydrology and Earth System Sciences**, **18**(2), 595-610.
- Kaur, N., Yousuf, A., Singh, M. J., 2021. Long term rainfall variability and trend analysis in lower Shivaliks of Punjab, India. **Mausam**, **72**(3), 571-582.
- Kendall, M.G., 1975. Rank Correlation Methods, Fourth ed. Charles Griffin & Co. Ltd, London, UK.
- Keskiner, A. D., Çetin, M., Şimşek, M., A, Sabri., 2020. Kuraklık riski altındaki havzalarda gölet haznelerinin tasarımı: Seyhan Havzasında Bir Uygulama. **Teknik Dergi**, **31**(5), 10189-10210.
- Keskiner A. D., Çetin, M., 2022. Kuraklık gidiş ve büyüklüğünün zaman ve mekan boyutunda belirlenmesi: Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) alanında bir uygulama. *Politeknik Dergisi*, <https://doi.org/10.2339/politeknik.1000596>.

- Kızılelma, Y., Çelik, M., & Karabulut, M. (2015). İç Anadolu Bölgesinde sıcaklık ve yağışların trend analizi. **Türk Coğrafya Dergisi**, (64), 1-10.
- Labudová, L., Labuda, M., Takáč, J., 2017. Comparison of SPI and SPEI applicability for drought impact assessment on crop production in the Danubian Lowland and the East Slovakian Lowland. **Theoretical and applied climatology**, 128 (1), 491-506.
- Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., Wallis, J. R., 1994. Hydro-climatological trends in the continental United States, 1948-88. **Journal of Climate**, 7(4), 586-607.
- Li, W. G., Yi, X., Hou, M. T., Chen, H. L., Chen, Z. L., 2012. Standardized precipitation evapotranspiration index shows drought trends in China. *Chin. Journal of Eco-Agriculture* 20 (5), 643-649.
- Li, Y., Chen, C., Sun, C., 2016. Drought severity and change in Xinjiang, China, over. **Hydrology Research** 48 (5):1343-1362.
- Li, Y., Wang, Z., Zhang, Y., Li, X., Huang, W., 2019. Drought variability at various timescales over Yunnan Province, China: 1961–2015. **Theoretical and Applied Climatology**, 138 (1), 743-757.
- Liu, X., & Zhang, D. (2013). Trend analysis of reference evapotranspiration in Northwest China: The roles of changing wind speed and surface air temperature. **Hydrological Processes**, 27(26), 3941-3948.
- Liu, Z., Wang, Y., Shao, M., Jia, X., Li, X. 2016. Spatiotemporal analysis of multiscalar drought characteristics across the Loess Plateau of China. **Journal of Hydrology**, 534, 281-299.
- Lloyd, C. D., 2005. Assessing the effect of integrating elevation data into the estimation of monthly precipitation in Great Britain. **Journal of Hydrology**, 308 (1-4), 128-150.
- Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano, S.M., López-Moreno, J.I., Beguería, S., García-Ruiz, J.M., Cuadrat, J.M., 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**, 13–26.

Ma, N., Zhang, Y., Szilagyi, J., Guo, Y., Zhai, J., & Gao, H. (2015). Evaluating the complementary relationship of evapotranspiration in the alpine steppe of the Tibetan Plateau. **Water Resources Research**, **51**(2), 1069-1083.

Mann, H. B., 1945. Nonparametric tests against trend. **Econometrica: Journal of the econometric society**, 245-259.

Modarres, R., Da Silva, V. D. P. R., 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. **Journal of arid environments**, **70** (2), 344-355.

Mousavi, S. R., Sarmadian, F., Dehghani, S., Sadikhani, M. R., Taati, A., 2017. Evaluating inverse distance weighting and kriging methods in estimation of some physical and chemical properties of soil in Qazvin Plain. **Eurasian Journal of Soil Science**, **6** (4), 327-336.

Nedealcov, M., Răileanu, V., Sîrbu, R., Cojocari, R., 2015. The use of standardized indicators (SPI and SPEI) in predicting droughts over the Republic of Moldova territory. **Present Environment and Sustainable Development**, **(2)**, 149-158.

Nourani, V., Danandeh Mehr, A., Azad, N., 2018. Trend analysis of hydroclimatological variables in Urmia lake basin using hybrid wavelet Mann–Kendall and Şen tests. **Environmental Earth Sciences**, **77** (5), 1-18.

Ortiz-Gómez, R., Flowers-Cano, R. S., Medina-García, G., 2022. Sensitivity of the RDI and SPEI Drought Indices to Different Models for Estimating Evapotranspiration Potential in Semiarid Regions. **Water Resources Management**, **36**(7), 2471-2492.

Ölgen, M. K., 2010. Türkiye’de yıllık ve mevsimsel yağış değişkenliğinin alansal dağılımı. **Ege Coğrafya Dergisi**, **19** (1), 85-95.

Özçelik, Ş., 2019. Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi İle Ege Bölgesinde Kuraklık Analizi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 97s.

