

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KÜÇÜK MENDERES HAVZASI'NDA**  
**METEOROLOJİK VE HİDROLOJİK KURAKLIK**  
**ARASINDAKİ İLİŞKİNİN BELİRLENMESİ**

**Çağl KERMEN**

**Ekim, 2019**  
**İZMİR**

**KÜÇÜK MENDERES HAVZASI'NDA  
METEOROLOJİK VE HİDROLOJİK KURAKLIK  
ARASINDAKİ İLİŞKİNİN BELİRLENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Hidrolik – Hidroloji ve Su Kaynakları Programı**

**Çağrı KERMEN**

**Ekim, 2019**

**İZMİR**

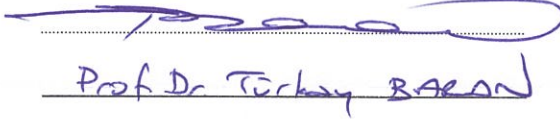
## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ÇAĞIL KERMEN, tarafından DOÇ. DR. GÜLAY ONUŞLUEL GÜL yönetiminde hazırlanan “KÜÇÜK MENDERES HAVZASI'NDA METEOROLOJİK VE HİDROLOJİK KURAKLIK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

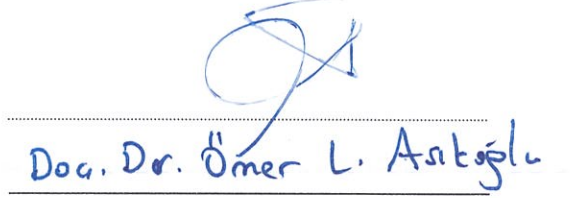


Doç. Dr. Gülay ONUŞLUEL GÜL

Yönetici



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Öncelikle, bu çalışmanın hazırlanması yolculuğunda sahip olduğu bilgi ve tecrübe ile rehberlik ettiği, yolumu aydınlattığı ve motivasyonumu arttırdığı için her daim anlayışlı olan tez danışmanım, Hocam Doç. Dr. Gülay ONUŞLUEL GÜL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu hayatta sahip olduğum en değerli varlıklar olan canımdan çok sevdiğim oğullarım Levent KERMEN ve Emre KERMEN'e bana bu çalışmamda ihtiyacım olan zamanı bulmam için yaptıkları fedakarlıklar ile verdikleri cesaret için çok teşekkür ederim. Çocuklarımın kıymetli babası ve canım eşim Tansel KERMEN'e tezimi tamamlama sürecinde beni sürekli yüreklendirdiği ve yardım etmek için fedakarca çabaladığı için canı gönülden teşekkür ederim.

Beni dünyaya getiren ve fedakarca büyütüp yetiştiren hakkı ödenmez canım annem Hatice KULAKSIZ'a; en iyi eğitimi almam için çok emek veren ve okumaya, öğrenmeye olan bitmek tükenmek bilmez isteğimin tohumlarını atan sevgili babam Mustafa KULAKSIZ'a ve canım kardeşlerim Gökşen ve Erce'ye varlıkları ve destekleri için çok minnetarım.

DSİ'ndeki çalışma arkadaşım çok değerli insan sevgili Ömür Feyzan GÜRER'e su kaynakları planlamasındaki engin tecrübelerini esirgemediği, mesleğe olan sevgimin perçinlenmesini sağladığı ve örnek güçlü kişiliği ile yolumu aydınlattığı için ne kadar teşekkür etsem azdır.

Ayrıca yüksek lisans ve tez çalışmalarım süresince destekleri ve yardımları için hocalarım Prof. Dr. Ertuğrul BENZEDEN, Prof. Dr. Sevinç ÖZKUL ve Doç. Dr. Okan FISTIKOĞLU ile Doktora Öğrencisi Ayşegül KUZUCU'ya, Şube Müdürüm Sayın Özgür ULUSOY'a ve beni tez çalışmalarım boyunca yüreklendiren çalışma arkadaşım İnş. Yük. Müh. Yavuz ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Çağıl KERMEN

# KÜÇÜK MENDERES HAVZASI'NDA METEOROLOJİK VE HİDROLOJİK KURAKLIK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN BELİRLENMESİ

## ÖZ

Bu çalışmada Ege Bölgesi'nde yer alan Küçük Menderes Havzası için yağış, sıcaklık ve akış verileri kullanılarak meteorolojik ve hidrolojik kuraklık analizi yapılmıştır. Meteorolojik analiz için Küçük Menderes Havzası ve komşu havzalarda bulunan on bir adet meteoroloji gözlem istasyonunun aylık toplam yağış miktarı ve aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır. Seçilen meteorolojik gözlem istasyonlarındaki eksik veriler regresyon ile tamamlanmıştır. Hidrolojik kuraklık analizi için ise havzanın tamamını temsil edecek şekilde seçilen sekiz akım gözlem istasyonunun (AGİ) aylık toplam akım verileri kullanılmıştır. Meteorolojik kuraklık analizi için Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI), Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI), Kuraklık Keşif İndisi (DRI) ve hidrolojik kuraklık analizi için ise Akım Kuraklık İndisi (SDI), Standartlaştırılmış Akım İndisi (SSFI) ve Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI) hesaplanmış ve zamana bağlı değişim grafikleri oluşturulmuştur. Her bir indis için kurak tarihler ve özellikleri tespit edilmiştir. Son olarak ortaya konan tüm veriler hidrolojik ve meteorolojik kuraklık arasındaki ilişkiyi tespit edebilmek için birbirleri ile kıyaslanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Küçük Menderes Havzası, hidrolojik kuraklık, meteorolojik kuraklık, Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI), Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI), Kuraklık Keşif İndisi (DRI), Akım Kuraklık İndisi (SDI), Standartlaştırılmış Akım İndisi (SSFI), Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI)

**DETERMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN  
METEOROLOGICAL AND HYDROLOGICAL DROUGHT IN KÜÇÜK  
MENDERES BASIN**

**ABSTRACT**

In this study, meteorological and hydrological drought analysis for Küçük Menderes Basin in Aegean Region, has carried out by using precipitation, temperature and streamflow data. The monthly cumulative precipitation (mm) and the monthly mean temperature data of the chosen 11 meteorological stations in and near the Küçük Menderes Basin have been used for the meteorological analysis. Missing data of the selected meteorological stations have been completed via regression analysis. The monthly cumulative streamflow (hm<sup>3</sup>) data of the 8 streamflow stations which have been chosen in such a way as to represent the whole basin, were used for the hydrological analysis. Standardized Precipitation Index (SPI), Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), Drought Reconnaissance Index (DRI) have been calculated for the meteorological analysis; Streamflow Drought Index (SDI), Standardized Streamflow Index (SSFI) and Self Calibrated Palmer Hydrological Drought Index (scPHDI) have been calculated for the hydrological analysis and the time series of the calculated indeces have been shown in charts. The drought dates and the properties of those drought dates for each index have been determined. Finally the relationship between hydrological and meteorological indices has been presented by comparing all above determined results with each other.

**Keywords:** Küçük Menderes Basin, hydrological drought, meteorological drought, Standardized Precipitation Index (SPI), Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), Drought Reconnaissance Index (DRI), Streamflow Drought Index (SDI), Standardized Streamflow Index (SSFI), Self Calibrated Palmer Hydrological Drought Index (scPHDI)

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xv
<b>BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>BÖLÜM İKİ - KURAKLIĞIN TANIMI, ETKİLERİ VE KURAKLIK İNDİSLERİ.....</b>	<b>7</b>
2.1 Kuraklığın Tanımı .....	7
2.2 Kuraklığın Türleri.....	9
2.3 Kuraklığın Etkileri.....	12
2.4 Kuraklık İndisleri .....	13
<b>BÖLÜM ÜÇ - DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>16</b>
3.1 Kuraklık Analizleri Ve İndisleri İle İlgili Yapılan Akademik Çalışmalar .....	16
3.2 Kuraklık Analizleri Ve İndisleri İle İlgili Yapılan Kurumsal Çalışmalar .....	22
<b>BÖLÜM DÖRT - ÇALIŞMA ALANI.....</b>	<b>29</b>
4.1 Çalışma Alanının Konumu .....	29

4.2 Coğrafi Durum .....	31
4.3 Jeolojik Durum .....	33
4.4 Tarım ve Hayvancılık .....	34
<b>BÖLÜM BEŞ - VERİLER VE ÇALIŞMA YÖNTEMİ.....</b>	<b>35</b>
5.1 Meteorolojik Kuraklık Analizi Çalışmaları.....	37
5.1.1 Sıcaklık ve Yağış Verilerinin Temini .....	38
5.1.2 Eksik Sıcaklık ve Yağış Verilerinin Tamamlanması.....	40
5.1.3 Sıcaklık ve Yağış Verilerinin Analizi.....	41
5.1.3.1 Buishand Testi .....	42
5.1.3.2 Mann-Kendall Trend Analizi .....	43
5.1.3.3 Alexandersson Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT) .....	44
5.1.3.4 Pettitt Testi .....	45
5.1.3.5 Von Neumann Oran Testi .....	45
5.1.4 Meteorolojik Kuraklık İndislerinin Hesaplanması .....	46
5.1.4.1 Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) .....	47
5.1.4.2 Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) .....	50
5.1.4.3 Kuraklık Keşif İndisi (DRI) .....	54
5.2 Hidrolojik Kuraklık Analizi .....	58
5.2.1 Akım Verilerinin Temini .....	59
5.2.2 Akım Verilerinin Homojenlik ve Dağılım Analizi.....	61
5.2.3 Hidrolojik Kuraklık İndislerinin Hesaplanması.....	62
5.2.3.1 Standartlaştırılmış Akış İndisi (SSFI) .....	62
5.2.3.2 Akım Kuraklık İndisi (SDI) .....	64



5.2.3.3 Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI) .....	65
--	----

## **BÖLÜM ALTI - BULGULAR VE DEĞERLENDİRME ..... 68**

6.1 Meteorolojik Kuraklık Analizi Çalışmaları.....	68
6.1.1 Sıcaklık Verilerinin Değerlendirilmesi.....	68
6.1.2 Yağış Verilerinin Değerlendirilmesi.....	70
6.1.3 Meteorolojik Kuraklık İndislerinin Hesaplanması .....	73
6.1.3.1 Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) .....	74
6.1.3.2 Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) .....	76
6.1.3.3 Kuraklık Keşif İndisi (DRI) .....	78
6.1.4 Meteorolojik Kuraklık İndislerinin Analizi ve Değerlendirilmesi .....	80
6.2 Hidrolojik Kuraklık Analizi .....	103
6.2.1 Akım Verilerinin Homojenlik ve Uygun Dağılım Analizi .....	103
6.2.2 Akım Verilerinin Değerlendirilmesi.....	106
6.2.3 Hidrolojik Kuraklık İndislerinin Hesaplanması.....	108
6.2.3.1 Standartlaştırılmış Akım İndisi (SSFI) .....	109
6.2.3.2 Akım Kuraklık İndisi (SDI).....	112
6.2.3.3 Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI) .....	115
6.2.4 Hidrolojik Kuraklık İndislerinin Analizi ve Değerlendirilmesi.....	116
6.3 Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Arasındaki İlişki.....	135
6.3.1 Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık İndislerinin Kıyaslanması.....	135
6.3.2 Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi	138

**BÖLÜM YEDİ - SONUÇ VE DEĞERLENDİRME..... 145**

7.1 Sonuçlar ..... 145

7.2 Öneriler..... 149

**KAYNAKLAR ..... 152**

**EKLER..... 160**

EK 1: Kısaltmalar ..... 160

EK 2: Meteorolojik Verilerin Zamana Bağlı Değişim Grafikleri ..... 161

Ek 2.A: Seçilen MGI'lerde Gözlemlenmiş Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)  
Verilerinin Zamana Bağlı Değişim Grafikleri..... 161

Ek 2.B: Seçilen MGI'lerde Gözlemlenmiş Aylık Toplam Yağış Miktarı (mm) ile  
Eklenik Yağış Sapma Miktarının (mm) Zamana Bağlı Değişim  
Grafikleri ..... 165

EK 3: Meteorolojik Kuraklık İndislerinin Zamana Bağlı Değişim Grafikleri .... 169

Ek 3.A: SPI Zaman Serileri (1-3-6-9-12-24 aylık)..... 169

Ek 3.B: SPEI Zaman Serileri (1-3-6-9-12-24 aylık)..... 178

Ek 3.C: DRI Zaman Serileri (1-3-6-9-12 aylık) ..... 187

EK 4: Meteorolojik Kuraklık İndislerinin Değerlendirilme ve Karşılaştırma  
Grafikleri ..... 196

Ek 4.A: 12 aylık SPI, SPEI ve DRI indislerinin zamana bağlı değişim  
grafiklerinin karşılaştırılması (1972-2016)..... 196

Ek 4.B: Seçilen MGI'lerde hesaplanan SPEI ve DRI değerleri için tespit edilen  
kurak tarihler ve özellikleri tablosu..... 200

EK 4.C: Kuraklık sınıflandırmasına göre renklendirilmiş kurak tarih tabloları (SPEI –DRI) .....	202
EK 5: Hidrolojik Verilerin ve Hidrolojik Kuraklık İndislerinin Zamana Bağlı Değişim Grafikleri.....	208
Ek 5.A: Seçilen AGİ’lerde Gözlemlenmiş Aylık Ortalama Akımların (hm <sup>3</sup> ) Verilerinin Zamana Bağlı Değişim Grafikleri.....	208
Ek 5.B: SSFI Zaman Serileri (1-3-6-9-12-24 aylık).....	211
Ek 5.C: SDI Zaman Serileri (1-3-6-9-12 aylık).....	217
Ek 5.D: scPHDI Zaman Serileri.....	223
EK 6: Hidrolojik Kuraklık İndislerinin Değerlendirilme ve Karşılaştırma Grafikleri .....	226
EK 7: Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Arasındaki İlişki .....	230

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1	Aydeniz'e göre Türkiye iklimi ..... 1
Şekil 2.2	Kuraklık türleri ve aralarındaki ilişki diyagramı ..... 8
Şekil 3.1	Havza bazında hazırlanan kuraklık yönetim planlarının tamamlanma durumları ..... 22
Şekil 3.2	Havza bazında kuraklık izlemesi için SYGM tarafından oluşturulan web programı (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü ..... 23
Şekil 3.3	MGM Kuraklık İzleme Sistemi (KİS)'nden alınan Ege Bölgesi 3 aylık (Kasım-Ocak) SPI Kuraklık Analizi ..... 24
Şekil 3.4	MGM tarafından, 2019 yılı Şubat ayı için 3 aylık SPI değerleri kullanılarak hazırlanmış kuraklık haritası ..... 25
Şekil 3.5	NDMC kuraklık izleme sisteminde 04.04.2019 tarihi için oluşturulan ABD kuraklık durum haritası ..... 26
Şekil 3.6	NDMC kuraklık izleme sisteminde 04.04.2019 tarihi için oluşturulan ABD kuraklık durum raporu ..... 27
Şekil 3.7	DMCSEE tarafından 1992 yılı Nisan ayı için 12 aylık SPI yöntemi ile yapılan kuraklık analizi sonucunda oluşan kuraklık haritası ..... 28
Şekil 4.1	Küçük Menderes Havzası'nın Türkiye'deki konumu ..... 30
Şekil 4.2	Küçük Menderes Havzası il ve ilçe dağılımı haritası ..... 30
Şekil 4.3	Küçük Menderes Havzası alt havzaları ..... 31
Şekil 4.4	Küçük Menderes Havzası fiziki haritası ..... 32
Şekil 4.5	Küçük Menderes Havzası akarsuları ve drenaj alanları ..... 33
Şekil 5.1	Kuraklık analizinde izlenen adımlar (a) meteorolojik kuraklık analizi (b) hidrolojik kuraklık analizi (c) meteorolojik ve hidrolojik kuraklık analiz sonuçlarının kıyaslanması ..... 35
Şekil 5.2	Çalışma kapsamında seçilen meteoroloji gözlem istasyonları ..... 39
Şekil 5.3	R Studio yazılımına SPI ve SPEI paketleri ve girdilerin yüklenmesi ..... 50
Şekil 5.4	R Studio yazılımı ile 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık SPI değerlerinin hesaplanması ..... 50
Şekil 5.5	DrinC programı ana sayfası görünümü ..... 56
Şekil 5.6	DrinC programı ile DRI hesaplamasının veri girişi ..... 57

Şekil 5.7	DrinC programı ile DRI hesaplamasının PET hesabı .....	57
Şekil 5.8	DrinC programı ile DRI hesaplaması.....	57
Şekil 5.9	Çalışma kapsamında seçilen akım gözlem istasyonları .....	59
Şekil 6.1	İzmir MGİ aylık ortalama sıcaklık (°C) verilerinin zamana bağlı değişimi (1972-2016).....	69
Şekil 6.2	Ödemiş MGİ aylık ortalama sıcaklık (°C) verilerinin zamana bağlı değişimi (1972-2016).....	70
Şekil 6.3	İzmir MGİ aylık toplam yağış miktarı (mm) ve eklenik sapma miktarının (mm) zamana bağlı değişimi (1972-2016).....	71
Şekil 6.4	Ödemiş MGİ aylık toplam yağış miktarı (mm) ve eklenik sapma miktarının (mm) zamana bağlı değişimi (1972-2016).....	72
Şekil 6.5	İzmir MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPI değerleri zaman dizileri.....	75
Şekil 6.6	Ödemiş MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPI değerleri zaman dizileri .....	76
Şekil 6.7	İzmir MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPEI değerleri zaman dizileri.....	77
Şekil 6.8	Ödemiş MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPEI değerleri zaman dizileri.....	78
Şekil 6.9	İzmir MGİ 1-3-6-9-12 aylık DRI değerleri zaman dizileri .....	79
Şekil 6.10	Ödemiş MGİ 1-3-6-9-12 aylık DRI değerleri zaman dizileri .....	80
Şekil 6.11	İzmir Meteoroloji Gözlem İstasyonu eklenik yağış sapma zaman dizisi ile 24-aylık SPI değerleri zaman dizisi kıyaslama grafikleri .....	82
Şekil 6.12	Ödemiş Meteoroloji Gözlem İstasyonu eklenik yağış sapma ile 24-aylık SPI değerleri zaman dizisi kıyaslama grafikleri.....	83
Şekil 6.13	İzmir MGİ için 12 aylık SPI, SPEI ve DRI indislerinin zamana bağlı değişim grafiklerinin karşılaştırılması (1972-2016).....	84
Şekil 6.14	Ödemiş MGİ için 12 aylık SPI, SPEI ve DRI indislerinin zamana bağlı değişim grafiklerinin karşılaştırılması (1972-2016).....	85
Şekil 6.15	11 MGİ için 24 aylık SPI ve SPEI indislerine ait zamana bağlı değişim grafiklerinin karşılaştırılması (1972-2016) .....	86
Şekil 6.16	İzmir MGİ 12 ve 24 aylık zamana bağlı değişim grafikleri (a) SPI (b) SPEI (c) DRI .....	88
Şekil 6.17	Ödemiş MGİ 12 ve 24 aylık indis değerleri zamana bağlı değişim grafikleri (a) SPI (b) SPEI (c) DRI .....	89

Şekil 6.18	SPI indisinin 1972-2016 yılları arasındaki orta, şiddetli ve aşırı kurak ayların yüzde grafiği (a) 3-aylık (b) 6 aylık (c) 12-aylık (d) 24-aylık ....	94
Şekil 6.19	SPEI indisinin 1972-2016 yılları arasındaki orta, şiddetli ve aşırı kurak ayların yüzde grafiği (a) 3-aylık (b) 6 aylık (c) 12-aylık (d) 24-aylık ....	95
Şekil 6.20	DRI indisinin 1972-2016 yılları arasındaki orta, şiddetli ve aşırı kurak ayların yüzde grafiği (a) 3-aylık (b) 6 aylık (c) 12-aylık .....	95
Şekil 6.21	11 MGİ için hesaplanan 3-aylık SPI, SPEI ve DRI değerlerinin yüzdeliklerine ait histogram (a) şiddetli kuraklık (b) aşırı kuraklık.....	97
Şekil 6.22	11 MGİ için hesaplanan 12-aylık SPI, SPEI ve DRI değerlerinin yüzdeliklerine ait histogram (a) şiddetli kuraklık (b) aşırı kuraklık.....	98
Şekil 6.23	D06A009 nolu AGİ verilerinin R Studio programındaki homojenlik testi sonuçları .....	104
Şekil 6.24	E06A001 nolu AGİ verilerinin EasyFit Professional yazılımı ile uygun dağılım analizi sonucu.....	105
Şekil 6.25	D06A011 Rahmanlar Çayı -Bebekler AGİ Akımları (hm <sup>3</sup> ) zamana bağlı değişimi (1990-2014) .....	107
Şekil 6.26	D06A020 Çamlı Dere-Çamlı AGİ Akımları (hm <sup>3</sup> ) zamana bağlı değişimi (1991-2004).....	107
Şekil 6.27	Çamlık AGİ (D06A020) 6-9-12-24 aylık SSFI değerleri zaman dizileri .....	110
Şekil 6.28	Bebekler AGİ (DO6A011) 1-3-6-9-12-24 aylık SSFI değerleri zaman dizileri .....	111
Şekil 6.29	D06A011 AGİ 1-3-6-9-12 aylık SDI değerleri zaman dizileri .....	113
Şekil 6.30	D06A020 AGİ 1-3-6-9-12 aylık SDI değerleri zaman dizileri .....	114
Şekil 6.31	İzmir MGİ scPHDI değerlerinin zamana bağlı değişimi (1972-2016) .	115
Şekil 6.32	Ödemiş MGİ scPHDI değerlerinin zamana bağlı değişimi (1972-2016) .....	115
Şekil 6.33	D06A011 AGİ için SDI ve SSFI indislerinin 3-6-12 aylık zamana bağlı değişim grafiklerinin karşılaştırılması (1990-2014).....	118
Şekil 6.34	E06A001 AGİ içinSDI ve SSFI indislerinin 3-6-12 aylık zamana bağlı değişim grafiklerinin karşılaştırılması (1960-1985).....	119
Şekil 6.35	Seçilen AGİ ve MGİ konumları .....	120

Şekil 6.36	12 aylık SSFI ve scPHDI zaman dizileri mukayese grafiği.....	121
Şekil 6.37	D06A020 AGİ 12 ve 24 aylık SSFI (1991-2004) ile İzmir MGİ scPHDI (1972-2016) değerlerinin zamana bağlı değişim grafikleri.....	123
Şekil 6.38	D06A011 AGİ 12 ve 24 aylık SSFI (1991-2014) ve Ödemiş MGİ scPHDI (1972-2016) değerlerinin zamana bağlı değişim grafikleri.....	124
Şekil 6.39	SSFI indisinin orta, şiddetli ve aşırı kurak ayların yüzde grafiği (a) 3-aylık (b) 6 aylık (c) 12-aylık (d) 24-aylık .....	130
Şekil 6.40	scPHDI indisinin orta, şiddetli ve aşırı kurak ayların yüzde grafiği .....	131
Şekil 6.41	İzmir, Çeşme, Seferihisar, Ödemiş ve Selçuk için 12 aylık SSFI ve 12 aylık SPI zaman dizileri mukayese grafiği.....	136
Şekil 6.42	İzmir, Çeşme, Seferihisar, Ödemiş ve Selçuk için 12 aylık scPHDI ve 12 aylık SPI zaman dizileri mukayese grafiği.....	137
Şekil 6.43	Orta kurak olma durumu için seçilen tüm indisler için hesaplanan değerlerin kuraklık yüzdeleri (a) 3-aylık (b) 12-aylık.....	141
Şekil 6.44	Şiddetli kurak olma durumu için seçilen tüm indisler için hesaplanan değerlerin kuraklık yüzdeleri (a) 3-aylık (b) 12-aylık.....	142
Şekil 6.45	Aşırı kurak olma durumu için seçilen tüm indisler için hesaplanan değerlerin kuraklık yüzdeleri (a) 3-aylık (b) 12-aylık.....	142
Şekil 6.46	Toplam kuraklık durumu için seçilen tüm indisler için hesaplanan değerlerin kuraklık yüzdeleri (a) 3-aylık (b) 12-aylık.....	143

## TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Yaygın olarak kullanılan meteorolojik ve hidrolojik kuraklık indisler ve özellikleri.....	14
Tablo 2.2 Çalışmada kullanılan kuraklık indisleri.....	15
Tablo 5.1 Çalışmada kullanılan indisler ve özellikleri .....	36
Tablo 5.2 Çalışmada kullanılan yazılımlar ve kullanıldığı alanlar.....	37
Tablo 5.3 Meteoroloji gözlem istasyonlarının özellikleri .....	39
Tablo 5.4 MGİ eksik yağış ve sıcaklık verilerinin regresyon analizi ile tamamlama çalışmaları .....	41
Tablo 5.5 Buishand testi %1 ve %5 anlamlılık düzeyi için kritik $R/\sqrt{n}$ değerleri tablosu .....	43
Tablo 5.6 Von Neumann Testi %1 ve %5 anlamlılık düzeyi N kritik değerleri .....	46
Tablo 5.7 SPI metoduna göre indis değerleri ve sınıflandırması .....	49
Tablo 5.8 SPEI metoduna göre indis değerleri ve sınıflandırması .....	54
Tablo 5.9 DRI metoduna göre indis değerleri ve sınıflandırma .....	55
Tablo 5.10 Küçük Menderes Havzası AGİ gözlem süreleri.....	58
Tablo 5.11 Seçilen akım gözlem istasyonlarının (AGİ) özellikleri.....	60
Tablo 5.12 SSFI metoduna göre indis değerleri ve sınıflandırma.....	63
Tablo 5.13 SDI metoduna göre indis değerleri ve sınıflandırma .....	65
Tablo 5.14 PSDI metoduna göre indis değerleri ve sınıflandırma .....	66
Tablo 5.15 PSDI metoduna göre indis değerleri ve sınıflandırmasının düzenlenmiş hali.....	67
Tablo 6.1 Küçük Menderes Havzası havza içi seçilen meteoroloji gözlem istasyonları aylık ve yıllık bazda ortalama, en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri (°C).....	69
Tablo 6.2 Küçük Menderes Havzası meteoroloji gözlem istasyonları aylık toplam yağış ile yıllık toplam yağışın seçilen dönem (1972-2016) için ortalama yağış değerleri (mm) .....	71
Tablo 6.3 Manisa MGİ eklenik yağış sapma eğrisi veri tablosu .....	72
Tablo 6.4 Seçilen MGİ'lerde hesaplanan SPI değerleri için tespit edilen kurak tarihler ve özellikleri tablosu (İzmir, Çeşme, Ödemiş MGİ) .....	91



Tablo 6.5	Seçilen MGİ'lerde hesaplanan SPI değerleri için tespit edilen kurak tarihler ve özellikleri tablosu (Selçuk ve Seferihisar MGİ) .....	92
Tablo 6.6	Seçilen MGİ'lerde tespit edilen kurak tarihlerin özellikleri.....	92
Tablo 6.7	Seçilen MGİ'lerde hesaplanan indisler için ortak kurak tarihler .....	93
Tablo 6.8	Seçilen meteoroloji gözlem istasyonları (MGİ) için hesaplanan standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (1988-1994).....	100
Tablo 6.9	Seçilen meteoroloji gözlem istasyonları (MGİ) için hesaplanan standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (1999-2009).....	101
Tablo 6.10	Seçilen meteoroloji gözlem istasyonları (MGİ) için hesaplanan standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (2010-2016).....	102
Tablo 6.11	Aylık ortalama akım verilerinin trend ve homojenlik analizi sonuçları	104
Tablo 6.12	İstasyon bazında gözlem süreleri boyunca hesaplanan aylık ortalama akım miktarları(hm3) .....	108
Tablo 6.13	Seçilen MGİ'lere karşılık gelen AGİ'ler.....	120
Tablo 6.14	Seçilen AGİ'lerde hesaplanan SSFI değerleri için tespit edilen kurak tarihler ve özellikleri tablosu.....	126
Tablo 6.15	Seçilen MGİ'lerde hesaplanan scPHDI değerleri için tespit edilen kurak tarihler ve özellikleri tablosu.....	127
Tablo 6.16	SSFI için tespit edilen kurak tarihlerin özellikleri .....	128
Tablo 6.17	scPHDI için tespit edilen kurak tarihlerin özellikleri.....	128
Tablo 6.18	Hesaplanan hidrolojik kuraklık indisler için ortak kurak tarihler .....	129
Tablo 6.19	11 Meteoroloji gözlem istasyonu (MGİ) için hesaplanan Kendini Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (1985-1995).....	132
Tablo 6.20	11 Meteoroloji gözlem istasyonu (MGİ) için hesaplanan Kendini Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (1999-2003).....	133

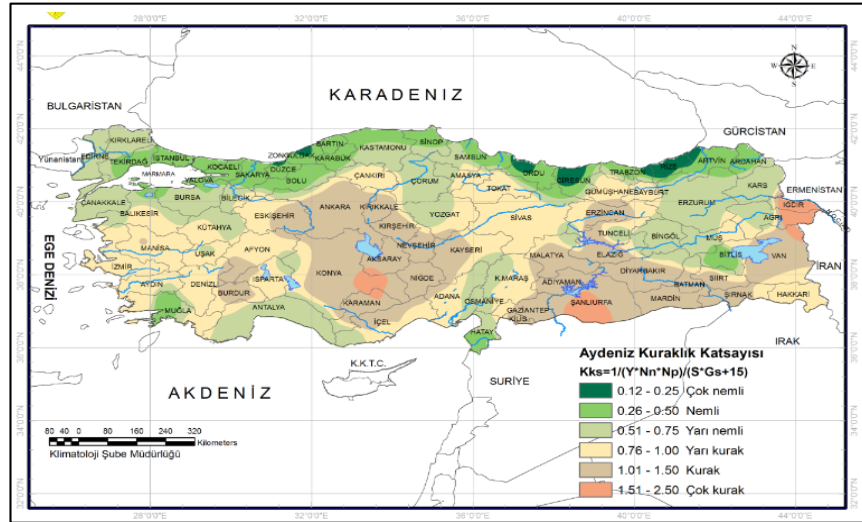
Tablo 6.21	11 Meteoroloji gözlem istasyonu (MGİ) için hesaplanan Kendini Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (2004-2010).....	133
Tablo 6.22	11 Meteoroloji gözlem istasyonu (MGİ) için Kendini Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (2011-2016) .....	134
Tablo 6.23	Meteorolojik kuraklık indisleri için tespit edilen ortak kurak tarihlerin hidrolojik indisler için tespit edilen ortak kurak tarihler ile kıyaslama tablosu .....	139
Tablo 6.24	Seçilen istasyonlar için tespit edilen kurak tarihlerin özellikleri .....	140
Tablo 6.25	Meteorolojik ve hidrolojik kuark tarihler ile havzada yaşanmış kurak tarihler tablosu.....	144

## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

Kuraklık, küresel ısınma nedeni ile dünya çapında görülme sıklığı ve şiddeti her geçen gün artan doğal bir afettir. Bunun sonucu olarak kuraklık doğal dengede ciddi bozulmalar ile beraber ekonomik, sosyal ve çevresel etkilere yol açmaktadır. Ayrıca dünya nüfusunun hızla artması ve yaşanan kıtlıklar, kuraklık çalışmalarını bilimsel bir olgunun ötesine taşımakta ve yaşamsal bir sorun olarak karşımıza çıkarmaktadır. 2018’de düzenlenen Birleşmiş Milletler Dünya Bankası Üst Düzey Su Panel (HLPW)’i sonuç raporu, 2050 yılı itibari ile dünya nüfusunun yarısının su kıtlığı sonucu oluşacak stresten etkileneceğini ve 2030 yılı itibari ile de 700 milyon insanın su kıtlığı nedeni ile yer değiştireceğini öngörmektedir (UN, 2018).

Ülkemizde ise yarı-kurak ve kuru/yarı-nemli arazilerden oluşan çölleşme eğilimdeki topraklar, ülke topraklarının % 35’ini oluştururken bu oran yarı nemli iklim şartlarının hâkim olduğu toprakların da eklenmesi ile yaklaşık olarak %60'a ulaşmaktadır (Türkeş, 2012). Meteoroloji Genel Müdürlüğü Klimatoloji Şube Müdürlüğü tarafından yapılan “Aydeniz İklim Sınıflandırmasına göre Türkiye İklimi” çalışmasında Aydeniz Yöntemi ile kuraklıklar araştırılarak Türkiye’nin iklim haritası hazırlanmıştır (Şekil 1.1). Ülkemiz topraklarının neredeyse tamamına yakının kuraklık olgusundan etkilenebileceği bu haritada görülmektedir.



Şekil 1.1 Aydeniz’e göre Türkiye iklimi (Bölük, 2016)

Ne yazık ki kuraklığın yayılma, ilerleme ve etkileme hızı diğer doğal afetlere göre oldukça düşük olduğundan bu doğal afet için evrensel çalışmalar ve girişimler ancak son yıllarda yapılmaya başlanmıştır. Hali hazırda ülkemizde konu ile ilgili olarak yapılan çalışmaların da ulusal düzeyde ele alınması da ancak son yıllardaki girişimlerin ve uluslararası işbirliklerinin sonucunda olmuştur. Bu nedenle ulusal düzeyde stratejik ve planlı olarak kuraklığın yönetilmesi ve bu anlamda alt yapı sağlayacak çalışmaların hızlanması ve artırılması önem arz etmektedir.

Kuraklık riskinin hızla arttığı bu süreçte risklerin etkin yönetimi ve sürece adaptasyon için her sektör için ayrı ayrı stratejiler geliştirilmelidir. Bu anlamda kuraklığın doğru ve etkili yönetimi için kuraklığın şiddetini, dağılımını ve büyüklüğünü kuraklık öncesi çalışmalarla tespit etmek önemlidir. Böylece kuraklığı sürekli olarak izlemek ve projeksiyon çalışmaları ile geleceğe dönük modellemeler yapmak mümkün olmaktadır. Kuraklık davranışının mekânsal ve zamansal araştırmaları, kuraklık indeksleri olarak isimlendirilen dolaylı tahmin metotları yoluyla yapılabilmektedir. Bugüne kadar uluslararası alanda birçok araştırmacı tarafından çok sayıda kuraklık indisi ortaya konmuş ve farklı kuraklık indisleri kullanılarak kuraklığın belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır. Dünya Meteoroloji Organizasyonu (WMO) tüm indisleri “Handbook of Drought Indicators and Indices (Kuraklık İndikatör ve İndisleri El Kitabı)”nda (WMO, 2016) listelemiştir.

“Küçük Menderes Havzası’nda Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık İndislerinin Belirlenmesi” konusu kapsamında Ege Bölgesi’nin verimli tarımsal alanlarını içeren ve son yıllarda kuraklığa ilişkin ibarelerin ciddi anlamda arttığı Küçük Menderes Havzası’nda kuraklık analizi için hidrolojik ve meteorolojik indislerin ve hesaplama yöntemlerinin belirlenmesi çalışması ile hesaplanan indisler üzerinden hidrolojik ve meteorolojik kuraklık arasındaki ilişkilerin belirlenmesi çalışması yapılmıştır. Yedi ana bölümden oluşan çalışmanın başlıkları aşağıda verilmiştir:

1. Giriş
2. Kuraklığın Tanımı, Etkileri ve Kuraklık İndisleri
3. Daha Önce Yapılan Çalışmalar

4. Çalışma Alanı
5. Veriler ve Çalışma Yöntemi
6. Bulgu ve Değerlendirme
7. Sonuç ve Öneriler

Tez kapsamında yapılan çalışmalar meteorolojik ve hidrolojik indislerin hesaplanması olmak üzere iki etapta yapılmış olup son etapta ise hesaplanan indisler ile kuraklık analizi yapılarak hidrolojik ve meteorolojik kuraklık arasındaki ilişki ortaya konmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar aşağıda sıralanmıştır:

#### Meteorolojik Kuraklık İndislerinin Hesaplanması

- Küçük Menderes Havzası'nda ve komşu havzalarda yer alan meteoroloji gözlem istasyonları havzanın genelini temsil edecek şekilde belirlenmiş ve söz konusu meteoroloji gözlem istasyonlarına ait aylık toplam yağış (mm) ve aylık ortalama sıcaklık (°C) verileri temin edilmiştir.
- Çalışmada kullanılan tüm MGİ'ler için aylık toplam yağış miktarlarının ve aylık ortalama sıcaklık kayıt süreleri kontrol edilerek ortak dönem, 1972-2016 yılları arası olarak belirlenmiştir.
- Ortak dönem içerisindeki eksik yağış ve sıcaklık verileri regresyon analizi ile doğrusal denklemleri elde edilerek tamamlanmıştır.
- Yağış ve sıcaklık verileri için homojenlik ve trend analizi çalışmaları bu çalışma kapsamında yapılmamıştır. Benzer ortak dönemi ve aynı MGİ verilerini kullanan bir başka çalışmanın sonuçlarından faydalanılmıştır
- Çalışmada kullanılan her bir istasyonun 1972-2016 dönemi için aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık miktarlarının zamana bağlı değişim grafikleri çizilerek artma ve azalma eğilimleri değerlendirilmiştir. Ayrıca aylık toplam yağıştan sapma değerlerini kümülatif olarak gösteren eklenik sapma yağış eğrisi çizilmiştir.

- Çalışmada kullanılan tüm MGİ'lerde 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık dönemler için Standartlaştırılmış Yağış İndeksleri (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksleri (SPEI) ile 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler için ise Kuraklık Keşif İndeksleri (DRI) hesaplanmıştır.
- Hesaplanan tüm SPI, SPEI ve DRI değerleri için zamana bağlı değişim grafikleri çizilmiş ve meteorolojik kuraklık olasılıkları (%) hesaplanmıştır.
- Seçilen tüm meteoroloji gözlem istasyonları (MGİ) için hesaplanan 12-aylık SPI, SPEI ve DRI değerleri üzerinden geçmiş kurak dönemler tespit edilmiştir. Tespit edilen kurak dönemler ile tarihi kuraklıklar kıyaslanarak her bir indisin havza bazında performansı ortaya konmuştur.
- Kuraklık histogramlarının oluşturulması ve birbiri ile kıyaslanması.
- Tüm MGİ ve zaman ölçekleri için hesaplanan meteorolojik indis değerleri göz önüne alınarak renklendirilmiş indis tablolarının oluşturulması ve ortak kurak tarihlerin belirlenmesi.

#### Hidrolojik Kuraklık İndislerinin Hesaplanması

- Küçük Menderes Havzası'nda yer alan akım gözlem istasyonlarının aylık toplam akım verileri DSİ 2. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Bu verilerden en uzun ve kesintisiz veriye sahip olan gözlem istasyonlardan havzanın genelini temsil edecek şekilde 8 adet akım gözlem istasyonu belirlenmiştir.
- Çalışmada kullanılan tüm AGİ'lerde yer alan aylık toplam akım (hm<sup>3</sup>) verilerinin müdahalesiz veri olması için memba projeleri tespit edilerek işletmeye alınma tarihlerine göre veriler kontrol edilmiştir.

- Seçilen AGİ'lere ait akım verileri için homojenlik ve trend analizi yapılarak trend olup olmadığı ve homojenlik durumları ortaya konmuştur. Buna göre akım verilerinde yeniden düzenleme yapılmıştır.
- Çalışmada kullanılan her bir AGİ için aylık toplam akım miktarlarının zamana bağlı değişim grafikleri çizilerek artma ve azalma eğilimleri değerlendirilmiştir.
- Hidrolojik kuraklık indislerinin hesabından önce kullanılacak olan akım verilerinin dağılım analizi yapılarak her bir istasyona ait akım verisi için uygun dağılım tespiti yapılmıştır.
- Çalışmada kullanılan tüm akım gözlem istasyonlarında 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler için Akım Kuraklık İndisi (SDI); 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık dönemler için Standartlaştırılmış Akım İndisi (SSFI) ve 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık dönemler için Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI) hesaplanmıştır.
- Hesaplanan tüm hidrolojik kuraklık indis (SDI, SSFI ve scPHDI) değerleri için zamana bağlı değişim grafikleri çizilmiş ve hidrolojik kuraklık olasılıkları (%) hesaplanmıştır.
- Seçilen tüm akım gözlem istasyonları (AGİ) için hesaplanan 12-aylık SDI, SSFI ve scPHDI değerleri üzerinden geçmiş kurak dönemler tespit edilmiştir. Tespit edilen kurak dönemler ile tarihi kuraklıklar kıyaslanarak her bir indisin performansı ortaya konulmuştur.
- Kuraklık histogramlarının oluşturulması ve birbiri ile kıyaslanması.
- Tüm AGİ ve zaman ölçekleri için hesaplanan hidrolojik kuraklık indis değerleri göz önüne alınarak renklendirilmiş indis tablolarının oluşturulması ve ortak kurak tarihlerin belirlenmesi.

## Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklıkların Analiz Edilmesi

- Meteorolojik ve hidrolojik kuraklık arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla 5 adet AGİ ve bu AGİ'lere en yakın konumda bulunan 5 adet MGİ tespit edilmiş ve tespit edilen bu AGİ ve MGİ'ler için hesaplanan tüm indisler (SDI hariç) için zamana bağlı değişim grafikleri üzerinden birbirleri ile çapraz kıyaslama yapılmıştır. Bu kapsamda meteorolojik indisler (SPI, SPEI, DRI) ile hidrolojik kuraklık indislerin (SSFI, scPHDI) zaman serileri kıyaslanmıştır. Her bir istasyon için 5 adet olmak üzere toplamda 30 adet kıyaslama grafiği oluşturulmuştur.
- Meteorolojik kuraklık indisleri ve hidrolojik kuraklık indisleri ile tespit edilen kurak tarihlerin birbiri ile kıyaslanması yapılarak aralarındaki ilişki tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca tespit edilen kurak tarihlerin toplam kurak ay sayısı, toplam kuraklık şiddeti vb. özellikleri de bu aşamada kıyaslanmıştır.
- Analizin son bölümünde ise her bir indis için kurak ayların standart sınıflandırma sistemine göre (aşırı kurak, şiddetli kurak ve orta kurak) yüzdeleri ile en uzun kuraklık süreleri hesaplanmıştır. Buna göre her bir istasyon için elde edilen değerlerin karşılaştırılması yapılarak hidrolojik ve meteorolojik kuraklık arasındaki ilişki ortaya konmuştur.



## BÖLÜM İKİ

### KURAKLIĞIN TANIMI, ETKİLERİ VE KURAKLIK İNDİSLERİ

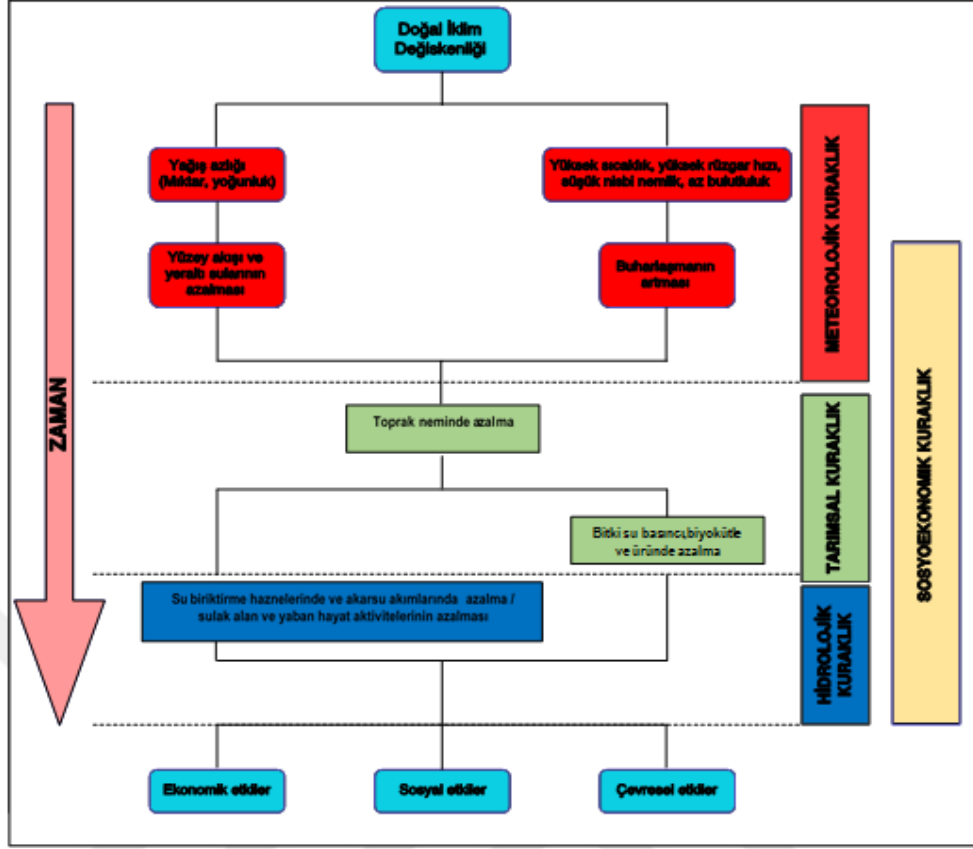
#### 2.1 Kuraklığın Tanımı

Kuraklık en basit hali ile bir iklimsel bir doğa olayı olarak değerlendirilebilir. Dünya çapında yaygın olarak vuku bulan kuraklığın literatürde pek çok tanımı mevcuttur. Bunlarda bazıları aşağıda sıralanmıştır.

Birleşmiş Milletler Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi kuraklığı yağışların kaydedilen normal düzeylerin önemli ölçüde altına düşmesi sonucu arazi ve su kaynakları ile üretim sistemlerini olumsuz olarak etkileyen ve ciddi hidrolojik dengesizliklere yol açan doğal bir olay olarak tanımlamıştır (UNCCD, 1994). Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO,1996) kuraklığın “Doğal iklimsel değişimler sonucu oluşan ve çok yavaş şekilde gelişen yaygın bir afet türü ” olduğunu belirtmiştir.

Gumbel (1963) kuraklığı “günlük ortalama akarsu akımlarından yıllık olarak en küçüğü” olarak tanımlamış, yani yılda bir kuraklık görüleceğini ileri sürmüştür. Palmer (1965) “belli bir alanda olağan hidrolojik koşullardan önemli bir sapma” olarak tanımlamıştır. Linsley, Kohler ve Paulhus (1958) önemli bir yağış miktarı olmayan sürekli bir zaman periyodu olarak tanımlarken Gillette (1950) kuraklığı başlangıç ve bitiş zamanlarının tespitinin zor olduğu sinsi ve yavaş hareket eden bir olay olarak tanımlamıştır.

Kuraklık deyimi, her şeyden önce akla yağış ve su yetersizliğini getirmektedir. Kelime anlamıyla da belirttiği gibi, bir yerde kuraklıktan bahsedebilmek için yağış azlığı ve su yetersizliğinin bulunması ve bu olgunun sürekli olması gereklidir. Ulusal Kuraklık Azaltma Merkezi (National Drought Mitigation Center, (NDMC)) tarafından yapılan çalışma ile meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık türlerinin temel birleşenleri, oluşum sırası ve birbirleri arasındaki ilişkiler Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.2 Kuraklık türleri ve aralarındaki ilişki diyagramı (NDMC, b.t.)

Kuraklığı doğru olarak tanımlamak her zaman mümkün olamamaktadır. Tannehill (1947) bu duruma “Uzun süren yağmurlu bir dönemden sonraki ilk güneşli gün belki de uzun zaman sürecek olan kurak bir dönemin başlangıç günü olabilir. Bazen de bitkiler solup ölene dek kuraklığı anlayamayabiliriz.” şeklinde açıklık getirmiştir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından kuraklığın nitelikleri şöyle sıralanmıştır:

- Başlangıç ve bitişinin belirsiz oluşu,
- Kümülatif artması,
- Aynı anda birden fazla kaynağa etkisi,
- Ekonomik boyutunun yüksek olması.

Genel olarak literatüre bakıldığında çoğu araştırmacı yağışların başlamasında meydana gelen gecikmenin kuraklığın başlangıcı olarak kabul edilebileceğini söylerken bir kısım araştırmacılar ise kuraklığın ancak geçmişe yönelik olarak tespitinin mümkün olduğunu ileri sürmektedir.

Kuraklığın pek çok kritere dayalı tanımını bulunması, periyodunun tam olarak tespit edilememesi ve bu konuya ilişkin farklı görüşler bulunması kuraklığa ilişkin yapılacak çalışmaları oldukça zorlaştırmaktadır. Literatürde yapılan kuraklık tanımlarına baktığımız zaman genel olarak bir tanımın tüm durumlara uygun ve yeterince kapsayıcı olmadığı görülmektedir. Bu nedenle doğru tanımlamayı yapabilmek için kuraklık olayına disiplin bazlı olarak bakmanın ve bu şekilde kuraklığı tanımlamanın en uygun yöntem olacağı düşünülmektedir.

## **2.2 Kuraklığın Türleri**

Kuraklığın literatürde tanımlanan birçok çeşidi olmakla beraber  belirgin kuraklık tipi vardır (Wilhite ve Glantz, 1985). Bunlar;

- Meteorolojik kuraklık
- Tarımsal kuraklık
- Hidrolojik kuraklık

Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Kuraklık nleme Merkezi (NDMC) tarafından yapılan çalışma ile meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık dönemlerinde oluşabilecek başlıca durumlar, oluşum sırası ve neden-sonuç ilişkisi göz önünde bulundurulularak diyagram haline getirilmiş ve şekil 2.1'de verilmişti. NDMC tarafından kuraklık tipi olarak meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklığın yanı sıra sosyoekonomik kuraklık da bir kuraklık tipi olarak ele alınmıştır.

## **Meteorolojik Kuraklık**

Meteoroloji Genel Müdürlüğü en az 30 yıllık bir periyodu normal kabul ederek, bu değerlerde meydana gelen sapmayı meteorolojik kuraklık olarak kabul etmiştir. Bu tanım daha çok bölgesel iklim durumunun anlaşılmasına yöneliktir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü kuraklık periyotlarını ise belirlenen eşik değerlerin altında kalan gün sayısı olarak tanımlamıştır (MGM, b.t.).

Meteorolojik kuraklığın bölgesel tanımları oldukça yaygındır. Bazı ülkeler için kuraklık eşik değerleri şöyledir (Wilhite ve Glantz, 1985):

- İngiltere; en az 15 gün yağış miktarının 0.25 mm'den az olması.
- ABD; en az 48 saat boyunca yağış miktarının 2.5 mm'den az olması.
- Libya; yıllık yağışın 180 mm'nin altında olması.
- Hindistan; mevsimsel yağış miktarının 2 defadan fazla ortalama sapmanın altına düşmesi.

Görüldüğü üzere eşik değerler üzerinden meteorolojik kuraklığın tanımlanması bölgeden bölgeye büyük farklılık gösterebilmektedir. Bazı bölgeler için kuraklık sınır değeri başka bir bölge için nemli bir dönemi sağlayabilmektedir.

Çok yaygın olmamakla beraber yağış dışında sıcaklık ve buharlaşma gibi atmosferik olaylar üzerinden meteorolojik kuraklık tanımlamaları da yapılmıştır.

## **Tarımsal kuraklık**

Tarımsal kuraklık meteorolojik kuraklıktan sonra ve hidrolojik kuraklıktan önce ortaya çıkmaktadır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, bitkinin kök bölgesinde, büyüüp gelişmesi için yeterli nem bulunmaması durumunu tarımsal kuraklık olarak tanımlamış ve belirli bitkilerin yine belirli dönemlerde büyümesi için yeterli toprak nemi bulunmaması durumunda tarımsal kuraklığın meydana geleceğini belirtmiştir (MGM, b.t.).

Bitkinin su ihtiyacı ile toprağın mevcut nem miktarı arasındaki fark kuraklık hassasiyeti olarak tanımlanmıştır (Kulik, 1958).

### **Hidrolojik Kuraklık**

Hidrolojik kuraklık meteorolojik olaylardan ziyade yerüstü ve yeraltı sularındaki kurumanın sonuçları ile ilgilidir. Ancak meteorolojik kuraklığın bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle hidrolojik kuraklık kuraklığın öncü göstergelerinden değildir. Bununla beraber meteorolojik kuraklığın sona ermesinden sonra hidrolojik kuraklık devam edebilir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü hidrolojik kuraklığı uzun süre devam eden yağış eksikliği neticesinde ortaya çıkan yerüstü ve yer altı sularındaki azalma ve eksiklik olarak tanımlamıştır (MGM, b.t.).

Linsley ve diğer. (1958) hidrolojik kuraklığı belli bir bölgedeki yıllık akışın su kaynakları planlaması ile tespit edilmiş ihtiyaçları karşılayamaması olarak tanımlarken Whipple (1966) kuraklığı akarsuların taşıdığı rüsubat miktarının uzun dönem ortalamasının altında kalması olarak tanımlamıştır.

Hidrolojik kuraklık, meteorolojik kuraklıktan farklı olarak iklimsel olaylar dışında insan bazlı bazı değişimlerden de etkilenmektedir. Şehirleşme, bitki örtüsünün yangın vb. sebepler ile değişmesi, arazi kullanım amaçlarındaki değişim vb. etkenler hidrolojik kuraklığın frekansını etkilemektedir.

## **Sosyoekonomik Kuraklık**

Sosyoekonomik kuraklık diğer kuraklık türlerinden farklı olarak ekonomik değeri olan ürünlerin arz ve talebine bağlı olan bir kuraklık türüdür (Wilhite ve Glantz, 1985). Temel olarak sosyal ve ekonomik anlamda kuraklığın olumsuz etkilerinin görülmesi durumunda sosyoekonomik kuraklıktan bahsedilebilir. Dolayısıyla sosyoekonomik kuraklığın ortaya çıkma zamanının diğer üç kuraklıktan sonra olduğu söylenebilir.

### **2.3 Kuraklığın Etkileri**

Kuraklık, tarım, sağlık, çevre gibi çok önemli sistemleri ve sistemlerin sürdürülebilirliğini etkileyen doğal bir afettir. Kuraklık türleri ve aralarındaki ilişkiye dair Şekil 2.1’de verilen diyagramda da görüleceği üzere kuraklığın etkileri ekonomik, sosyal ve çevresel olmak üzere 3 başlık altında toplanmıştır.

Kuraklık sonucu oluşan en önemli etkilerden ilki ekonomik alanlarda ortaya çıkmaktadır. Ekonomik etki deyince de ilk akla gelen ve birincil olarak etkilenen sektör, suya direkt bağımlı olan tarım sektörüdür. Kuraklık, tarım sektöründe ürün azalması, verimliliğin düşmesi, tarım alanlarının bozulması, tarımsal ürünlerde hastalık vb. tarımsal gelir kaybına yol açan sonuçlar doğurur. Bunun dışında kuraklık hayvancılık, hidroelektrik üretimi, balıkçılık başta olmak üzere pek çok sektörü etkileyen bir süreçtir. Tüm bunların sonucu olarak yaşanacak işsizlik, fiyat dalgalanmaları, gelir kayıpları bir ülkenin ekonomisinde geri dönüşmeyecek hasarlara yol açacaktır.

Kuraklığın bir diğer etki alanı ise çevredir. Erozyonda artış, tür çeşitliliğinin azalması, vahşi yaşamın bozulması, hava, toprak ve su kalitesinin bozulması, orman yangınlarının artması gibi pek çok alanda kuraklığın etkileri görülmektedir. Kısa dönem kuraklıklar ile genellikle çevreye geri dönülemez hasarlar vermez iken kuraklık sürelerinin uzaması çevresel etkileri geri dönülemez boyutlara taşımaktadır. Bunlardan bazıları kuraklıktan kısa dönemde etkilenmekte ve kuraklık sona erdiğinde kısa sürede

normale dönebilmektedir. Fakat bazı etkiler daha uzun sürmekte, hatta kalıcı etkiler göstermektedir.

Son olarak kuraklığın etkilediği alan sosyal alandır. Bu alan kuraklık etkilerinin peyderpey gün yüzüne çıktığı alandır. Ekonomiye ve çevreyi yavaş yavaş etkilemeye başlayan kuraklık olgusu son olarak yiyecek ve su kıtlığı, yoksullukta artış, yaşam kalitesinde düşüş vb. sonuçlar ile sosyal yaşamda ortaya çıkar. Sosyal etkiler elbette ki sadece ülkelerin kendi sınırları içinde değil zamanla uluslararası ölçekte de görülecektir. Göç, su savaşları vb. sonuçlar ile tüm dünya çapında sorun oluşturmaya başlayacaktır (MGM, 2014).

Görüldüğü üzere kuraklık pek çok sektör ve alanı direk veya dolaylı olarak etkilemektedir. Kuraklık bu anlamda uluslararası bir sorundur ve uluslararası düzeyde stratejik planlar ile yönetilmelidir. Bu bağlamda kuraklığın her üç etkisinin de ayrı ayrı değil bütünsel bir bakış açısı ile ele alınmasında fayda vardır.

## **2.4 Kuraklık İndisleri**

Kuraklığın etkilerinin tespit edilmesi ve izlenmesi kuraklık indisleri aracılığı ile yapılmaktadır. Kuraklığın tüm durumlara uygun bir tanımı bulunmadığı gibi tüm kuraklık tiplerine, iklim rejimlerine ve sektörlerle uygun tek bir kuraklık indisi de mevcut değildir (WMO,1996). Kuraklık için literatürde pek çok indis çalışması mevcuttur.

Dünya üzerindeki belli başlı kuraklık indisleri WMO tarafından 2016 yılında oluşturulan “Handbook of Drought Indicators and Indices (Kuraklık İndikatör ve İndisleri El Kitabı)”da sıralanmıştır. Bu el kitabında ayrıca indislerin türleri, girdi verileri, hesaplama yöntemleri vb özelliklere de yer verilmiştir. Tablo 2.1’de başta el kitabındakiler olmak üzere yaygın olarak kullanılan hidrolojik ve meteorolojik indisler sıralanmıştır.

Tablo 2.1 Yaygın olarak kullanılan meteorolojik ve hidrolojik kuraklık indisler ve özellikleri

İndis Adı	Kuraklık Türü	Girdi Parametreleri	Kullanım Alanı
Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI)	Meteorolojik	Yağış (P)	Dünya Meteoroloji Organizasyonu SPI'yi meteorolojik kuraklığı izlemede başlangıç indisi olarak belirlemiştir.
Standartlaştırılmış Yağış ve Buharlaşma İndisi (SPIE)	Meteorolojik	Yağış(P) Sıcaklık(T)	Tam bir data serisine ihtiyaç vardır. SPI'dakine benzer çıktılar alınır.
Ondalıklar (Deciles)	Meteorolojik	Yağış (P)	Günlük, haftalık, aylık ve yıllık yağış verileri kullanılabilir.
Normalin yüzdesi (PN)	Meteorolojik	Yağış (P)	Tek bir bölge için veya mevsimsel olarak kullanıldığında etkili olan basit bir indistir.
Aydeniz Metodu	Meteorolojik	Yağış(P) Sıcaklık(T) Nem (N) Güneşlenme Süresi (G)	Nem-yağış ilişkisi ile sıcaklık-güneşlenme süresi ilişkilerinin göz önüne alan bir indistir.
Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI)	Meteorolojik	Yağış(P) Sıcaklık(T) Toprak Su Tutma Kapasitesi (AWC)	Nemlilik durumunda meydana gelen sapmayı tespit etmek için geliştirilmiştir
Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (scPDSI)	Meteorolojik	Yağış(P) Sıcaklık(T) Toprak Su Tutma Kapasitesi (AWC)	PDSI hesabında geleneksel olarak kullanılan iklim ve süreç katsayılarının o bölgedeki veriler ile hesaplanması ile indiste kalibrasyon sağlanır.
Kuraklık Keşif İndisi (DRI)	Meteorolojik	Yağış(P) Sıcaklık(T)	Aylık yağış ve sıcaklık verilerini kullanır. İklim değişikliği senaryoları için uygun bir indistir.
Akım Kuraklık İndisi (SDI)	Hidrolojik	Akış (SF)	Akış verilerini kullanarak SPI'dakine benzer bir hesap yapar.
Standartlaştırılmış Akım İndisi (SSFI)	Hidrolojik	Akış (SF)	Akış verilerini kullanarak SPI'dakine benzer bir hesap yapar.
Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (PHDI)	Hidrolojik	Yağış(P) Sıcaklık(T) Toprak Su Tutma Kapasitesi (AWC)	Su kaynaklarının uzun vadede kuraklıktan etkilenme durumlarının tespiti için kullanılır.
Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI)	Hidrolojik	Yağış(P) Sıcaklık(T) Toprak Su Tutma Kapasitesi (AWC)	PHDI hesabında geleneksel olarak kullanılan iklim ve süreç katsayılarının o bölgedeki veriler ile hesaplanması ile indiste kalibrasyon sağlanır.
Yüzey Su Temini İndisi (SWSI)	Hidrolojik	Kar yağışı, yağış, akış, hazne kapasiteleri	Kar yağışının da önemli olduğu bölgelerde etkili olan karmaşık bir indistir.
Standartlaştırılmış Depolama Temin İndisi (SRSI)	Hidrolojik	Depolama tesisi verileri (RD)	Depolama tesisi verilerini kullanarak SPI'dakine benzer bir hesap yapar.

Tez kapsamında yapılan çalışmada ise Tablo 2.2'de verilen meteorolojik ve hidrolojik kuraklık indisleri seçilmiş olup bu indislere ilişkin olarak detaylı açıklamalar *Bölüm 5*'te sunulmuştur.



Tablo 2.2 Çalışmada kullanılan kuraklık indisleri

<b>İndis Adı</b>	<b>Kuraklık Türü</b>	<b>Girdi Parametreleri</b>
Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI)	Meteorolojik	Yağış (P)
Standartlaştırılmış Yağış ve Buharlaşma İndisi (SPIE)	Meteorolojik	Yağış (P) Sıcaklık (T)
Kuraklık Keşif İndisi (DRI)	Meteorolojik	Yağış (P) Sıcaklık (T)
Akım Kuraklık İndisi (SDI)	Hidrolojik	Akış (SF)
Standartlaştırılmış Akım İndisi (SSFI)	Hidrolojik	Akış (SF)
Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI)	Hidrolojik	Yağış (P) Sıcaklık (T) Toprak Su Tutma Kapasitesi (AWC)

## BÖLÜM ÜÇ

### DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR

#### 3.1 Kuraklık Analizleri Ve İndisleri İle İlgili Yapılan Akademik Çalışmalar

Vicente-Serrano ve Lopez-Moreno (2005) yaptıkları çalışmada İspanya'nın orta kesminde yer alan büyük bir kapalı havzada farklı zaman ölçekleri için hesaplanan SPI ile yüzeysel hidrolojik değişkenler arasındaki ilişkiyi tespit etmişlerdir. Öncelikle 12 aydan daha büyük zaman ölçekleri için hesaplanan SPI değerinin bu bölgedeki kuraklık miktarının tespiti için faydalı olmadığını kanıtlamışlardır. Genel olarak yüzey akışındaki değişimin kısa zaman ölçekleri için hesaplanan SPI değerleri ile rezervuardaki su miktarlarının ise 7-10 ay için hesaplanan SPI değerleriyle ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, önemli mevsimsel farklılıkların da SPI ve kullanılabilir su kaynakları arasındaki ilişkiyi etkilediğini belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucu olarak farklı çevresel koşullar ve farklı su ihtiyaçlarına bağlı olarak farklı kuraklık türlerinin izlenmesinde uygun kuraklık indislerinin ve zaman ölçeklerinin belirlenmesinin önemli olduğunu ve kuraklık izleme planlarının hazırlanmasından önce bu çalışmaların yapılmasının önemini vurgulamışlardır.

Nalbantis (2008) tarafından Yunanistan'ın Atina şehrine büyük oranda su temin eden Evinos ve Boeoticos Kephisos isimli iki nehir havzası için Akım Kuraklık İndisi (SDI) kullanılarak hidrolojik kuraklığın tanımlanması çalışması yapılmıştır. Uygulanan yöntem bu havzaları için önemli tarihi kuraklıkları doğrulamış ve önemli depolama tesisleri olan büyük havzalar için kuraklık izleme sistemi olarak uygulanabileceği öngörülmüştür.

Tigkas (2008) tarafından yapılan çalışmada, kuraklık inceleme ve izleme araçlarından biri olan Kuraklık Keşif İndisi (RDI)'nin standartlaştırılmış formunun hesap yöntemi anlatılmıştır. Hesap yönteminin anlatılması için Yunanistan'da bulunan kuraklık eğilimli dört bölge seçilmiş ve bu dört bölgeye ait 1955-2002 yılları arasındaki meteorolojik veriler girdi olarak kullanılmıştır. Kuraklık Keşif İndisi için k yılındaki birikimli yağış miktarının bitki su ihtiyacına oranı ( $\alpha_k$ ) ve standartlaştırılmış

RDI (RDIst) hesaplanmış ve bu değerler için trend analizi yapılmıştır. İki iklim senaryosu oluşturmuşlar ve bunların sonuçlarına göre her bir bölge için değerlendirme yapmışlardır.. Kuraklık izleme için referans zaman aralığı olarak seçilen 1955-2002 yıllarına ait veriler ile bir standartlaştırma prosedürü oluşturulmuş ve uygulaması 2006-2007 hidrolojik yılları ile 2007-2008 yıllarının ilk sekiz ayı (Ekim-Mayıs) için yapılmıştır.

Logan, Brunsell, Jones ve Feddema (2010) tarafından yoğun tarım faaliyetlerinin olduğu Orta Amerika bölümünde yer alan Kansas Nehri havzasında 1900-2006 yılları arasında yağışta meydana gelen değişim, 1 ay ile 12 ay arasında değişen farklı zaman ölçekleri için hesaplanan SPI değerleri ile ortaya konmaya çalışılmıştır. Çalışmada aylık yağış verileri kullanarak alansal analiz yapılmış ve tüm zaman ölçekleri için hesaplanan SPI değerlerinin doğrusal trendi analiz edilmiştir. Havzanın batı bölümünün, artan sıcaklıklar ile azalan yağış trendinin birleşmesi sonucu kuraklık oluşumuna açık hale geldiği; doğu kısmının ise genel olarak SPI değerlerindeki artış nedeni ile nemli eğilimde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Fourier analizi ile SPI değerlerinin frekans karakteristikleri belirlenmiş ve havza boyunca kuraklık frekans deseninin değişmediği gözlemlenmiştir.

Tatlı ve Türkeş (2011), Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI) ile Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI)'nin kıyaslaması sureti ile Türkiye üzerindeki kuraklık sürecini izlemişlerdir. PDSI hesabı Amerika Bileşik Devletleri'nde bulunan ORNL DAAC'nin (Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Centre) 1 m'deki toprak su tutma kapasitesi verileri kullanılarak kendileri tarafından Palmer (1965) ve Alley (1984) algoritmalarından yararlanılarak geliştirdikleri, FORTRAN 95 kodu ile yapılmıştır. SPI hesabı da benzer şekilde McKee, Doesken, ve Kleist (1993) tarafından geliştirilen yaklaşım esas alınarak yine kodları kendileri tarafından yazılan FORTRAN 95 ile yapılmıştır. Hesaplanan PDSI ve SPI değerleri arasında çapraz Pearson korelasyon katsayılarını hesaplayarak alansal dağılım haritaları elde etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre PDSI ile SPI arasındaki korelasyon katsayısı değerlerinin 12 aylık diziler için 0,7 – 0,9 arasında olduğunu, 1 aylık, 3 aylık, 6 aylık ve 48 aylık SPI değerleri ile PDSI değerleri arasındaki korelasyon katsayılarının ise 0,2 ile 0,5 arasında

değişen zayıf katsayılar olduğunu belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda kuraklık izleme için PDSI ya da SPI indisleri kullanılması durumunda anlamlı sonuçlar elde edebilmek için 12 aylık zaman ölçeklerinin kullanılmasının uygun olduğunu ortaya koymuşlardır.

Vicente-Serrano ve diğer. (2012) bir nehir veya bir dizi nehirde hidrolojik koşulların zamansal ve alansal kıyaslaması için kullanılabilen Standartlaştırılmış Akım İndisi (SSI) hesabı için bir yöntem oluşturmaya çalışmışlardır. Çalışmaları için büyük bir Akdeniz havzası olan ve akım büyüklükleri ile mevsimsel akım rejimlerinde yüksek değişkenlik gösteren İspanya'daki Ebro havzasını seçmişlerdir. İndis hesabının girdisi olarak havzada yer alan 98 istasyonun aylık akım verilerini kullanmışlardır. Akım verileri için üç parametrelili Lognormal, Pearson Type III, log-logistic, Genelleştirilmiş Ekstrem Değer, Genelleştirilmiş Pareto ve Weibull dağılımlarını kullanarak en uygun aylık dağılım ve en düşük ortogonal mesafe olmak üzere 2 yaklaşımı test etmişlerdir. Sonuç olarak yaygın kullanıma sahip olasılık dağılımlarının genel olarak akım serilerine uygun olduğunu görmüşlerdir. Bununla beraber L-moment diagramları ve Kolmogorov-Smirnov testi ile tüm aylar ve tüm istasyonlar için tek bir dağılım kullanmanın uygun bir yaklaşım olmadığını tespit etmişlerdir. Hem istasyon bazında hem de ay bazında farklı olasılık dağılımlarının seçilmesi ile hesaplanan SSI değerlerinde her ikisinde de tek bir dağılım seçilmesi yöntemine göre beklenen ortalama, standart sapma ve frekansın tespiti açılarından daha makul sonuçlar elde etmişlerdir. Bu çalışma ile oluşturdukları yöntemin farklı hidrolojik rejim ve akım karakterleri içeren havzalarda bile uygulanabilecek bir esneklikte olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Duygu (2015), tez çalışması kapsamında Türkiye'deki nehir havzalarından biri olan Büyük Menderes Havzası'nda uluslararası kabul görmüş analiz yöntemleri kullanarak havzanın kuraklık hassasiyetini tespit etmeye çalışmıştır. Kuraklık analizlerinde, Normalin Yüzdesi İndisi (PNPI), SPI, Ondalıklar İndisi (Deciles), Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (PDSI) ve Standartlaştırılmış Akış İndisi (SRI) yöntemleri olmak üzere beş farklı yöntem kullanmıştır. Analiz sonucunda havzada geçmiş dönemde yaşanmış olan kurak dönemler ile kuraklıkların şiddeti ve sürelerini tespit etmiştir. Ayrıca

havzanın kuraklıktan etkilenebilirliğini farklı sektörler ve ekonomik aktiviteler açısından da ayrı ayrı inceleyerek değerlendirmiştir.

Gümüş, Başak ve Oruç (2016) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'nin güneydoğusunda bulunan Şanlıurfa istasyonuna ait 78 yıllık (1937-2014) yağış verileri kullanılarak 1, 3, 6 ve 12 aylık Standart Yağış İndisi (SPI) hesaplanmıştır. Hesaplanan SPI değerleri kullanılarak Şanlıurfa istasyonundaki kurak ve yağışlı dönemlerin şiddeti, büyüklüğü ve dağılımı belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda; özellikle son 30 yıllık dönemde, kuraklığın görülme frekansının ve aşırı kuraklık görülen ay sayısının arttığı görülmüştür.

Ljubenkov ve Kalin (2016), çalışmalarında Hırvatistan'da yer alan tarım için elverişli koşullara sahip karstik bir bölge olan Sinjsko polje için kuraklık analizi yapmışlardır. Analiz için Sinj istasyonunun aylık yağış verilerini ve Han ile Grab istasyonlarının aylık akım verilerini kullanmışlar ve ilk olarak Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ve Standartlaştırılmış Akış İndisi (SSI) hesabı yapmışlardır. Daha sonra ise Vicente-Serrano ve Lopez-Moreno (2005) çalışmasında ortaya kullanılan yöntemi izlemek sureti ile farklı zaman ölçekleri için iki indisi kıyaslamış ve aralarındaki ilişkiyi belirlemişlerdir.

Wu ve diğer. (2016) Çin'in Jinjiang Nehri Havzasında 1960 - 2010 arası aylık akış ve yağış verileri ile Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ve Standartlaştırılmış Akım İndisi (SSFI) hesaplamak sureti ile hidrolojik ve meteorolojik kuraklık arasındaki ilişkiyi belirlemişlerdir. Meteorolojik kuraklığın hidrolojik kuraklığa etkisi tespit edilirken havzada bulunan Shanmei rezervuarının etkisi de göz önüne alınmıştır. Araştırma sonuçları, son birkaç on yılda SPI ve SSFI değerlerinin düşme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Shilong hidrolojik istasyonu verileri ile hesaplanan aylık SSFI değerlerinin Kasım ayından bir sonraki Şubat ayına kadar düşüş eğiliminde olduğu Mayıs-Temmuz ayları arasında ise artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. 12 aylık SSFI serilerinde ise 6-7 yıl, 11-12 yıl ve 20-21 yıl olmak üzere üç önemli periyodik varyasyon olduğunu görmüşlerdir. Aynı periyodik varyasyon 1980 yılına kadar SPI serisinde de mevcutken 1980 yılında inşa edilen Shanmei rezervuarı nedeni

ile bu tarihten sonra SPI ile SSFI arasındaki senkronizasyon kaybolmuştur. Meteorolojik kuraklığa karşılık olarak hidrolojik kuraklığın ortaya çıkmasındaki gecikme süresinin varyasyonlarının belirgin olarak mevsimsel olduğunu tespit etmişler ve gecikme sürelerinin varyasyonlarının ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde ortalama bir ay, kış mevsiminde ise ortalama üç ay olarak belirlemişlerdir.

Gümüş (2017) yaptığı çalışmada Türkiye'nin güneyinde yer alan ve sınır aşan sular kapsamına giren Asi havzasında bulunan dört akım gözlem istasyonuna ait 52 yıllık (1954-2005) aylık akım verileri kullanılarak Akım Kuraklık İndeksi (AKİ) yöntemi ile hidrolojik kuraklık analizi yapmıştır. 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçekleri için hesaplanan AKİ değerleri ile Asi havzasının kurak ve nemli dönemlerinin şiddeti, büyüklüğü ve dağılımını belirlemiştir. Yapılan analizler neticesinde tüm zaman ölçekleri için hesaplanan AKİ değerlerine göre 1980-2005 arasındaki kurak geçen yıl sayısının, 1954-1979 yılları arasındaki kurak geçen yıl sayısından çok daha fazla olduğunu ve havza bazında 2000 ve 2001 yıllarının aşırı kurak yıllar olduğunu tespit etmiştir.

Gümüş ve Algın (2017) çalışmalarında Seyhan ve Ceyhan havzasında bulunan 14 meteorolojik ve 12 akım gözlem istasyonlarına ait 1970-2005 yılları arası yağış ve akım verileri ile Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ve Akım Kuraklık İndisi (SDI) yöntemleri ile kuraklık analizi yapmışlardır. Yapılan analiz neticesinde kuraklığın havza bazında yerini, süresini ve şiddetini ortaya çıkarmışlardır. Ayrıca her iki havzada da hidrolojik kuraklığın meteorolojik kuraklık ortaya çıktıktan 1 yıl sonra meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Lweendo, Lu, Wang, Zhang ve Xu (2017) çalışmalarında çoklu standartlaştırılmış indisler ve SWAT hidrolojik modelinin kullanıldığı entegre bir yaklaşım ile Zambiya'da yer alan Yukarı Kafue Nehri Havzası'nın 1984-2013 dönemi için meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıklarını karakterize etmişlerdir. Çalışmada meteorolojik kuraklıkları tanımlamak SPI ve SPEI; tarımsal kuraklıkları tanımlamak için Standartlaştırılmış Toprak Nemi İndisi (SSI) ve hidrolojik kuraklıkları tanımlamak için Standartlaştırılmış Akım İndisi (SRI) kullanılmıştır. SRI ve SSI için

kullanılan girdi verileri SWAT modelinden elde edilmiştir. Çalışma sonucunda nemli subtropikal bir iklime sahip olan Güney Afrika'daki havza için (1) tüm indislerin büyük kuraklık olaylarını tespit edebildiğini (2) SWAT modellemesinin akış ve toprak nemi girdilerini başarılı bir şekilde modelleyebildiğini (3) üç aylık meteorolojik kuraklıkların ortalama süre ve şiddeti 3 ve 12 aylık tarımsal ve hidrolojik kuraklıkların süre ve şiddetinden düşük iken frekans değeri bakımından fazla olduğunu (4) SPEI için yapılan Mann – Kendall testinde negatif bir trend olduğu, dolayısı ile kuraklık şiddetinde artış beklendiğini ve SPEI ile SRI arasında yapılan korelasyon analizi sonucunda 9 ile 15 ay arasında hesaplanan SPEI değerleri ile hidrolojik kuraklık arasında kuvvetli bir bağlantının olduğunu göstermişlerdir.

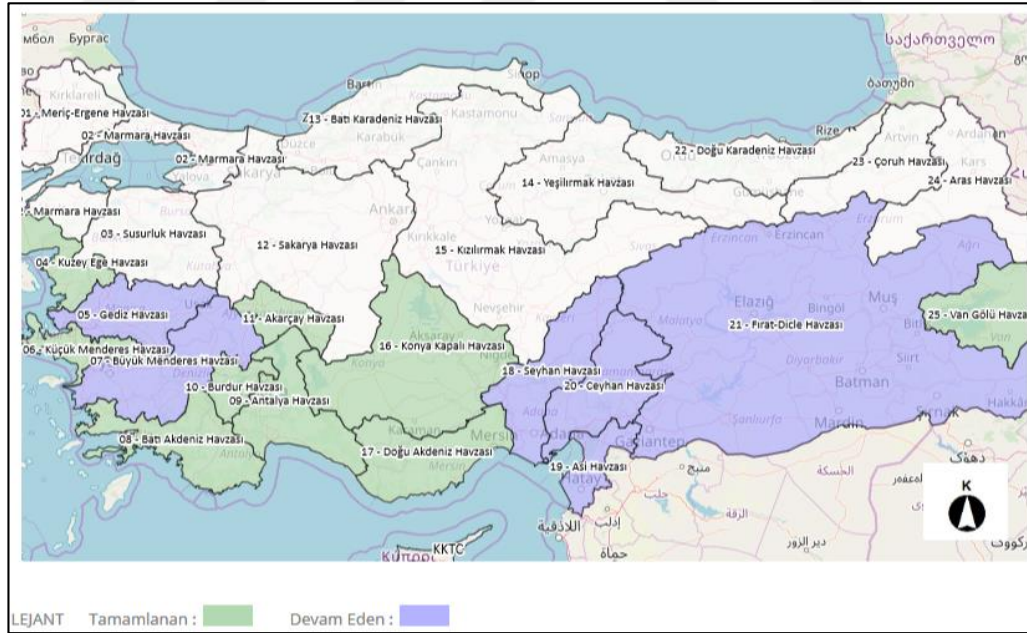
Wang, Pan ve Chen (2017) tarafından ortaya konan çalışmada kurak bir bölge olan Çin'in kuzeybatısında SPI, SPEI, scPSDI kullanılarak kuraklık analizi yapılmıştır. Farklı zaman ölçekleri için hesaplanan her 3 indisin de aralarındaki korelasyonun kuvvetli olduğunu tespit etmişlerdir. Hem SPI hem de SPEI değerleri için hesaplanan kuraklık şiddetlerinde istatistiksel olarak belirgin bir fark olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. En yüksek korelasyon 16 ve 36 aylık dönemlere ait SPI ve SPEI değerleri için oluşurken scPSDI ile SPEI arasında genel olarak 9-20 aylık dönemlerde yüksek korelasyon olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca 1961 ve 2010 yılları arasında kuraklık açısından 1960 ile 1986 yılları arası şiddetli kuraklık; 1987-2010 yılları arasında baskın bir nemlilik olmak üzere iki zıt dönem olduğunu belirlemişlerdir.

Bayissa ve diğer. (2018) Etiyopya'da yer alan Yukarı Mavi Nil Nehri havzasında SPI, SPEI, Evapotranspirasyon Açığı İndisi (ETDI), Toprak Nemi Açığı İndisi (SMDI), Bütünleşik Kuraklık İndisi (ADI) ve SSFI olmak üzere toplam altı adet indisin kıyaslamasını yapmışlardır. Böylece seçilen havza için altı indisin tarihi kuraklıkları belirleme performansını ölçmüşlerdir. Hiçbir indisin tespit edilen tarihi kuraklıkların başlangıçlarını tek başına belirleyemediğini; indislerin ancak bütünleşik bir yaklaşım (farklı girdi parametreleri ve zaman ölçekleri) ile tarihi kuraklıkların başlangıçlarını gösterebildiğini ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak, Yukarı Mavi Nil havzasında kuraklığın izlenmesi için çoklu kuraklık indislerinin optimum kullanımını sağlayacak şekilde bir yöntemin geliştirilmesini önermişlerdir.

### 3.2 Kuraklık Analizleri ve İndisleri ile İlgili Yapılan Kurumsal Çalışmalar

*Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM)* 2011 tarihinde Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı olarak kurulmuştur. Ülkemizde kuraklığın etkisinin azaltılması maksadı ile Su Yönetimi Genel Müdürlüğü koordinasyonunda 2017-2023 yılları için hazırlanan “Ulusal Kuraklık Yönetimi Strateji Belgesi ve Eylem Planı” 2017/19 sayılı Başbakanlık Genelgesi ile yürürlüğe girmiştir (SYGM, 2017). Adı geçen planın amacı havza bazında sürdürülebilir bir kuraklık yönetimi için gerekli politikaların ve hedeflerin belirlenmesi, sorumlu kuruluşlar ile hedeflerin takibi, paydaşların konuya katılımının sağlanması, halkın bilgilendirilmesi ve ilgili mevzuatların düzenlemesidir.

2017-2023 yılları arası için hazırlanan stratejik eylem planı kapsamında öncelikli olarak havza bazında kuraklık yönetim planlarının hazırlanması hedeflenmektedir. Hâlihazırda havza bazında tamamlanan ve devam eden kuraklık yönetim planları Şekil 3.1’de verilmiştir.

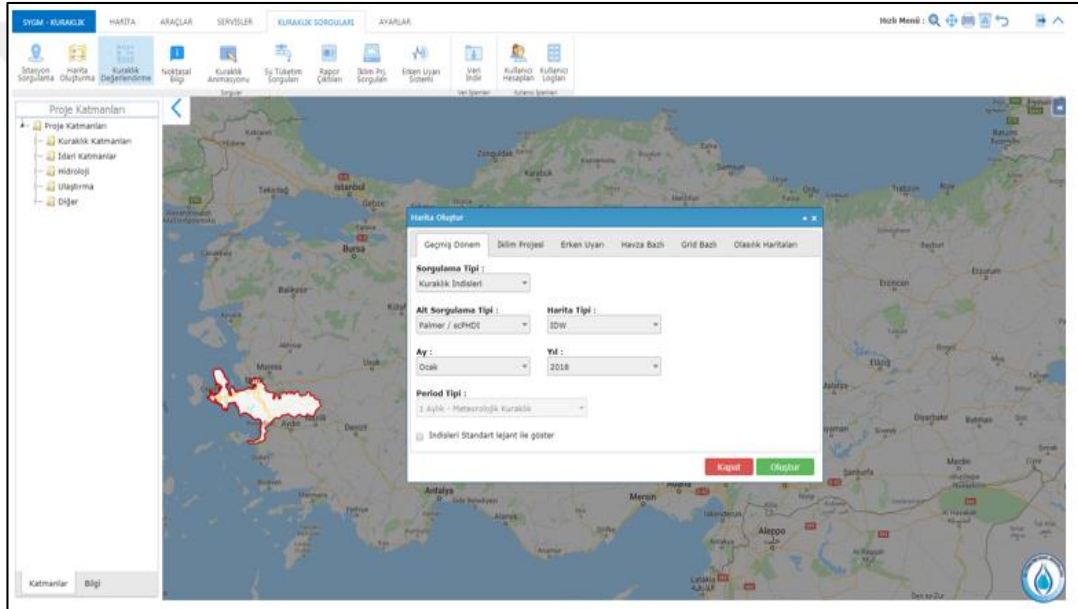


Şekil 3.1 Havza bazında hazırlanan kuraklık yönetim planlarının tamamlanma durumları (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM), b.t.)

SYGM koordinasyonunda devam eden çalışmalar resmi ve sivil tüm kesimlerin katılımı ile yapılan gözden geçirme toplantıları ile devam etmektedir. Stratejik plan



dahilinde kuraklık yönetim planlarının hazırlanmasının yanı sıra eş zamanlı olarak ulusal bir veri tabanı ve web programı hazırlanması çalışmaları da sürdürülmektedir. Web programı mevcut veri tabanı baz alınarak 2018 yılında kısmi olarak çalışmaya başlamıştır (Şekil 3.2). Havza bazında alternatif indislere göre kuraklık izlemesine olanak sağlayacak olan web programı ile etkin bir kuraklık yönetimi yapılabilecektir. Stratejik planda yer alan çalışmalar tamamlandığında ülkemizde kuraklık öncesi, kuraklık esnası ve kuraklık sonrası alınacak önlemler ile kuraklığın olumsuz etkilerini azaltmak için gerekli teknik ve ekonomik araçlar geliştirilmiş ve bu konudaki kapasite güçlendirilmesi sağlanmış olacaktır.



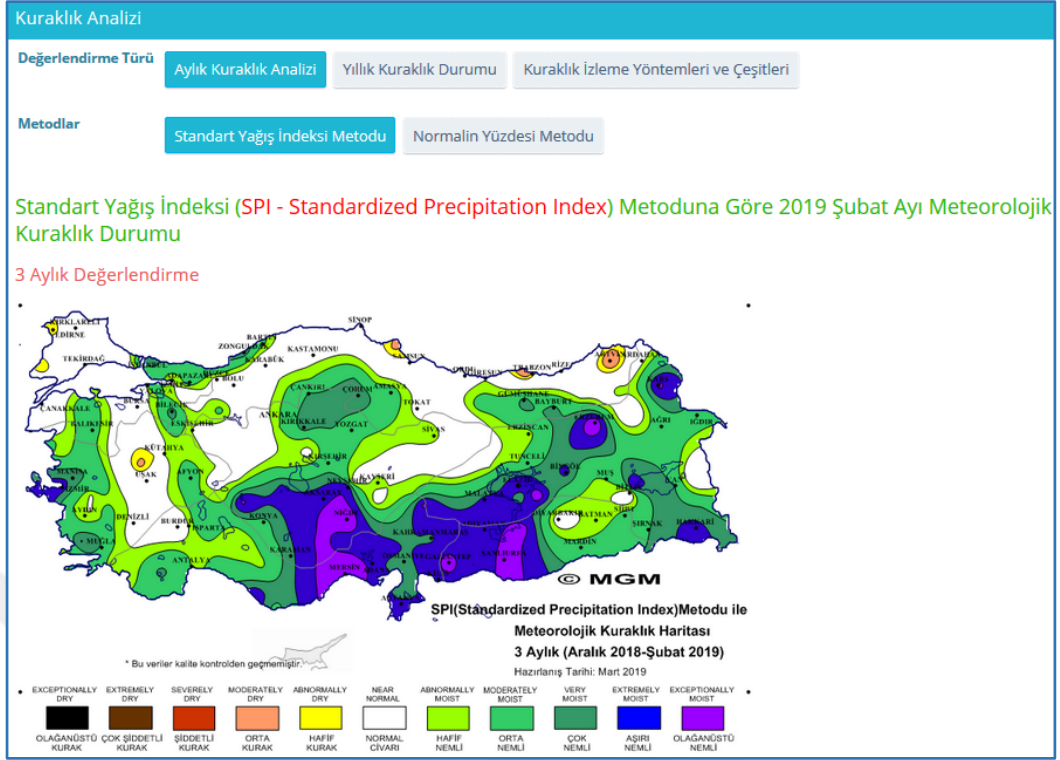
Şekil 3.2 Havza bazında kuraklık izlemesi için SYGM tarafından oluşturulan web programı (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM), b.t.)

*Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)* tarafından oluşturulan “Kuraklık İzleme Sistemi (KİS)” ile meteorolojik kuraklığın uzun dönemde ve farklı periyotlarda izlenebilmesi sağlanmaktadır. Programda uluslararası bir metot olan Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) metodu kullanmak sureti ile 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık periyotlarda kuraklık izlenebilmektedir (Şekil 3.3). Grafiklerden nemlilik veya kuraklığın derecesi, aylık toplam yağış miktarı gibi bilgilerin yanı sıra kuraklığın geçmiş yıllardaki durumunu gösteren özet bilgileri elde etmek mümkündür.



Şekil 3.3 MGM Kuraklık İzleme Sistemi (KİS)'nden alınan Ege Bölgesi 3 aylık (Kasım-Ocak) SPI Kuraklık Analizi (Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), b.t.)

Çok kesin sınırlarla ayırmak her ne kadar mümkün olmasa da 3 ve 6 aylık analiz meteorolojik kuraklığı, 9 ve 12 aylık analizler tarımsal kuraklığı, 12 ve 24 aylık analizler ise hidrolojik kuraklığı görmek için kullanılmaktadır. Ayrıca MGM, SPI ve PN metodu kullanarak 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık dönemler için yaptığı kuraklık analizlerinin kuraklık sınıflandırmasına göre belirlediği renklendirme lejantına uygun olarak kuraklık haritalarını hazırlayıp sunmaktadır (Şekil 3.4).

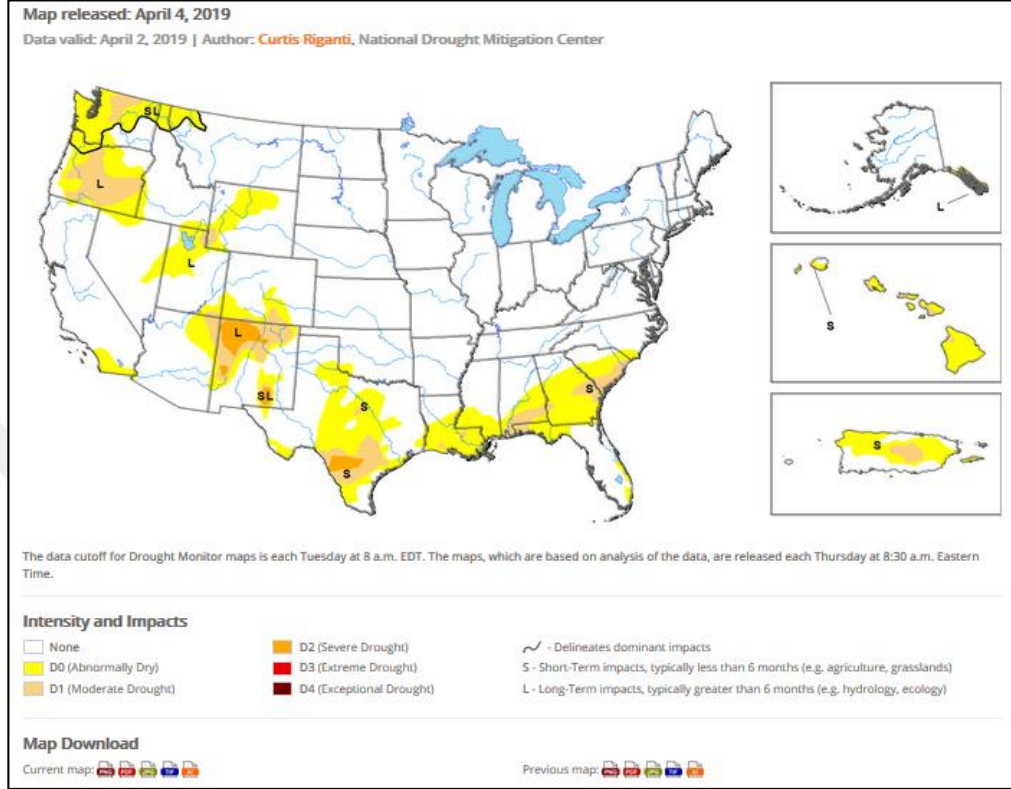


Şekil 3.4 MGM tarafından, 2019 yılı Şubat ayı için 3 aylık SPI değerleri kullanılarak hazırlanmış kuraklık haritası (Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), b.t.)

*Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nde (DSİ), kuraklığın temel olarak hidrolojik açıdan izlenmesi çalışmaları yapılmaktadır. Bunun için ülke çapında yer alan depolama tesislerindeki su seviyelerini, oluşturduğu gözlem istasyonları ile takip etmektedir. Bölge Müdürlüklerinde DSİ'nin "Kuraklık Eylem Planı"nın bir parçası olan "Kuraklık İşletme Talimatı" hazırlanmaktadır. Söz konusu talimatlar doğrultusunda su bütçesi ve mevcut durum analizleri yapılmakta ve bu analizler neticesinde kritik, kısıntılı ve yeterli olmak üzere 3 durum için faaliyet planı oluşturulmaktadır. Yapılan tüm bu çalışmalar ile kuraklık dönemlerinde azalan su miktarının kullanıcılara adil ve eşit dağılımının temin edilebilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca içme suyu temininin de kuraklıktan etkilenmemesi için "Kuraklık Durumunda İl Merkezlerinin İçme Suyu İhtiyacının Karşılmasına Yönelik Alınacak Tedbirler Raporu" da yine DSİ Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmaktadır.*

*Ulusal Kuraklık Azaltma Merkezi (NDMC), ABD'de yer alan Nebraska-Lincoln Üniversitesi'nde (UNL) 1995 yılında kurulmuştur. Merkezin amacı kuraklığın insan, ekonomi ve çevre üzerindeki etkilerini azaltmak için kuraklık izleme ve kuraklık*

planlamaya ilişkin olarak bilimsel çalışmalar yapmaktır. Bu amaç doğrultusunda ulusal ve uluslararası düzeyde işbirlikleri, çalışmalar ve projeler yapmaktadır.



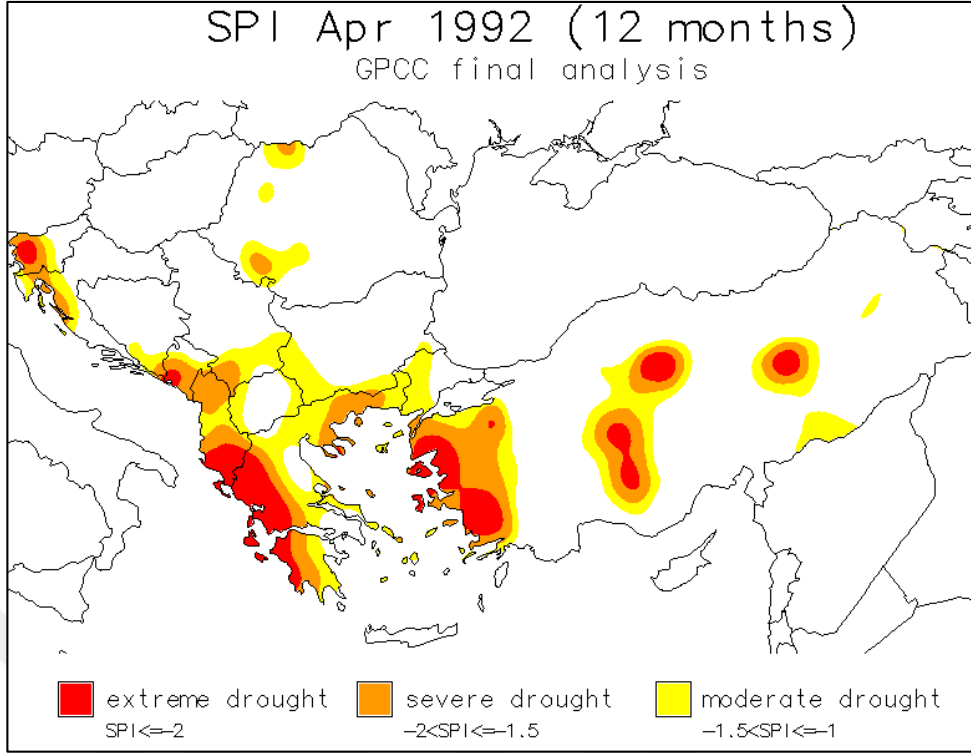
Şekil 3.5 NDMC kuraklık izleme sisteminde 04.04.2019 tarihi için oluşturulan ABD kuraklık durum haritası (National Drought Mitigation Center (NDMC), b.t.)