- Palmer, W.C., 1965. Meteorological Drought. US Department of Commerce, Weather Bureau Washington, DC, USA.
- Partal, T., Kahya, E., 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data. **Hydrological Processes: An International Journal**, **20** (9), 2011-2026.
- Paulo, A. A., Rosa, R. D., & 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.
- Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. **Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)**, **28**(2), 126-135.
- Philip, S., Kew, S.F., van Oldenborgh, G.J., Otto, F., O'Keefe, S., Haustein, K., King, A., Zegeye, A., Eshetu, Z., Hailemariam, K., 2017. Attribution analysis of the Ethiopian drought of 2015. **Journal of Climate** **31**, 2465–2485.
- Polong, F., Chen, H., Sun, S., Ongoma, V., 2019. Temporal and spatial evolution of the standard precipitation evapotranspiration index (SPEI) in the Tana River basin, Kenya. **Theoretical and Applied Climatology**, 1-16
- Qaisrani, Z. N., Nuthammachot, N., 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.
- Qi, P., Zhang, G., Xu, Y. J., Wu, Y., Gao, Z. 2017. Spatiotemporal changes of reference evapotranspiration in the highest-latitude region of China. **Water**, **9**(7), 493.
- Said, A. A., Cetin, M., Yurtal, R. 2019. Drought assessment and monitoring using some drought indicators in the semi-arid Puntland State of Somalia. **Fresenius Environmental Bulletin**, **28**(11A), 8765-8772.
- Salmi T., Maatta A., Anttila P., Ruoho-Airola T., Amnell T., 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann–Kendall test and Sen’s slope

- estimates – the Excel template application Makesens. **Finnish Meteorological Institute**, **31**:1-35.
- Sellinger, C. E., 1996. Computer program for estimating evapotranspiration using the Thornthwaite method. NOAA Technical Memorandum ERL GLERL-101.
- Sen, P. K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American statistical association**, **63** (324), 1379-1389.
- Sharma, A., Dadhwal, V.K., Jeganathan, C., Tolpekin, V., 2009. Drought monitoring using the Standardised Precipitation Index: a case study for the State of Karnataka, India. Geospatial Application Papers: Environment-Forest. 6pp.
- Shiru, M. S., Shahid, S., Alias, N., Chung, E. S., 2018. Trend analysis of droughts during crop growing seasons of Nigeria. **Sustainability**, **10** (3), 871.
- Spinoni, J., Naumann, G., Carrao, H., Barbosa, P., Vogt, J., 2014. World drought frequency, duration, and severity for 1951–2010. **International Journal of Climatology**. **34**, 2792–2804.
- Stocker, T. (Ed.), 2014. Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge university press.
- Şahin, K., Şenol, E., Ögel, C., 2016. Isparta şehrinde trafik kaynaklı gürültü kirliliği. **Journal of International Social Research**, 9(43).
- Tabari, H., Marofi, S., 2011. Changes of pan evaporation in the west of Iran. **Water Resources Management**, **25** (1), 97-111.
- Tabari, H., Marofi, S., Amini, A., Talaee, P. H., Mohammadi, K., 2011. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. **Agricultural and forest meteorology**, **151** (2), 128-136.

- Tang, B., Tong, L., Kang, S., 2013. Effects of spatial station density and interpolation methods on accuracy of reference crop evapotranspiration. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, **29**(13), 60-66.
- Taylan, E. D., Damçayırı, D., 2016. Isparta bölgesi yağış değerlerinin IDW ve Kriging enterpolasyon yöntemleri ile tahmini. **Teknik Dergi**, **27** (3), 7551-7559.
- Thom, H.C.S., 1958. A note on the gamma distribution. **Monthly Weather Review**, **86** (4), 117-122.
- Tirivarombo, S., Osupile, D., Eliasson, P., 2018. Drought monitoring and analysis: Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Standardised Precipitation Index (SPI). **Physics and Chemistry of The Earth Parts A/B/C**, **106**, 1–10.
- Tonkaz, T., Çetin, M., Tülücü, K., 2007. The impact of water resources development projects on water vapor pressure trends in a semi-arid region, Turkey. **Climatic change**, **82**(1), 195-209.
- Topçu, E., Karaçor, F., 2020. Drought analysis of erzurum station by using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index and Aggregated Drought Index. **Politeknik Dergisi**, **24** (2), 565-574.
- Tran, T.V., Tran, D.X., Myint, S.W., Latorre-Carmona, P., Ho, D.D., Tran, P.H., Dao, H.N., 2019. Assessing spatiotemporal drought dynamics and its related environmental issues in the mekong river delta. **Remote Sensing**, **11**, 2742.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H., 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). **Water resources management**, **21**(5), 821-833.
- Tunçay, T., Bayramin, I., Atalay, F., Ünver, İ., 2016. Assessment of Inverse Distance Weighting IDW Interpolation on Spatial Variability of Selected Soil Properties in the Cukurova Plain. **Journal of Agricultural Sciences**, **22** (3), 377-384.