NDMC tarafından ABD'nin kuraklık izlemesi yapılmakta olup bu sistemden ülke çapında ve bölgesel olarak kuraklık haritaları (Şekil 3.5) ile kuraklık durumuna ilişkin olarak geniş çaplı bir değerlendirme ile tahminlerinde yer aldığı raporlar (Şekil 3.6) çıktı olarak temin edilebilmektedir.

<b>This Week's Drought Summary</b>	
<p>Large portions of the continental United States remained free of drought or abnormal dryness this week. The Northeast was completely free of drought or abnormal dryness, as was the Midwest, where significant river flooding concerns continued. Short-term dryness continued in parts of central and western Texas, with some moderate and severe drought shifting northward, while widespread rain in southern Texas led to improvements in conditions there. Short-term precipitation deficits in southern Alabama, southern Georgia, southern Louisiana, the Florida Panhandle, and South Carolina led to the expansion of abnormal dryness and moderate drought in some of these areas. Moderate drought was also expanded in parts of north-central Washington in response to short-term precipitation deficits there. Another dry week in Hawaii led to degradation in drought conditions on most of the islands.</p> <p><b>Northeast</b></p> <p>Near-normal temperatures occurred in much of the Northeast this week, with below-normal precipitation common except for northern Maine and areas adjacent to Lakes Ontario and Erie. The entire region remained free of drought or abnormal dryness this week.</p> <p><b>Southeast</b></p> <p>Relatively cool conditions prevailed in the Carolinas, Georgia, and Alabama, while temperatures in Florida were closer to normal this week. Moderate rain fell in parts of northern Florida, southern Georgia, and South Carolina this week, but otherwise, the region was generally dry. In response to short-term dryness over the past 1 to 3 months, areal coverage of moderate drought expanded into the western Florida Panhandle, the Alabama Gulf Coast, parts of southern Alabama, and southwestern Georgia. Short-term dryness in the past 1 to 3 months also led to moderate drought expanding a bit in southeastern parts of Georgia and South Carolina.</p> <p><b>South</b></p> <p>Aside from southern Texas and northeastern Oklahoma, much of the region was dry over the past week. Temperatures were below normal in most of the region, except for southwestern Texas and the western Texas Panhandle. Moderate drought was added this week in southwestern Louisiana and in the Baton Rouge area because of short-term precipitation deficits over the past few months. Very dry conditions over the past 3 months led to moderate drought expanding into the Austin, Texas, area. Severe drought shifted northward in parts of south-central Texas in response to changes in short-term precipitation deficits there. After a widespread half-inch or more of precipitation this past week, short-term precipitation shortages were alleviated enough for widespread improvement in drought conditions in southern Texas. Elsewhere, some short-term dryness was taking place in Arkansas and Tennessee, but this was outweighed by longer-term precipitation surpluses.</p> <p><b>Midwest</b></p> <p>Moderate to heavy precipitation fell across much of the southern part of the region this week, particularly from northern Missouri eastward into Ohio. Temperatures this week were moderate</p>	<p>to slightly below normal. The region remained free of drought or abnormal dryness, while significant flooding remained a concern.</p> <p><b>High Plains</b></p> <p>Widespread precipitation fell across much of Nebraska and eastern Kansas this week while most of the rest of the region experienced drier weather. On the whole, temperatures were relatively close to normal in the region, with a cold pocket in northwestern Nebraska and a few warmer areas showing up in the western Dakotas. Aside from a reduction in abnormal dryness around Colorado Springs in response to decreasing long-term precipitation deficits, no changes were made to the map this week east of the Continental Divide, and the High Plains remained nearly devoid of drought or abnormal dryness.</p> <p><b>West</b></p> <p>Widespread precipitation affected northern California, western Oregon, and the northern Sierra Nevada this week. Precipitation also fell in the mountains north of the Snake River Valley in Idaho, southwestern Montana, northern Utah, and central Wyoming. Relatively warm conditions prevailed along the Pacific Coast, and in southern California, Arizona, and New Mexico. Elsewhere, temperatures were generally near normal. Moderate drought was expanded in parts of north-central Washington where precipitation deficits over the last 1-3 months led to the development of moderate drought. Low to very low snow water equivalent is also evident in the Idaho Panhandle and in northwestern Montana, and while this has not yet developed into moderate drought, abnormally dry conditions continue here. Abnormal dryness was reduced in the San Luis Valley in Colorado, where long-term precipitation deficits continued to abate.</p> <p><b>Alaska, Hawaii, and Puerto Rico</b></p> <p>Moderate and severe drought continued this week in southeastern Alaska, where precipitation deficits since January 1 range from 4 to 16 inches below normal. Above-normal temperatures have led to early runoff and high streamflow in some areas, but hydro-electric power production is still struggling in the region, and low water levels and high water temperatures are threatening salmon. Dry weather during the past week in most of Hawaii, particularly on the leeward sides of islands, continued the trend of dry conditions from March and led to deteriorating conditions for vegetation. On most islands, some areas saw a 1-category degradation from normal conditions to abnormal dryness or from abnormal dryness into moderate drought. Severe drought remained in southwestern Kauai. No changes were made in Puerto Rico this week.</p> <p><b>Looking Ahead</b></p> <p>Widespread precipitation is forecast this week from the Central Plains eastward through the East Coast. The heaviest amounts are forecast in eastern Texas and Arkansas and in the central Gulf Coast states. Precipitation is also forecast in the Sierra Nevada, northwestern California, western Washington and Oregon, and mountainous areas of Wyoming, northern Utah, and Idaho. Widespread above-normal temperatures are forecast over the next week, particularly in the central continental United States.</p>

Şekil 3.6 NDMC kuraklık izleme sisteminde 04.04.2019 tarihi için oluşturulan ABD kuraklık durum raporu (NDMC, b.t.)

*Güneydoğu Avrupa Kuraklık Yönetimi Merkezi (DMCSEE)*, Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 13 ülkenin üye olduğu bir kuruluştur. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Birleşmiş Milletler Kuraklık ve Çölleşme ile Mücadele Kongresi (UNCCD) tarafından güneydoğu Avrupa'nın kuraklıktan ekonomik ve refah düzeyi bakımından etkisinin fazla olması nedeni ile kurulmuştur. DMCSEE tarafından farklı zaman ölçekleri için hesaplanan SPI ve PN kullanılarak doğu Avrupa'nın kuraklık haritaları oluşturulmak sureti ile kuraklık izlenmektedir.



Şekil 3.7 DMCSEE tarafından 1992 yılı Nisan ayı için 12 aylık SPI yöntemi ile yapılan kuraklık analizi sonucunda oluşan kuraklık haritası (DMCSEE, (b.t))

DMCSEE kuraklık görüntüleme sisteminde 12 aylık SPI değerlerini kullanarak 1992 yılının Nisan ayı için oluşturulan kuraklık haritası Şekil 4.7’te verilmiştir. Buna göre çalışma alanı olan Küçük Menderes Havzasında kıyı kesimlerinde şiddetli kuraklık olduğu iç kesimlerde ise aşırı kuraklığın hakim olduğu görülmektedir.

## BÖLÜM DÖRT

### ÇALIŞMA ALANI

Bu tezin konusu olan “Hidrolojik ve meteorolojik kuraklık arasındaki ilişkinin belirlenmesi” kapsamında Ege Bölgesi’nin yüzölçümü olarak küçük olan ancak tarım arazilerinin yoğun olduğu Küçük Menderes Havzası seçilmiştir. Havza’da ekonomik değeri yüksek tarımsal ürünlerin yanı sıra büyük ölçekli hayvancılık faaliyetlerinin devamı için önemli olan arpa, mısır vb. silajlık ürünler de ekilmektedir. Küçük Menderes Havzası yarı kurak bir bölge olması nedeni ile (Bölük, 2016) yaşanan küresel kuraklıktan toprak nemi ve su kaynakları açısından ilk etapta etkilenmeye başlamış olup yoğun tarım faaliyetleri olan bu havzanın öncelikli olarak analiz edilmesi önem arz etmektedir.

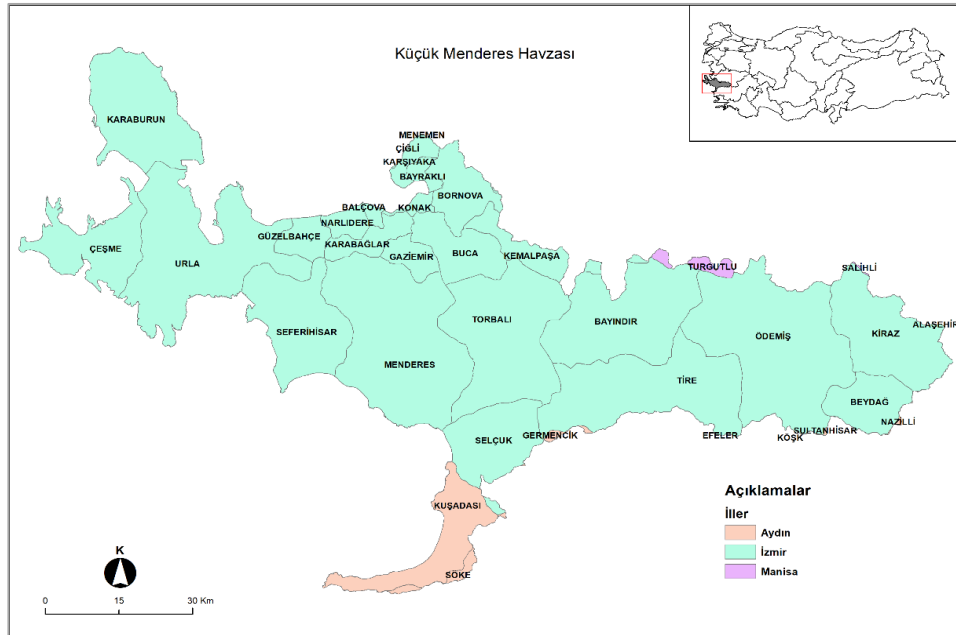
#### 4.1 Çalışma Alanının Konumu

Bu tez kapsamında seçilen çalışma alanı Türkiye’nin 7 bölgesinden biri olan Ege Bölgesi’nde yer alan Küçük Menderes Havzası olup 38° 41’ ile 37° 24’ kuzey enlemleri ve 28° 24’ ile 26° 11’ doğu boylamları arasında yer almaktadır. Doğudan Karadağ ve Çulha ve Ayrık (Oyuk) Dağlarıyla; güneyden batıya doğru Beydağ, Kümeli Dağı, kuzeyden batıya doğru ise Bozdağ, Çallıbadağı, Mahmut Dağı ve Kesme Dağları; batıda Ege Denizi ve İzmir Körfezi ile çevrilidir. Yaklaşık olarak 702.931 ha alanı kaplayan Küçük Menderes Havzası, Türkiye yüzölçümünün %0,897’lik bir kısmını kapsamaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Küçük Menderes Havzası'nın Türkiye'deki konumu

Küçük Menderes Havzası'nın kuzey ile kuzeydoğusu arasında Gediz Havzası, güney ile güneydoğusu arasında ise Büyük Menderes Havzası yer almaktadır (Şekil 4.1). Havza sınırları içinde İzmir, Aydın ve Manisa illerinin arazileri yer almakta olup İzmir ilinin arazileri havzanın büyük kısmını oluşturmaktadır. Aydın ilinin Kuşadası ilçesi ile Manisa ilinin yerleşim olmayan küçük bir bölümü de havzanın kalanını oluşturmaktadır. Havzayı oluşturan illerin havza içindeki alanlarının dağılımı Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2 Küçük Menderes Havzası il ve ilçe dağılımı haritası



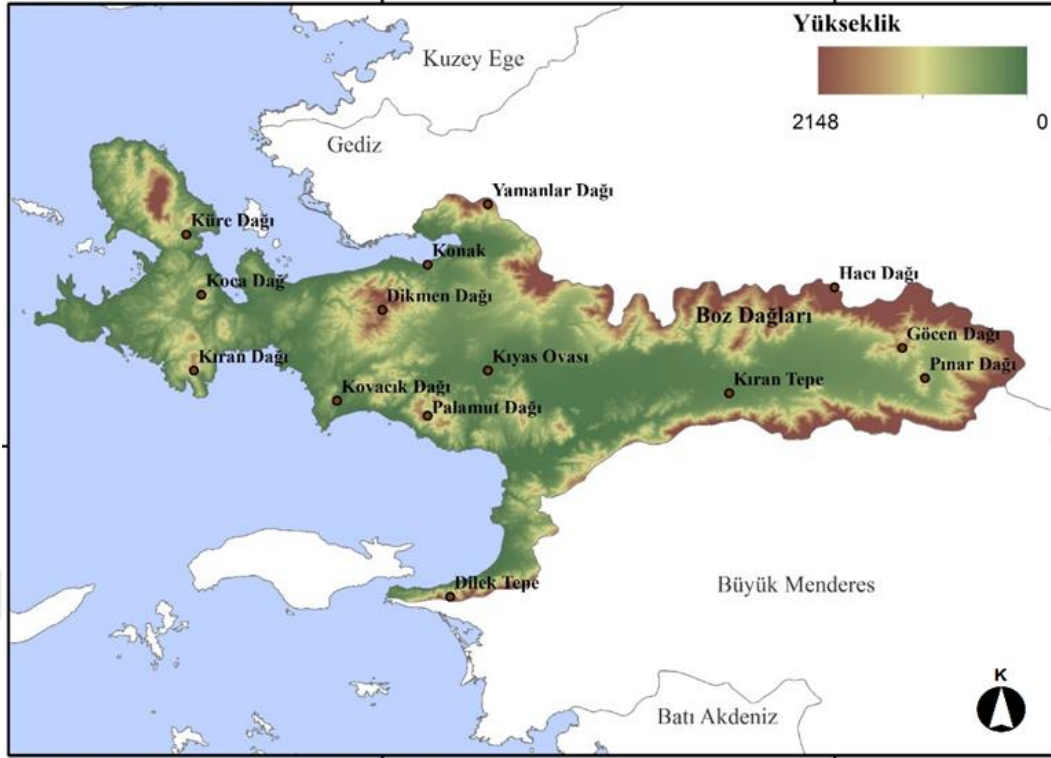
Küçük Menderes Havzası Türkiye havzaları içinde 06 numaralı havzadır ve DSİ tarafından havza 5 adet alt havzaya bölünmüştür. Alt havzalar Çeşme-Karaburun, İzmir Körfezi, Tahtalı-Seferihisar, Küçük Menderes Nehri ve Kuşadası'dır. SYGM tarafından yapılan kuraklık yönetim planlarında ise Küçük Menderes alt havzası Aşağı Menderes ve Yukarı Menderes olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır (SYGM, 2018). Alt havza alanlarını ve sınırlarını gösteren harita Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 Küçük Menderes Havzası alt havzaları (SYGM, 2018)

## 4.2 Coğrafi Durum

Havza, İzmir ilinin büyük bir kısmı ile Aydın ilinin Kuşadası ilçesini kapsar. Doğudan Karadağ, Çulha ve Ayrık (Oyuk) Dağlarıyla; güneyden batıya doğru Beydağ, Kümeli Dağı, kuzeyden batıya doğru ise Bozdağ, Çallıbadığı, Mahmut Dağı ve Kesme Dağları; batıda Ege Denizi ve İzmir Körfezi ile çevrilidir. Havza içerisinde yer alan dağları da gösteren havza fiziki haritası Şekil 4.4'te verilmiştir.

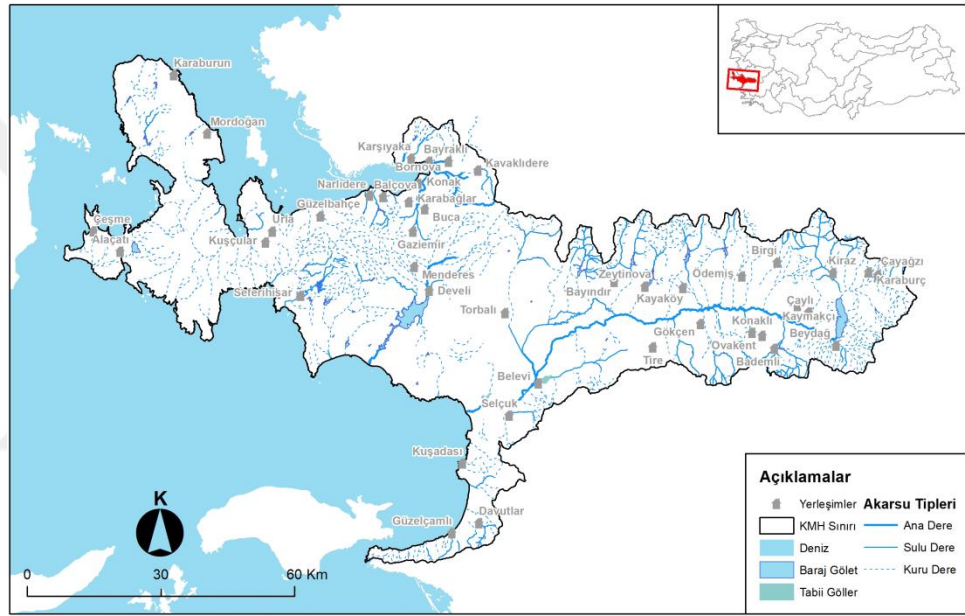


Şekil 4.4 Küçük Menderes Havzası fiziki haritası

Havzanın en yüksek dağı kuzeydeki 2159 m ile Bozdağ'dır. Bunu sırasıyla 1603 m ile Cevizli, 1587 m ile Geyik, 1553 m ile Çulha, 1510 m ile Nif, 1460 m ile Oyuk, 1387 m ile Mahmut ve 1705 m ile Yamanlar dağları izler. Batıya doğru bu yükseklikler sürekli olarak değişmekte, Ödemiş-Tire yöresinde 100 m, Selçuk yöresinde ise 400-600 metreye kadar düşmektedir. Karaburun yarımadasında 1218 m yükseklikteki Akdağ'ın dışında kalan doruklar 500-800 m arasındadır.

Küçük Menderes Havzası içerisinde bulunan önemli sayılabilecek 4 adet ova bulunmaktadır. Komşu Gediz ve Büyük Menderes ovalarından küçük olan Küçük Menderes Ovası, havzanın kuzeybatı kanadında bulunan ve İzmir'in 45 km güneydoğusunda yer alan Torbalı ilçesine bağlı olan Torbalı Ovası, kuzeydoğu ucunda bulunan Kiraz Ovası ve son olarak Ege kıyısında bulunan Selçuk Ovası havzada yer alan ovalardır.

Havzayı esas olarak temsil eden en büyük akarsu 129 km uzunluğundaki Küçük Menderes Nehri ve onun kollarıdır. Küçük Menderes Nehri'nin başlıca kolları Uluçay, Kocahavran, Çamlı, Keleş, Aktaş Çayları gibi ana kollarıdır. Akarsuyun denize döküldüğü yerde alüvyon-set gölleri olan Çakal ve Gebekirse Gölleri yer almaktadır. Küçük Menderes alt havzası dışındaki alt havzalarda ise irili ufaklı akarsular Ege Denizi'ne boşalmaktadır. Bunların belli başlıları ise Gök Dere, Ilıca Deresi, Boğaz Deresi, Rahmanlar Menderes Çayı, Tahtalı Çayı ve Çevlik Deresi'dir. Şekil 4.5'te havzanın akarsuları ve drenaj alanları verilmiştir.



Şekil 4.5 Küçük Menderes Havzası akarsuları ve drenaj alanları (SYGM, 2019)

### 4.3 Jeolojik Durum

Küçük Menderes Havzası genel olarak bakıldığında Menderes Masifi'nin orta bölümünde yer alan doğu-batı gidişli bir çöküntü havzasıdır. Havzanın en alt birimini Türkiye'nin önemli tektonik birimlerinden biri olarak bilinen kaya topluluğu niteliğindeki Menderes Masifi metamorfikleri oluşturur. Küçük Menderes Grabe'nde, Neojen-Kuvaterner yaşlı kırıntıların çökeldiği, farklı zamanlar ve iklim koşulları altında, değişik yönlerde gelişmiş ikincil havzalar yer alır. Küçük Menderes Havzası'nın bir diğer önemli ana birimi Bornova flışidir. Tabanında koyu renkli sleyt-gre-çakıltaşı düzeyleri bulunan bu istif, tavana doğru gri renkli masif dolomitize olmuş

kireçtaşlarına geçmektedir (SYGM, 2018). Havzanın genelini oluşturan metamorfik kayalar havzanın kuzeybatı bölümünde fazla görülmemektedir.

#### **4.4 Tarım ve Hayvancılık**

Küçük Menderes Havzası toprak yapısı genel olarak azonal toprak grubunda yer alan alüvyon topraklardan oluşmaktadır. Dolayısı ile havza oldukça büyük verimli arazilere sahiptir ve ürün verimi ve kalitesi de yüksektir. Havzanın yaklaşık yarısına yakın kısmında tarım yapılmaktadır.

En fazla tarım arazisine sahip olan ilçeler Ödemiş, Bayındır, Torbalı, Tire, Kemalpaşa ve Menderes ilçeleridir. Bunun yanı sıra Aydın ve Manisa illerine bağlı Söke ve Turgutlu ilçelerinin de tarım arazilerinin bir kısmı havza içinde kalmaktadır.

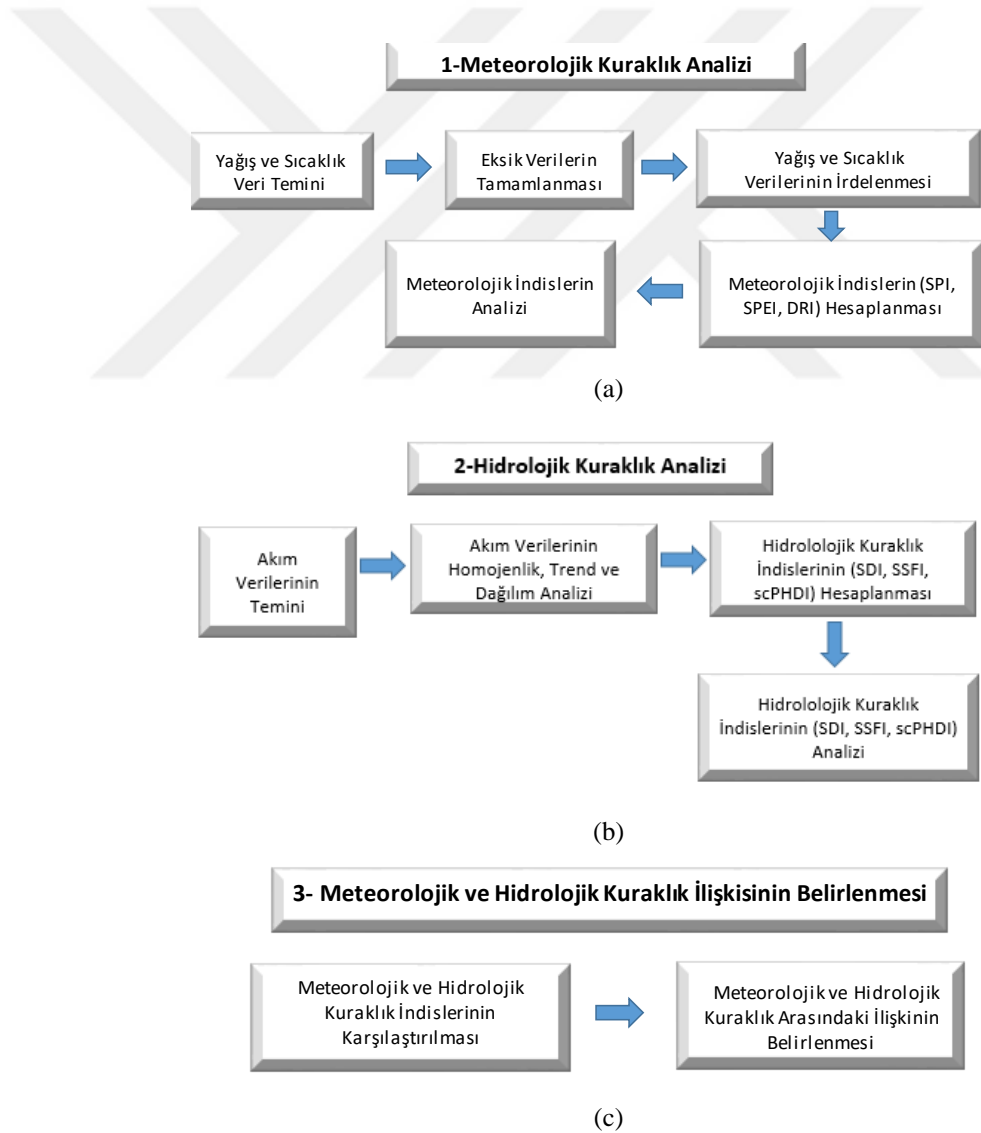
Havzada yetiştirilen en önemli tarım ürünleri zeytin ve pamuk başta olmak üzere tütün, tahıl, sebze ve meyvedir. Meyve olarak başta zeytin olmak üzere mandalina (satsuma), üzüm, şeftali, kiraz ve incir üretimi yapılmaktadır. Sebzelerde ise salçalık domates başta olmak üzere karpuz, salatalık, sofralık domates, biber, fasulye ve kavun onu takip eden en önemli ürünlerdir. Havzada üretimi yapılan tahıllar arasında mısır tonaj olarak ilk sırada yer almaktadır. Patates ve pamuk ise mısırı takip eden diğer tahıllardır.

Havzanın yüksek kesimlerinde hayvancılık meralarda yapılırken ovalarda ise genel olarak ahır hayvancılığı yapılmaktadır. Bunun yanında kümes hayvancılığı, ipekböcekçiliği ve arıcılık ta havzada yapılan hayvancılık faaliyetleri arasında yer almaktadır (SYGM, 2018).

## BÖLÜM BEŞ

### VERİLER VE ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Küçük Menderes Havzası'nda meteorolojik ve hidrolojik kuraklık arasındaki ilişkinin belirlenmesi kapsamında yapılan çalışmalar üç aşamada tamamlanmıştır. İlk aşama meteorolojik kuraklık indislerinin (SPI, SPEI, DRI) hesaplanması ve analizi; ikinci aşama hidrolojik kuraklık indislerinin (SDI, SSFI, scPHDI) hesaplanması ve analizi; son aşama ise meteorolojik ile hidrolojik kuraklık indislerinin kıyaslanması sureti ile meteorolojik ve hidrolojik kuraklıklar arasındaki ilişkinin ortaya konmasıdır. Çalışmada izlenen adımlar Şekil 5.1'de verilen diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Kuraklık analizinde izlenen adımlar (a) meteorolojik kuraklık analizi (b) hidrolojik kuraklık analizi (c) meteorolojik ve hidrolojik kuraklık analiz sonuçlarının kıyaslanması

Kuraklık analizi kapsamında kullanılan indisler meteorolojik ve hidrolojik olmak üzere iki türdür. İndislere ilişkin bilgiler Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1 Çalışmada kullanılan indisler ve özellikleri

İndis Adı	Kuraklık Türü	Girdi Parametreleri	Kullanım Alanı
Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI)	Meteorolojik	Yağış (P)	Dünya Meteoroloji Organizasyonu SPI’yı meteorolojik kuraklığı izlemede başlangıç indisi olarak belirlemiştir.
Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI)	Meteorolojik	Yağış(P) Sıcaklık(T)	Eksiksiz bir veri setine ihtiyaç vardır. SPI’dekine benzer çıktılar alınır. Yağışın yanı sıra evapotranspirasyon etkisini dikkate alır.
Kuraklık Keşif İndisi (DRI)	Meteorolojik	Yağış(P) Sıcaklık(T)	Tarım veya su kaynaklarının etkilenme durumu indisin öncelikli ilgi alanıdır.
Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI)	Hidrolojik	Yağış(P) Sıcaklık(T)	Su kaynaklarının uzun vadede kuraklıktan etkilenme durumlarının tespiti için kullanılır.
Akım Kuraklık İndisi (SDI)	Hidrolojik	Akış (SF)	Akış verilerini kullanarak SPI’dekine benzer bir hesap yapar.
Standartlaştırılmış Akım İndisi (SSFI)	Hidrolojik	Akış (SF)	Akış verilerini kullanarak SPI’dekine benzer bir hesap yapar.

Küçük Menderes Havzası’nda meydana gelen tarihi kuraklıkların tespiti, bu tez kapsamında Tablo 5.1’de verilen indisler aracılığıyla tespit edilecek kurak tarihlerin doğrulanması açısından önemlidir. Küçük Menderes Havzası’nda yaşanan tarihi kuraklıklara ilişkin olarak yapılmış özel bir çalışma olmadığı için Türkiye genelinde meydana gelen kurak yıllar için yapılmış olan çalışmalar bu tez kapsamında yaşanan tarihi kuraklıkların tespiti için referans alınmıştır.

Türkeş (1990) yaptığı çalışmada yağış açığının tehlikeli boyutlara ulaştığı tüm kurak yılları 1956-1957, 1959, 1970, 1972-1973, 1977, 1982 ve 1984 olarak sıralamıştır. 1972 ile 1973 yılları arasında yaşanan kuraklık sırasında, Ege Bölgesi’nin istisnai olarak sadece 1972 yılında kuraklık yaşadığını eklemiştir. Kurnaz (2014) tarafından yapılan çalışmada ise 1971-1974, 1983-1984, 1989-1990, 1996, 2001 ve 2007-2008 yılları Türkiye genelinde yaşanan kurak yıllar olarak alınmıştır. 1927-1928, 1956-1957, 1959, 1970, 1972-1973, 1977, 1982, 1984, 1989-1990, 1994, 2000-2001 ve 2006-2007 yılları yine ülkemizde yağış eksikliğinin ve kuraklığın yaygın olarak yaşandığı yıllar olarak kayıt altına alınan yıllardır (MGM, 2014). Bunun dışında

yakın geçmişte özellikle 2013-2014 yıllarının, yağışların ortalamaların çok altına düştüğü kurak yıllar olarak kayıtlara girdiği bilinmektedir.

Çalışma kapsamında yapılan hesap ve analizlerde çeşitli yazılımlar kullanılmıştır. Tablolar ve grafikler için “Microsoft Excel”, indislerin hesaplanmasında istatistiksel programlar olan “R Studio” (RStudio Team, 2015) ve “DrinC (Drought Indices Calculator)” (Tigkas, Vangelis ve Tsakiris, 2015), homojenlik analizleri ve regresyon analizleri için “Microsoft Excel” in istatistik eklentisi olan “XLSTAT” ile “EasyFit Professional”, haritaların oluşturulmasında ise “ArcMAP” yazılımı kullanılmıştır. Tablo 5.2’de kullanılan yazılımlar ve kullanım alanları sıralanmıştır.

Tablo 5.2 Çalışmada kullanılan yazılımlar ve kullanıldığı alanlar

Yazılım Adı	Kullanım Alanı
Microsoft Excel	*Aylık yağış, sıcaklık ve akım verilerinin düzenlenmesi *Kuraklık indislerinin düzenlenmesi *Tüm verilerin ve indislerin zaman serilerinin oluşturulması
XLSTAT	*Regresyon analizleri
EasyFit Professional	*Uygun dağılımın belirlenmesi
R Studio	*SPI, SPEI, SSFI, scPHDI hesabı ve homojenlik analizi
DrinC	*SDI ve DRI hesabı
ArcMAP 10.3.1	*Tüm haritaların oluşturulması

## 5.1 Meteorolojik Kuraklık Analizi Çalışmaları

Meteorolojik kuraklık analizi çalışmaları kapsamında MGİ verileri kullanılarak meteorolojik parametrelerin indisler aracılığı ile değerlendirmeleri yapılmıştır. Havza içinde yeterli gözlem sürekliliğine sahip fazla sayıda meteoroloji istasyonu bulunmadığından Gediz ve Büyük Menderes Havzalarının Küçük Menderes Havzası’na komşu olan kesimlerinde yer alan gözlem istasyonları da değerlendirme kapsamına alınmıştır. Böylece daha fazla sayıda gözlem istasyonu ile daha güvenilir sonuçlara ulaşılması hedeflenmiştir. Bu minvalde yapılan çalışma neticesinde 6 âdeti

havza içinde ve 5 adedi komşu havzalarda olmak üzere toplam 11 adet meteoroloji gözlem istasyonu havzanın genelini temsil edecek şekilde belirlenmiştir.

11 istasyonun verileri incelenerek 1972-2016 yılları ortak dönem olarak belirlenmiş ve ortak dönem için yağış ve sıcaklık verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. 11 istasyona ait 1972-2016 yılları arası yağış ve sıcaklık verilerinden eksik olanlar doğrusal regresyon modeli ile tamamlanmıştır.

Yağış ve sıcaklık verileri için homojenlik ve trend analizi çalışmaları bu çalışma kapsamında yapılmamış ve Onuşluel Gül, Gül ve Kuzucu (2017) tarafından Küçük Menderes Havzası'nda SPI ve SPEI hesap yöntemleri kullanılarak yapılan kuraklık analizi çalışmasından faydalanılmıştır.

Seçilen ortak dönem için Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI), Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ile Kuraklık Keşif İndisi (DRI) hesaplanmış ve sonuçlar birbirleri ile kıyaslanmıştır.

### ***5.1.1 Sıcaklık ve Yağış Verilerinin Temini***

Küçük Menderes Havzası'nda ve komşu havzalarda yer alan meteoroloji gözlem istasyonları incelenmiş ve havzanın genelini temsil edecek şekilde 11 adet meteoroloji gözlem istasyonu belirlenmiştir (Şekil 5.2).





Şekil 5.2 Çalışma kapsamında seçilen meteoroloji gözlem istasyonları

Seçilen meteoroloji gözlem istasyonları için aylık toplam yağış (mm) ve aylık ortalama sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Bu veriler için 1972-2016 tarihleri ortak dönem olarak belirlenmiştir. Meteoroloji gözlem istasyonlarına ait bilgiler Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3 Meteoroloji gözlem istasyonlarının özellikleri

İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Gözlem Başlangıç	Kot Bilgisi	Konum Bilgisi
17186	Manisa	38,6153	27,4049	01.01.1930	71	Havza Dışında (Gediz)
17220	İzmir	38,3949	27,0819	01.01.1938	29	İzmir-Körfez Alt Havzası
17221	Çeşme	38,3036	26,3724	04.01.1963	5	Çeşme-Karaburun Alt Havzası
17232	Kuşadası	37,8597	27,2652	02.01.1939	25	Kuşadası Alt Havzası
17234	Aydın	37,8402	27,8379	04.01.1940	56	Havza Dışında (B.Menderes)
17792	Salihli	38,4831	28,1234	01.01.1959	111	Havza Dışında (Gediz)
17820	Seferihisar	38,199	26,835	23.08.1971	22	Tahtalı-Seferihisar Alt Havzası
17822	Ödemiş	38,2157	27,9642	01.01.1945	117	Çeşme-Karaburun Alt Havzası
17850	Sultanhisar	37,8843	28,1504	01.01.1972	73	Havza Dışında (B.Menderes)
17854	Selçuk	37,9445	27,3673	01.01.1964	18	Çeşme-Karaburun Alt Havzası
17860	Nazilli	37,9135	28,3437	01.01.1935	84	Havza Dışında (B.Menderes)

### 5.1.2 Eksik Sıcaklık ve Yağış Verilerinin Tamamlanması

Küçük Menderes Havzası meteorolojik kuraklık analizi için seçilen 11 MGI'de 1972-2016 dönemi içerisinde ölçülmüş yağış ve sıcaklık veri serilerinde yer alan eksik veriler regresyon analizi ile tamamlanmıştır.

Eksik verilerin regresyon analizi ile tamamlama çalışması için en yakın meteoroloji gözlem istasyonlarının verileri kullanılmıştır. Meteoroloji gözlem istasyonlarının ilişkilendirilmesinde yakınlık kriterinin yanı sıra istasyon kotları, kayıtların uzunluğu ile eş zamanlılığı da göz önüne alınmıştır. Regresyon analizi kapsamında seçilen meteoroloji gözlem istasyonları yağış ve sıcaklık verilerinden yararlanılmak sureti ile istasyonlar arasındaki matematiksel ilişki “Microsoft Office Excel”in eklentisi olan “XLSTAT” veri analiz programı kullanılarak ortaya konulmuştur.

Birden fazla değişken arasında bir ilişki olup olmadığını ve varsa ilişkinin yönü ve gücünü belirlemek amacıyla yapılan regresyon analizi sonucu bulunan korelasyon katsayısının 1 değerine yakın olması, yapılan analizin kuvvetli olduğunun bir göstergesidir. Bu durumda, ilgili değişkenler arasında sağlam bir ilişki olduğu da söylenebilir. Korelasyon katsayısı Denklem 5.1 ile elde edilmektedir.

$$r = \frac{n \sum y_i x_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (5.1)$$

Denklem 5.1’de ( $x_i$ ) bağımsız değişken, ( $y_i$ ) bağımlı değişken, ( $n$ ) veri sayısı ve ( $i$ ) veri sırasını göstermektedir.

Seçilen 11 adet meteoroloji gözlem istasyonunda eksik yağış ve sıcaklık verileri olan aylar, regresyon için ilişkilendirilen istasyonlar ve determinasyon katsayıları Tablo 5.4’te verilmiştir.

Tablo 5.4 MGİ eksik yağış ve sıcaklık verilerinin regresyon analizi ile tamamlama çalışmaları

NO	İSTASYON ADI	ORTAK PERİYOD	EKSİK VERİLER		REGRESYON			
			YAĞIŞ	SICAKLIK	YAĞIŞ	R <sup>2</sup>	SICAKLIK	R <sup>2</sup>
1	MANİSA	Oca.72-Ara.16	Ek.84,Ek.01,Kas.11,Ara.15		BORNOVA, TURGUTLU,SALİHLİ	0,9366		
2	İZMİR		Ek.84,Ek.01,Kas.11,Ara.15		BORNOVA, SEFERİHİSAR	0,9642		
3	ÇEŞME		Ek.01,Kas.11,Ara.15		İZMİR, KUŞADASI, SEFERİHİSAR	0,8703		
4	KUŞADASI		May.77,Ek.80-Kas80,Ek.84,Haz.99,Ara.15	Kas.80	GERMENCİK, SELÇUK	0,9332	AYDIN	0,9879
5	AYDIN		Ek.84,Ara.91,Ara.15		GERMENCİK, SULTANHİSAR, SELÇUK	0,9422		
6	SALİHLİ		Ek.84,Oca.92		ALAŞEHİR, TURGUTLU	0,8782		
8	SEFERİHİSAR		May.77,Ek.84,Ek.93, May.99,Ek.01,Kas.11		İZMİR,KUŞADASI, ÇEŞME	0,9105		
9	ÖDEMiŞ		May.77,Ek.84,Oca.92,Kas.11	Haz.10-Tem.10	SALİHLİ,TİRE, OVAKENT	0,9543	AYDIN	0,9955
10	SULTANHİSAR		May.77,Ek.84,Oca.92,Kas.11		AYDIN,OVAKENT	0,9445		
11	SELÇUK		Ek.84,Ek.01		TİRE,KUŞADASI	0,9445		
12	NAZİLLİ		May.77,Ek.84,Oca.92,Kas.11		SULYANHİSAR, AYDIN, OVAKENT	0,9683		

### 5.1.3 Sıcaklık ve Yağış Verilerinin Analizi

Yağış ve sıcaklık verileri Onuşluel Gül ve diğer. (2017) yaptıkları çalışmada ortak dönem olarak tez kapsamında da seçilen 1972-2016 yıllarını kullanmışlardır. Yine tez kapsamında kullanılan tüm MGİ'ler söz konusu çalışmada homojenlik ve trend açısından değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada sıcaklık ve yağış verilerinin homojenliğini test etmek için Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT), Buishand Testi, Pettitt Test ve Von Neumann Oran Testi kullanılmıştır. Trend analizi için ise parametrik olmayan Mann-Kendall testi kullanılmıştır. Testlere ilişkin ayrıntılı açıklamalar aşağıda verilmiştir.

Yağış verilerinin değerlendirilmesinde ve kurak dönemlerin tespitinde kullanılan bir diğer yöntem de "Eklenik Sapma Yağış Eğrisi"dir. Eklenik sapma eğrisi, zamana göre yağışların ortalama yağıştan sapma değerlerinin toplamını gösteren eğridir. Tez kapsamında yapılan çalışmada verilerimiz aylık veriler olduğu için eklenik sapmalar aylık bazda hesaplanmıştır. Eklenik sapma grafiği oluştururken öncelikle seçilen döneme ait aylık toplam yağışların ortalaması hesaplanır. O aya ait yağışın ortalama yağıştan sapma değeri tespit edilir (Denklem 5.2). Daha sonra bu sapmalar toplanmak

sureti ile eklenik sapma miktarı bulunur (Denklem 5.3) ve zamana bağlı eklenik sapma grafiği oluşturulur.

$$\Delta P_i = P_i - P_{ort.} \quad (5.2)$$

$$\Delta P_{i,eklenik} = \Delta P_{i-1,eklenik} + \Delta P_{i-1} \quad (5.3)$$

Eklenik sapma yağış eğrisi hem kurak dönemlerin tespitinde hem de yağış verisi kullanılarak hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI)'nin doğrulanmasında kullanılmıştır. Tez kapsamında seçilen tüm MGİ'ler için eklenik sapma yağış eğrileri oluşturulmuştur. Eklenik sapma eğrileri, yağışın zamana bağlı değişim grafikleri üzerine çizilmiştir. Böylece yağış verileri ile kıyaslanması da sağlanmıştır.

#### 5.1.3.1 Buishand Testi

Buishand tarafından 1982 yılında geliştirilen bu test, zaman serisinde bir kırılma tespit edilirse homojenliğin bozulduğunu eğer kırılma oluşmuyorsa serinin homojen olduğu varsayımına dayanmaktadır. Zaman serisinin normal dağılıma uyduğu kabul edilmiştir.

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad k = 1, \dots, n \quad (5.4)$$

Denklem 5.4'te  $S_0^*$  değeri sıfırdır. Eğer seri homojen ise ortalamadan sapma olmayacak ve  $S_k^*$  değeri sıfıra yakın değerler alacaktır. Eğer herhangi bir k yılında seride homojenlik bozuldu ise bu defa  $S_k^*$  değeri en düşük veya en yüksek değerlere ulaşacaktır. K yılında yaşanması olası bu değişimin anlamlılığı R istatistiği ile ortaya konur (Denklem 5.5)

$$R = (\max S_k - \min S_k) / s \quad 0 \leq k \leq n \quad (5.5)$$

R katsayısı elde edildikten sonra  $R/\sqrt{n}$  kritik değeri belli bir anlamlılık düzeyinde Tablo 5.5'de verilen kritik değerler ile kıyaslanır. Bu değer tablo değerinden büyük ise

$H_0$  hipotezi yani serinin homojen olduğu kabul edilir. Tam tersi bir durumda ise  $H_1$  hipotezi yani serinin homojen olmadığı durumu ortaya çıkar.

Tablo 5.5 Buishand testi %1 ve %5 anlamlılık düzeyi için kritik  $R/\sqrt{n}$  değerleri tablosu

n	20	30	40	50	70	100
1%	1,6	1,7	1,74	1,78	1,81	1,86
5%	1,43	1,5	1,53	1,55	1,59	1,62

### 5.1.3.2 Mann-Kendall Trend Analizi

Bir başka eğilim belirleme testi de yaygın olarak kullanılan Mann Kendall testidir. Bu test ile zaman serisinin eğilimi ve eğilimin yönü belirlenir. Ağırlıklı olarak normal dağılıma uymayan veriler için kullanılır. Verilerde meydana gelebilecek rassal eğilimleri tespit eder (Helsel ve Hirsch, 1992). Verilerin aynı kümeye ait olması sıfır hipotezi ( $H_0$ ) ile verilerin aynı gruba ait olmadığı durum ise , zıt hipotez ( $H_1$ ) ile ifade edilir.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (5.6)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{eğer } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{eğer } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{eğer } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (5.7)$$

$n > 10$  olduğunda S istatistiğinin dağılımı normal dağılıma uygun hale gelir (Önöz ve Bayazıt, 2003). Bu durumda varyans Denklem 5.8 ile hesaplanır.

$$\text{Var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18 \quad (5.8)$$

Daha sonra Denklem 5.9 ile normalleştirilmiş Z değeri hesaplanarak kritik Z değerleri ile karşılaştırılarak trendin anlamlı olup olmadığı test edilir.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (5.9)$$

Elde edilen Z değerlerinin mutlak değeri, seçilen  $\alpha$  anlamlılık düzeyi için standart normal dağılım tablosundan elde edilen  $Z_{\alpha/2}$  değeri ile kıyaslanır. Eğer  $|Z| > Z_{\alpha/2}$  ise sıfır hipotezi kabul edilir yani seride trend olmadığı anlaşılır. Tam tersi durumda ise sıfır hipotezi reddedilir. Ayrıca, Z değerinin negatif olması azalan, pozitif olması ise artan bir trendin varlığına işaret etmektedir. Bu çalışmada %5 anlamlılık düzeyine denk gelen  $\pm 1.96$  değeri kritik değer olarak seçilmiştir.

### 5.1.3.3 Alexandersson Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT)

Alexandersson tarafından yağış serilerindeki değişikliğin tespit edilmesine yönelik olarak 1986 yılında Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT) geliştirilmiştir. Test basit ve esnek bir yöntem olduğu için yaygın olarak iklimsel verilerin test edilmesinde kullanılmaktadır.

$$T(c) = c \cdot \bar{z}_1 + (n - c) \cdot c \cdot \bar{z}_1^2 \quad (5.10)$$

Burada,

$z_i$  : gözlem verileri

$\bar{z}_1$  : değişim öncesi  $z_i$  serisinin aritmetik ortalaması

$\bar{z}_2$  : değişim sonrası  $z_i$  serisinin aritmetik ortalaması

$c$  : kırılma yılı,  $c=1, \dots, n$ 'dir.

Denklem 5.10'da olası bir kırılma yılı ( $c$ ) için  $T(c)$  değeri hesaplanmıştır. Bu noktada  $T(c)$  değerinin maksimuma ulaştığı noktadır. Yani eğer herhangi bir  $c$  yılında kırılma var ise  $c$  yılı için  $T(c)$  değeri maksimum olur. Buradan  $T_0$  test istatistiği hesaplanır (Denklem 5.11).

$$T_0 = \max T(c) \quad (5.11)$$

$T_0$  değeri seçilen anlamlılık düzeyi için test istatistiği değerini aşarsa sıfır hipotezi ( $H_0$ ) reddedilir. Tez kapsamında yapılan çalışmada anlamlılık düzeyi %5 olarak seçilmiştir.

#### 5.1.3.4 Pettitt Testi

1979 yılında Pettitt tarafından geliştirilen test bir zaman serisindeki değişim noktasını belirlemek için kullanılır. Parametrik olmayan bu yöntem aylık veya yıllık ölçekte değişim noktasını tespit edebilmektedir.

$H_0$  hipotezi homojen olduğunu gösterirken,  $H_1$  hipotez ise bir değişimi yani zaman serisinin homojen olmadığını göstermektedir. Test istatistiği Denklem 5.12 ile hesaplanır.

$$X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1) \quad k = 1, \dots, n \quad (5.12)$$

$X_k$  değerleri için oluşturulan grafik üzerinde  $X_k$ 'nin mutlak değerinin maksimum olduğu nokta belirlenir. Bu nokta zaman serisi için değişim noktasıdır.

$$X_E = \max|X_k| \quad 1 \leq k \leq n \quad (5.13)$$

#### 5.1.3.5 Von Neumann Oran Testi

1941 yılında Von Neumann tarafından geliştirilen test ile homojenliğin bozulduğu yani kırılmanın olduğu nokta tespit edilir (Von Neumann, 1941). Bir yıldaki değer ile bir sonraki yıldaki değer farkının karesinin toplamalarının toplam varyans değerine oranını kullanan Von Neumann Oran testinin test istatistiği  $N$  şöyle ifade edilir:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (y_i - y_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (5.14)$$

Denklem 5.14'te ( $y_i$ ) 1'den n yıla kadar olan test edilecek seriyi ve  $\bar{y}$  ise serinin ortalamasını göstermektedir. Eğer hesaplanan N değeri Tablo 5.6'daki değerinden küçükse  $H_0$  hipotezi kabul edilir yani seride homojenlik yoktur. Tam tersi durumda ise  $H_1$  hipotezi kabul edilir.

Tablo 5.6 Von Neumann Testi %1 ve %5 anlamlılık düzeyi N kritik değerleri

n	20	30	40	50	70	100
1%	1,04	1,2	1,29	1,36	1,45	1,54
5%	1,3	1,42	1,49	1,54	1,61	1,67

#### 5.1.4 Meteorolojik Kuraklık İndislerinin Hesaplanması

Tez konusunun ana unsurlarından biri meteorolojik kuraklığın analiz edilmesidir. Meteorolojik kuraklık analizi için belirlenen kuraklık indislerinin, MGİ bazında hesaplanması çalışmanın ilk adımını oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında SPI, SPEI ve DRI olmak üzere 3 adet meteorolojik kuraklık indisi seçilmiştir. Bu indislerin seçimi esnasında öncelikle sınıflandırma sistemi olarak birbirleri ile kıyas edilebilirliği aranmış, daha sonra özellikle havzadaki yüksek sıcaklıklar da göz önüne alınarak sıcaklığı da girdi verisi olarak kullanan indisler seçilmeye çalışılmıştır. Ayrıca indislerin yaygın olarak kullanılması, hesap sistematığının nispeten kolay olması ve girdi verilerinin temin edilebilirliği hususları da göz önüne alınmıştır.

Çalışmada kullanılan tüm meteoroloji gözlem istasyonlarında 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık dönemler için SPI ve SPEI ile 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler için DRI hesaplanmıştır. Seçilen indislerin hesaplama sistematığı detaylı olarak *Bölüm 5.1.4.1* ile *Bölüm 5.1.4.3* arasında verilmiştir.



#### 5.1.4.1 Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI)

Dünya Meteoroloji Organizasyonu (WMO) tarafından oluşturulan “Kuraklık İndikatör ve İndisleri El Kitabı (2016)”nda temel meteorolojik kuraklık indisi olarak tanımlanan SPI, daha çok bölgesel kuraklıkları tespit edip tanımlamak üzere McKee ve diğer. (1993) tarafından geliştirilmiştir. SPI, aylık ortalama yağış miktarının yıllık ortalama yağış miktarından çıkarılıp standart sapmaya bölünmesi ile elde edilir (McKee ve diğer. 1993).

$$SPI = \frac{X_i - X_{ort}}{\sigma} \quad (5.15)$$

Denklem 5.15’te  $X_i$  gözlem istasyonundaki belli bir dönem için toplam yağışı (mm);  $X_{ort}$  gözlem istasyonundaki uzun süreli ortalama toplam yağışı (mm) ve  $\sigma$  yağışların standart sapmasını göstermektedir.

Yağışların olasılık dağılım fonksiyonu normal dağılıma uygun değildir. McKee ve diğer. (1993) ile Thom (1966) yağış verilerinin zaman serilerine en iyi uyum sağlayan dağılımın gamma dağılımı olduğunu belirtmişlerdir. Bu yüzden yağış verilerinin olasılık dağılım fonksiyonu gama dağılımına uydurulur. 2 parametrelili gamma dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu Denklem 5.16’de verilmiştir.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, \alpha > 0, \beta > 0, x > 0 \quad (5.16)$$

Denklem 5.16’da  $\alpha$  şekil parametresi,  $\beta$  ölçek parametresi,  $x$  yağış miktarı ve  $\Gamma(\alpha)$  gamma fonksiyondur. Gamma dağılımının parametreleri maksimum olabilirlik yöntemi ile ideal şekilde hesaplanabilmektedir. Gamma fonksiyonu  $\Gamma(\alpha)$  ise Denklem 5.17’de verilen formül ile oluşturulur.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (5.17)$$

Belirli zaman ölçeği için hesaplanan toplam olasılık yoğunluk fonksiyonu ise Denklem 5.18 ile Denklem 5.20 arasında verilmiştir.

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta^{\hat{\alpha}}\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\beta} dx \quad (5.18)$$

$$t = x/\hat{\beta} \quad (5.19)$$

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad (5.20)$$

Toplam olasılık yoğunluk fonksiyonunu G(x) standart normal dağılıma dönüştürülür. Bu dönüşüm için daha basit bir yaklaşıma sahip olduğu için 1965 yılında Abramowitz ve Stegun tarafından yapılan çalışma kullanılabilir. Abramowitz ve Stegun (1965)'un çalışmalarında gösterdiği klasik yaklaşıma göre SPI hesabı Denklem 5.21 ve Denklem 5.22'de verilmiştir.

$$SPI = W - \frac{C_0 + C_1 + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (5.21)$$

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad P \leq 0.5 \quad (5.22)$$

Denklem 5.22'de P aşılma olasılığı değeri 1-F(x) olmak üzere P>0.5 olduğu durumda P değerinin yerine 1-p yazılır. Bu durumda SPI değerinin işareti tersine alınır. Denklemde yer alan sabitlerin değerleri şöyledir:

$$\begin{aligned} C_0 &= 2,515517, & C_1 &= 0,802853, & C_2 &= 0,010328 \\ d_1 &= 1,432788, & d_2 &= 0,189269, & d_3 &= 0,01308 \end{aligned}$$

SPI değerleri dikkate alınarak yapılan bir kuraklık değerlendirmesinde indisin sürekli olarak negatif olduğu zaman periyodu kurak dönem olarak tanımlanır. İndisin sıfırın altına ilk düştüğü dönem kuraklığın başlangıcı olarak kabul edilirken, indisin pozitif değere yükseldiği ay kuraklığın bitimi olarak değerlendirilir (McKee, Doesken

ve Kleist, 1994). SPI değerlerine göre kuraklık sınıflandırılması Tablo 5.7’de verilmiştir.

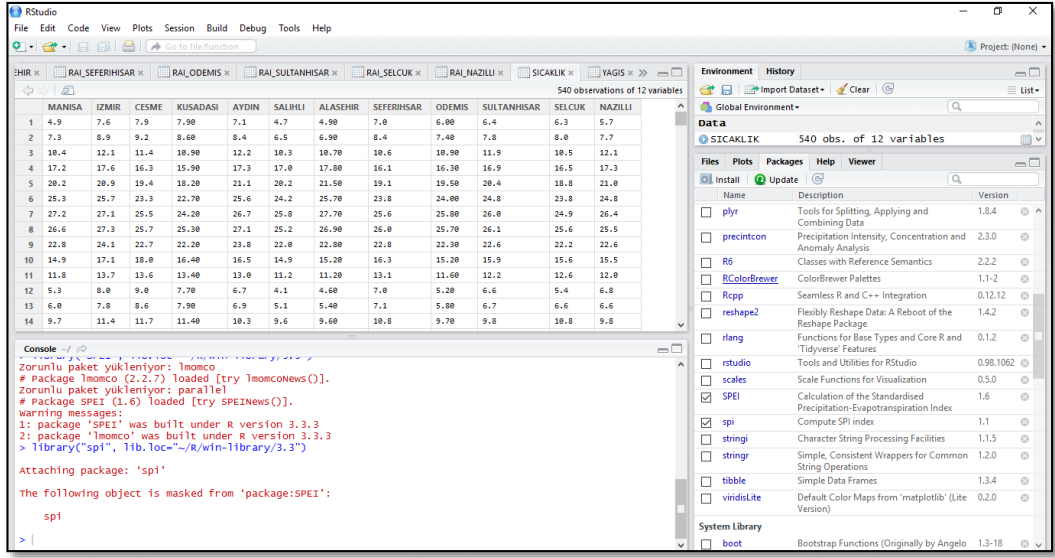
Tablo 5.7 SPI metoduna göre indis değerleri ve sınıflandırması (McKee ve diğer., 1994)

SPI Değerleri	Kuraklık Sınıflandırması
$2,0 < SPI$	Aşırı Nemli
$1,5 < SPI \leq 2,0$	Şiddetli Nemli
$1,0 < SPI \leq 1,5$	Orta Nemli
$0,5 < SPI \leq 1,0$	Hafif Nemli
$0,5 < SPI \leq -0,5$	Normal
$-0,5 < SPI \leq -1,0$	Hafif Kurak
$-1,0 < SYİ \leq -1,5$	Orta Kurak
$-1,5 < SYİ \leq -2,0$	Şiddetli Kurak
$-2,0 > SPI$	Aşırı Kurak

SPI, farklı dönemler (1-3-6-9-12-24-48 ay) için hesaplanabilmektedir. Genel olarak yağışta meydana gelen anormalliklerin etkisi, meteorolojik ve tarımsal koşulları 1 ile 6 ay arasında değişen kısa dönemlerde etkilemeye başlarken akım, depolama tesisleri ve yeraltı suyunu, 6 ile 24 ay arasında değişen uzun dönemler içinde etkilemeye başlamaktadır (WMO, 2012).

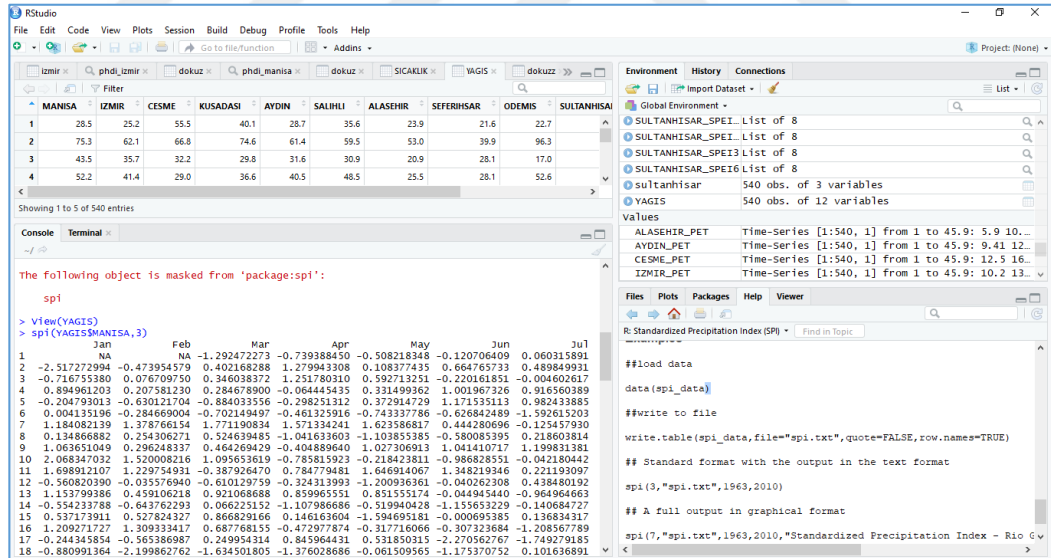
Bu tez kapsamında yapılan SPI hesaplamaları “*R Studio*” yazılımı içinde yer alan SPI ve SPEI paketindeki SPI kodu ile yapılmıştır. SPI kodu yukarıda anlatıldığı şekilde girdi verilerinin olasılık dağılım fonksiyonunun gama dağılımına uydurulması dahil tüm adımları yapmaktadır.

“*R Studio*” yazılımına öncelikle SPI ve SPEI paketleri yüklenir. Daha sonra her bir MGİ’de ölçülmüş aylık toplam yağış verileri girdi olarak yüklenir (Şekil 5.3)



Şekil 5.3 R Studio yazılımına SPI ve SPEI paketleri ve girdilerin yüklenmesi

Girdi verileri ve paketler yüklendikten sonra her bir MGİ için 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık SPI değerleri hesaplanmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 R Studio yazılımı ile 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık SPI değerlerinin hesaplanması

### 5.1.4.2 Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI)

SPI ile benzer hesaplama esaslarına dayanan SPEI, Vicente-Serrano, Begueria ve L'opez-Moreno (2010) tarafından geliştirilen bir indistir. Girdi olarak yağış ve

sıcaklık verisi kullanılır. SPEI hesabında SPI'dan farklı olarak evapotranspirasyon etkisi hesaba katılmaktadır. Dolayısı ile SPEI özellikle sıcaklığın değişkenliği ve aşırılığı durumları için küresel ısınmanın ötesinde ortaya çıkabilecek etkileri açıklayabilmektedir (Çamalan ve diğer., 2017).

Denklem 5.23'de verilen temel su dengesi denklemi kullanılarak SPEI hesaplanmaktadır. Yağışlardan evapotranspirasyon etkisinin çıkarılması SPEI hesabının, SPI hesabından temel farklılığıdır.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (5.23)$$

Potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerlerinin hesaplanması SPEI hesabının ilk adımındır. PET hesabı için meteoroloji gözlem istasyonlarında ölçülen parametreler kullanılarak yapılan pek çok dolaylı metot oluşturulmuştur. Uluslararası Sulama ve Drenaj Komisyonu (ICID), Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği (ASCE) tarafından kabul edilen Penman-Monteith (PM) yöntemi güneş radyasyonu, sıcaklık, rüzgar hızı ve bağıl nem gibi dünyanın pek çok yerinde ölçülemeyen veriler kullanılmaktadır. Dolayısı ile PM yönteminde genel olarak veri temininde güçlükler yaşanabilmektedir. Veri temininde güçlükler olması durumu için Allen, Pereira, Raes ve Smith (1998) tarafından alternatif ampirik yöntemler önerilmiştir. Mavromatis (2007) tarafından yapılan çalışmada ise PDSI gibi indis hesaplarında kullanılmak üzere yapılan PET hesabı için basit veya karmaşık yöntemler kullanmanın benzer sonuçlar ortaya koyduğu söylenmiştir. Bu nedenle çalışmada PET'in hesaplanmasında en basit yaklaşım olan Thornthwaite (1948) kullanılmıştır. Thornthwaite ile sıcaklık verisi ile enlem bilgileri kullanılarak aylık PET (mm/ay) değerleri hesaplanmaktadır. PET hesabı Denklem 5.24 ile Denklem 5.28 arasında verilmiştir.

$$PET = 16K \left( \frac{10T}{i} \right)^m \quad (5.24)$$

$$i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1,514} \quad (5.25)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad (5.26)$$

$$m = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,492 \quad (5.27)$$

$$K = \left(\frac{N}{12}\right) \left(\frac{NDM}{30}\right) \quad (5.28)$$

Denklemlerde;

T = aylık ortalama sıcaklık (oC)

i = aylık sıcaklık indisi

I = sıcaklık katsayısı

m = I'ya bağılı katsayı

K = enlem düzeltme katsayısı

N = maksimum güneşlenme süresi (saat/ay)

NDM = bir aydaki gün sayısı

K enlem düzeltme katsayısı olup ortalama güneşlenme sürelerine göre hesaplanan bir değerdir. K katsayısı bir yerin coğrafi konumuna göre değişmektedir. Bu katsayı değerleri Thornthwaite (1948) tarafından bir çizelge olarak hazırlanmıştır. PET hesabı için kullanılan verilerin mümkün olduğunca uzun ve kesintisiz bir seri olması gerekir.

D değeri hesaplandıktan sonra SPEI hesabı SPI hesabında uygulanan yöntem ile aynı yöntemi uygulamak sureti ile yapılmaktadır. İklimsel yağış verisinin standartlaştırılması için log logistik dağılımı önerilmektedir. Dünya genelinde farklı iklim koşullarında yapılan çalışmalar da yağıştaki değişim ile log logistik dağılım arasında belirgin bir uyum olduğunu göstermektedir. Farklı zaman ölçekleri için hesaplanan D serisine log logistik olasılık dağılımı iyi bir uyum sağlamaktadır (Vicente-Serrano ve diğer., 2010).

Bu durumda log-lojistik dağılımlı 3 parametrelili değişkenin olasılık yoğunluk fonksiyonu Denklem 5.29'de verilmiştir:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \left(1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right)^{-2} \quad (5.29)$$

Burada  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  sırası ile ölçek, şekil ve merkez parametreleri;  $x$  ise yağış miktarıdır. Log-lojistik dağılımının bu parametreleri L-moment yöntemi ile hesaplanabilmektedir. Belirli zaman ölçeği için hesaplanan toplam olasılık yoğunluk fonksiyonu ise Denklem 5.30'de verilmiştir.

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma}\right)^{\beta}\right]^{-1} \quad (5.30)$$

Toplam olasılık yoğunluk fonksiyonunu  $F(x)$  standart normal dağılıma dönüştürülür. Bu dönüşüm için 1965 yılında Abramowitz ve Stegun tarafından yapılan çalışma kullanılabilir (Vicente-Serrano ve diğer. 2010). Abramowitz ve Stegun (1965) çalışmalarında gösterdiği klasik yaklaşıma göre SPEI hesabı Denkleme 5.30 ve 5.31'te verilmiştir.

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (5.31)$$

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad P \leq 0,5 \quad (5.32)$$

Denklem 5.32'de  $P$  aşılma olasılığı değeri  $1-F(x)$  olmak üzere  $P > 0,5$  olduğu durumda  $P$  değerinin yerine  $1-p$  yazılır. Bu durumda SPEI değerinin işareti tersine alınır. Denklemden yer alan sabitlerin değerleri şöyledir:

$$\begin{aligned} C_0 &= 2,515517, & C_1 &= 0,802853, & C_2 &= 0,010328 \\ d_1 &= 1,432788, & d_2 &= 0,189269, & d_3 &= 0,01308 \end{aligned}$$

SPEI sınıflandırması SPI ile aynı olup Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.8 SPEI metoduna göre indis değerleri ve sınıflandırması

SPI Değerleri	Kuraklık Sınıflandırması
$2,0 < \text{SPI}$	Aşırı Nemli
$1,5 < \text{SPI} \leq 2,0$	Şiddetli Nemli
$1,0 < \text{SPI} \leq 1,5$	Orta Nemli
$1,0 < \text{SPI} \leq 0,5$	Hafif Nemli
$0,5 < \text{SPI} \leq -0,5$	Normal
$-0,5 < \text{SPI} \leq -1,0$	Hafif Kurak
$-1,0 < \text{SYİ} \leq -1,5$	Orta Kurak
$-1,5 < \text{SYİ} \leq -2,0$	Şiddetli Kurak
$-2,0 > \text{SPI}$	Aşırı Kurak

Bu çalışmada SPEI hesaplanmasında SPI hesabında olduğu gibi R-Studio yazılımı kullanılmıştır. R studio’da SPEI hesabı için varsayılan dağılım olarak log logistik dağılımı kullanılmıştır. Evapotranspirasyon hesabında ise yine varsayılan hesaplama yöntemi olan Thornthwaite ampirik formülleri kullanılmıştır.

#### 5.1.4.3 Kuraklık Keşif İndisi (DRI)

Kuraklık sınıflandırmasında kullanılan bir diğer meteorolojik indis olan “Kuraklık Keşif İndisi (DRI)”, Tsakiris ve Vangelis tarafından 2005 yılında yaptıkları çalışma ile ortaya konmuştur. SPI hesabında olduğu gibi DRI hesabı da basit bir su dengesi denklemine dayanmaktadır. Ancak DRI hesabı yağışın yanı sıra potansiyel evapotranspirasyonun da etkilerini içermektedir. Girdi olarak kullanılan yağış ve sıcaklık değerleri için aylık veriler kullanılmaktadır (Tsakiris ve Vangelis, 2005).

DRI hesabı sonucunda başlangıç, normalleştirilmiş ve standartlaştırılmış değer olmak üzere 3 farklı çıktı elde edilir (WMO, 2016). Denklem 5.33’de başlangıç değeri; Denklem 5.34’de normalleştirilmiş değer ve Denklem 5.35’de ise standartlaştırılmış değerlerin eşitlikleri verilmiştir:

$$a_k = \frac{\sum_{j=1}^{j=k} P_j}{\sum_{j=1}^{j=k} PET_j} \quad (5.33)$$

$$DRI_n(k) = \frac{a_k}{\bar{a}_k} - 1 \quad (5.34)$$



$$DRI_{st}(k) = \frac{y_k - \bar{y}_k}{\hat{\sigma}_k} \quad (5.35)$$

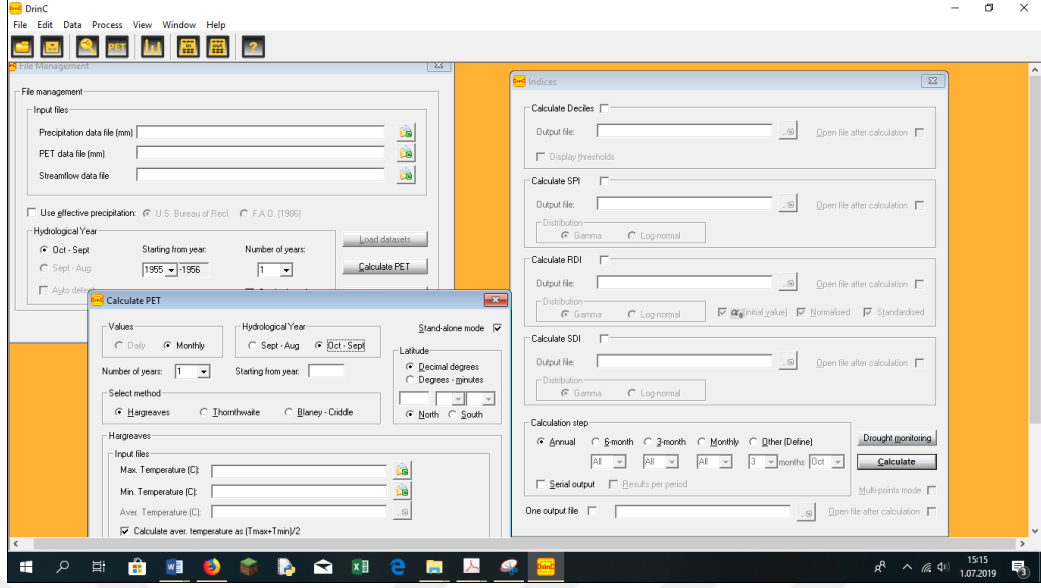
Burada  $\bar{a}_k$ , başlangıç değerlerinin ortalaması,  $y_k = \ln a_k$ ,  $\bar{y}_k$ ,  $y_k$  değerlerinin aritmetik ortalaması,  $\hat{\sigma}_k$  ise standart sapmasıdır. Ayrıca k referans dönem değeri olarak hidrolojik yılın başlangıcı alınmış olup k=1 değeri için referans ay Ekim ayı olmaktadır (Tsakiris ve Vangelis, 2005). Tsakiris, Nalbantis, Pangalou, Tigkas ve Vangelis (2008) yaptıkları çalışmada  $a_k$  değerlerinin genellikle log-normal veya gama dağılımına uyum gösterdiğini, ancak birçok durumda gama dağılımının daha iyi sonuç verdiğini bildirmişlerdir.

DRI için hesaplanan standartlaştırılmış değer SPI ile benzer bir yapıya sahip olduğundan SPI ile kıyaslanabilmektedir. (WMO, 2016). Bu nedenle tez kapsamında yapılan çalışmada standartlaştırılmış değer hesaplanmış ve DRI değeri olarak standartlaştırılmış DRI değeri kullanılmıştır. Ayrıca SPI için McKee ve diğer. (1994) tarafından yapılan sınıflandırma, benzer özellikleri olması nedeni ile DRI sınıflandırması olarak da kullanılmıştır (Tablo 5.9).

Tablo 5.9 DRI metoduna göre indis değerleri ve sınıflandırma

<b>DRI Değerleri</b>	<b>Kuraklık Sınıflandırması</b>
$2,0 < DRI$	Aşırı Nemli
$1,5 < DRI \leq 2,0$	Şiddetli Nemli
$1,0 < DRI \leq 1,5$	Orta Nemli
$1,0 < DRI \leq -1,0$	Normal
$-1,0 < DRI \leq -1,5$	Orta Kurak
$-1,5 < DRI \leq -2,0$	Şiddetli Kurak
$-2,0 > DRI$	Aşırı Kurak

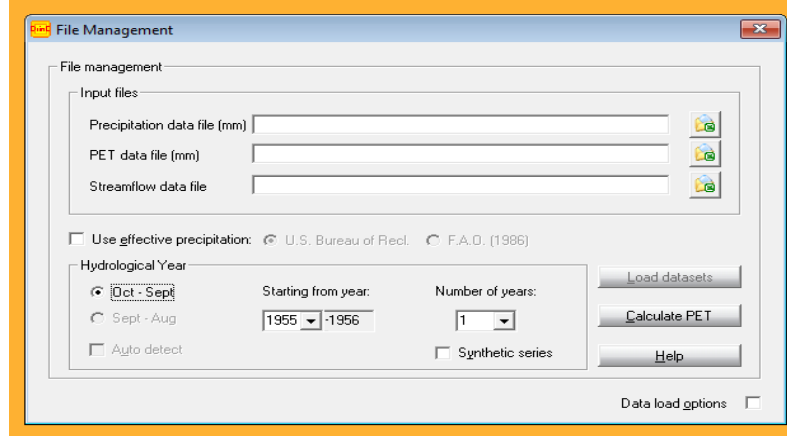
Bu tez kapsamında yapılan DRI hesaplamaları “*DrinC*” yazılımı içinde yer alan DRI paketi ile yapılmıştır (Şekil 5.5). Dağılım olarak gamma dağılımı ve PET hesaplama yöntemi olarak ise Thornthwaite seçilmiştir.



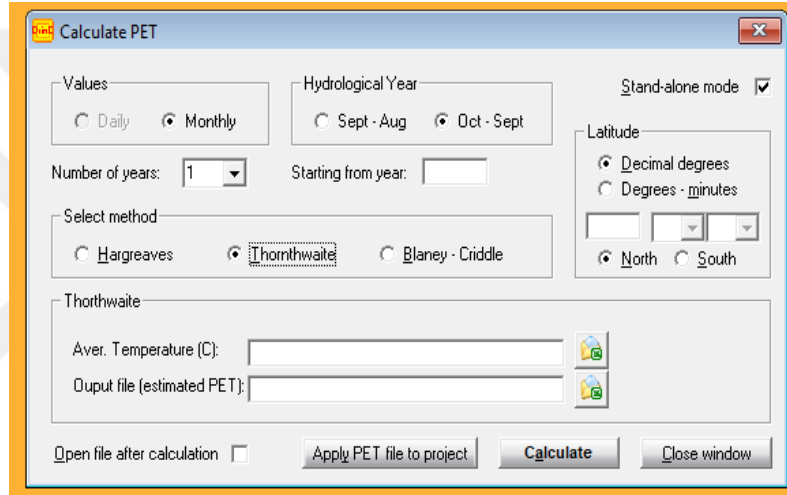
Şekil 5.5 DrinC programı ana sayfası görünümü

Programın çalıştırılma adımları veri girişi, PET hesabı ve indis hesaplaması olmak üzere 3 adımda gerçekleştirilir. Bu adımlar şöyledir:

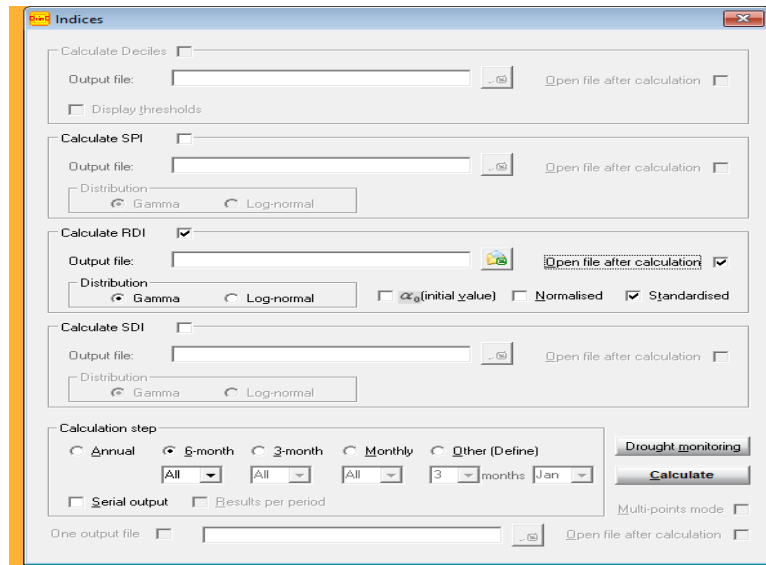
- Veri Girişi: Öncelikle yağış ve sıcaklık verileri “Dosya Yöneticisi” bölümünde ilgili bölümlere programın formatına uygun olarak (text formatında) hazırlanan dosyalardan yüklenir. Bu sayfada ayrıca başlangıç yılı ve toplam veri yüklenecek yıl sayısı girilir (Şekil 5.6).
- PET Hesabı: PET hesabı için açılan ara yüzde hesaplama yöntemlerinden biri seçilir. Bu tez kapsamında seçilen yöntem Thornthwaite’dir. Ayrıca verilerin temin edildiği istasyona ait enlem bilgileri girilir (Şekil 5.7)
- İndis Hesabı: Son olarak indis sayfası aktif hale getirilir ve hesaplanacak indis ile çıktılara ilişkin bilgiler girilir. Çıktılar için 3-6-9-12 aylık periyotlar seçilebildiği gibi başlangıç ayıda seçilebilmektedir (Şekil 5.8).



Şekil 5.6 DrinC programı ile DRI hesaplamasının veri girişi



Şekil 5.7 DrinC programı ile DRI hesaplamasının PET hesabı



Şekil 5.8 DrinC programı ile DRI hesaplaması

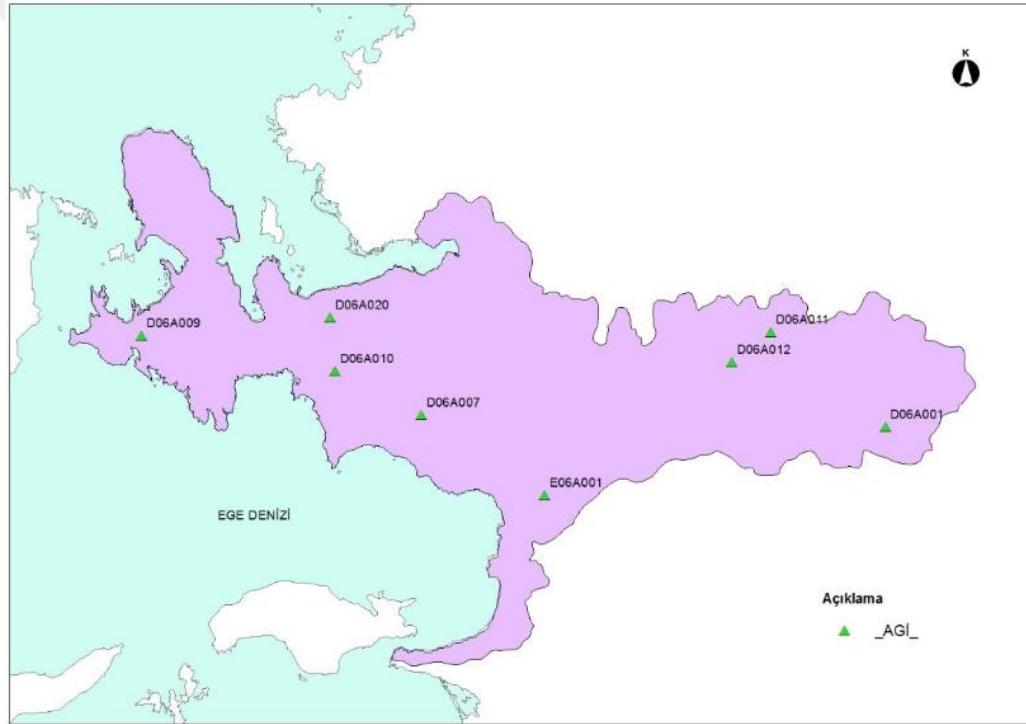


Seçilen AGİ'lere ve dönemlerine ait akım verileri için trend ve homojenlik analizi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre akım verilerinde düzenleme çalışmaları yapılmıştır.

Son olarak elde edilen akım verileri SSFI, SDI ile scPHDI hesaplanmış ve sonuçları birbirleri ile kıyaslanmıştır.

### 5.2.1 Akım Verilerinin Temini

Küçük Menderes Havzası'nda yer alan akım gözlem istasyonları incelenmiş ve 8 adet akım gözlem istasyonu (AGİ) belirlenmiştir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 Çalışma kapsamında seçilen akım gözlem istasyonları

Seçilen meteoroloji gözlem istasyonları için aylık ortalama akım verileri ( $\text{hm}^3$ ) Devlet Su İşleri 2. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Akım gözlem istasyonlarına ait bilgiler Tablo 5.11'de verilmiştir.

Tablo 5.11 Seçilen akım gözlem istasyonlarının (AGİ) özellikleri

İSTASYON	İSTASYON NO	KOT (m)	YAĞIŞ ALANI (km <sup>2</sup> )	GÖZLEM SÜRESİ	VERİ SAISI (ay)
Küçük Menderes N.-Beydağı Köp.	D06A001	171	445	1986-1999	156
Tahtalı Çayı-Dereboğazı	D06A007	19	512,9	1970-1988	228
Hırsız Dere-Alaçatı	D06A009	7	40,3	1970-1988	216
Yası Çay-Çukurköy	D06A010	92	41	1975-1990	180
Rahmanlar Çayı -Bebekler	D06A011	220	37	1991-2014	282
Aktaş Çayı-Bülbüller	D06A012	130	73,4	1985-2002	204
Çamlı Dere-Çamlı	D06A020	85	68	1991-2004	168
Küçük Menderes Nehri -Selçuk	E06A001	4	3255,2	1960-1985	300

Akım gözlem istasyonlarına ait bilgiler aşağıda verilmiştir:

**D06A001 Küçük Menderes Nehri-Beydağ Köprüsü AGİ:** 01.04.1959 tarihinde açılan AGİ Ödemiş 26 km mesafede bulunan Beydağ yolunun köprüsündedir. Yaklaşık kotu 171 m, yağış alanı 445 km<sup>2</sup>'dir. 1961-1965, 1971-1973, 1987-1999 ve 2002 yıllarında veri mevcuttur. İstasyon 26.11.2004 tarihinde kapatılmış olup istasyon yerine Beydağ Barajı inşa edilmiştir.

**D06A007 Tahtalı Çayı-Dereboğazı AGİ:** 17.03.1969 tarihinde açılan AGİ İzmir-Gümüldür yolunun 29. kilometresindedir. Yaklaşık kotu 19 m, yağış alanı 513 km<sup>2</sup>'dir. 1970-1988 ve 1990 yıllarında veri mevcuttur. AGİ 19.11.1997 tarihinde kapatılmış olup aynı tarihte Tahtalı Barajı işletmeye alınmıştır.

**D06A009 Hırsız Dere-Alaçatı:** 01.03.1970 tarihinde açılan AGİ'nin yaklaşık kotu 7 m, yağış alanı 40 km<sup>2</sup>'dir. 1970-1988 yılları arası verisi mevcuttur. İstasyon 1997 yılında kapatılmış ve aynı tarihte Kutlu Aktaş Barajı işletmeye alınmıştır.

**D06A010 Yasıçay-Çukurköy AGİ:** 01.02.1975 tarihinde açılan AGİ'nin yaklaşık kotu 92 m, yağış alanı 41 km<sup>2</sup>'dir. İstasyonun 1975-1990 yılları arası verisi mevcuttur. AGİ 1992 yılında kapatılmıştır.

**D06A011 Rahmanlar Çayı-Bebekler AGİ:** AGİ, 01.10.1979 tarihinde açılmıştır. Yaklaşık kotu 220 m, yağış alanı 37 km<sup>2</sup>'dir. 1980-1989 ile 1991-2014 yılları arasında verisi mevcuttur. AGİ 17.04.2015 tarihinde kapatılmıştır. Elektrik İdaresi'ne ait E06A001 nolu AGİ'den sonra havzadaki en uzun veri serisine sahip AGİ'dir.

**D06A012 Aktaş Çayı-Bülbüller AGİ:** 13.12.1978 tarihinde açılan AGİ yaklaşık 130 m kotunda ve 73 km<sup>2</sup> yağış alanına sahiptir. 1982 yılından 2002 yılına kadar verisi vardır. Ancak 1984 yılı verileri eksiktir. İstasyon 2006 yılında kapatılmıştır.

**D06A020 Çamlı Dere-Çamlı AGİ:** AGİ, 01.10.1990 tarihinde açılmıştır. Yaklaşık kotu 85 m, yağış alanı 68 km<sup>2</sup>'dir. 1991-2004 ve 2000-2001 yılları arası ile 2014 yılında veri mevcuttur. İstasyon 2004 yılında kapatılmıştır.

**E06A001 Küçük Menderes Nehri-Selçuk AGİ:** Elektrik İdaresi'ne ait bir AGİ olup 06.08.1952 tarihinde açılmıştır. Yaklaşık kotu 4 m, yağış alanı 3255 km<sup>2</sup>'dir. Havzadaki en uzun veriye ve en büyük yağış alanına sahip AGİ'dir. 1960 yılından 2012 yılına kadar 53 yıl kesintisiz veriye sahiptir. Ancak membanda yapılan halk sulamaları nedeniyle müdahaleli olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle tez kapsamında AGİ'nin veri serisine homojenlik ve trend analizleri yapılmış ve müdahalelerden arındırılmış olan 1960-1985 yılları arasındaki verileri kullanılmıştır. İstasyon 2012 yılında kapatılmıştır.

### **5.2.2 Akım Verilerinin Homojenlik ve Dağılım Analizi**

Kuraklık analizlerinde kullanılan yağış, akış vb. veri serilerinin homojen olması indis hesaplamalarının doğru sonuç vermesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle veri serileri indis hesaplamaları yapılmadan önce homojen olup olmadıklarına dair test edilirler. Verilerin homojenliğinin bozulması su kaynakları planlama çalışmaları ile iklimsel değişiklikler nedeni ile ortaya çıkmaktadır (Lettenmaier, Wood ve Wallis, 1994).

Bu tez kapsamında seçilen tüm istasyonlara ait akım verilerinin homojenliğini analiz etmek için Buishand Testi, Alexandersson Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT) ve Pettitt testi; trend analizi için ise Mann-Kendall testi yapılmıştır. Bu testlerin detaylı anlatımları *Bölüm 5.1.3*'te verildiğinden bu bölümde tekrar açıklanmamıştır. Homojenlik ve trend testleri için R Studio trend paketleri kullanılmıştır.

### **5.2.3 Hidrolojik Kuraklık İndislerinin Hesaplanması**

Tez konusunun ana unsurlarından bir diğeri ise hidrolojik kuraklığın analizi çalışmasıdır. Hidrolojik kuraklık analizi için tespit edilen kuraklık indislerinin seçilen her bir istasyon bazında hesaplanması çalışmanın ilk adımını oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında SSFI, SDI ve scPHDI olmak üzere 3 adet hidrolojik kuraklık indisi seçilmiştir. Bu indislerin seçimi esnasında öncelikle sınıflandırma sistemi olarak birbirleri ile kıyas edilebilirliği aranmış, daha sonra yaygın olarak kullanılması, hesap sistematığının nispeten kolay olması ve girdi verilerinin temin edilebilirliği hususları da göz önüne alınmıştır.

Çalışmada kullanılan tüm hidroloji gözlem istasyonlarında 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık dönemler için SSFI ve SDI ile yıllık olarak ise scPHDI hesaplanmıştır. Seçilen indislerin hesaplama sistematığı detaylı olarak aşağıda verilmiştir.

#### **5.2.3.1 Standartlaştırılmış Akış İndisi (SSFI)**

SSFI, Modarres tarafından 2007 yılında ortaya konulmuş bir hidrolojik kuraklık indisidir. SSFI, meteorolojik kuraklık indisi olan SPI ile istatistiksel olarak benzerdir. SSFI, belli bir zaman aralığı için akım değeri ile ortalama akım arasındaki farkın standart sapmaya bölünmesi ile elde edilir (Modares, 2007).

$$SSFI = \frac{F_t - \bar{F}}{\sigma} \quad (5.36)$$



Denklem 5.36’da  $F_i$ , belirlenen zaman ölçeğindeki akım oranı,  $\bar{F}$ , ortalama akım ve  $\sigma$  standart sapmadır. SSFI hesabında da SPI ile benzer bir şekilde normalleştirme yöntemi uygulanır.

Telesca, Lovallo, Lopez-Moreno ve Vicente-Serrano (2012) tarafından SSFI hesaplama sistematığı detaylı olarak anlatılmıştır. Buna göre öncelikle akım verilerinin hangi olasılık dağılımına uyduğunun test edilmesi gerekir. McKee ve diğer. (1993) yaptığı çalışmada aylık yağış zaman serisine en iyi uyan dağılımın gamma dağılımı olduğunu ve benzer şekilde aynı dağılımın kuraklık için kullanılan akım, hazne hacmi vb. veri serileri için de uygun olduğunu belirtmiştir. Shukla ve Wood (2008) ise yaptıkları çalışmada log normal dağılımın diğer dağılımlara kıyasla akım verilerine daha iyi uyduğunu bildirmişlerdir. Her bir veri seti için belirlenen olasılık dağılımı kullanılarak standartlaştırılmış akım dizisi yani SSFI değeri elde edilmiş olur.

Hesaplanan SSFI değerleri için sınıflandırma Tablo 5.12’de verilmiştir (Nalbantis ve Tsakaris, 2009). Sınıflandırma sistemi diğer standart indisler ile benzer aralıklara sahip olduğu için kıyaslanma imkânı olmaktadır.

Tablo 5.12 SSFI metoduna göre indis değerleri ve sınıflandırma (Nalbantis ve Tsakaris, 2009)

<b>SSFI Değerleri</b>	<b>Kuraklık Sınıflandırması</b>
$2,0 < SSFI$	Aşırı Nemli
$1,5 < SSFI \leq 2,0$	Şiddetli Nemli
$1,0 < SSFI \leq 1,5$	Orta Nemli
$1,0 < SSFI \leq -1,0$	Normal
$-1,0 < SSFI \leq -1,5$	Orta Kurak
$-1,5 < SSFI \leq -2,0$	Şiddetli Kurak
$-2,0 > SSFI$	Aşırı Kurak

Bu tez kapsamında yapılan SSFI hesaplamaları “*R Studio*” yazılımı içinde yer alan SPI paketi kullanılarak yapılmıştır. SSFI, 5.1.4.1 Bölümü’nde ayrıntılı şekilde anlatılan SPI hesap sistematığı ile aynı şekilde hesaplanır.

### 5.2.3.2 Akım Kuraklık İndisi (SDI)

SDI, hidrolojik kuraklığı tanımlamak üzere 2008 yılında Nalbantis ve Tsakiris tarafından geliştirilmiştir. SPI ile benzer bir hesaplama sistematiği ve normalleştirme prosedürüne sahiptir.

SDI hesaplamasına ilişkin denklemler 5.37 ve 5.38'de verilmiştir.

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad i = 1, 2, \dots \quad j = 1, 2, \dots \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (5.37)$$

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{\sigma} \quad i = 1, 2, \dots \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (5.38)$$

Denklem 5.37 ve 5.38'de (i), hidrolojik yılı göstermekte olup (j), hidrolojik yılın aylarını simgeler. j=1 için hidrolojik yılın ilk ayı olan Ekim ayı alınmıştır. k ise referans periyodu göstermektedir. Denklem 5.38 ise SDI formülünü göstermekte olup SPI hesabında olduğu gibi akım değeri ile ortalama akım arasındaki farkın standart sapmaya bölünmesi ile elde edilir.

Her ne kadar Dünya Meteoroloji Örgütü'nün Kuraklık İndikatörleri El Kitabı'nda SDI hesabında girdi olarak eksik verilerin kabul edildiği belirtilmiş olsa da veri olmayan zaman aralıklarında sağlıklı sonuçlar elde edilememektedir (Nalbantis ve Tsakiris, 2009). Bu nedenle çalışmada akım veri dizileri oluşturulurken eksik veri olmaması için her bir AGİ'de tarama yapılmış ve en uzun kesintisiz dönemler belirlenmiştir.

Hesaplanan SDI değerleri için sınıflandırma tablosu Tablo 5.13'de verilmiştir (Nalbantis ve Tsakaris, 2009). Sınıflandırma sistemi diğer hidrolojik ve meteorolojik indisler ile benzer olduğundan kıyaslanma imkânı bulunmaktadır.

Tablo 5.13 SDI metoduna göre indis değerleri ve sınıflandırma (Nalbantis ve Tsakaris, 2009)

SDI Değerleri	Kuraklık Sınıflandırması
$2,0 < SDI$	Aşırı Nemli
$1,5 < SDI \leq 2,0$	Şiddetli Nemli
$1,0 < SDI \leq 1,5$	Orta Nemli
$1,0 < SDI \leq -1,0$	Normal
$-1,0 < SDI \leq -1,5$	Orta Kurak
$-1,5 < SDI \leq -2,0$	Şiddetli Kurak
$-2,0 > SDI$	Aşırı Kurak

Bu tez kapsamında yapılan SDI hesaplamaları “*DrinC*” yazılımı içinde yer alan SDI paketi ile yapılmıştır. Akım verileri için *Bölüm 5.2.2*'de yapılan çalışmalar neticesinde her bir AGİ için tespit edilen dağılıma uygun olarak yazılımda dağılımlar seçilmiştir.

#### 5.2.3.3 Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (*scPHDI*)

Palmer Kuraklık İndisi 1965 yılında W. C. Palmer tarafından Amerika'da geliştirilmiş yaygın olarak kullanılan bir kuraklık indisidir. Palmer Kuraklık İndisi iklimsel toprak su/nem dengesine dayanmakta olup yağış, sıcaklık ve o bölgeye ait toprak su tutma kapasitesini (AWC) girdi olarak kullanır. Palmer Kuraklık İndisleri Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi(PDSI), Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi(PHDI) ve Palmer Z-İndisi olmak üzere üç adettir.

$$X_i = 0,897X_{i-1} + \left(\frac{1}{3}\right)Z_i \quad (5.39)$$

Palmer (1965) yaptığı çalışmada PDSI hesabı için Denklem 5.39'u oluşturmuştur. Burada  $Z_i$  nem anomalisini göstermektedir ve ampirik olarak belirlediği bir takım iklimsel sabitler ile elde edilen iklimsel karakter katsayısı (K) ile nemin o bölgeden uzaklaşma süresinin (d) çarpımı ile elde edilmiştir. 0,897 ve 1/3 ise Palmer'ın Iowa ve Kansas eyaletleri için ampirik olarak hesapladığı süreç faktörleridir.

Palmer Hidrolojik Kuraklık Şiddeti İndisi (PHDI), PDSI'ya benzer şekilde iki katmanlı toprak modellemesine dayalı su dengesi denklemi kullanılarak hesaplanır. Buradaki temel fark PHDI için kurak veya nemli dönemlerin sona ererek normal

duruma geçilmesi yani indisteki iyileşmenin PSDI'ya göre çok daha yavaş olmasıdır. Hidrolojik kuraklık meteorolojik kuraklığa göre daha yavaş ilerlediği için PHDI hesabında yaşanan bu gecikmenin yerinde olduğu değerlendirilmiştir (Ghioca, 2009).

Ancak geleneksel PDSI, ABD'deki Iowa ve Kansas eyaletlerinde hakim olan yarı kurak iklimin verilerine bağlı birtakım sabit değerler kullanılarak ampirik olarak hesaplandığından Dünya'daki diğer bölgeler için temsil edici olamamaktadır. İndisin değişik bölgelerde kullanım olanaklarını arttırmak amacı ile Wells, Goddard ve Hayes (2004) tarafından scPSDI formülüne edilmiştir. Wells ve diğer. (2004), scPSDI hesabında geleneksel PDSI hesabı için kullanılan iklim karakteristiği katsayısı (K) ve süreç faktörleri (0,897 ve 1/3) yerine o bölgenin geçmiş iklimsel verileri kullanarak hesaplanan katsayıları kullanmışlardır.

Tablo 5.14 PSDI metoduna göre indis değerleri ve sınıflandırma (Palmer, 1965)

<b>PSDI Değerleri</b>	<b>Kuraklık Sınıflandırması</b>
4,00 ve üzeri	Aşırı Nemli
3,00 – 3,99	Çok Nemli
2,00 – 2,99	Orta Nemli
1,00 – 1,99	Hafif Nemli
0,50 – 0,99	Nemli Dönem Başlangıcı
-0,49 – 0,49	Normal
-0,50 – -0,99	Kurak Dönem Başlangıcı
-1,00 – -1,99	Hafif Kurak
-2,00 – -2,99	Orta Kurak
-3,00 – -3,99	Çok Kurak
-4,00 ve altı	Aşırı Kurak

Palmer'ın PSDI sınıflamasında, “normal” sınıfı diğer indislerinkine göre daha dar bir aralıkta yer alır (Tablo 5.15). Ayrıca -4 ve +4 aralığındaki sınıflandırma sistemi diğer indislerde -2 ve +2 aralığında yer almaktadır. Bu durum, diğer indisler ile sağlıklı bir kıyaslama yapılmasının önüne geçmektedir. Tez kapsamında yapılan çalışmada diğer tüm indisler için normal olarak kabul edilen aralık -0,99 ile +0,99 arasında kabul edildiği için PSDI için de buna uygun olarak sınıflandırma aralığında bir düzenleme yapılmıştır. Buna göre normal aralık -1,99 ile +1,99 arasında olacak şekilde düzenlenmiş ve Tablo 5.15'te verilmiştir.