- Türkeş, M., Öztaş, T., Tercan, E., Erpul, G., Karagöz, A., Dengiz, O., Avcıoğlu, B., 2020. Desertification vulnerability and risk assessment for Turkey via an analytical hierarchy process model. **Land Degradation & Development**, **31**(2), 205-214.
- Ülke, A. Özkoca, T., 2018. Sinop, Ordu ve Samsun illerinin sıcaklık verilerinde trend analizi. **Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, **8** (2), 455-463.
- Van der Schrier, G., Jones, P. D., Briffa, K. R., 2011. The sensitivity of the PDSI to the Thornthwaite and Penman-Monteith parameterizations for potential evapotranspiration. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, **116** (D3).
- Vicente-Serrano, S.M., Lopez-Moreno, J.I., 2005. Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin. **Hydrology and Earth System Sciences**, **9**, 523–533.
- Vicente-Serrano, S., Beguería, S., López-Moreno, J.I., 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. **Journal of Climate**, **23**, 1696–1718.
- Vishwakarma, A., Choudhary, M. K., 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.
- Von Neumann, J., 1941. Distribution of the ratio of the mean square successive difference to the variance. **The Annals of Mathematical Statistics**, **12**(4), 367-395.
- Wable, P. S., Jha, M. K., Shekhar, A. 2019. Comparison of drought indices in a semi-arid river basin of India. **Water resources management**, **33**(1), 75-102.
- Wang, W., Zhu, Y., Xu, R., Liu, J., 2015. Drought severity change in China during 1961–2012 indicated by SPI and SPEI. **Natural Hazards**, **75** (3), 2437-2451.

- Wang, X., Zhuo, L., Li, C., Engel, B.A., Sun, S., Wang, Y., 2019. Temporal and spatial evolution trends of drought in northern Shaanxi of China: 1960–2100. **Theoretical and Applied Climatology**, **139**, 965–979.
- World Meteorological Organization, 2018. Guide to climatological practices, second edition.
- Wu, H., Qian, H., 2017. Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall and extreme values in Shaanxi, China, since the 1950s. **International Journal of Climatology**, **37** (5), 2582-2592.
- Wulfmeyer, V., Henning-Müller, I., 2006. The climate station of the University of Hohenheim: analyses of air temperature and precipitation time series since 1878. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, **26**(1), 113-138.
- Yanalak, M., 1997. Sayısal Arazi Modellerinden Hacim Hesaplarında En Uygun Enterpolasyon Yönteminin Araştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 128 s.
- Yang, M., Yan, D., Yu, Y., Yang, Z., 2016. SPEI-based spatiotemporal analysis of drought in Haihe River Basin from 1961 to 2010. **Advances in Meteorology Meteorology**.
- Yaprak S., 2007. Kriging Yönteminin Geoit Yüzeyi Modellemesinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması ve Varolan Yöntemlerle Karşılaştırılması., İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 142 s.
- Yin, Y., Wu, S., Chen, G., Dai, E., 2010a. Attribution analyses of potential evapotranspiration changes in China since the 1960s. **Theoretical and applied climatology**, **101**(1), 19-28.
- Yin, Y., Wu, S., Dai, E. 2010b. Determining factors in potential evapotranspiration changes over China in the period 1971–2008. **Chinese Science Bulletin**, **55**(29), 3329-3337.

- Yue, S., Wang, C. Y., 2002. Regional streamflow trend detection with consideration of both temporal and spatial correlation. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, 22 (8), 933-946.
- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., Cavadias, G., 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. **Hydrological processes**, 16 (9), 1807-1829.
- Yue, S., Hashino, M., 2003. Temperature trends in Japan: 1900–1996. **Theoretical and Applied Climatology**, 75(1), 15-27.
- Yürekli, K., Ünlükara, A., Küçükyumuk, C., 2013. Using SPEI for evaluating of global warming effects on drought. **Soil-Water Journal**, 2(2), 1317-1324.
- Yürekli, K., Ünlükara A., 2013. Küresel ısınmanın kuraklığa etkilerinin değerlendirilmesinde SPI ve SPEI indislerinin karşılaştırılması, pp. 225-233. 3. *Uluslararası Bursa Su Kongresi*, Bursa.
- Zhang, X., Ren, Y., Yin, Z. Y., Lin, Z., Zheng, D., 2009. Spatial and temporal variation patterns of reference evapotranspiration across the Qinghai-Tibetan Plateau during 1971–2004. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 114(D15).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Fatih SEKENDUR
Uyruğu: Türkiye (T.C)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Erciyes Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği	2022
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği	2017
Lisans	Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fak. Su Ürünleri	2014

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2013-Halen	Meteoroloji 7. Bölge Müdürlüğü - Kayseri	Mühendis
2006-2013	Meteoroloji 12. Bölge Müdürlüğü - Erzurum	İstidlalci

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. Sekendur, F., Ünlükara, A., Cemek, B., 2018. Kayseri ili günlük referans evapotranspirasyonun (ET₀) yapay sinir ağlarıyla tahmin edilmesi. **Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi**, 1(1), 25-37.