Tablo 5.15 PSDI metoduna göre indis değerleri ve sınıflandırmasının düzenlenmiş hali

PSDI Değerleri	Kuraklık Sınıflandırması
4,00 ve üzeri	Aşırı Nemli
3,00 – 3,99	Şiddetli Nemli
2,00 – 2,99	Orta Nemli
-1,99 – 1,99	Normal
-2,00 – -2,99	Orta Kurak
-3,00 – -3,99	Şiddetli Kurak
-4,00 ve üzeri	Aşırı Kurak

Ayrıca indisin kuraklık sınıflandırması için kullanılan eşik değerler (-2 / -3 / -4) meteorolojik indisler ile tam bir kıyaslama olanağı sağlamak açısından meteorolojik indislerin kuraklık sınıflandırmasındaki eşik değerlere (-1 / -1,5 / -2) oranlama yöntemi ile indirgenmiştir. Tez kapsamında yapılan çalışmalarda bu indirgenmiş değerler kullanılmıştır.

Bu tez kapsamında yapılan scPHDI hesaplamaları “*R Studio*” yazılımı içinde yer alan scPSDI paketi kullanılarak yapılmıştır. Programın varsayılan PET hesap yöntemi Thornthwaite ile varsayılan AWC değeri olan 100 mm kullanılmıştır.

## **BÖLÜM ALTI**

### **BULGULAR VE DEĞERLENDİRME**

Tez kapsamında Küçük Menderes Havzası'nda meteorolojik ve hidrolojik kuraklık arasındaki ilişkinin belirlenmesi için tespit edilen hidrolojik ve meteorolojik indisler kullanılarak kuraklık analizi yapılmış ve elde edilen sonuçların kıyaslanması sureti ile hidrolojik ve meteorolojik kuraklık arasındaki ilişkinin belirlenmesi çalışması yapılmıştır.

#### **6.1 Meteorolojik Kuraklık Analizi Çalışmaları**

##### **6.1.1 Sıcaklık Verilerinin Değerlendirilmesi**

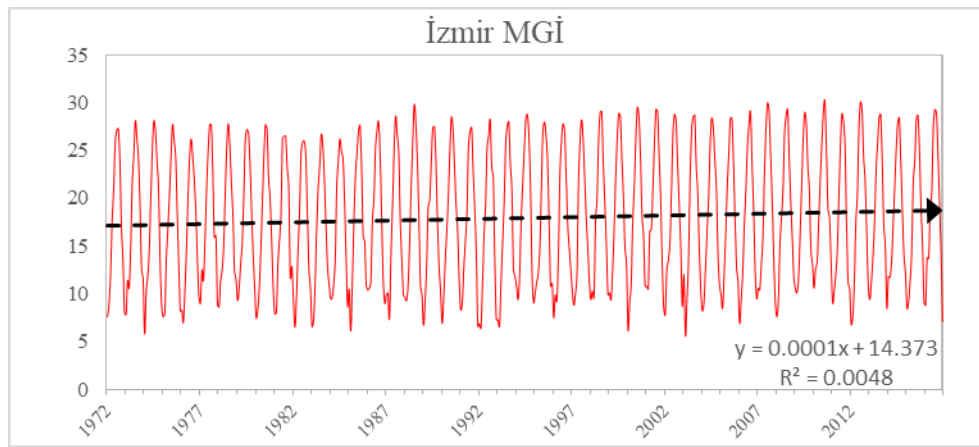
Küçük Menderes Havzası'nda Akdeniz iklimine benzer iklim özellikleri görülmekte ve sıcaklık dağılımında çok büyük farklılık olmamakla beraber kıyı kesimler ve iç kesimler arası sıcaklık farkı gözlenmektedir. Bazı önemli merkezlerde ortalama sıcaklıklar İzmir'de 17,7 °C, Çeşme'de 17,2 °C, Kuşadası'nda 17,1 °C ve Ödemiş'te 16,7 °C olarak kayıtlara geçmiştir. Yıllık ortalama sıcaklıklar 12,4 °C ile 17,7 °C arasında değişmektedir. En sıcak aylar Temmuz ve Ağustos, en soğuk aylar ise Ocak ve Şubat aylarıdır.

Havza içinde seçilen meteoroloji gözlem istasyonlarının gözlem sürelerindeki aylık ve yıllık ortalama, en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri Tablo 6.1'de verilmiştir. İzmir Meteoroloji Gözlem İstasyonunda havzanın en yüksek ortalama sıcaklıkları; Ödemiş Meteoroloji Gözlem İstasyonunda ise havzanın en düşük ortalama sıcaklıkları kaydedilmiştir.

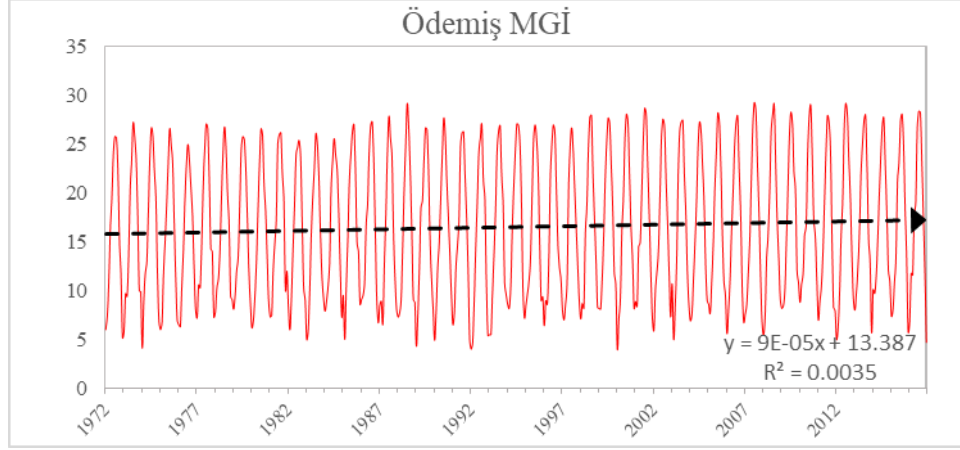
Tablo 6.1 Küçük Menderes Havzası havza içi seçilen meteoroloji gözlem istasyonları aylık ve yıllık bazda ortalama, en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri (°C)

MGİ Adı	Gözlem	Aylar												Yıllık
		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temm.	Ağust.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
Çeşme	Ort.	9,4	9,8	11,7	15,2	19,6	23,8	25,8	25,5	22,5	18,3	14,1	11,0	17,2
	Maks.	20,9	22,4	25,2	29,1	34	40,5	28,1	37,6	37	34,1	26,7	23,5	40,5
	Min.	-3,5	-4,0	-2,6	1,0	5,0	10,0	12,0	11,9	9,0	0,0	-0,7	-3,0	-4,0
İzmir	Ort.	8,7	9,3	11,5	15,7	20,5	25,2	27,9	27,5	23,5	18,7	14,0	10,4	17,7
	Maks.	20,9	23,8	30,5	32,1	37,5	41,3	42,6	43,0	40,1	36,0	29,0	25,2	43,0
	Min.	-4,0	-5,0	-3,1	0,6	7,0	10,0	16,1	15,6	12,6	5,7	0,0	-2,7	5,0
Kuşadası	Ort.	9,2	9,7	11,6	15,2	19,3	23,7	26,0	25,4	22,0	17,9	13,9	10,8	17,1
	Maks.	22,5	23,6	29,0	32,2	35,0	38,2	41,2	42,4	37,4	32,6	34,0	24,6	42,4
	Min.	-4,8	-6,0	-3,8	-0,3	0,0	7,7	13,5	12,9	9,4	0,0	-1,0	-3,8	-6,0
Ödemiş	Ort.	7,1	8,0	10,6	14,8	20,0	25,0	27,7	27,1	22,6	16,9	12,0	8,8	16,7
	Maks.	21,4	25,4	32,3	34,5	39,2	41,5	44,6	43,8	39,0	37,5	31,4	30,4	44,6
	Min.	-6,6	-7,7	-5,7	-1,2	1,7	5,6	10,4	9,7	4,9	-2,0	-5,0	-8,6	-8,6
Seferihisar	Ort.	8,3	8,8	10,8	14,5	19,2	24,2	26,9	26,4	22,4	17,7	13,0	9,9	16,8
	Maks.	19,8	22,9	27,3	30,5	34,1	39,3	42,9	41,8	37,2	34,3	28,6	23,9	42,9
	Min.	-6,2	-6,0	-3,8	-2,0	3,4	8,7	11,5	12,7	8,7	1,7	-3,6	-4,1	-6,2
Selçuk	Ort.	7,9	8,7	11,0	14,8	19,4	24,2	26,5	25,6	21,5	16,9	12,4	9,5	16,5
	Maks.	21,7	23,9	30,5	32,4	37,0	41,4	43,4	44,0	39,3	35,3	30,0	28,8	44,0
	Min.	-5,6	-5,8	-5,3	-2,7	0,0	6,5	11,0	9,4	6,0	0,2	-4,2	-5,0	-5,8

Havzadaki iklim farklılığını ortaya koymak açısından biri havzanın kıyı kesiminde diğeri havzanın iç kesimlerinde yer alan İzmir ile Ödemiş istasyonları örneğinde, sıcaklık verileri kullanılarak aylık ortalama sıcaklık verilerinin zamana bağlı değişim grafikleri çizilmiştir. İzmir ile Ödemiş istasyonlarına ait zaman seri grafikleri Şekil 6.1 ile Şekil 6.2’de; kalan istasyonların zaman serileri ise *Ek 2A* bölümünde verilmiştir. Her bir grafik için ayrıca eğilim çizgisi ve eğilim çizgisine ait denklem grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.1 İzmir MGİ aylık ortalama sıcaklık (°C) verilerinin zamana bağlı değişimi (1972-2016)



Şekil 6.2 Ödemiş MGİ aylık ortalama sıcaklık (°C) verilerinin zamana bağlı değişimi (1972-2016)

Seçilen meteoroloji gözlem istasyonları sıcaklık zaman dizileri incelendiğinde ölçülen sıcaklıklarda artış olduğu görülmektedir. Onuşluel Gül ve diğer. (2017) yaptıkları çalışmada sıcaklık verileri için Mann-Kendall testi ile yapılan trend analizi neticesinde Kuşadası, Seferihisar, Salihli ve Selçuk istasyonlarında artma eğilimi olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca yine aynı çalışmada yapılan homojenlik analizinde çalışma için seçilen tüm istasyon verilerinin homojen olduğu tespit edilmiştir.

### 6.1.2 Yağış Verilerinin Değerlendirilmesi

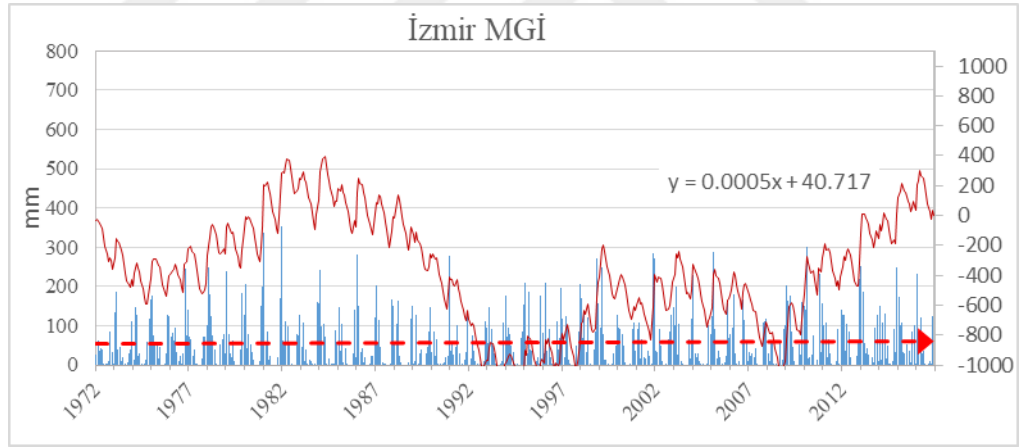
Havza için seçilen meteoroloji gözlem istasyonlarına ait aylık toplam yağış ile yıllık toplam yağış verilerinin seçilen dönemdeki ortalamaları Tablo 6.2’de sunulmuştur. Havza genelinde en yağışlı ayların Aralık ve Ocak olduğu; en az yağışlı ayların ise Temmuz ve Ağustos olduğu görülmektedir. Yıllık ortalama toplam yağış en az Çeşme ve Ödemiş Meteoroloji Gözlem İstasyonlarında ölçülmüş olup en fazla yağış ise İzmir ve Selçuk Meteoroloji Gözlem İstasyonlarında gözlenmiştir.



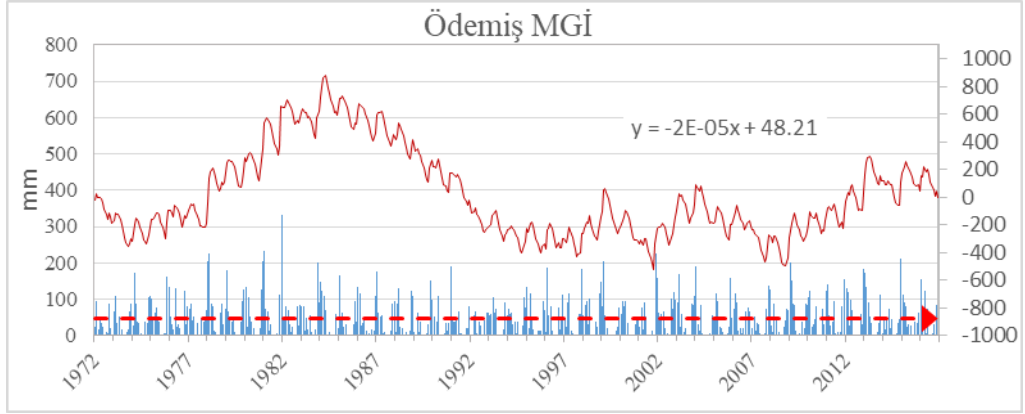
Tablo 6.2 Küçük Menderes Havzası meteoroloji gözlem istasyonları aylık toplam yağış ile yıllık toplam yağışın seçilen dönem (1972-2016) için ortalama yağış değerleri (mm)

İstasyon Adı	AYLAR												Yıllık
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Tem.	Ağust.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
Çeşme	112,7	85,7	62,1	36,3	19,2	3,8	1,2	0,6	15,0	36,5	70,0	138,3	581,5
İzmir	130,2	105,1	75,5	46,9	31,4	9,2	2,3	2,5	16,6	47,9	91,6	142,3	701,6
Kuşadası	120,5	97,5	71,3	40,8	23,2	5,2	0,8	0,7	15,8	46,9	89,2	136,9	648,7
Ödemiş	99,4	88,5	70,3	53,6	33,1	13,0	5,1	2,9	16,7	39,0	77,4	120,2	619,2
Seferihisar	114,1	95,9	69,2	41,0	23,6	4,2	0,7	1,2	13,8	52,3	75,8	137,2	629,2
Selçuk	118,5	103,1	81,0	49,8	26,0	6,9	1,5	1,4	16,6	41,6	98,6	142,9	687,7

Küçük Menderes Havzası'nda seçilen her bir meteoroloji gözlem istasyonu için tamamlanmış aylık toplam yağış verileri kullanılarak yağış verilerinin zamana bağlı değişim grafikleri çizilmiştir. İzmir ile Ödemiş istasyonlarına ait zaman seri grafikleri Şekil 6.3 ile Şekil 6.4'te; kalan istasyonların zaman serileri ise *Ek 2B* bölümünde verilmiştir. Her bir grafik için eğilim çizgisi ve eğilim çizgisine ait denklem de grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.3 İzmir MGİ aylık toplam yağış miktarı (mm) ve eklenik sapma miktarının (mm) zamana bağlı değişimi (1972-2016)



Şekil 6.4 Ödemiş MGİ aylık toplam yağış miktarı (mm) ve eklenik sapma miktarının (mm) zamana bağlı değişimi (1972-2016)

Ayrıca aylık toplam yağıştan sapma değerlerini kümülatif olarak gösteren eklenik sapma yağış eğrisi çizilmiştir. Eklenik sapma yağış eğrisini oluşturan eklenik sapma tablosu Manisa MGİ yağış verileri ile örnek olarak oluşturulmuş ve Tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3 Manisa MGİ eklenik yağış sapma eğrisi veri tablosu

TARİH	Aylık Ortalama Yağış (mm)	Sapma (mm) $\Delta P_i$	Eklenik Sapma (mm) $\Delta P_{i,eklenik}$
Oca.72	28,50	-30,77	-30,77
Şub.72	75,30	16,03	-14,75
Mar.72	43,50	-15,77	-30,52
Nis.72	52,20	-7,07	-37,60
May.72	43,20	-16,07	-53,67
Haz.72	6,10	-53,17	-106,85
Tem.72	3,70	-55,57	-162,42
Ağu.72	1,40	-57,87	-220,30
Kas.15	110,80	51,53	22,24
Ara.15	1,93	-57,34	-35,10
Oca.16	219,40	160,13	125,02
Şub.16	88,00	28,73	153,75
Mar.16	136,20	76,93	230,67
Nis.16	11,20	-48,07	182,60
May.16	79,90	20,63	203,22
Haz.16	27,00	-32,27	170,95
Tem.16	0,00	-59,27	111,67
Ağu.16	0,00	-59,27	52,40
Eyl.16	6,80	-52,47	-0,08
<b>Ortalama Yağış (mm)</b>	<b>59,27</b>		

Grafiklerde eklenik sapma eğrisi üstte yer alırken aylık toplam yağış miktarları grafiğin alt kısmında yer almaktadır. Eklenik sapma yağış eğrisi hem kurak dönemlerin tespitinde hem de yağış verisi kullanılarak hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış İndislerinin doğrulanmasında kullanılmıştır.

Aylık toplam yağışların zaman dizilerinden, yağışlarda gözle görülür bir artış veya azalma söz konusu olmadığı anlaşılmaktadır. Onuşluel Gül ve diğer. (2017) tarafından yapılan çalışmada yağış verileri için Mann-Kendall testi ile yapılan trend analizi neticesinde önemli bir trend olmadığı tespit edilmiştir Ayrıca yine aynı çalışmada yapılan homojenlik analizinde çalışma için seçilen tüm istasyon verilerinin homojen olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca seçilen istasyonlara ait eklenik yağış sapma grafikleri 1984-1985 yılları arasında en yüksek değere ulaşmakta olup bu tarihten sonra çeşitli şiddet ve tarih aralıklarında kurak dönem özellikleri gösterdiği tespit edilmiştir. Eklenik sapma grafikleri ile yağış verisi kullanılarak hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) karşılaştırması “Meteorolojik Kuraklık İndislerinin Analizi ve Değerlendirmesi” başlıklı 6.1.4 bölümünde verilmiştir.

### **6.1.3 Meteorolojik Kuraklık İndislerinin Hesaplanması**

Tez konusunun ana unsurlarından biri meteorolojik kuraklığın analizi çalışmasıdır. Meteorolojik kuraklık analizi için tespit edilen kuraklık indislerinin seçilen her bir istasyon bazında hesaplanması çalışmanın ilk adımını oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI), Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI), Kuraklık Keşif İndisi (DRI) olmak üzere 3 adet meteorolojik kuraklık indisi seçilmiştir. Bu indislerin seçimi esnasında öncelikle sınıflandırma sistemi olarak birbirleri ile kıyas edilebilirliği aranmış, daha sonra özellikle havzadaki yüksek sıcaklıklar da göz önüne alınarak buharlaşmayı da girdi verisi olarak kullanan indisler seçilmeye çalışılmıştır. Ayrıca indislerin yaygın olarak

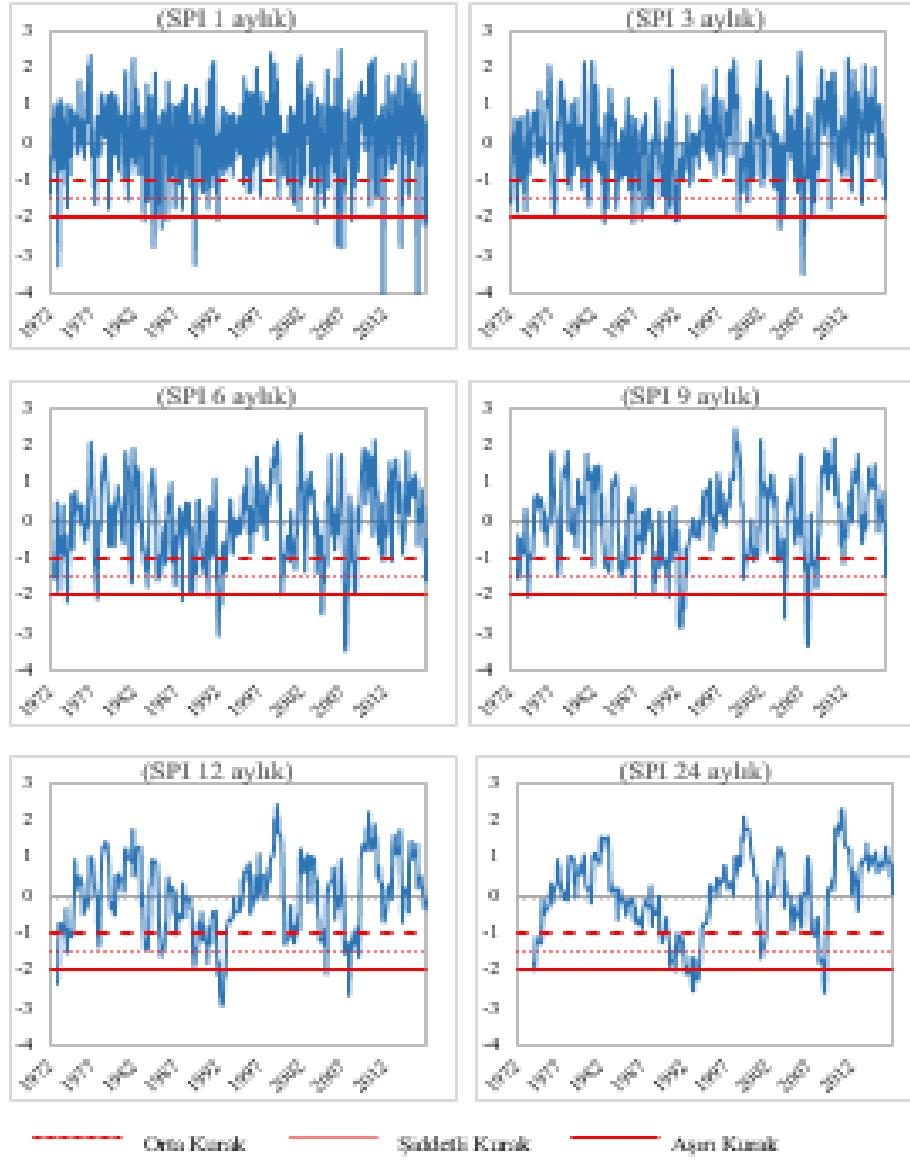
kullanılması, hesap sistematığının nispeten kolay olması ve girdi verilerinin temin edilebilirliği hususları da göz önüne alınmıştır.

Çalışmada kullanılan tüm meteoroloji gözlem istasyonlarında 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık dönemler için Standartlaştırılmış Yağış İndisleri (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisleri (SPEI) ile 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler için ise Kuraklık Keşif İndisleri (DRI) hesaplanmıştır. İndislerin hesaplama sistematığı detaylı olarak *Bölüm 5*'te anlatılmıştır.

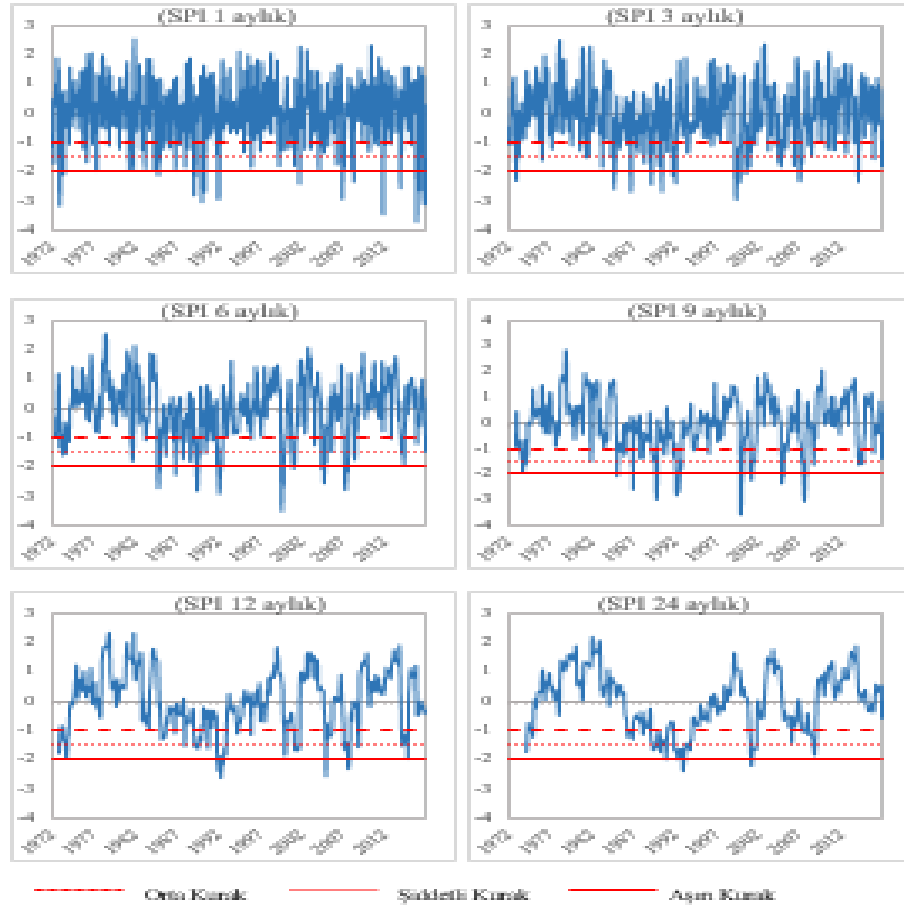
Meteorolojik kuraklığın analizi için seçilen indislerin, 11 adet meteoroloji gözlem istasyonu için yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak hesaplanan çıktılarının oluşturulması ve bu çıktılara ilişkin değerlendirme süreçleri her bir indis için ayrı ayrı olmak üzere Bölüm 6.1.3.1 ile Bölüm 6.1.3.3 arasında sırası ile anlatılmıştır. Bu bölümlerde İzmir ve Ödemiş MGI'ye ait grafik ve diyagramlar verilmiştir. Diğer istasyonlar için yapılan çalışmalar da Ek 3.A, Ek 3.B ve Ek 3.C'de yer almaktadır.

#### *6.1.3.1 Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI)*

Küçük Menderes Havzası'nda geçmiş dönem kuraklıklar, ilk olarak meteorolojik kuraklık analizi kapsamında seçilen SPI ile ortaya konmuştur. 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık dönemleri içeren indis hesabı 11 adet meteoroloji gözlem istasyonu için aylık toplam yağış verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan SPI değerleri için zamana bağlı değişim grafikleri Microsoft Excel programı ile çizilmiştir. Toplam 66 adet analiz yapılmıştır. İzmir MGI ve Ödemiş MGI grafikleri Şekil 6.5 ve 6.6'da; diğerleri ise *Ek 3A*'da verilmiştir. Kuraklık sınıflandırmasına göre orta kurak olma eşiği (-1,00), şiddetli kurak olma eşiği (-1,50) ve aşırı kurak olma eşiği (-2,00) grafikler üzerinde işaretlenmiştir.



Şekil 6.5 İzmir MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPI değerleri zaman dizileri



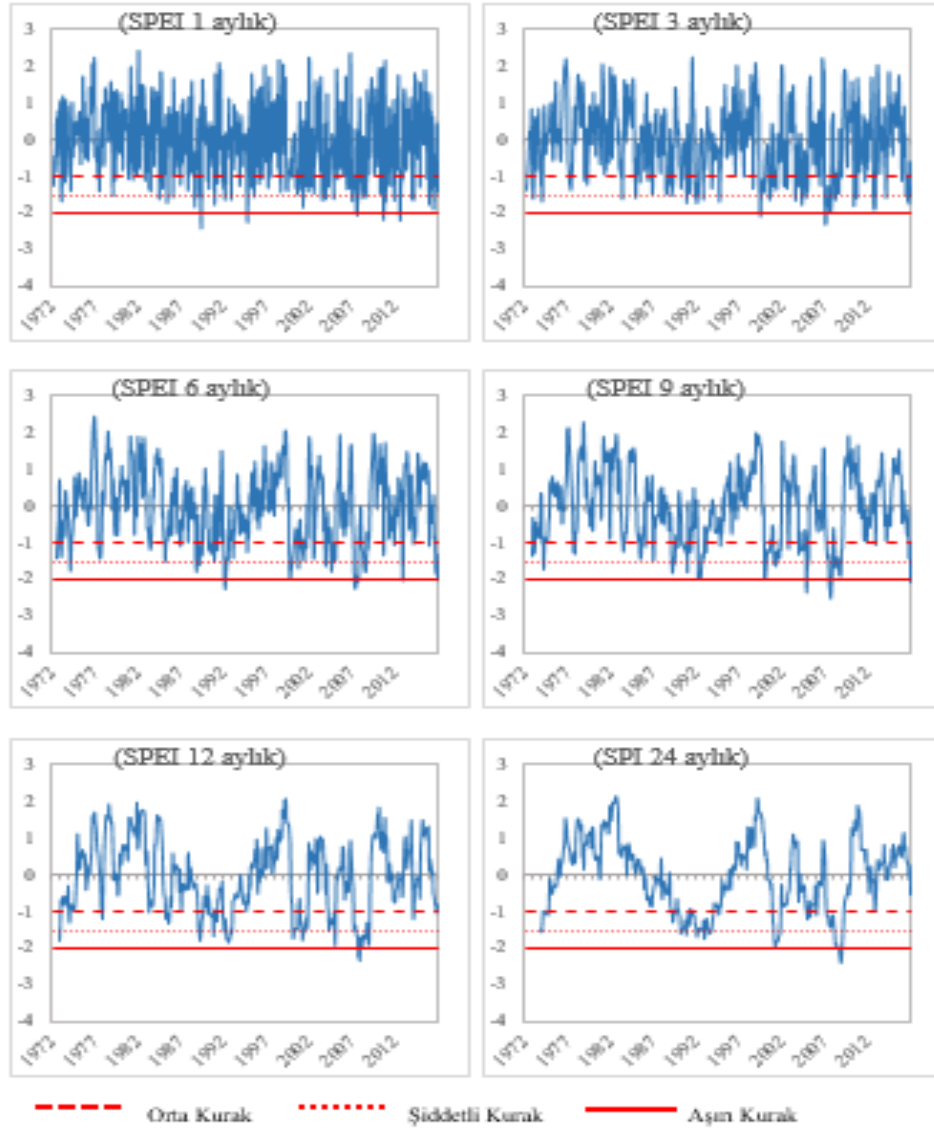
Şekil 6.6 Ödemiş MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPI değerleri zaman dizileri

Her bir istasyonda farklı zaman ölçekleri için oluşturulan 66 adet grafik incelendiğinde istasyon bazında birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bu durum, verilerin doğru şekilde çalışıldığının kontrolü açısından da önemlidir. Her bir istasyon için zaman ölçeği arttıkça kurak ve nemli dönemlerin belirginleştiği görülmektedir. 1- aylık zaman ölçeği grafiklerinde kurak dönemlerin belirgin olmadığı bununla birlikte zaman ölçeği arttıkça kurak dönemlerin belirginleştiği görülmektedir. Ayrıca istasyonların genelinde kurak dönemlerin de yaklaşık olarak aynı tarih aralıklarına denk geldiği de tespit edilmiştir.

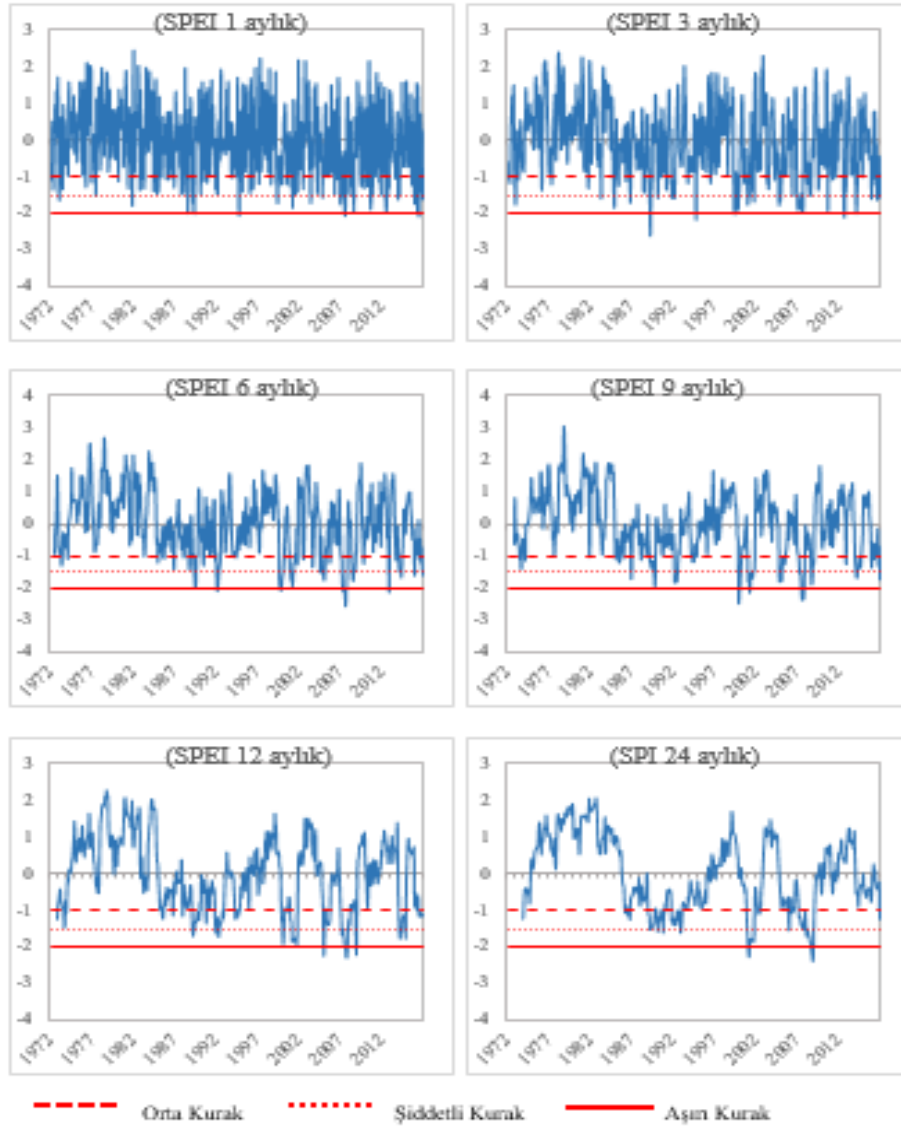
### 6.1.3.2 Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI)

SPEI hesabı 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık dönemler için yapılmış olup 11 adet meteoroloji gözlem istasyonu aylık toplam yağış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır.

Hesaplanan SPEI değerleri için zamana bağlı değişim grafikleri Microsoft Excel programı ile çizilmiştir. Toplam 66 adet analiz yapılmıştır. İzmir MGİ ve Ödemiş MGİ grafikleri Şekil 6.7 ve 6.8’da; diğerleri ise *Ek 3B*’de verilmiştir. Kuraklık sınıflandırmasına göre orta kurak olma eşiği (-1,00), şiddetli kurak olma eşiği (-1,50) ve aşırı kurak olma eşiği (-2,00) grafikler üzerinde işaretlenmiştir.



Şekil 6.7 İzmir MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPEI değerleri zaman dizileri



Şekil 6.8 Ödemiş MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPEI değerleri zaman dizileri

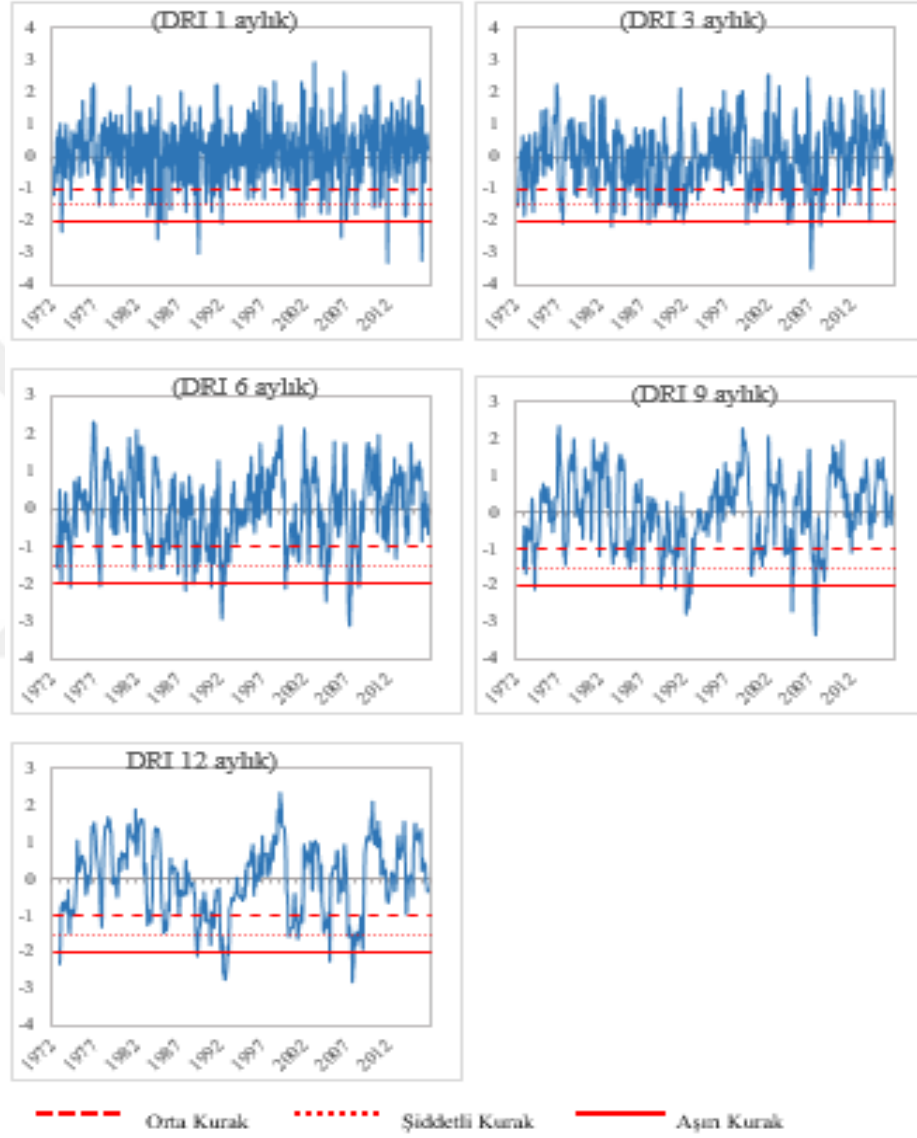
SPEI grafikleri de SPI ile aynı şekilde incelenmiş ve benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Tüm zaman ölçekleri için grafiklerin işaret ettiği kurak dönemlerin arasında uyum olduğu görülmüştür.

### 6.1.3.3 Kuraklık Keşif İndisi (DRI)

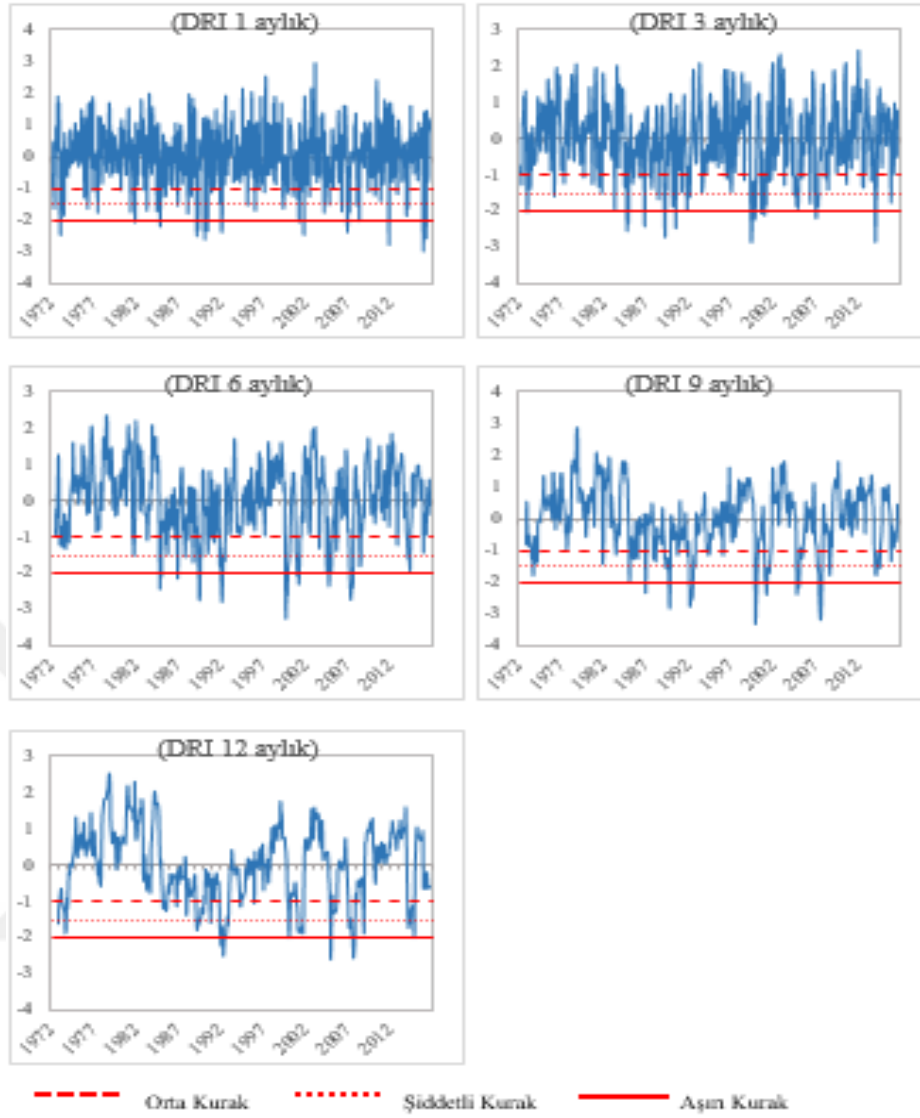
DRI 1, 3, 6, 9, ve 12 aylık dönemler için yapılmış olup 11 adet meteoroloji gözlem istasyonu aylık toplam yağış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır. Hesaplanan DRI değerleri için zamana bağlı değişim grafikleri Microsoft Excel programı ile çizilmiştir.



DRI için toplam 55 adet zaman serisi oluşturulmuştur. İzmir MGİ ve Ödemiş MGİ grafikleri Şekil 6.9 ve 6.10'da; diğerleri ise *Ek 3C*'de verilmiştir. Kuraklık sınıflandırmasına göre orta kurak olma eşiği (-1,00), şiddetli kurak olma eşiği (-1,50) ve aşırı kurak olma eşiği (-2,00) grafikler üzerinde işaretlenmiştir.



Şekil 6.9 İzmir MGİ 1-3-6-9-12 aylık DRI değerleri zaman dizileri



Şekil 6.10 Ödemiş MGI 1-3-6-9-12 aylık DRI değerleri zaman dizileri

DRI grafikleri de SPI ile aynı şekilde incelenmiş ve benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Grafiklerin hem zaman ölçeği açısından hem de kurak dönemleri göstermesi açısından birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

#### 6.1.4 Meteorolojik Kuraklık İndislerinin Analizi ve Değerlendirilmesi

Meteoroloji kuraklık indisleri *Bölüm 6.1.3*'te hesaplanmış ve zamana bağlı değişim grafikleri oluşturulmuştur. Bu bölümde ise hesaplanan SPI, SPEI ve DRI indislerine ait zaman serilerinden de yararlanılarak verilerin sınıflandırması ve müteakiben

karşılaştırılması çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar aşağıda sıralanmıştır:

- 24 aylık SPI zamana bağlı değişim grafikleri ile eklenik yağış sapma grafiklerinin kıyaslanması.
- Tüm indislerin 12 ve 24 aylık zaman serilerinin birbiri ile kıyaslanması.
- İndis bazında tarihi kuraklıkların, kuraklık şiddetinin ve sürelerinin 12 aylık indis değerleri kullanılarak tespit edilmesi.
- Kuraklık histogramlarının oluşturulması ve birbiri ile kıyaslanması.
- Tüm indis, tüm MGİ ve tüm zaman ölçekleri için hesaplanan değerler göz önüne alınarak renklendirilmiş indis tablolarının oluşturulması ve ortak kurak tarihlerin belirlenmesi.

İndislerin sınıflandırmasında -1,00 ile +1,00 değerleri arası bazı sınıflandırma sisteminde normal olarak kabul edilirken bazılarında ise -0,50 ile +0,50 arası normal kabul edilmektedir. Bir diğer aralık ise -0,50 ile -1,00 arasının normale yakın kurak ya da kuraklık başlangıcı olarak değerlendirildiği görülmüştür. Bu tez kapsamında ortak bir durum oluşturmak için -1,00 ile +1,00 değerleri arası normal olarak kabul edilmiştir. Tüm veriler buna göre değerlendirilmiştir.

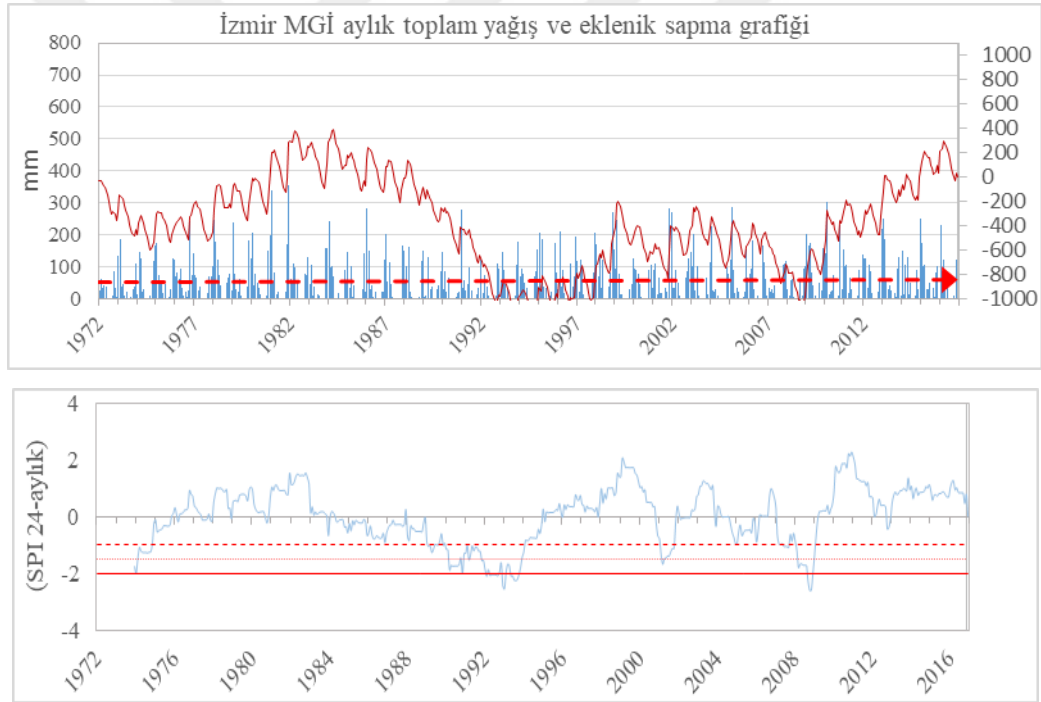
Tez kapsamında İzmir ve Ödemiş MGİ havzanın kıyı ve iç kesimini temsil etmesi bakımından örnek olarak seçilmiş ve bu iki istasyonun sonuçları bölümün içinde diğer istasyonların sonuçları ise eklerde verilmiştir.

### ***SPI-24 ile eklenik yağış sapma zaman serilerinin kıyaslanması***

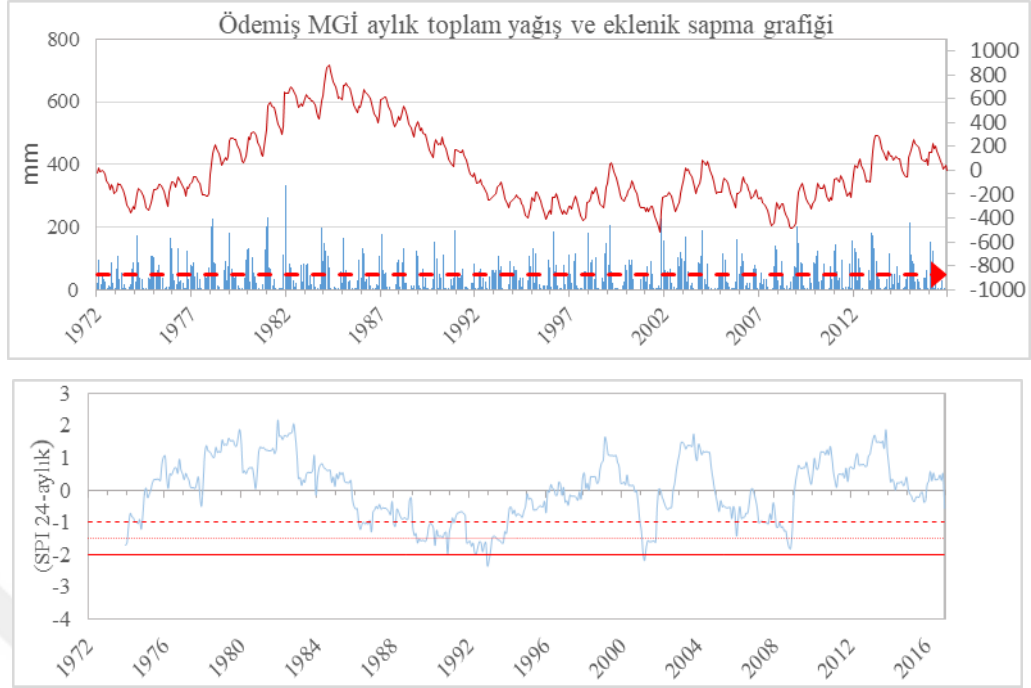
Eklenik yağış sapma grafikleri *Bölüm 5.1.3*'te anlatıldığı şekilde oluşturulmuştur. Bu grafikler daha sonra 24 aylık SPI zamana bağlı değişim grafikleri ile kıyaslanacaktır. Bu kıyaslamada SPI'nın kullanılmasının nedeni SPI hesabında girdi olarak sadece yağış verisinin kullanılmasıdır. Kurak dönemlerin en belirgin olduğu zaman ölçeği 24 ay olduğu için ise 24 aylık SPI değerleri seçilmiştir.

Kıyaslamanın amacı SPI değerleri ile yağış verilerinin uyumunu görmek ve böylece SPI'nin zamana bağlı değişim grafiklerinin uygunluğunu kontrol etmektir. Bu amaçla grafiklerde kurak dönemler boyunca yağışın değişimi kontrol edilir. Havza için örnek olarak seçilen İzmir ve Ödemiş meteoroloji gözlem istasyonunlarına ait yağış verilerinden oluşturulan eklenik yağış sapma grafiği ile 24-aylık SPI verileri zaman dizileri kıyaslanması Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de verilmiştir.

Her iki meteoroloji gözlem istasyonunda da eklenik yağış ile SPI değerleri arasında doğrusal bir ilişki söz konusudur. Yağışlarda başlayan azalma trendi ile kuraklığın başlaması arasında ve tam tersi olarak yağışlarda başlayan artma trendi ile de nemli döneme geçilmesi arasında hemen hemen eş zamanlılık söz konusudur.



Şekil 6.11 İzmir Meteoroloji Gözlem İstasyonu eklenik yağış sapma zaman dizisi ile 24-aylık SPI değerleri zaman dizisi kıyaslama grafikleri



Şekil 6.12 Ödemiş Meteoroloji Gözlem İstasyonu eklenik yağış sapma ile 24-aylık SPI değerleri zaman dizisi kıyaslama grafikleri

24 aylık SPI verilerinin zamana bağlı değişim grafiklerinin eklenik sapma yağış grafikleri ile uyumlu olduğu diğer tüm MGİ'ler içinde Ek bölümünde ayrı ayrı verilen grafiklerden kontrol edilmiş ve uyumlu oldukları tespit edilmiştir.

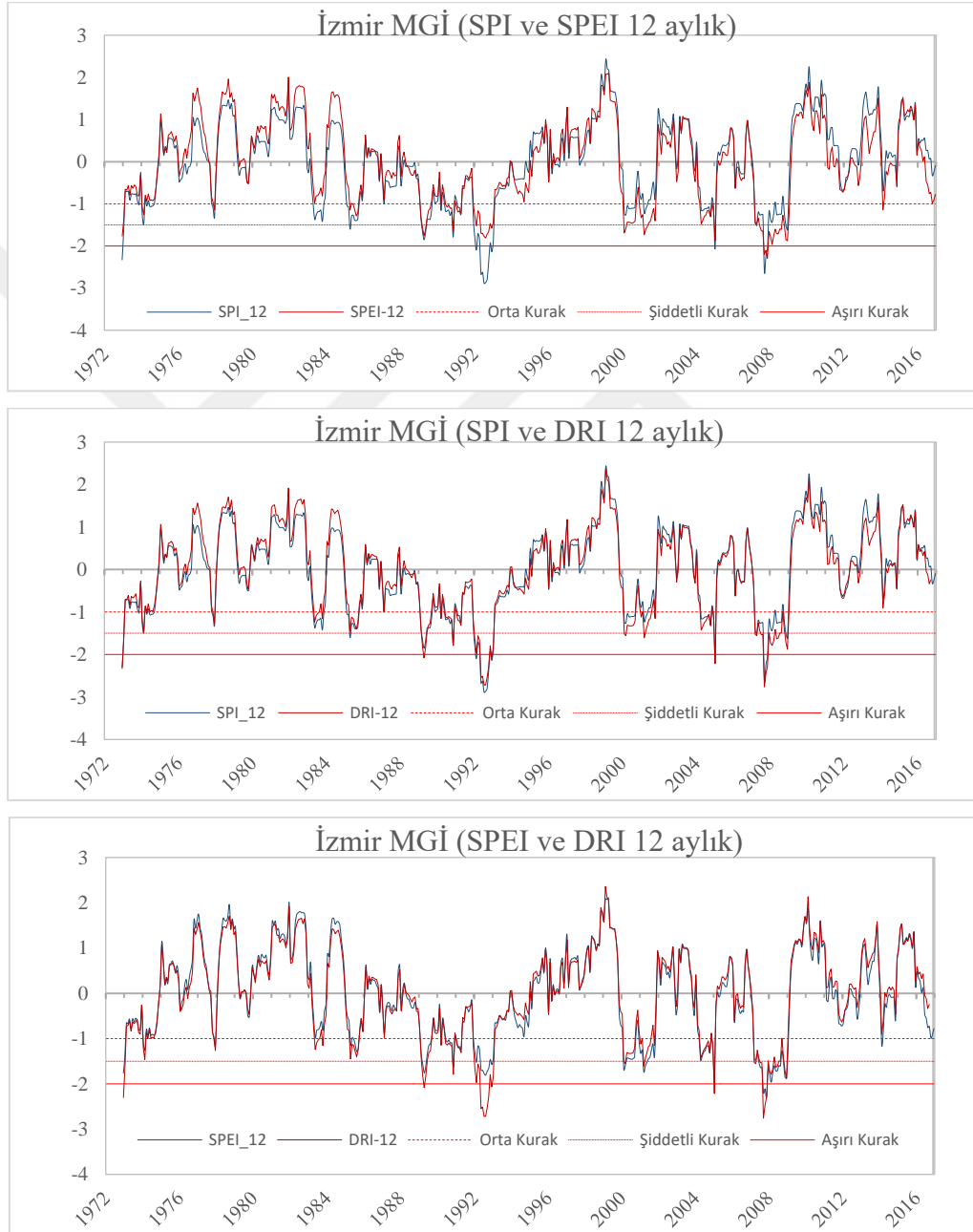
### ***12 aylık indislerin birbiri ile kıyaslanması***

Çalışmada kullanılan meteorolojik kuraklık indislerinin (SPI, SPEI, DRI) birbiri ile kıyaslanması için 11 meteoroloji gözlem istasyonundan sadece havza içinde yer alanlar olacak şekilde 6 meteoroloji gözlem istasyonu seçilmiştir. Seçilen istasyonlar İzmir, Ödemiş, Çeşme, Kuşadası, Seferihisar ve Selçuk meteoroloji gözlem istasyonlarıdır.

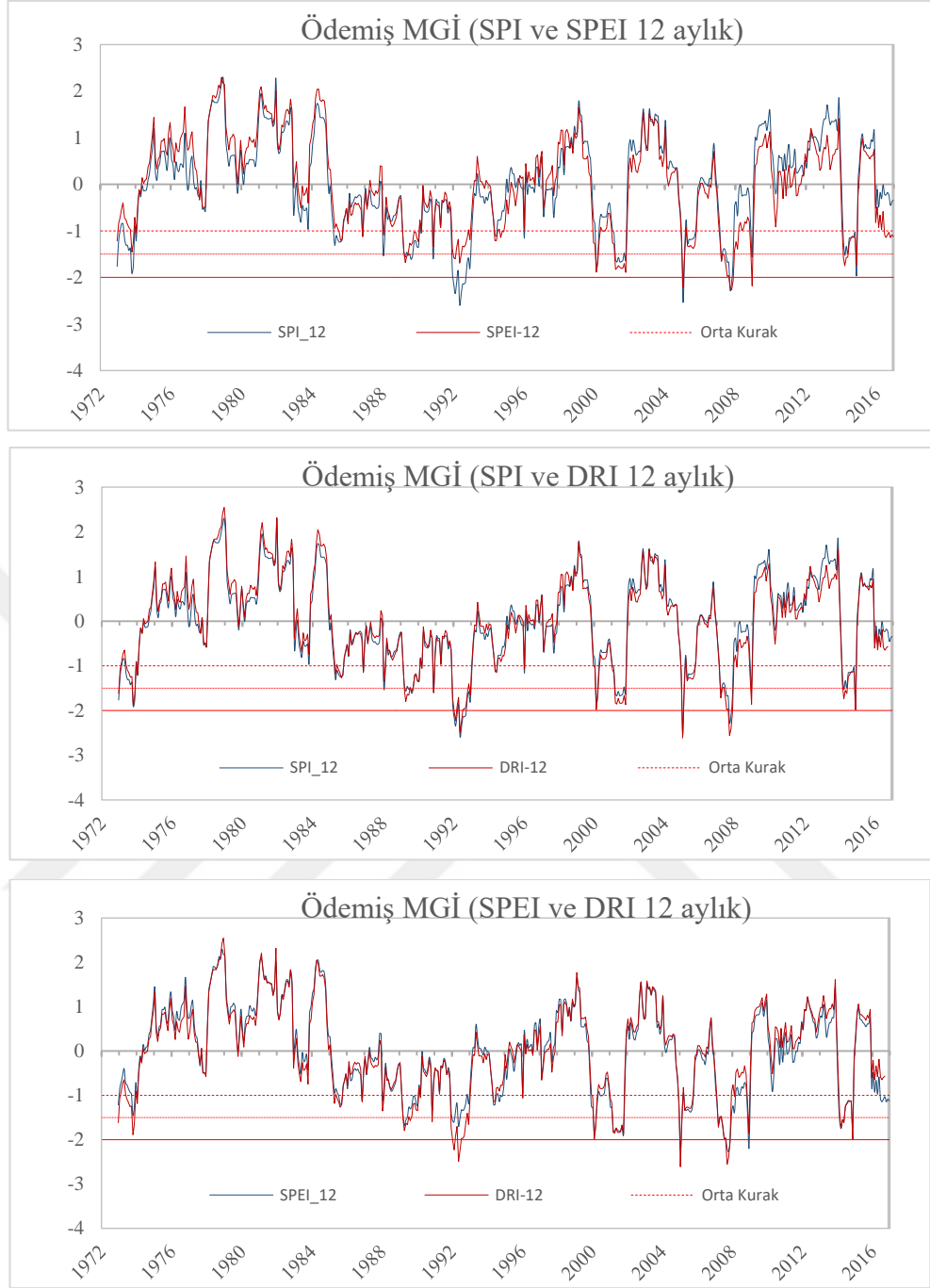
İndislerin kıyaslanması için ortak zaman ölçeği olarak kuraklıkların izlenmesinde yaygın olarak kullanılan 12-aylık zaman ölçeği seçilmiştir. Daha düşük zaman ölçeklerinde (1 ay, 3 ay) kurak dönemler net olarak görülmediğinden kıyaslama yapılması zor olmaktadır. Yine aynı anda ikiden fazla indisin bir grafik üzerinde

kıyaslanması karmaşaya neden olduğundan kıyaslamalar sırası ile SPI-SPEI, SPI-DRI ve SPEI-DRI şeklinde ikişerli olarak yapılmıştır.

İzmir ve Ödemiş MGİ için Şekil 6.13 ile 6.14'te verilmiştir. Diğer MGİ'ler (Çeşme, Kuşadası, Seferihisar, Selçuk) için oluşturulan grafikler ise *Ek 4.A*'da verilmiştir.



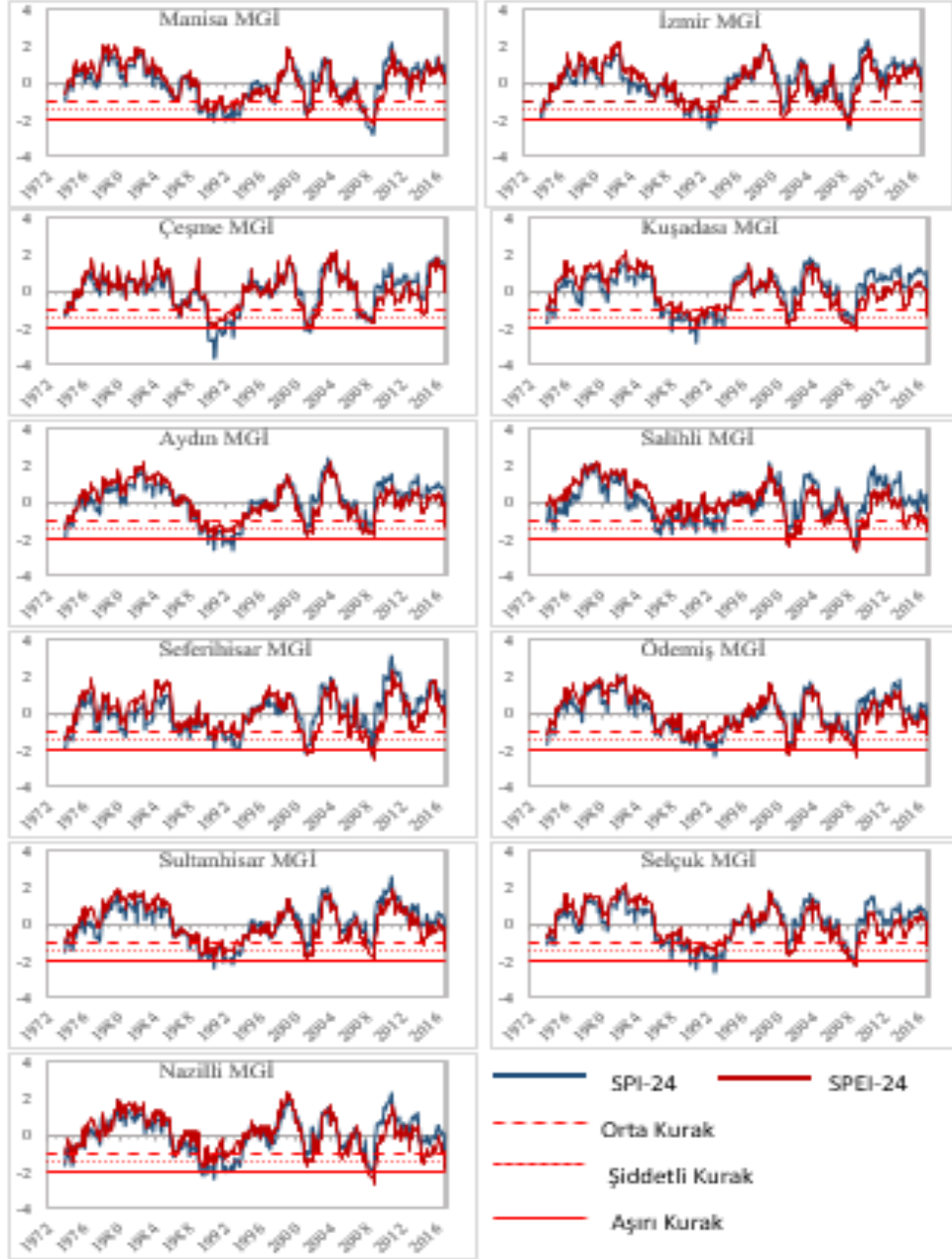
Şekil 6.13 İzmir MGİ için 12 aylık SPI, SPEI ve DRI indislerinin zamana bağlı değişim grafiklerinin karşılaştırılması (1972-2016)



Şekil 6.14 Ödemiş MGİ için 12 aylık SPI, SPEI ve DRI indislerinin zamana bağlı değişim grafiklerinin karşılaştırılması (1972-2016)

Şekil 6.13 ve 6.14 ile ekte verilen grafikler incelendiğinde genel olarak SPI, SPEI ve DRI arasında belirgin bir uyumluluk olduğu görülmektedir. Bununla beraber SPEI ile DRI arasında daha belirgin bir uyum olduğu söylenebilir. Bu durumun SPEI ve DRI hesaplarında sıcaklık verilerinin de göz önüne alınmasından kaynaklanmaktadır.

24-aylık zaman ölçekleri için ise tüm MGİ'ler için hesaplanan SPI ve SPEI değerlerinin zamana bağlı değişim grafiklerinin kıyaslanması Şekil 6.15'te verilmiştir. Böylece daha uzun dönemler için SPI ve SPEI arasındaki ilişki gözlemlenebilmiştir.



Şekil 6.15 11 MGİ için 24 aylık SPI ve SPEI indislerine ait zamana bağlı değişim grafiklerinin karşılaştırılması (1972-2016)



Şekil 6.15 incelendiğinde 24-aylık grafiklerde 12-aylık grafiklerdekine kıyasla SPI ve SPEI arasındaki uyumun arttığı söylenebilir. Ayrıca zaman ölçeği arttıkça kurak dönem sayılarının azaldığı ancak kuraklık sürelerinin ise arttığı görülmektedir.

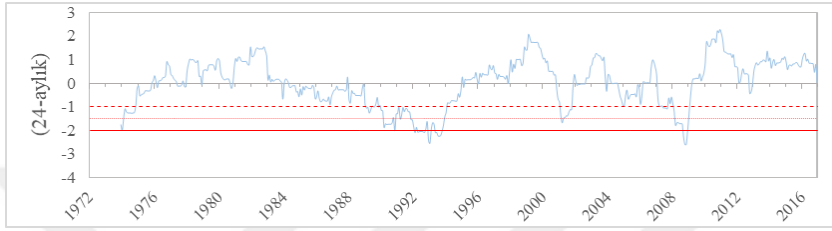
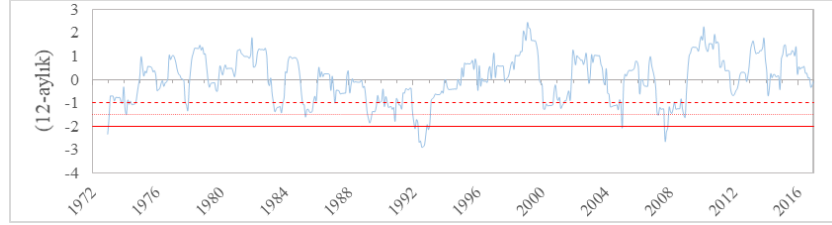
### ***İndis bazında tarihi kuraklıkların, kuraklık şiddetinin ve sürelerinin tespit edilmesi***

Küçük Menderes Havzası'nda geçmiş dönem kuraklıklar, meteorolojik kuraklık analizi kapsamında hesaplanan SPI, SPEI ve DRI değerleri üzerinde yapılan analiz ile tespit edilmiştir. Analiz sadece daha sonra hidrolojik ile meteorolojik kuraklık kıyaslaması için de kullanılacak olan İzmir, Çeşme, Ödemiş, Selçuk ve Seferihisar MGİ için yapılmıştır. Bu istasyonların her biri için geçmiş kuraklık dönemlerinin tespitinde kuraklık dönemlerinin daha belirgin olarak görüldüğü 12 ve 24 aylık dönemlere ait veriler üzerinde inceleme yapılmıştır. Ancak Kuraklık Keşif İndisi (DRI)'nin hesabı için kullanılan yazılımda en fazla 12 aylık dönem zaman ölçeği olarak seçilebildiğinden meteorolojik indislerin kurak dönem tespiti için 12 aylık dönemler ortak dönem olarak kullanılmıştır.

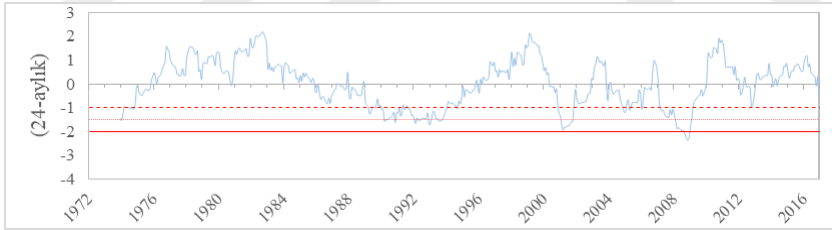
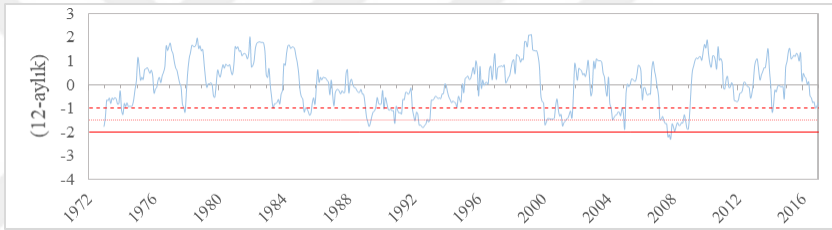
İzmir MGİ için 12 ve 24 aylık SPI, SPEI ve DRI grafikleri Şekil 6.16'da ; Ödemiş MGİ için 12 ve 24 aylık SPI, SPEI ve DRI grafikleri Şekil 6.17'te verilmiştir. Diğer MGİ'ler içinse Ek bölümünde verilen 12 ve 24 aylık indis grafikleri kıyaslanmak sureti ile tespit edilmiştir. 12 ve 24 aylık grafiklerin kıyaslanması grafiklerin doğrulanması için yapılmış olup tarihi kurak dönemler 12 aylık grafikler üzerinden tespit edilmiştir. Tarihi kuraklıklar tespit edilirken aşırı, şiddetli veya orta kuraklık ayrımı yapılmaksızın -1.00 değerinin altında kalan tüm değerler kurak tarih olarak alınmıştır.

İzmir ve Ödemiş MGİ için 12 ve 24 aylık SPI, SPEI ve DRI değerlerinin kıyaslandığı zamana bağlı değişim grafikleri Şekil 6.16 ve 6.17'de verilmiştir. Tespit edilen kurak tarihler ve özelliklerine ilişkin tablolar SPI için Tablo 6.4 ve 6.5'te; SPEI ve DRI tabloları ise *Ek 4.B*'de verilmiştir. Tespit edilen kurak tarihlerin indis ve istasyon bazında toplam kuraklık özelliklerini gösteren Tablo 6.6'te ve 5 MGİ için

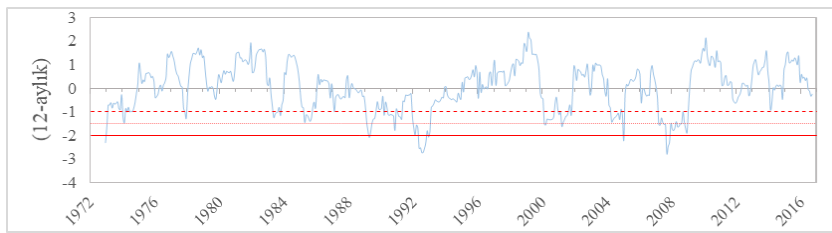
yukarıda tespit edilen kurak tarihlerin kıyaslanması ile tespit edilen ortak kurak tarihler listesi Tablo 6.7’de verilmiştir.



(a) SPI



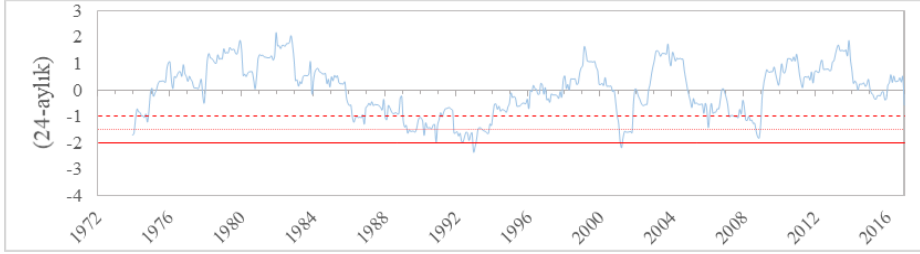
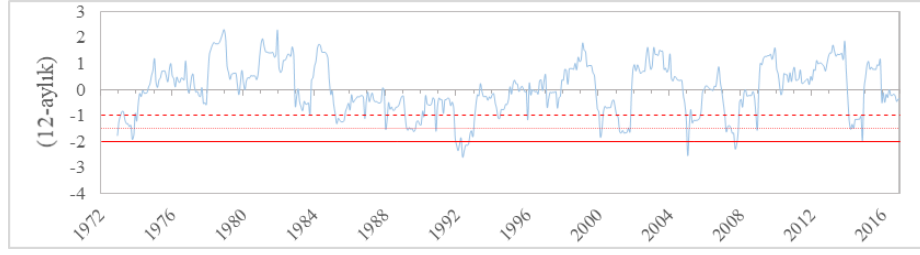
(b) SPEI



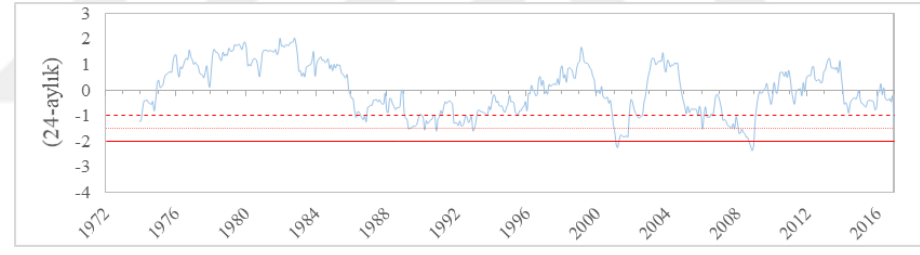
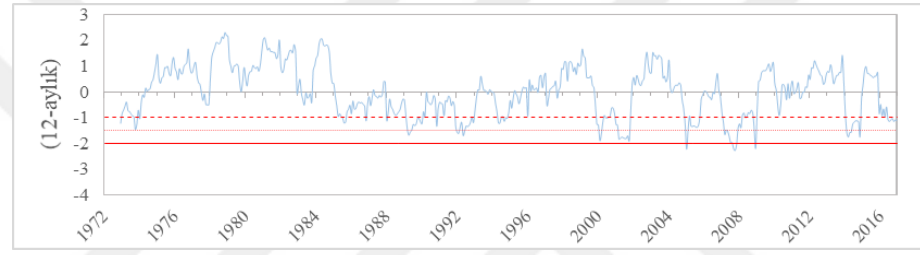
----- Orta Kurak      ..... Şiddetli Kurak      ——— Aşırı Kurak

(c) DRI

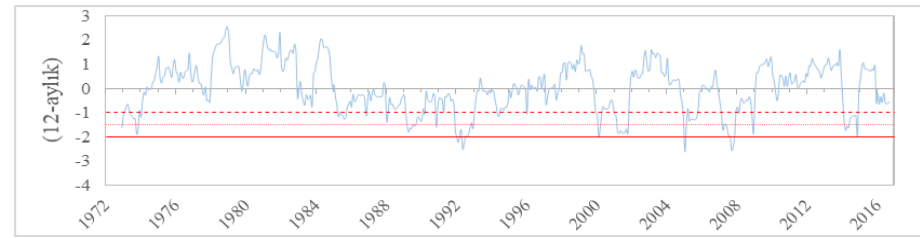
Şekil 6.16 İzmir MGİ 12 ve 24 aylık zamana bağlı değişim grafikleri (a) SPI (b) SPEI (c) DRI



(a) SPI



(b) SPEI



--- Orta Kurak    ..... Şiddetli Kurak    — Aşırı Kurak

(c) DRI

Şekil 6.17 Ödemiş MGI 12 ve 24 aylık indis değerleri zamana bağlı değişim grafikleri (a) SPI (b) SPEI (c) DRI

Şekil 6.16 ve 6.17 incelendiği zaman hem 12 ve 24 aylık zaman ölçekleri arasında hem de indislerin kendi aralarında uyumlu olduğu ve benzer eğilimler gösterdiği tespit

edilmiştir. Diğer MGI'ler için *Ek Bölümü*'nde verilen 12 ve 24 aylık grafikler üzerinde yapılan incelemede de aynı uyumun olduğu görülmüştür. Bu durum her 3 indis ile yapılan çalışmaların doğruluğunu göstermektedir.

Kuraklıkların şiddeti kadar süresi de önemlidir. Bazen uzun süren orta şiddetli bir kuraklık bile çok fazla zarar verebilmektedir (Tigkas, 2008). Bu nedenle havza içinde yer alan İzmir, Çeşme, Ödemiş, Seferihisar ve Selçuk MGI'ler için 12 aylık indis verileri üzerinde yapılan çalışma ile tarihi kuraklıklar tespit edilmiştir. Her bir istasyon için indis bazında tespit edilen kurak tarihlerin ayrıca kuraklık şiddeti, süresi ve en düşük indis değerleri de hesaplanmıştır. 12 aylık indis değerleri üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde tespit edilen kurak tarihler ve özelliklerine ilişkin tablolar, SPI için Tablo 6.4 ve 6.5'te; SPEI ve DRI için ise *Ek 4.B*'de verilmiştir.

Tablo 6.4 Seçilen MGİ'lerde hesaplanan SPI değerleri için tespit edilen kurak tarihler ve özellikleri tablosu (İzmir, Çeşme, Ödemiş MGİ)

MGİ	kuraklık başlangıç tarihi	kuraklık bitiş tarihi	kuraklık süresi (ay)	en düşük SPI değeri	kuraklık şiddeti
İZMİR	Ara-1972	Eyl-1974	22	-2,33	-22,9
	Eki-1977	Ara-1977	3	-1,31	-3,35
	Nis-1983	Kas-1983	8	-1,42	-9,55
	Şub-1985	Eki-1985	9	-1,6	-11,36
	Şub-1989	Nis-1991	27	-1,85	-31,36
	Ara-1991	Oca-1993	14	-2,89	-30,92
	Şub-2000	Eyl-2000	8	-1,27	-9,06
	Mar-2001	May-2001	3	-1,22	-3,37
	Nis-2004	Oca-2005	10	-2,06	-12,00
	Mar-2007	Ara-2008	22	-2,63	-31,16
ÇEŞME	Oca-1974	Nis-1974	4	-1,70	-4,88
	Kas-1977	Ara-1977	2	-1,53	-2,72
	Eyl-1979	Eki-1979	2	-1,24	-2,72
	Eki-1983	Kas-1983	2	-1,05	-2,04
	Ara-1985	Oca-1986	2	-1,08	-2,10
	Nis-1989	Şub-1991	25	-3,64	-49,39
	Ara-1991	Oca-1993	14	-2,40	-28,28
	Şub-2000	Kas-2001	22	-2,29	-30,02
	Ara-2006	Eki-2007	11	-1,94	-15,81
	Kas-2008	Ara-2008	2	-1,10	-2,19
ÖDEMiŞ	Ara-1972	Oca-1974	14	-1,77	-18,05
	Nis-1985	Eyl-1985	6	-1,31	-7,26
	Oca-1988	Şub-1988	2	-1,5	-2,68
	Mar-1989	Mar-1990	13	-1,57	-17,63
	Ara-1991	Oca-1993	14	-2,58	-27,91
	May-1994	Haz-1994	2	-1,11	-2,20
	Şub-2000	Mar-2000	2	-1,81	-3,36
	Oca-2001	Eki-2001	10	-1,67	-14,97
	Ara-2004	Eyl-2005	10	-2,54	-13,04
	Şub-2007	Kas-2007	10	-2,28	-16,24
	Şub-2014	Kas-2014	10	-1,95	-13,09

Tablo 6.5 Seçilen MGİ’lerde hesaplanan SPI değerleri için tespit edilen kurak tarihler ve özellikleri tablosu (Selçuk ve Seferihisar MGİ)

MGİ	kuraklık başlangıç tarihi	kuraklık bitiş tarihi	kuraklık süresi (ay)	en düşük SPI değeri	kuraklık şiddeti
SELÇUK	Eki-1973	Oca-1974	4	-1,51	-5,33
	Oca-1987	Mar-1987	3	-1,48	-3,70
	Oca-1988	Şub-1988	2	-1,55	-2,65
	Mar-1989	Ara-1990	22	-2,20	-32,14
	Ara-1991	Oca-1993	14	-2,42	-28,18
	Ara-2006	Kas-2007	12	-2,16	-21,03
	Eki-2008	Ara-2008	3	-1,58	-3,68
	Şub-2014	Mar-2014	2	-1,37	-2,37
SEFERİHİSAR	Ara-1972	Kas-1973	12	-2,52	-14,82
	Eki-1977	Ara-1977	3	-1,63	-4,52
	Mar-1979	Eki-1979	8	-1,80	-10,88
	May-1983	Eki-1983	6	-1,53	-7,79
	Oca-1987	Şub-1987	2	-1,52	-2,98
	Oca-1990	Ara-1990	12	-2,25	-14,86
	Oca-1992	Oca-1993	13	-2,36	-24,58
	Şub-2000	Oca-2001	14	-2,33	-24,16
	Eyl-2007	Kas-2007	3	-1,92	-4,14
	Eki-2008	Ara-2008	3	-1,76	-4,72

Ayrıca Seçilen MGİ’lerde tespit edilen kurak tarihler incelenerek her bir MGİ için kurak ayların sayısı, toplam kuraklık şiddeti, tespit edilen en düşük indis değeri, hesaplanan en düşük kuraklık şiddeti ve en uzun kuraklık süreleri tespit edilmiş ve Tablo 6.6’da verilmiştir.

Tablo 6.6 Seçilen MGİ’lerde tespit edilen kurak tarihlerin özellikleri

	TOPLAM KURAK AY SAYISI			TOPLAM KURAKLIK ŞİDDETİ			EN DÜŞÜK KURAKLIK DEĞERİ			EN YÜKSEK KURAKLIK ŞİDDETİ			EN UZUN KURAKLIK SÜRESİ		
	SPI	SPEI	DRI	SPI	SPEI	DRI	SPI	SPEI	DRI	SPI	SPEI	DRI	SPI	SPEI	DRI
İzmir	126	104	108	-165,03	-143,38	-155,78	-2,89	-2,29	-2,76	-31,36	-38,81	-37,59	27	23	23
Çeşme	86	93	67	-140,15	-132,53	-119,81	-3,64	-2,28	-3,48	-49,39	-38,25	-40,77	25	26	16
Seferihisar	76	85	88	-113,45	-125,90	-128,02	-2,52	-2,87	-2,67	-24,58	-37,82	-28,55	14	23	16
Selçuk	62	114	90	-99,08	-148,58	-128,33	-2,42	-2,43	-2,50	-32,14	-43,50	-38,83	22	26	26
Ödemiş	93	119	102	-136,43	-154,08	-148,40	-2,58	-2,27	-2,61	-27,91	-31,10	-25,92	14	23	14

Tablo 6.6 incelendiğinde genel olarak meteorolojik indislerin istasyon bazında birbirine yakın sonuçlar verdiği söylenebilir. Bu durumda SPI, SPEI ve DRI'nın Küçük Menderes Havzası'nda meteorolojik kuraklık analizi çalışmalarında kullanılmasının uygun bir yaklaşım olacağı söylenebilir. İstasyonların birbiri ile kıyaslanması sonucunda ise en çok toplam kurak ayın İzmir MGİ ve Ödemiş MGİ'de olduğu ve dolayısı ile en yüksek kuraklık şiddetinin de İzmir ve Ödemiş MGİ'de olduğu görülmüştür. En düşük kuraklık indis değeri Çeşme MGİ'de -3.64 olarak SPI değerlerinde ortaya çıkmıştır. En uzun süren kuraklık ise 28 ay olarak İzmir MGİ'nin SPI değerinde tespit edilmiştir.

Seçilen MGİ'lerin her biri için hesaplanan 3 indis için ortak kurak tarihler tespit edilmiş ve Tablo 6.7'da verilmiştir. Her 3 indis için de genel olarak aynı kurak tarihler olmakla beraber, SPEI ve DRI değerlerinde daha fazla ortak kurak tarih olduğu görülmüştür. SPEI ve DRI için daha fazla ortak kurak tarih olmasının sebebi ise bu indislerin hesabında SPI'dan farklı olarak sıcaklık verilerinin de hesaba katılmasıdır.

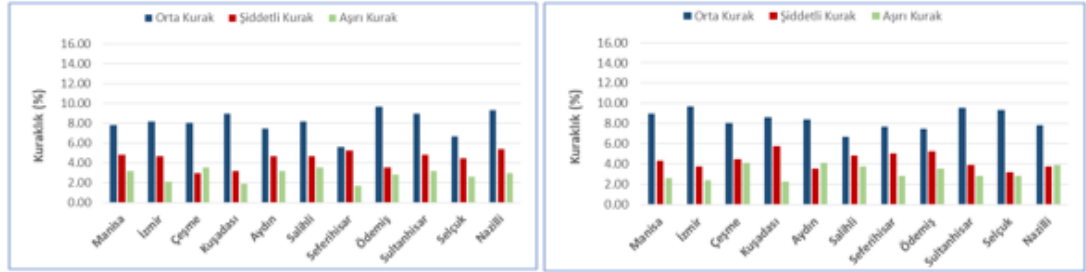
Tablo 6.7 Seçilen MGİ'lerde hesaplanan indisler için ortak kurak tarihler

MGİ	ORTAK KURAK TARİHLER
İZMİR	1972-1973; 1985; 1989-1993; 2000-2001; 2004-2005; 2007-2008
ÇEŞME	1974; 1977; 1979; 1989-1993; 2000-2001; 2006-2008
ÖDEMiŞ	1973-1974; 1985; 1989-1990; 1991-1994; 2004-2005; 2007; 2014
SEFERİHİSAR	1972-1973; 1977; 1979; 1987; 1990; 1992-1993; 2000-2001; 2007-2008
SELÇUK	1973-1974; 1987; 1989-1992; 2007-2008; 2014

### ***Kuraklık ihtimali histogramlarının oluşturulması ve karşılaştırılması***

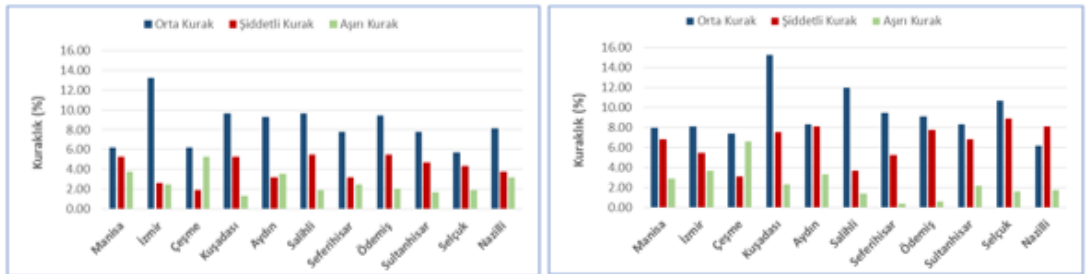
Meteoroloji gözlem istasyonları için hesaplanan indislerin kuraklık sınıflandırmasına göre (orta, şiddetli ve aşırı) kurak olma ihtimallerinin değerlendirilmesi için kuraklık ihtimali histogramları oluşturulmuştur. Histogramlar çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının tüm zaman ölçekleri için hesaplanan indis değerlerine göre ayrı ayrı olmak üzere oluşturulmuştur. Böylece istasyon ve

zaman ölçeği bazında orta, şiddetli ve aşırı kuraklık değerlerinin yüzdeleri görülebilmektedir. SPI için Şekil 6.18'te; SPEI için Şekil 6.19'da ve DRI için Şekil 6.20'de oluşturulan histogramlar verilmiştir.



(a)

(b)

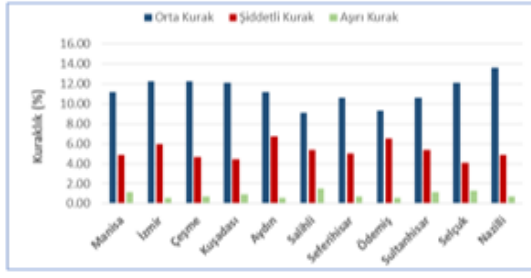


(c)

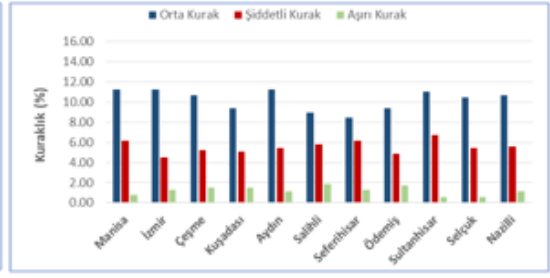
(d)

Şekil 6.18 SPI indisinin 1972-2016 yılları arasındaki orta, şiddetli ve aşırı kurak ayların yüzde grafiği (a) 3-aylık (b) 6 aylık (c) 12-aylık (d) 24-aylık

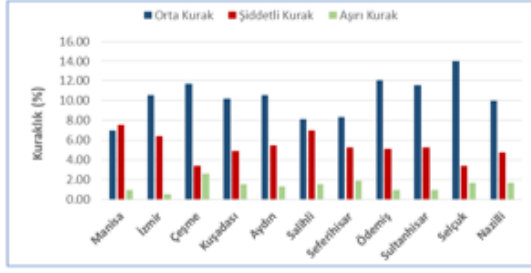




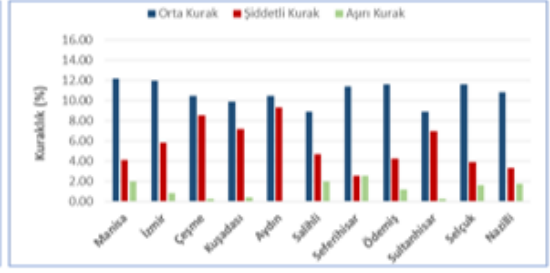
(a)



(b)

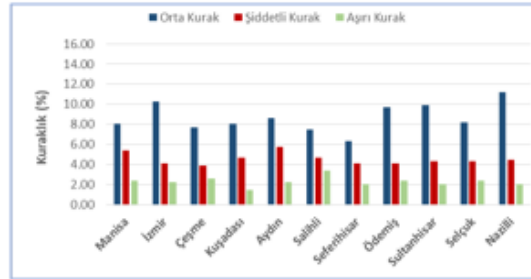


(c)

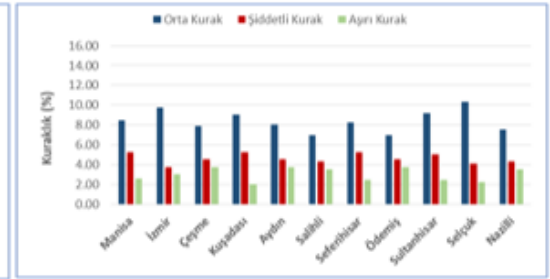


(d)

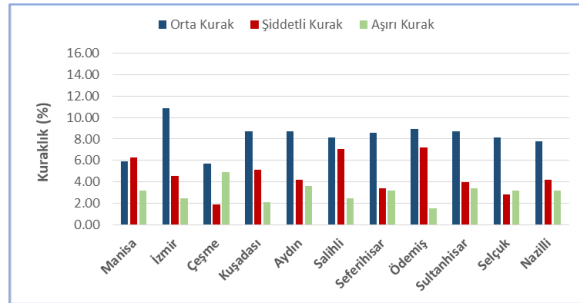
Şekil 6.19 SPEI indisinin 1972-2016 yılları arasındaki orta, şiddetli ve aşırı kurak ayların yüzde grafiği  
(a) 3-aylık (b) 6 aylık (c) 12-aylık (d) 24-aylık



(a)



(b)

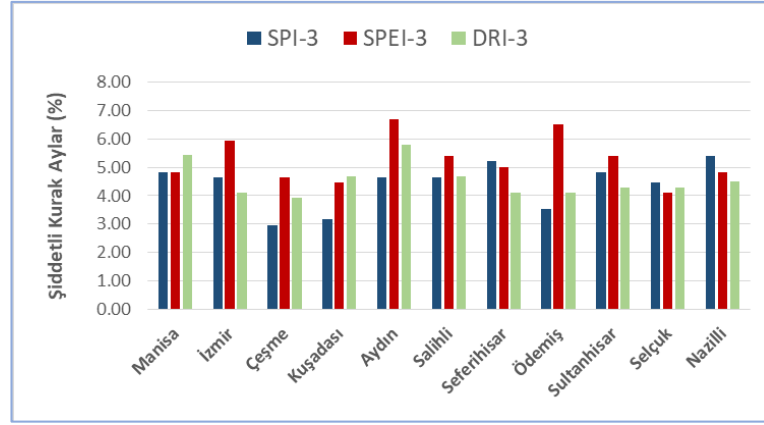


(c)

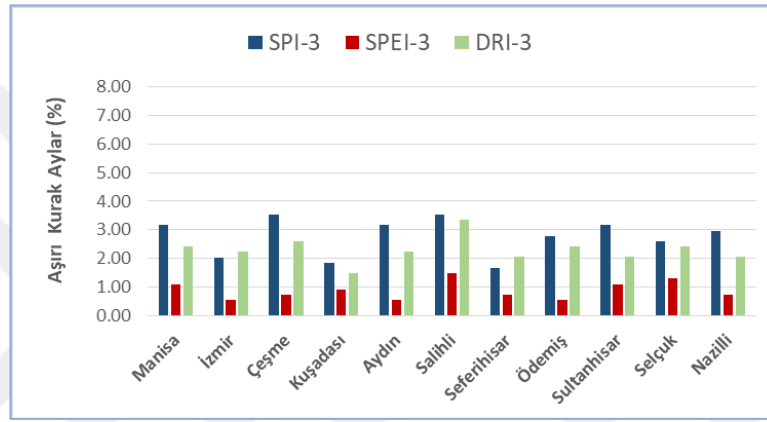
Şekil 6.20 DRI indisinin 1972-2016 yılları arasındaki orta, şiddetli ve aşırı kurak ayların yüzde grafiği  
(a) 3-aylık (b) 6 aylık (c) 12-aylık

Şekil 6.18 ve 6.20 arasındaki grafikler incelendiğinde orta kuraklık yüzdesinin en fazla olduğu, şiddetli ile aşırı kuraklık yüzdelерinin de sırası ile onu takip ettiği görülmüştür. Grafiklerde ayrıca SPEI değerlerinde aşırı kuraklık yüzdesinin diğer indislere göre oldukça az olduğu görülmüştür. SPEI ile DRI arasında orta kurak ve şiddetli kurak yüzdeleri açısından bir uyumluluk görülmüştür. Bu durum yine her iki indisin de girdi verisi olarak yağış dışında sıcaklığı da kullanmasına bağlanabilir.

Şiddetli ve aşırı kuraklık durumları için ayrı ayrı olmak üzere istasyon bazında indis değerlerinin durumunu göstermek için tüm MGİ'lerde 3-aylık ve 12-aylık SPI, SPEI ve DRI değerleri kullanılarak histogram oluşturulmuştur. Örneğin bir istasyonda aşırı kuraklık durumunun en fazla hangi indiste hesaplandığı bu diyagramlar üzerinden tespit edilebilmektedir. Bu histogramlardan ayrıca hangi istasyonlarda aşırı ve şiddetli kuraklıkların daha fazla olduğu da tespit edilebilmektedir. Bu şekilde oluşturulan 3-aylık grafikler Şekil 6.21'de, 12-aylık grafikler ise Şekil 6.22'de verilmiştir.



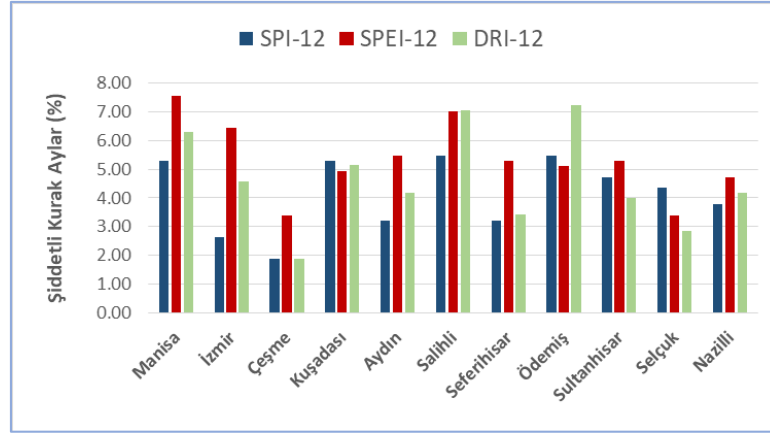
(a)



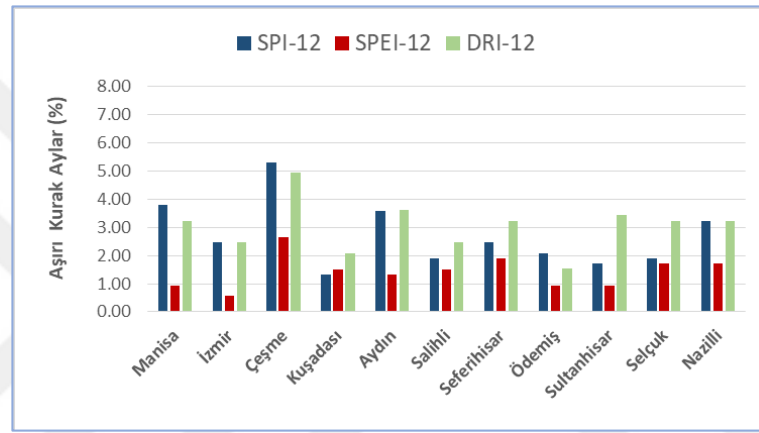
(b)

Şekil 6.21 11 MGİ için hesaplanan 3-aylık SPI, SPEI ve DRI değerlerinin yüzdelerine ait histogram (a) şiddetli kuraklık (b) aşırı kuraklık

Şekil 6.21’de 3-aylık indis değerlerinin şiddetli kuraklık yüzdeleri her 3 indis için birbirine yakın değerlere sahipken aşırı kuraklık yüzdelerinin değerleri indisler arasında farklılık göstermektedir. Şiddetli kuraklıklar her üç indis içinde aşırı kuraklıklardan oldukça fazladır. 3-aylık SPEI değerlerinin aşırı kuraklık yüzdeleri diğer indislere göre oldukça azdır. En fazla aşırı kuraklık yüzdesi ise 3-aylık SPI değerlerinde oluşmaktadır. En fazla şiddetli kuraklık yüzdesi Aydın ve Ödemiş MGİ’de; en fazla aşırı kuraklık yüzdesi ise Çeşme ve Salihli MGİ’de oluşmuştur.



(a)



(b)

Şekil 6.22 11 MGİ için hesaplanan 12-aylık SPI, SPEI ve DRI değerlerinin yüzdeliklerine ait histogram (a) şiddetli kuraklık (b) aşırı kuraklık

Şekil 6.22’de 12-aylık indis değerlerinin kuraklık yüzdelere bakıldığında aşırı kuraklıkların şiddetli kuraklıklara göre Çeşme hariç tüm istasyonlarda çok daha az olduğu görülmektedir. SPEI değerlerinin 3-aylık değerlerde olduğu gibi aşırı kuraklık yüzdeleri diğer indislere göre oldukça azdır. En fazla aşırı kuraklık yüzdesi ise SPI ve DRI değerlerinde oluşmaktadır. En fazla şiddetli kuraklık yüzdesi Manisa, Salihli ve Ödemiş MGİ’de; en fazla aşırı kuraklık yüzdesi ise Çeşme MGİ’de oluşmuştur.

### ***Kuraklık sınıflandırmasına göre renklendirilmiş kurak tarih tabloları***

Tüm meteoroloji gözlem istasyonları için hesaplanan kuraklık indislerinin seçilen tüm dönemlere ait verileri her kuraklık sınıfı için bir renk tayin edilmek sureti ile bir tablo üzerinde sıralanmıştır. Böylece tek bir tablo üstünde ortak kurak dönemler

hesaplanan bütün indis değerleri için görülebilmektedir. Bu tablolar üzerinden yapılan değerlendirmeler sonucunda tespit edilen kurak tarihlerin geçmiş döneminde Küçük Menderes Havzası'nda yaşanan kuraklıklar ile kıyaslanması yapılmıştır. Böylece alışma sonucunda elde edilen verilerin de doğrulaması yapılmış olacaktır.

Ancak oluşturulan tablo çok büyük hacimli olduğundan sadece kurak dönemlerin toplandığı yıllara ait tablolar tez çalışması kapsamına alınmıştır. Kurak dönemlerin olmadığı ya da çok az olduğu yıllar tablo olarak verilmemiştir. SPI için hazırlanan tablolar Tablo 7.6 ile Tablo 7.8 arasında sıralanmıştır. Diğer meteorolojik indislere ait tablolar ise *Ek 4.C*'de verilmiştir.

Tablo 6.8 ile 6.10 arasındaki tablolar ile *Ek 4.C*'de verilen tablolar incelendiğinde 1988 yılının Küçük Menderes Havzası için kuraklık anlamında bir milad olduğu söylenebilir. Bu tarihten önce münferit olarak kurak dönemlerden bahsedilebilirken bu tarihten sonra kuraklık şiddetinde ve frekansında ciddi bir artış olduğu söylenebilir.

Tablo 6.8 Seçilen meteoroloji gözlem istasyonları (MGİ) için hesaplanan standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (1988-1994)

İSTASYON	İNDİS	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Manisa	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
İzmir	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Çeşme	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Kuşadası	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Aydın	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Sailhli	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Seferihisar	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Ödemiş	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Sultanhisar	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Seçuk	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Nazilli	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							

normal ve üstü orta kurak şiddetli kurak aşırı kurak

Tablo 6.9 Seçilen meteoroloji gözlem istasyonları (MGİ) için hesaplanan standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (1999-2009)

ISTASYON	INDİS	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Manisa	SPI-1											
	SPI-3											
	SPI-6											
	SPI-9											
	SPI-12											
	SPI-24											
İzmir	SPI-1											
	SPI-3											
	SPI-6											
	SPI-9											
	SPI-12											
	SPI-24											
Çeşme	SPI-1											
	SPI-3											
	SPI-6											
	SPI-9											
	SPI-12											
	SPI-24											
Kuşadası	SPI-1											
	SPI-3											
	SPI-6											
	SPI-9											
	SPI-12											
	SPI-24											
Aydın	SPI-1											
	SPI-3											
	SPI-6											
	SPI-9											
	SPI-12											
	SPI-24											
Sarıllı	SPI-1											
	SPI-3											
	SPI-6											
	SPI-9											
	SPI-12											
	SPI-24											
Seferihisar	SPI-1											
	SPI-3											
	SPI-6											
	SPI-9											
	SPI-12											
	SPI-24											
Ödemiş	SPI-1											
	SPI-3											
	SPI-6											
	SPI-9											
	SPI-12											
	SPI-24											
Sultanhisar	SPI-1											
	SPI-3											
	SPI-6											
	SPI-9											
	SPI-12											
	SPI-24											
Selçuk	SPI-1											
	SPI-3											
	SPI-6											
	SPI-9											
	SPI-12											
	SPI-24											
Nazilli	SPI-1											
	SPI-3											
	SPI-6											
	SPI-9											
	SPI-12											
	SPI-24											

normal ve üstü orta kurak şiddetli kurak aşırı kurak

Tablo 6.10 Seçilen meteoroloji gözlem istasyonları (MGİ) için hesaplanan standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (2010-2016)

İSTASYON	İNDİS	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Manisa	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
İzmir	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Çeşme	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Kuşadası	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Aydın	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Salihi	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Seferihisar	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Ödemiş	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Sultanhisar	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Selçuk	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							
Nazilli	SPI-1							
	SPI-3							
	SPI-6							
	SPI-9							
	SPI-12							
	SPI-24							

normal ve üstü orta kurak şiddetli kurak aşırı kurak



SPI, SPEI ve DRI için hesaplanan tüm değerler göz önüne alındığında genel olarak 1988-1993, 2000-2001, 2004, 2007-2008, 2014 ve 2016 yıllarının ortak kurak yıllar olarak tespit edildiği söylenebilir. Bu kurak dönemler arasında 1992 yılının daha şiddetli bir kurak dönem olduğu grafiklerde görülmektedir. Bunun yanı sıra 2007-2008 yıllarında yaşanan kuraklıkların da diğer yıllara göre şiddetli olduğu söylenebilir.

1972 ve 1973 yılları her ne kadar literatürde Türkiye’de yaygın kuraklığın olduğu yıllar olarak geçse de (Türkeş, 1990) Küçük Menderes Havzası için bu tez kapsamında yapılan analiz sonucunda 1972-1973 ve 1984-1985 yıllarında orta şiddette kuraklığın belirgin olduğu dönemlerin ağırlıklı olduğu görülmektedir.

Meteoroloji gözlem istasyonlarından Çeşme MGİ’deki gözlemlere göre bu bölgenin 1990-1992 yılları arasındaki kuraklıktan diğer bölgelere göre daha fazla etkilendiği de tablolarda tespit edilmiştir. Ayrıca SPEI tablolarında diğer iki indise göre çok daha az aşırı kuraklık olduğu da görülmektedir.

Tespit edilen bu yıllar havza içinde yer alan istasyonların 12-aylık zaman ölçekleri için hesaplanmış değerleri üzerinden yapılan kurak tarih belirleme çalışmaları ile birebir örtüşmemektedir. Bunun nedeni renklendirilmiş tablolarda çalışmada kullanılan tüm MGİ’lerin ve tüm zaman ölçeklerinin dikkate alınmasıdır.

## **6.2 Hidrolojik Kuraklık Analizi**

### ***6.2.1 Akım Verilerinin Homojenlik ve Uygun Dağılım Analizi***

Bu tez kapsamında seçilen tüm akım gözlem istasyonlarına ait akım verilerinin homojenliğini analiz etmek için R Studio yazılımı kullanılarak Buishand Testi, Alexandersson Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT) ve Pettitt testi; trend analizi için ise Mann-Kendall testi yapılmıştır. Homojenlik ve trend testleri için R Studio trend paketleri kullanılmıştır.

Rstudio trend paketleri ile D06A009 Hırsız Dere-Alaçatı AGİ için yapılan homojenlik ve trend analizi testlerinin sonuçları örnek olarak Şekil 6.23'te verilmiştir. İstasyonların homojenlik analiz sonuçları Tablo 6.11'de sunulmuştur.

```

009
Buishand range test
data: SERIES009
R / sqrt(n) = 1.5837, n = 216, p-value = 0.07635
alternative hypothesis: true delta is not equal to 0
sample estimates:
probable change point at time K
      87

Standard Normal Homogeneity Test (SNHT)
data: SERIES009
T = 3.8279, n = 216, p-value = 0.6489
alternative hypothesis: true delta is not equal to 0
sample estimates:
probable change point at time K
      5

Pettitt's test for single change-point detection
data: SERIES009
U* = 1005, p-value = 1.099
alternative hypothesis: two.sided
sample estimates:
probable change point at time K
     176

Mann-Kendall trend test
data: SERIES009
z = -0.032263, n = 216, p-value = 0.9743
alternative hypothesis: true S is not equal to 0
sample estimates:
      S      varS      tau
-3.200000e+01  9.232260e+05 -1.669718e-03

```

Şekil 6.23 D06A009 nolu AGİ verilerinin R Studio programındaki homojenlik testi sonuçları

Tablo 6.11 Aylık ortalama akım verilerinin trend ve homojenlik analizi sonuçları

TEST		D06A001	D06A007	D06A009	D06A010	D06A011	D06A012	D06A020	E06A001		
		1987-99	1970-88	1971-88	1976-90	1991-04	1986-02	1991-04	1960-07	1960-00	1960-85
BUSHAND	p-value	0,00085	0,1505	0,07635	0,06735	0,3529	0,1036	0,00865	2,20E-16	2,20E-16	0,0248
	homogeneity	H1	Ho	Ho	Ho	Ho	Ho	H1	H1	H1	H1
SNH TEST	p-value	0,008	0,4085	0,6489	0,1053	0,5638	0,3382	0,3246	2,20E-16	2,20E-16	0,1238
	homogeneity	H1	Ho	Ho	Ho	Ho	Ho	Ho	H1	H1	Ho
PETTİTT TEST	p-value	0,183	0,8233	1,099	0,03038	0,9628	0,1421	0,2118	2,20E-16	2,20E-16	0,03983
	homogeneity	Ho	Ho	Ho	H1	Ho	Ho	Ho	H1	H1	H1
MANN KENDALL	p-value	0,555	0,5466	0,9743	0,00542	0,7006	0,3376	0,4555	5,69E-15	1,10E-15	0,08328
	trend	Ho	Ho	Ho	H1	Ho	Ho	Ho	H1	H1	Ho
Ho : Sıfır Hipotezi H1 : Zıt Hipotez $\alpha=0,05$ (%95 anlamlılık düzeyi)											

E06A001 istasyonu, akım verilerinin en uzun ve kesintisiz (1960-2007) olduğu istasyondur. Ancak yapılan homojenlik testleri sonucunda veri setinin homojen olmadığı ve eğilim olduğu tespit edilmiştir (Tablo 6.11). Öncelikle istasyonun yağış alanı içerisinde yer alan depolama tesisleri kontrol edilmiş ve bir barajın 2008 yılında diğer göletlerin ise 2014 yılında yapıldığı görülmüştür. Bu tesislerin kullanılan veri

tarikhlerinin dışında kaldığı ve sisteme etkisi olmayacağı açıktır. Daha sonra istasyonun oldukça büyük bir yağış alanı ve verimli ekim alanlarının fazla olması sebebi ile halk sulamalarının istasyonun ölçümleri fazla etkilediği görülmüştür. Bu nedenle tarih aralıkları biraz daha daraltılarak homojenlik testleri tekrar edilmiştir. İstasyonun 1960-1985 ile 1960-2000 yılları arasındaki veri setleri için homojenlik testleri yeniden yapılmıştır. Nihai olarak 1960-1985 yılları arasındaki verilerin homojen olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak tez kapsamında E06A001 istasyonu için 1960-1985 yılları arasındaki veriler kullanılarak indis hesabı yapılmıştır.

AGİ verileri için homojenlik testinden sonra her bir AGİ verisi için *EasyFit Professional* yazılımı ile uygun dağılımın belirlenmesi çalışması yapılmıştır. Burada her bir AGİ verisi için en uygun dağılım tespit edilmiştir E06A001 nolu AGİ için yapılan çalışmanın sonuçları örnek olarak Şekil 6.24'te verilmiştir. D06A007 nolu Dereboğazı AGİ için log normal dağılım, diğer tüm AGİ'ler için gamma dağılımı tespit edilmiştir. SDI hesabında kullanılan DrinC programı sadece log normal ve gamma dağılımı seçeneklerine sahip olduğu için uygun dağılımın seçilmesi bu kısıtlamaya göre yapılmıştır. SSFI için hesap yapılan R Studio yazılımında SPI için varsayılan dağılım olan gamma dağılımı kullanılmıştır.

Goodness of Fit - Summary							
#	Distribution	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank	Statistic	Rank
20	Gen. Gamma	0.12057	1	112.37	19	92.606	16
18	Gamma	0.12057	2	88.684	10	31.847	2
34	Log-Logistic	0.12057	3	106.78	13	107.31	17
51	Weibull	0.12057	4	97.228	12	58.616	4
8	Dagum	0.12057	5	113.1	20	88.72	13
7	Dagum	0.12057	6	113.1	21	88.72	14
52	Weibull	0.12057	7	111.15	14	85.618	10
42	Pearson 6	0.12057	8	112.3	17	85.357	8
3	Burr	0.12057	9	111.17	15	85.783	11

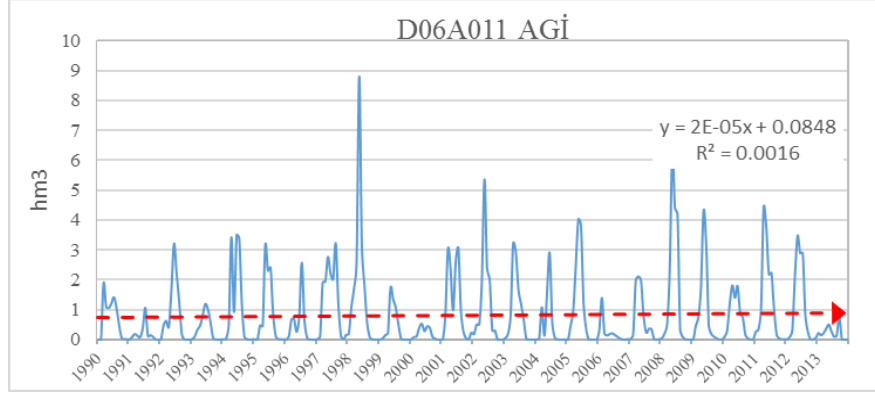
Şekil 6.24 E06A001 nolu AGİ verilerinin EasyFit Professional yazılımı ile uygun dağılım analizi sonucu

### 6.2.2 Akım Verilerinin Değerlendirilmesi

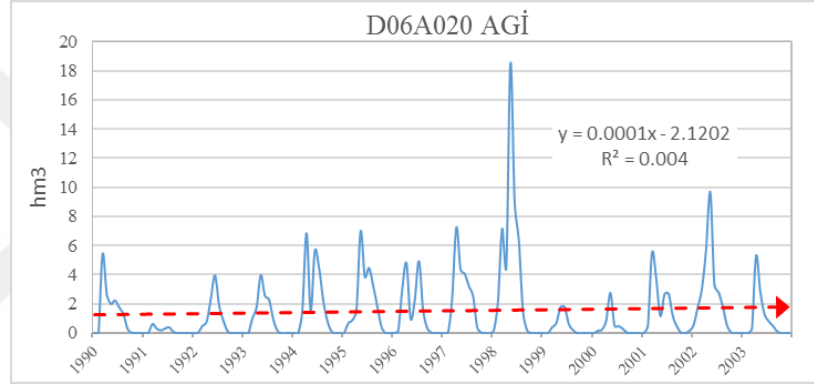
Küçük Menderes Havzası'nda yer alan akım gözlem istasyonlarının verileri değerlendirildiğinde kesintisiz ve düzenli veriye sahip olan istasyon olmadığı söylenebilir. En uzun veriye sahip istasyon E06A001 nolu Küçük Menderes İstasyonu'dur. Önceki dönemde Elektrik İdaresi'ne ait olan bu istasyonun 1960-2012 yılları arası toplam 624 aylık veriye sahiptir. Ancak tez kapsamında hem doğal akımların hem de homojenliğin temini için veri aralığı 1960-1985 yılları arasına indirgenmiştir.

1970 yılı öncesinde havzada sadece 4 adet AGİ bulunduğu görülmüştür. Bu nedenle havzada yaygın olarak akım gözlemi 1970'li yıllardan sonra başladığı söylenebilir. Genel olarak bakıldığında ise 1990, 2000 ve 2010'lu yıllarda çok fazla aylık verinin eksik olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan akım verilerinin en eski ölçüm tarihi 1960, en yeni ölçüm tarihi ise 2014 olarak alınmıştır.

Küçük Menderes Havzası'nda seçilen her bir akım gözlem istasyonu için aylık ortalama akım verileri kullanılarak gözlemlerin zamana bağlı değişim grafikleri çizilmiştir. Meteoroloji gözlem istasyonlarında örnek olarak seçilen İzmir ile Ödemiş istasyonlarına yakın olan Çamlık AGİ (D06A020) ve Bebekler AGİ (D06A011)'ler örnek olarak seçilmiş ve zaman seri grafikleri Şekil 6.25 ile Şekil 6.26'da; diğer istasyonların zaman serileri ise *Ek 5A* bölümünde verilmiştir. Her bir grafik için eğilim çizgisi ve eğilim çizgisine ait denklem de grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.25 D06A011 Rahmanlar Çayı -Bebekler AGİ Akımları (hm3) zamana bağlı değişimi (1990-2014)



Şekil 6.26 D06A020 Çamlı Dere-Çamlı AGİ Akımları (hm3) zamana bağlı değişimi (1991-2004)

*Bölüm 6.2.1*'de Mann Kendall Testi ile yapılan trend analizi sonucunda D06A010 nolu istasyon haricindeki tüm istasyonlara ait akım verilerinde trend olmadığı tespit edilmişti. D06A010 nolu istasyon verilerinde ise azalma eğilimi olduğu görülmüştür. En yüksek akımlar yağış alanları ile doğru orantılı olarak 3255,2 km<sup>2</sup> yağış alanına sahip olan E06A001 ve 512,9 km<sup>2</sup> yağış alanına sahip olan D06A007 istasyonları olmuştur.

Tablo 6.12 İstasyon bazında gözlem süreleri boyunca hesaplanan aylık ortalama akım miktarları(hm<sup>3</sup>)

İstasyon No	İstasyon Adı	Gözlem Süresi	AYLAR												Yıllık
			Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
D06A001	Beydağ Köprüsü	1986-1999	4,7	6,5	7,8	9,6	4,9	1,2	0,5	0,3	0,1	0,8	1,4	4,6	42,3
D06A007	Dereboğazı	1970-1988	37,8	31,9	24,7	11,0	4,5	1,8	0,5	0,3	0,2	1,2	3,9	25,9	143,5
D06A009	Alaçatı	1970-1988	1,4	1,0	0,7	0,3	0,4					0,5	0,4	0,7	5,4
D06A010	Çukurköy	1975-1990	2,5	2,0	1,7	0,7	0,3	0,1				3,4	0,6	1,6	13,0
D06A011	Bebekler	1991-2014	1,5	2,5	2,0	1,6	0,7	0,3	0,1		0,2	0,2	0,4	0,9	10,3
D06A012	Bülbüller	1985-2002	1,4	1,8	1,3	0,9	0,5	0,1			0,1	0,2	0,5	0,9	7,8
D06A020	Çamlı	1991-2004	3,4	4,2	3,1	2,7	1,3	0,5	0,2		0,2	0,4	0,6	2,3	18,9
E06A001	Selçuk	1960-2012	58,6	69,2	57,5	33,7	18,2	7,5	1,9	0,7	1,9	3,9	5,6	32,4	291,2

Tablo 6.12’de her bir AGİ için gözlem süresi boyunca hesaplanan aylık ortalama akımlar verilmiştir. Tabloda boş bırakılan kısımlar akımların olmadığını göstermektedir. Genel olarak havzada akımların arttığı aylar Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs ayları olurken akımların azaldığı aylar Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları olmuştur. Yüksek kotlarda yer alan AGİ’lerde (D06A001, D06A011 ve D06A012) kar erimeleri nedeniyle en yüksek akımların bahar aylarına kaydığı görülmektedir. En düşük akım değeri D06A009 ve D06A012 nolu AGİ’lerde, en yüksek akım değeri ise D06A007 ve E06A001 nolu AGİ’lerde ölçülmüştür.

### 6.2.3 Hidrolojik Kuraklık İndislerinin Hesaplanması

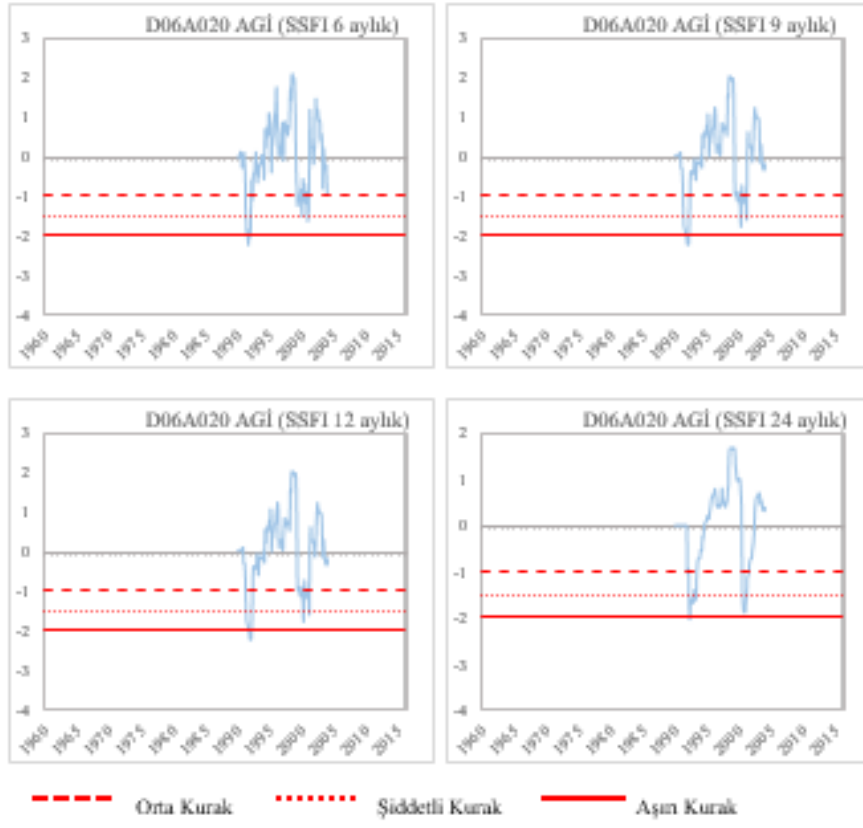
Tez konusunun ana unsurlarından biri hidrolojik kuraklığın analizi çalışmasıdır. Hidrolojik kuraklık analizi için tespit edilen kuraklık indislerinin seçilen her bir istasyon bazında hesaplanması çalışmanın ilk adımını oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında Standartlaştırılmış Akım İndisi (SSFI), Akım Kuraklık İndisi (SDI) ve Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolik Kuraklık İndisi (scPHDI) olmak üzere 3 adet hidrolojik kuraklık indisi seçilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm akım gözlem istasyonlarında 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık dönemler için Standartlaştırılmış Akım İndisi (SSFI), 1, 3, 6, 9, 12 aylık dönemler için Akım Kuraklık İndisi (SDI) ve Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolik Kuraklık İndisi (scPHDI) hesaplanmıştır. İndislerin hesaplama sistematığı detaylı olarak *Bölüm 5*’te anlatılmıştır.

Hidrolojik kuraklığın analizi için seçilen indislerin 8 adet akım gözlem istasyonunda ölçülen akım verileri kullanılarak hesaplanması, çıktıların oluşturulması ve çıktılara ilişkin değerlendirme süreçleri her bir indis için ayrı ayrı olmak üzere Bölüm 6.2.3.1 ile Bölüm 6.2.3.3 arasında sırası ile anlatılmıştır. Bu bölümlerde Çamlık AGİ (D06A020) ve Bebekler AGİ (D06A011)'ye ait grafik ve diyagramlar verilmiştir. Diğer istasyonlar için yapılan çalışmalar *Ek-5B*, *Ek-5C* ve *Ek-5D*'de yer almaktadır.

#### *6.2.3.1 Standartlaştırılmış Akım İndisi (SSFI)*

Standartlaştırılmış Akım İndisi (SSFI) hesabı 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık dönemler için yapılmış olup 8 adet akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım verileri kullanılmıştır. Hesaplanan SSFI değerleri için zamana bağlı değişim grafikleri Microsoft Excel programı ile çizilmiştir. Toplam 48 adet analiz yapılmıştır. Küçük Menderes Havzası için seçilen AGİ'lerden D06A020 Çamlı Dere-Çamlı AGİ ve D06A011 Rahmanlar Çayı-Bebekler AGİ verileri ile hesaplanan 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık SSFI değerlerinin zaman serileri Şekil 6.27 ile Şekil 6.28'de; diğer AGİ'lerin 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık SSFI değerlerinin zaman serileri *Ek 5.B* bölümünde sunulmuştur. Kuraklık sınıflandırmasına göre orta kurak olma eşiği (-1,00), şiddetli kurak olma eşiği (-1,50) ve aşırı kurak olma eşiği (-2,00) grafikler üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.27 Çamlık AGİ (D06A020) 6-9-12-24 aylık SSFI değerleri zaman dizileri





Şekil 6.28 Bebekler AGİ (DO6A011) 1-3-6-9-12-24 aylık SSFI değerleri zaman dizileri

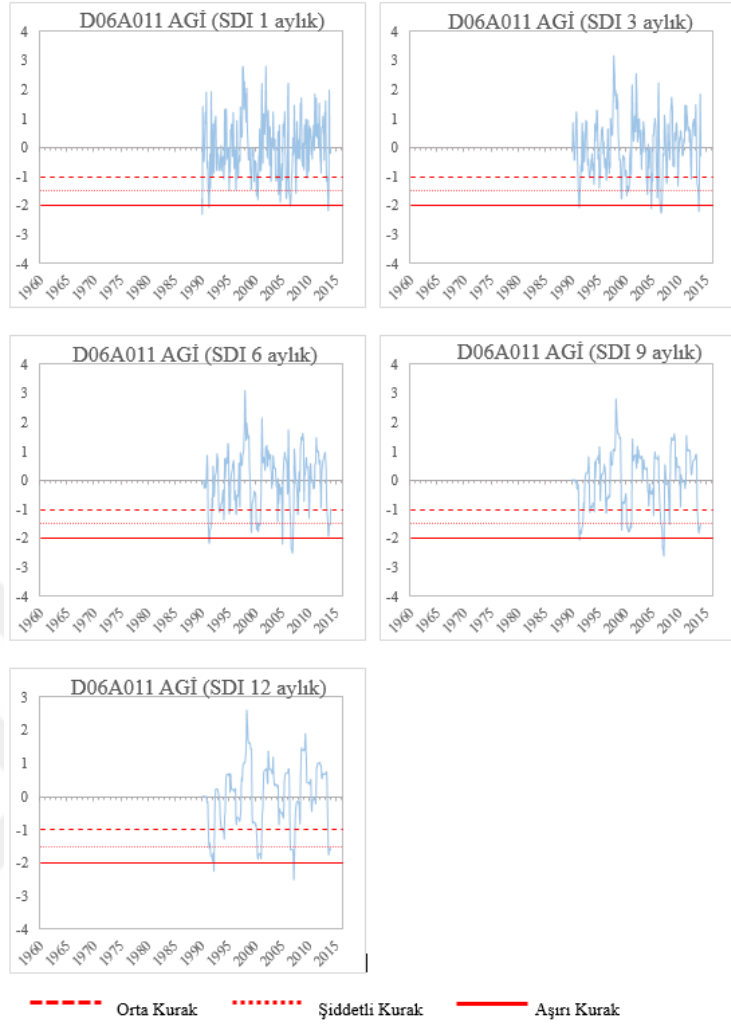
Akım gözlem istasyonlarının bazılarında akım verileri uzun dönemler boyunca sıfır değerinde olduğundan özellikle 1 ve 3 aylık zaman ölçekleri için SSFI değerleri hesaplanamamıştır. Bu nedenle bazı istasyonlarda eksik grafikler vardır.

Her bir istasyonda farklı zaman ölçekleri için oluşturulan 38 adet grafik incelendiğinde istasyon bazında çıktıkların birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bu durum aynı zamanda verilerin doğru şekilde çalışıldığının kontrolü açısından da önemlidir. Her bir istasyon için zaman ölçeği arttıkça kurak ve nemli dönemlerin

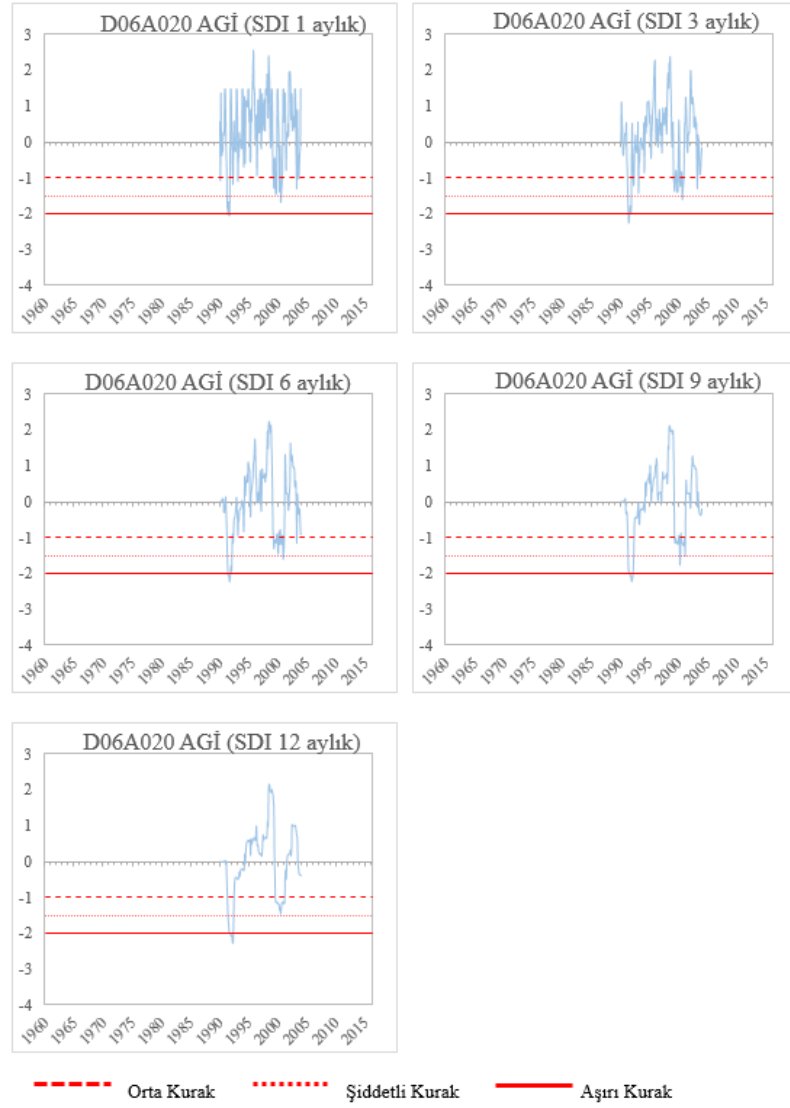
belirginleştii gör÷lmektedir. İstasyonlarda ortak tarihlerin az olması nedeni ile kurak tarihlerin aynı zamanlara denk gelip gelmediği tam anlamıyla kontrol edilememiştir.

#### 6.2.3.2 Akım Kuraklık İndisi (SDI)

Akım Kuraklık İndisi (SDI) hesabı 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler için yapılmış olup 8 adet akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım verileri kullanılmıştır. Hesaplanan SDI değerleri için zamana bağlı değişim grafikleri Microsoft Excel programı ile çizilmiştir. Toplam 40 adet analiz yapılmıştır. Küçük Menderes Havzası için seçilen AGİ'lerden D06A020 Çamlı Dere-Çamlı AGİ ve D06A011 Rahmanlar Çayı Bebekler AGİ verileri ile hesaplanan 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık SDI değerlerinin zaman serileri Şekil 6.29 ile Şekil 6.30'da; diğer AGİ'lerin 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık SDI değerlerinin zaman serileri *Ek 5.C* bölümünde sunulmuştur. Kuraklık sınıflandırmasına göre orta kurak olma eşiği (-1,00), şiddetli kurak olma eşiği (-1,50) ve aşırı kurak olma eşiği (-2,00) grafikler üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.29 D06A011 AGİ 1-3-6-9-12 aylık SDI değerleri zaman dizileri

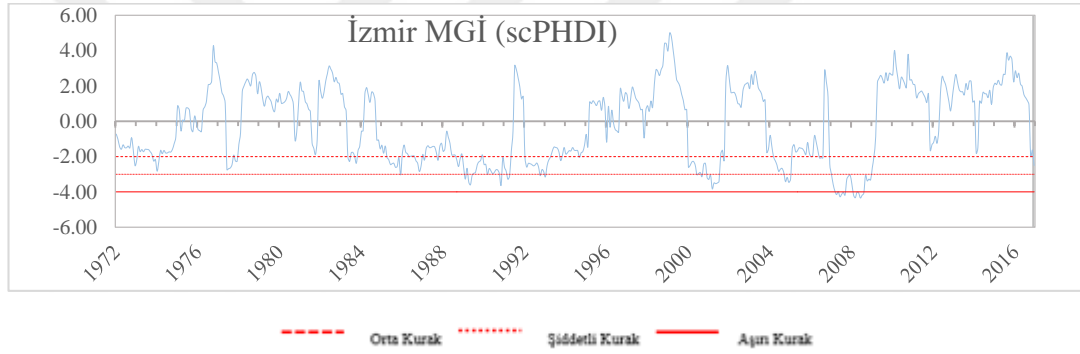


Şekil 6.30 D06A020 AGİ 1-3-6-9-12 aylık SDI değerleri zaman dizileri

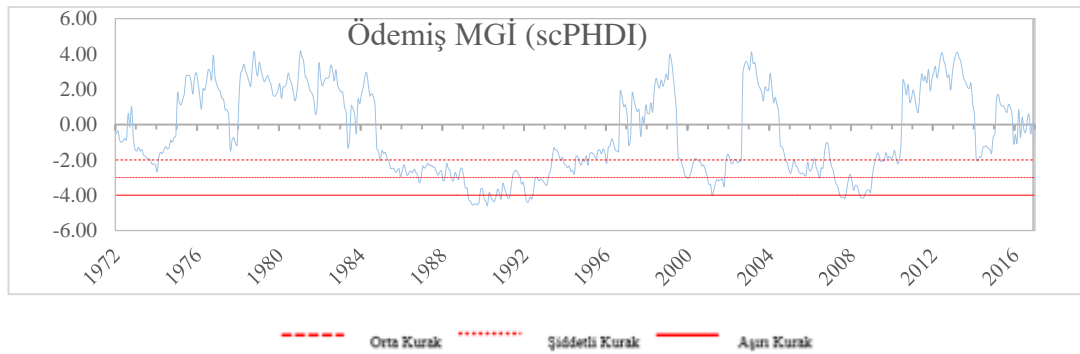
SDI için istasyonların kendi içlerinde farklı zaman ölçekleri için oluşturulan zaman serileri incelendiğinde istasyon bazında uyumlu oldukları görülmektedir. Böylece çalışma kapsamında yapılan SDI hesaplama sitematiğinin doğru olduğu söylenebilir. İstasyonların kendi aralarında kıyaslaması, girdi verilerinde ortak dönem belirlenemediği için yapılamamaktadır. Ayrıca girdi veri serilerinin uzunluğu çok fazla olmadığı için SDI değerlerinin zamana bağlı değişim grafikleri üzerinde çok fazla yorum yapılamamaktadır.

### 6.2.3.3 Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI)

Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI) hesabı 11 adet meteoroloji gözlem istasyonu aylık toplam yağış verileri ve sıcaklık verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan scPHDI değerleri için zamana bağlı değişim grafikleri Microsoft Excel programı ile çizilmiştir. Küçük Menderes Havzası için seçilen MGİ'lerden İzmir ve Ödemiş MGİ verileri ile hesaplanan aylık scPHDI değerlerinin zaman serileri Şekil 6.31 ile Şekil 6.32'de; diğer MGİ'lerin aylık değerlerinin zaman serileri *Ek 5.D* bölümünde sunulmuştur. Kuraklık sınıflandırmasına göre orta kurak olma eşiği (-2,00), şiddetli kurak olma eşiği (-3,00) ve aşırı kurak olma eşiği (-4,00) grafikler üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.31 İzmir MGİ scPHDI değerlerinin zamana bağlı değişimi (1972-2016)



Şekil 6.32 Ödemiş MGİ scPHDI değerlerinin zamana bağlı değişimi (1972-2016)

Zaman serileri incelendiğinde 11 istasyonun genel olarak benzer kurak tarihleri işaret ettiği söylenebilir. Aşırı kuraklığın birkaç istasyon dışında tespit edilmediği, en belirgin aşırı kuraklıkların Salihli bölgesinde olduğu görülmüştür. ScPHDI,

meteorolojik indislerle aynı ortak döneme (1972-2016) sahip olduğu için meteorolojik indislerle etkin bir şekilde kıyaslanabilecektir.

#### **6.2.4 Hidrolojik Kuraklık İndislerinin Analizi ve Değerlendirilmesi**

Hidrolojik kuraklık indisleri *Bölüm 6.2.3*'te hesaplanmış ve zamana bağlı değişim grafikleri oluşturulmuştur. Bu bölümde yapılan çalışmada, SSFI, SDI ve scPHDI indislerine ait zaman serilerinden de yararlanılarak verilerin sınıflandırması ve müteakiben karşılaştırılması çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar aşağıda sıralanmıştır:

- SSFI ve SDI verilerinin zamana bağlı değişim grafiklerinin kıyaslanması.
- Tüm indislerin 12 ve 24 aylık zaman serilerinin birbiri ile kıyaslanması.
- İndis bazında tarihi kuraklıkların, kuraklık şiddetinin ve sürelerinin 12 aylık indis değerleri kullanılarak tespit edilmesi.
- Kuraklık histogramlarının oluşturulması ve birbiri ile kıyaslanması.
- Tüm indis, tüm AGİ ve tüm zaman ölçekleri için hesaplanan değerler göz önüne alınarak renklendirilmiş indis tablolarının oluşturulması ve ortak kurak tarihlerin belirlenmesi.

İndislerin sınıflandırmasında -1,00 ile +1,00 değerleri arası bazı sınıflandırma siteminde normal olarak kabul edilirken bazılarında ise -0,50 ile +0,50 arası normal kabul edilmektedir. -0,50 ile -1,00 arasının da yine normale yakın kurak ya da kuraklık başlangıcı olarak değerlendirildiği görülmüştür. Bu tez kapsamında ortak bir durum oluşturmak için -1,00 ile +1,00 değerleri arası normal olarak kabul edilmiştir. Tüm veriler buna göre değerlendirilmiştir.

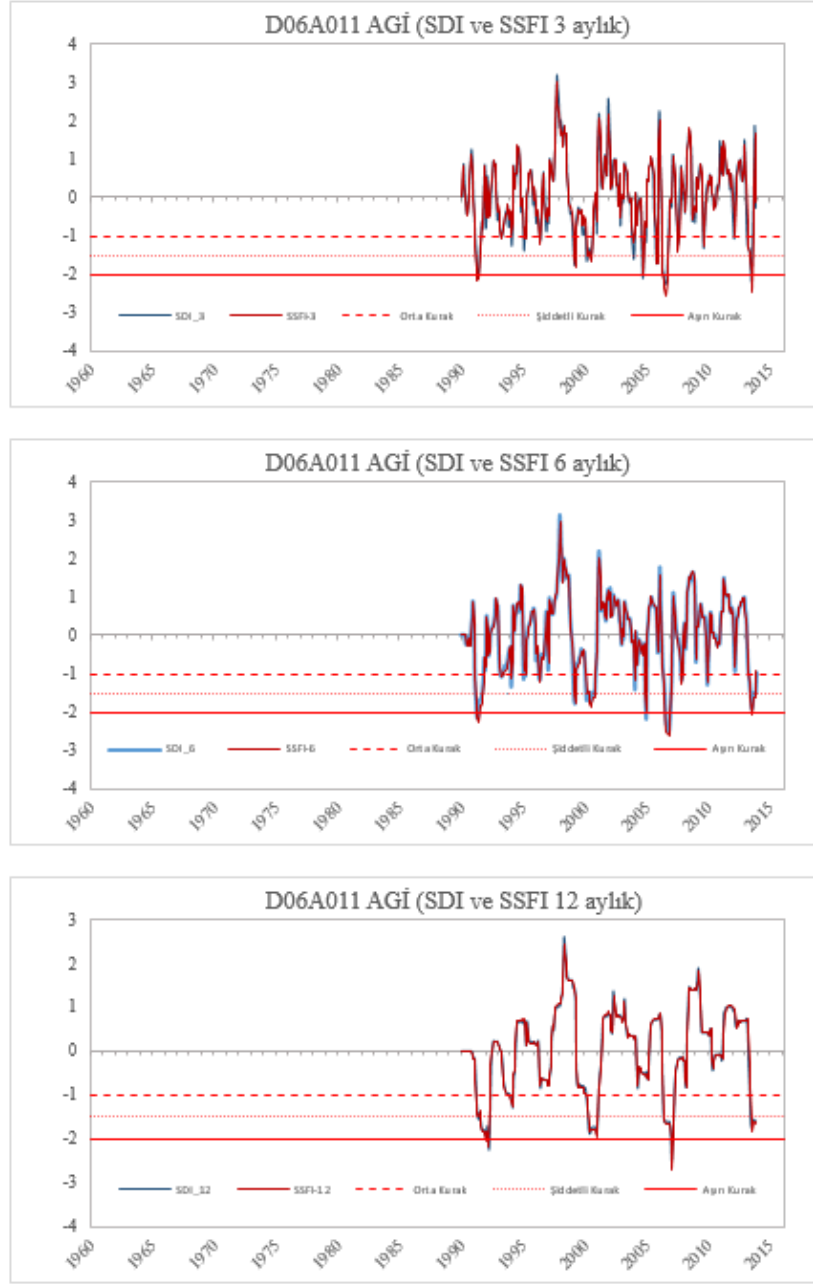
#### ***SSFI ve SDI verilerinin zamana bağlı değişim grafiklerinin kıyaslanması***

SSFI ve SDI için zamana bağlı değişim grafikleri incelendiğinde SSFI ve SDI arasında ciddi bir benzeşme göze çarpmaktadır. SSFI ve SDI hesaplamaları temel

olarak SPI hesabına benzer bir şekilde yapılmakla beraber her bir indis için farklı yazılımlar kullanılarak hesaplanmıştır.

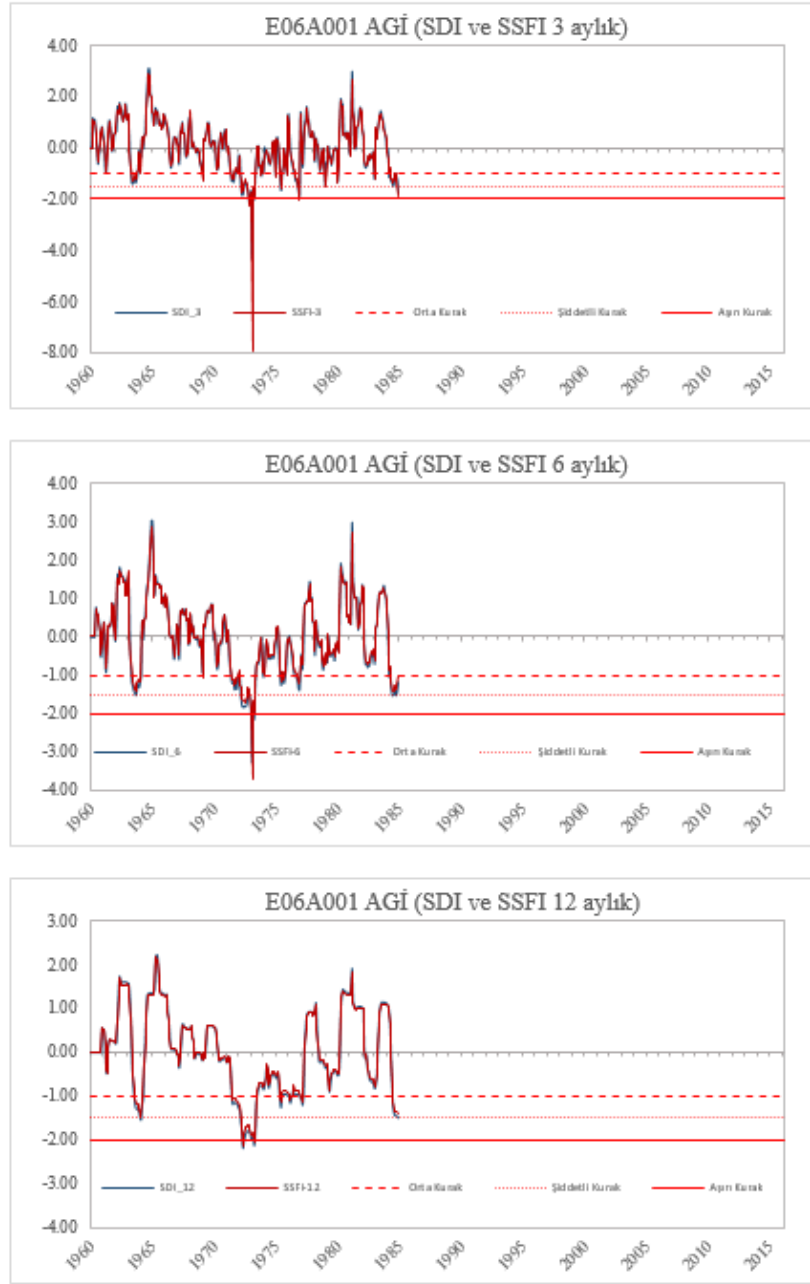
SSFI ve SDI zamana bağılı değişim grafiklerindeki farklılığı görmek için bu iki indis örnek olarak D06A011(Bebekler AGİ) ve E06A001 (Selçuk AGİ) istasyonları için kıyaslanmıştır. Her iki istasyon için 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçekleri için kıyaslama yapılmıştır. Havza için örnek olarak seçilen D06A011(Bebekler AGİ) ve E06A001 (Selçuk AGİ) kıyaslama grafikleri Şekil 6.33 ve 6.34'te verilmiştir.





Şekil 6.33 D06A011 AGİ için SDI ve SSFI indislerinin 3-6-12 aylık zamana bağlı değişim grafiklerinin karşılaştırılması (1990-2014)





Şekil 6.34 E06A001 AGİ için SDI ve SSFI indislerinin 3-6-12 aylık zamana bağlı değişim grafiklerinin karşılaştırılması (1960-1985)

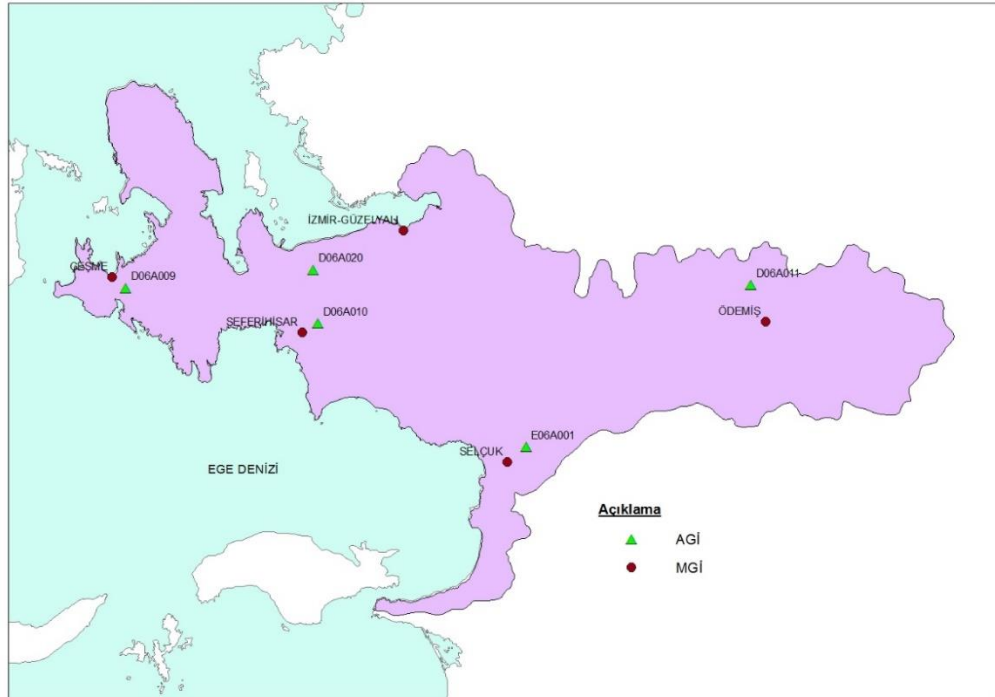
Şekil 6.33 ve 6.34'te verilen grafikler incelendiğinde SDI ve SSFI grafiklerinin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Zaman ölçeği arttıkça iki indis arasındaki benzerlik de artmaktadır. Bu nedenle, çalışmanın bundan sonraki aşamalarında genellikle 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinden faydalandığı için sadece SSFI ile kıyaslama çalışmaları yapılmıştır. Aynı sonuçları vereceği için SDI ile çalışmalar tekrar yapılmamıştır.

### *İndislerin birbiri ile kıyaslanması*

Çalışmada kullanılan hidrolojik kuraklık indislerinin (SDI, SSFI, scPHDI) birbiri ile kıyaslanması için 11 meteoroloji gözlem istasyonundan sadece seçilen 5 meteoroloji gözlem istasyonu örnek olarak seçilmiştir. Seçilen istasyonlar İzmir, Ödemiş, Çeşme, Seferihisar ve Selçuk meteoroloji gözlem istasyonlarıdır. Hidrolojik veriler için ise seçilen MGİ'ye en yakın olan AGİ'ler seçilmiştir. Seçilen MGİ ve AGİ'lere ilişkin bilgi Tablo 6.13'te verilmiştir. Ayrıca seçilen AGİ ve MGİ'lerin konumları Şekil 6.35'te verilen haritada görülmektedir.

Tablo 6.13 Seçilen MGİ'lere karşılık gelen AGİ'ler

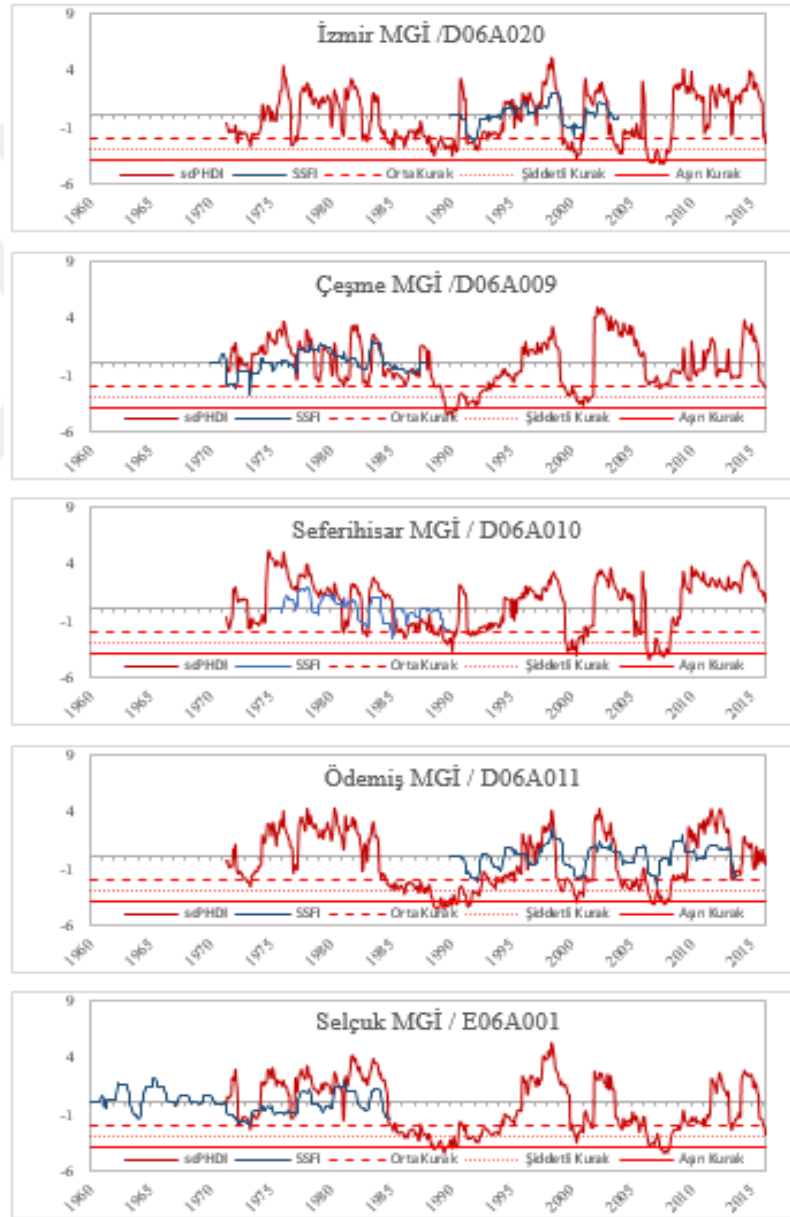
MGİ	Gözlem Dönemi	AGİ	Gözlem Dönemi
İzmir	1972-2016	D06A020	1991-2004
Çeşme	1972-2016	D06A009	1970-1988
Ödemiş	1972-2016	D06A011	1991-2014
Seferihisar	1972-2016	D06A007	1970-1988
Selçuk	1972-2016	E06A001	1960-1985



Şekil 6.35 Seçilen AGİ ve MGİ konumları

Zaman ölçeği olarak ise kuraklıkların izlenmesi için yaygın olarak kullanılan 12- aylık zaman ölçeği seçilmiştir. Daha kısa zaman ölçekleri kurak dönemleri net olarak göstermediğinden kıyaslama için de ayırt edici olamamaktadır.

İzmir, Ödemiş, Çeşme, Seferihisar ve Selçuk meteoroloji gözlem istasyonları ile Çamlı, Bebekler, Alaçatı, Çukurköy ve Selçuk akım gözlem istasyonları için SSFI-12 ile scPHDI zamana bağlı değişim grafikleri Şekil 6.36'da verilmiştir.



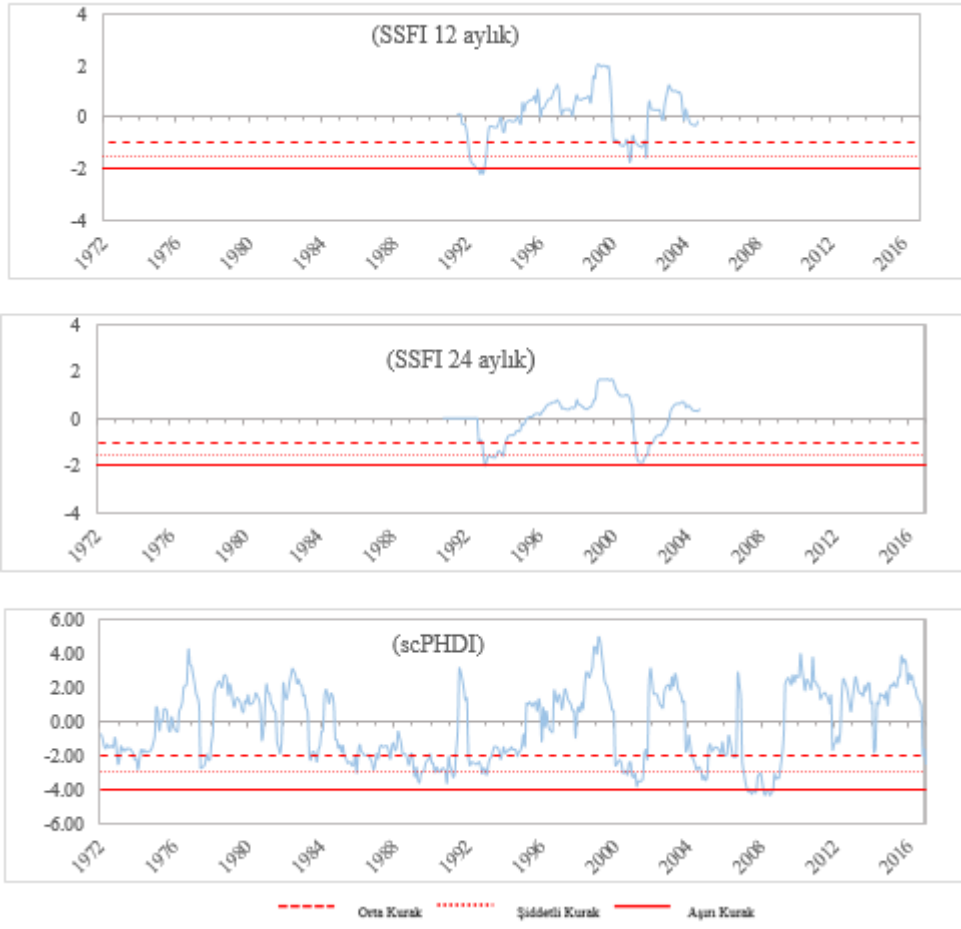
Şekil 6.36 12 aylık SSFI ve scPHDI zaman dizileri mukayese grafiği

Şekil 6.36 incelendiğinde scPHDI ile SSFI'da genel olarak kurak ve nemli dönemler aynı tarihlere denk gelmektedir. Ancak bu tarihlerde kuraklık ve nemlilik şiddetlerinin scPHDI'da SSFI'ya göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bununla birlikte SSFI veri serileri yeterince uzun olmadığından scPHDI ile kıyaslamasının sağlıklı bir şekilde yapılamadığı da bilinmelidir.

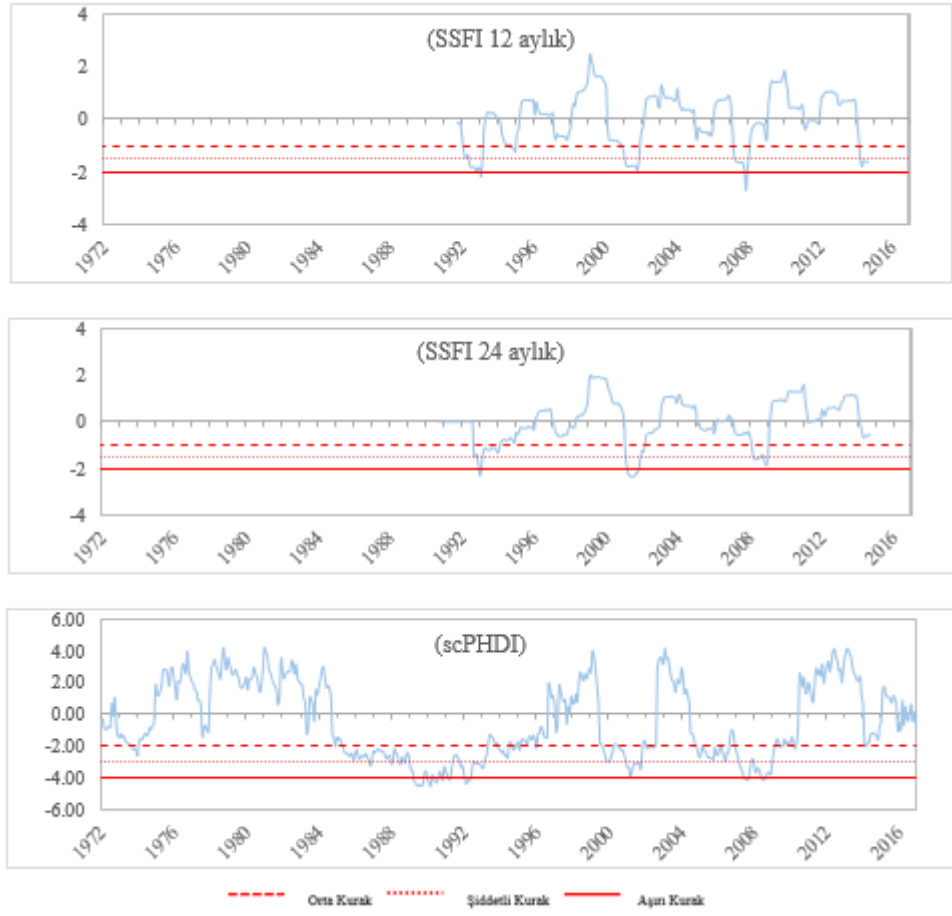
### ***İndis bazında tarihi kuraklıklar, kuraklık şiddeti ve sürelerinin tespit edilmesi ve kıyaslanması***

Hidrolojik kuraklık analizi kapsamında hesaplanan indislere ait kurak tarihlerin belirlenmesi için SSFI-12 ve scPHDI değerleri kullanılmıştır. Kurak tarihler daha sonra hidrolojik ile meteorolojik kuraklık kıyaslaması için de kullanılacak olan D06A020, D06A011, D06A007, D06A009 ve E06A001 AGİ'ler için yapılmıştır. Ayrıca SSFI-12 ve SSFI-24 için oluşturulan zaman serilerinde kurak dönemler daha belirgin olduğu için her bir istasyon için geçmiş kuraklık dönemlerinin tespitinde kuraklık dönemlerinin daha belirgin olarak görüldüğü 12 ve 24 aylık dönemlere ait veriler üzerinde inceleme yapılmış ve kurak tarihler bu zaman serileri üzerinde de incelenmiştir.

Meteorolojik kıyaslama için seçilen İzmir MGİ ve Ödemiş MGİ'ye yakın AGİ'lerden Çamlık AGİ (D06A020) ve Bebekler AGİ (D06A011) SSFI'nin hidrolojik kıyaslaması için seçilmiştir. Diğer bir hidrolojik kuraklık indisi scPHDI ise MGİ verileri kullanılarak hesaplandığı için İzmir ve Ödemiş MGİ için yapılan zaman serileri kullanılmıştır. Çamlık AGİ (D06A020) için 12 ve 24 aylık SSFI ile İzmir MGİ scPHDI zamana bağlı değişim grafikleri Şekil 6.37'de ; Bebekler AGİ (D06A011) için 12 ve 24 aylık SSFI ile Ödemiş MGİ scPHDI zamana bağlı değişim grafikleri Şekil 6.38'de verilmiştir.



Şekil 6.37 D06A020 AGİ 12 ve 24 aylık SSFI (1991-2004) ile İzmir MGİ scPHDI (1972-2016) değerlerinin zamana bağlı değişim grafikleri



Şekil 6.38 D06A011 AGİ 12 ve 24 aylık SSFI (1991-2014) ve Ödemiş MGİ scPHDI (1972-2016) değerlerinin zamana bağlı değişim grafikleri

Şekil 6.37 ve 6.38 incelendiğinde 12 ve 24 aylık zaman ölçekleri arasında uyum olduğu görülmektedir. Diğer AGİ'ler için de aynı uyumun olduğu Ek Bölümü'nde verilen grafikler için de söylenebilir..

scPHDI'nin gözlem süresi SSFI'ya göre oldukça uzun olmasına rağmen ortak tarih aralıklarında genel kuraklık veya nemlilik eğilimlerinin benzeştiği görülmektedir. Kuraklık süreleri SSFI'da daha kısa iken scPHDI'da daha belirgin ve uzun olmaktadır. Örneğin Ödemiş MGİ'de 2003 tarihinde nemlilik dönemi sona erip kurak trend başlamış ve bu düşme trendi 2010 yılına kadar devam etmiştir. Aynı dönem kuraklık SSFI'da 2003'te başlayıp 2007 yılında bitmiştir. Her iki indiste de kurak dönemlerin maksimum şiddeti aynı olmakla beraber toplam şiddetlerin scPHDI'da daha fazla olduğu görülmektedir.

Yukarıdaki paragrafta anlatılan indis değerleri üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde tespit edilen kurak tarihler, kuraklığın süreleri ve toplam kuraklık şiddetleri her bir indis için ayrı ayrı tespit edilmiştir. Tarihi kuraklıklar tespit edilirken aşırı, şiddetli veya orta kuraklık ayırımı yapılmaksızın SSFI için -1,00 ve scPHDI için -2,00 değerinin altında kalan tüm değerler kurak tarih olarak alınmıştır. Kuraklıkların şiddeti kadar süresi de önemlidir. Bu nedenle her bir istasyon için indis bazında tespit edilen kurak tarihlerin ayrıca kuraklık şiddeti, süresi ve en düşük indis değerleri de hesaplanmıştır. Böylece kurak tarihlerin genel özellikleri ortaya konmuştur. Tespit edilen kurak tarihler ve özelliklerine ilişkin tablolar SSFI için Tablo 6.14'te; scPHDI tabloları ise meteorolojik kıyas bölümünde seçilen 5 MGİ için yapılmış olup Tablo 6.15'te verilmiştir.

Tablo 6.14 Seçilen AGİ'lerde hesaplanan SSFI değerleri için tespit edilen kurak tarihler ve özellikleri tablosu

AGİ	kuraklık başlangıç tarihi	kuraklık bitiş tarihi	kuraklık süresi (ay)	en düşük SSFI değeri	kuraklık şiddeti
D06A001 (1986-99)	Nis.89	Oca.90	10	-1,04	-9,81
	Şub.92	Şub.93	12	-2,76	-27,72
	Haz.94	Ara.94	7	-1,04	-6,84
D06A007 (1970-88)	Şub-1974	Mar-1974	16	-2,46	-24,12
	Mar-1985	Ara-1985	10	-1,26	-11,57
D06A009 (1970-88)	Ara-1972	Oca-1973	2	-2,21	-3,74
	Oca-1974	Eki-1974	10	-2,93	-11,01
D06A010 (1975-90)	Mar-1983	Ara-1983	10	-1,73	-12,99
	Mar-1985	Oca-1986	11	-2,54	-17,29
	Mar-1990	Eyl-1990	7	-1,91	-12,86
D06A011 (1991-14)	Oca-1992	Şub-1993	14	-2,19	-23,72
	May-1994	Ara-1994	8	-1,24	-8,07
	Kas-2000	Kas-2001	13	-1,96	-21,15
	Mar-2007	Oca-2008	11	-2,71	-19,22
	Nis-2014	Eyl-2014	6	-1,81	-9,82
D06A012 (1985-12)	Ara-1991	Oca-1993	14	-1,82	-21,96
	Nis-1994	Ara-1994	9	-1,25	-10,27
	Mar-2001	Eki-2001	8	-1,10	-8,20
D06A020 (1991-04)	Oca-1992	Oca-1993	13	-2,23	-24,06
	Oca-2000	Kas-2001	23	-1,78	-25,52
E06A001 (1960-85)	Ara-1972	Mar-1974	16	-2,13	-27,97
	Şub-1976	May-1976	4	-1,15	-3,98
	Eyl-1976	Şub-1977	6	-1,08	-5,85
	Eyl-1977	Ara-1977	4	-1,12	-4,03
	Nis-1985	Eyl-1985	6	-1,40	-7,86



Tablo 6.15 Seçilen MGİ'lerde hesaplanan scPHDI değerleri için tespit edilen kurak tarihler ve özellikleri tablosu

MGİ	kuraklık başlangıç tarihi	kuraklık bitiş tarihi	kuraklık süresi (ay)	en düşük scPHDI değeri	kuraklık şiddeti
İZMİR	Ara-1972	Oca-1973	2	-1,26	-2,36
	Kas-1973	Şub-1974	4	-1,42	-4,77
	Haz-1977	Ara-1977	7	-1,37	-8,47
	May-1983	Haz-1983	2	-1,14	-2,15
	Eyl-1983	Eki-1983	2	-1,19	-2,19
	Nis-1985	Ara-1985	9	-1,52	-10,85
	May-1986	Şub-1987	10	-1,43	-11,00
	Eki-1987	Eki-1987	1	-1,11	-1,11
	Eyl-1988	Nis-1991	32	-1,81	-43,67
	Oca-1992	Nis-1993	16	-1,58	-20,19
	Eki-1993	Kas-1993	2	-1,11	-2,08
	Eyl-1994	Eyl-1994	1	-1,02	-1,02
	Oca-2000	Eki-2001	22	-1,91	-30,99
	Mar-2004	Oca-2005	11	-1,73	-15,60
	Oca-2006	Şub-2006	2	-1,00	-1,99
	Haz-2006	Ağu-2006	3	-1,04	-3,10
Ara-2006	Şub-2009	27	-2,17	-48,76	
Eki-2016	Ara-2016	3	-1,25	-3,05	
ÇEŞME	Eki-1981	Kas-1981	2	-1,05	-2,05
	Ara-1986	Ara-1986	1	-1,03	-1,03
	May-1989	Nis-1994	60	-2,42	-92,29
	Oca-2000	Ağu-2002	32	-1,87	-46,59
	Şub-2008	Kas-2008	10	-1,14	-9,90
	Eki-2016	Ara-2016	3	-1,10	-3,12
SEFERİHİSAR	Eyl-1981	Kas-1981	3	-1,08	-3,05
	Haz-1983	Eki-1983	5	-1,24	-5,46
	Ara-1985	Ara-1985	1	-1,16	-1,16
	May-1986	May-1986	1	-1,01	-1,01
	Eyl-1986	Şub-1987	6	-1,31	-6,98
	Eki-1987	Eki-1987	1	-1,02	-1,02
	Şub-1989	Eyl-1989	8	-1,18	-8,57
	Oca-1990	Mar-1991	15	-1,88	-20,52
	Şub-1992	Oca-1993	12	-1,22	-13,07
	Eki-1993	Eki-1993	1	-1,00	-1,00
	Nis-2000	Şub-2002	23	-2,08	-33,66
	Oca-2006	Şub-2006	2	-1,24	-2,37
	Haz-2006	Ağu-2006	3	-1,15	-3,39
Oca-2007	Oca-2009	25	-2,25	-46,46	
ÖDEMiŞ	Ağu-1973	Oca-1974	6	-1,33	-6,68
	Ara-1984	Ara-1984	1	-1,03	-1,03
	May-1985	May-1993	97	-2,29	-155,52
	Eki-1993	Şub-1995	17	-1,40	-18,69
	Oca-1996	Oca-1996	1	-1,10	-1,10
	Eyl-1999	Ağu-2002	36	-2,01	-46,61
	Eki-2004	Ağu-2006	23	-1,52	-28,53
	Oca-2007	May-2010	41	-2,09	-59,77
SELÇUK	Şub-2014	Mar-2014	2	-1,04	-2,03
	Oca-1973	Oca-1973	1	-1,01	-1,01
	Ara-1973	Oca-1974	2	-1,23	-2,23
	Eyl-1985	Şub-1995	114	-2,28	-170,83
	Oca-1996	Oca-1996	1	-1,01	-1,01
	Eyl-2010	Eki-2011	14	-1,81	-18,68
	Haz-2002	Ağu-2002	3	-1,17	-3,44
	Eki-2004	Nis-2005	7	-1,21	-7,29
	May-2006	Ağu-2006	4	-1,36	-4,43
	Ara-2006	Kas-2009	36	-2,27	-61,20
Eyl-2011	Kas-2011	3	-1,09	-3,07	
Şub-2014	Mar-2014	2	-1,25	-2,35	
Eki-2016	Ara-2016	3	-1,46	-3,61	

Tablo 6.14 ve 6.15'te SSFI ve scPHDI için belirlenen kurak tarihler ve özelliklerinin istasyon bazında kıyaslanması için toplam kurak ayların sayısı, toplam kuraklık şiddeti, tespit edilen en düşük indis değeri, hesaplanan en düşük kuraklık şiddeti ve en uzun kuraklık süreleri tespit edilmiş ve Tablo 6.16 ve Tablo 6.17'de verilmiştir.

Tablo 6.16 SSFI için tespit edilen kurak tarihlerin özellikleri

SSFI	TOPLAM KURAK AY SAYISI	TOPLAM KURAKLIK ŞİDDETİ	EN DÜŞÜK KURAKLIK DEĞERİ	EN YÜKSEK KURAKLIK ŞİDDETİ	EN UZUN KURAKLIK SÜRESİ
D06A001	29	-44,37	-2,76	-27,72	12
D06A007	26	-35,69	-2,46	-24,12	16
D06A009	12	-14,75	-2,93	-11,01	10
D06A010	28	-43,14	-2,54	-17,29	11
D06A011	52	-81,98	-2,71	-23,72	14
D06A012	31	-40,43	-1,82	-21,96	14
D06A020	36	-49,58	-2,23	-25,52	23
E06A001	36	-49,69	-2,13	-27,97	16

Tablo 6.17 scPHDI için tespit edilen kurak tarihlerin özellikleri

scPHDI	TOPLAM KURAK AY SAYISI	TOPLAM KURAKLIK ŞİDDETİ	EN DÜŞÜK KURAKLIK DEĞERİ	EN YÜKSEK KURAKLIK ŞİDDETİ	EN UZUN KURAKLIK SÜRESİ
İzmir	156	-213,33	-2,17	-48,76	32
Çeşme	108	-154,98	-2,42	-92,29	60
Seferihisar	106	-147,72	-2,25	-46,46	25
Selçuk	190	-279,15	-2,28	-170,83	114
Ödemiş	224	-319,96	-2,29	-155,52	97

Tablo 6.16'de SSFI için tespit edilen kurak tarihlerin özellikleri tablosu her bir istasyon için veri tarihleri farkı olduğundan net ve sağlıklı bir değerlendirme yapılamamıştır. Bu nedenle hidrolojik kuraklıkların özellikleri tüm istasyonlarda 1972-2016 ortak tarih aralığının kullanıldığı scPHDI için belirlenen özellikler olarak alınmıştır (Tablo 6.17).

Tablo 6.17 incelendiğinde hidrolojik olarak en kurak istasyonun Ödemiş MGİ olduğu ancak en uzun kesintisiz kuraklığın 114 ay olarak Selçuk MGİ’de yaşandığı söylenebilir. Selçuk MGİ’de yaşanan 114 aylık kesintisiz kurak dönemin toplam şiddeti de -170,83 olmuştur. En düşük indis değeri ise -2,42 olarak Çeşme MGİ’de tespit edilmiştir. Çeşme ve Seferihisar MGİ ise hidrolojik kuraklığın en az yaşandığı istasyonlar olmuştur.

Tablo 6.14’te SSFI için tespit edilen kurak tarihler, verilerin kısa olmasından dolayı oldukça kısıtlı tarih aralıkları için tespit edilebilmiştir. Bu nedenle SSFI ve scPHDI için tespit edilen kurak tarihler meteorolojik indislerde olduğu gibi birebir kıyaslanamamıştır. SSFI ve scPHDI için tespit edilen kurak tarihler en yakın AGİ ve MGİ’ler baz alınarak yapılmıştır. SSFI için tespit edilen kurak tarihlerin scPHDI için tespit edilen kurak tarihlerin içinde yer aldığı görülmüştür. Bu nedenle ortak hidrolojik kurak tarihlerin belirlenmesi için sadece scPHDI için tespit edilen kurak tarihler dikkate alınmıştır. Hidrolojik kuraklık indisleri baz alınarak tespit edilen ortak kurak tarihler Tablo 6.18’de verilmiştir.

Tablo 6.18 Hesaplanan hidrolojik kuraklık indisler için ortak kurak tarihler

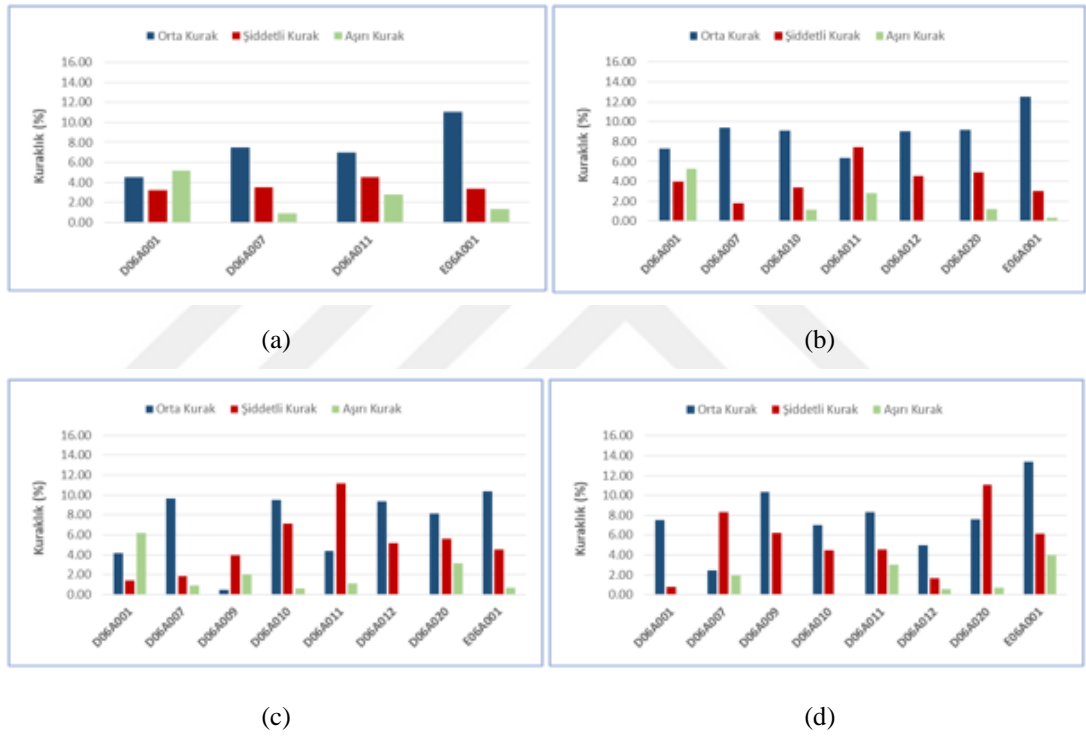
MGİ	KURAK TARİHLER (scPHDI)
İZMİR	1972-1973; 1977; 1983; 1985; 1986-1987; 1989-1994; 2000-2001; 2004; 2006-2009; 2016
ÇEŞME	1981; 1986; 1989-1994; 2000-2002; 2008; 2016
ÖDEMiŞ	1973; 1984; 1985-1994; 1996; 1999-2002; 2004-2006; 2007-2010; 2014
SEFERİHİSAR	1981; 1983; 1985-1987; 1989-1990; 1992-1993; 2000-2002; 2006-2009
SELÇUK	1973; 1985-1995; 2000-2001; 2002; 2005-2009; 2011; 2014; 2016

### ***Kuraklık histogram grafiklerinin oluşturulması ve karşılaştırılması***

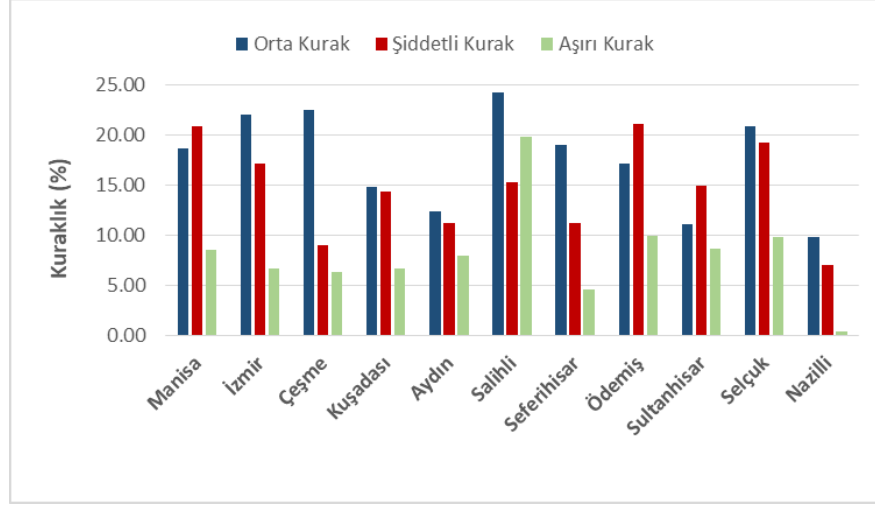
Akım gözlem istasyonları bazında farklı zaman ölçekleri için hesaplanan tüm indislerin sınıflandırma sisteminde yer alan aşırı, şiddeli ve orta kurak olma durumları, histogram grafikler ile yüzdelik olarak ortaya konmuştur. Histogramlar çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonlarının tüm zaman ölçekleri için hesaplanan indis

değerlerine göre oluşturulmuştur. Böylece istasyon ve zaman ölçeği bazında orta, şiddetli ve aşırı kuraklık değerlerinin yüzdeleri görülebilmektedir.

SSFI için 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçekleri için ayrı ayrı zaman serileri oluşturulmuştur. Diğer hidrolojik kuraklık indisi scPHDI için ise sadece 12 aylık zaman ölçeği için hesaplandığından bir zaman serisi oluşturulabilmiştir. Oluşturulan histogramlar SSFI için 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçekleri için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 6.39'da, scPHDI içinse Şekil 6.40'da verilmiştir.



Şekil 6.39 SSFI indisinin orta, şiddetli ve aşırı kurak ayların yüzde grafiği (a) 3-aylık (b) 6 aylık (c) 12-aylık (d) 24-aylık



Şekil 6.40 scPHDI indisinin orta, şiddetli ve aşırı kurak ayların yüzde grafiği

Şekil 6.39 ve 6.40’da verilen histogram grafikleri incelendiğinde orta kuraklık yüzdesinin en fazla olduğu, şiddetli ile aşırı kuraklık yüzdelерinin de sırası ile onu takip ettiği görülmüştür. Grafiklerde ayrıca her ne kadar gözlem süreleri aynı olmasa da scPHDI değerlerinde kuraklık şiddetinin SSFI değerlerine göre hesaplanan kuraklık şiddeti değerlerinden çok daha şiddetli olduğu görülmektedir. Tüm değerler göz önüne alındığında SSFI’nin kurak dönemleri %2 ile %12 arasında değişirken scPHDI için hesaplanan kurak dönemler %5 ile %20 arasında olmuştur.

SSFI-24 ile hesaplanan en yüksek kuraklık %23.5 ile E06A001 nolu istasyon olurken scPHDI ile hesaplanan en yüksek kuraklık ise Salihli MGİ’de belirlenmiştir. En düşük kuraklık ise %6,3 ile SSFI-12 değerleri ile D06A009 nolu istasyonda, % 17,2 olarak scPHDI ile Çeşme MGİ olmuştur.

### ***Kuraklık sınıflandırmasına göre renklendirilmiş kurak tarih tabloları***

Tüm akım gözlem istasyonları için hesaplanan kuraklık indislerinin seçilen tüm dönemlere ait verileri her kuraklık sınıfı için bir renk tayin edilmek sureti ile bir tablo üzerinde sıralanmıştır. Böylece tek bir tablo üstünde ortak kurak dönemler hesaplanan bütün indis değerleri için görülebilmektedir. Ancak oluşturulan tablo çok büyük hacimli olduğundan sadece kurak dönemlerin ağırlıklı olarak toplandığı yıllara ait tablolar tez çalışması kapsamında verilmiştir. Kurak dönemlerin olmadığı ya da çok

az olduğu yıllar çok fazla alan kapladığı için tablo olarak verilememiştir. ScPHDI için hazırlanan renklendirilmiş kurak tarih tabloları Tablo 6.19 ile Tablo 6.22 arasında sıralanmıştır. SSFI için hazırlanan tablolar ise *Ek 6*'da verilmiştir.

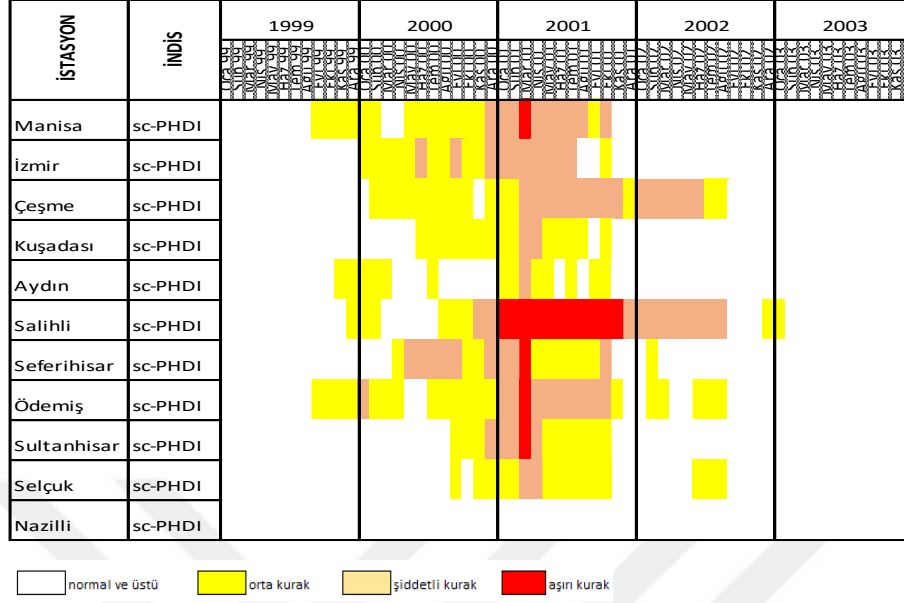
Bu tablolar üzerinden yapılan değerlendirmeler sonucunda tespit edilen kurak tarihlerin geçmiş dönemde Küçük Menderes Havzası'nda yaşanan kuraklıklar ile kıyaslanması yapılmıştır. Böylece çalışma sonucunda elde edilen verilerin doğrulaması yapılmıştır.

Tablo 6.19 11 Meteoroloji gözlem istasyonu (MGİ) için hesaplanan Kendini Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (1985-1995)

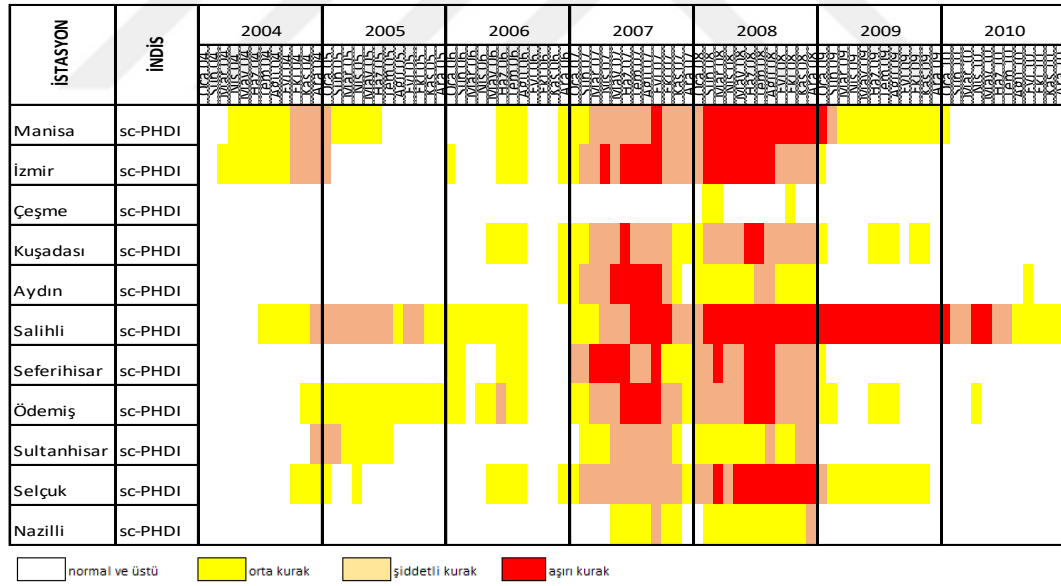
İSTASYON	İNDİS	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
		Manisa	sc-PHDI									
İzmir	sc-PHDI											
Çeşme	sc-PHDI											
Kuşadası	sc-PHDI											
Aydın	sc-PHDI											
Salihli	sc-PHDI											
Seferihisar	sc-PHDI											
Ödemiş	sc-PHDI											
Sultanhisar	sc-PHDI											
Selçuk	sc-PHDI											
Nazilli	sc-PHDI											

normal ve üstü
  orta kurak
  şiddetli kurak
  aşırı kurak

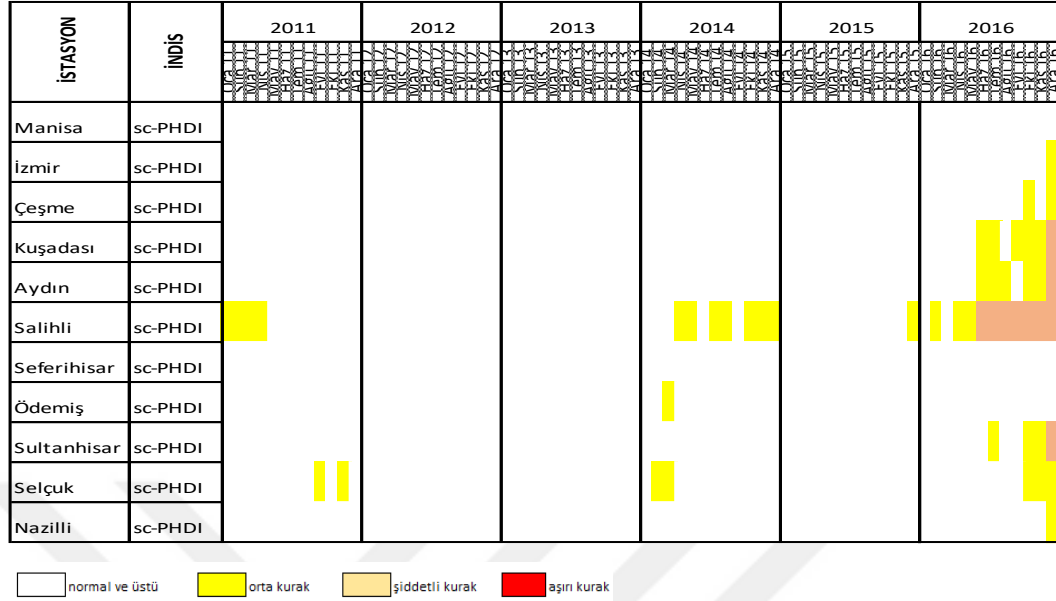
Tablo 6.20 11 Meteoroloji gözlem istasyonu (MGİ) için hesaplanan Kendini Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (1999-2003)



Tablo 6.21 11 Meteoroloji gözlem istasyonu (MGİ) için hesaplanan Kendini Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (2004-2010)



Tablo 6.22 11 Meteoroloji gözlem istasyonu (MGİ) için Kendini Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (scPHDI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (2011-2016)



SSFI ve scPHDI için hesaplanan tüm değerler göz önüne alındığında genel olarak 1972-1973, 1985-1994, 2000-2001 ve 2007-2008 yıllarının kurak yıllar olarak tespit edildiği söylenebilir. Bu kurak dönemler arasında 1989-1990 ile 2007-2008 yıllarının daha şiddetli kurak dönemler olduğu grafiklerde görülmektedir. Bunun yanı sıra SSFI tablolarında 1972-1973 yıllarının da kurak yıllar olduğu görülmektedir. Bu dönemdeki kuraklıktan ise en çok E06A001 nolu Selçuk AGİ'nin etkilendiği görülmektedir. 1992 yılında özellikle D06A001 nolu Beydağ AGİ'de yoğun şekilde aşırı kuraklıkların olduğu görülmüştür. Salihli MGİ civarının hidrolojik kuraklıktan en çok etkilen bölge olduğu söylenebilir. Son olarak 2016 yılı itibari ile yeni bir kurak dönemin başlaması olası gözükmemektedir.

ScPHDI'nın SSFI'ya göre kuraklık şiddetlerinin daha yüksek olduğu karşılaştırma tablolarında belirgin olarak görülmektedir.

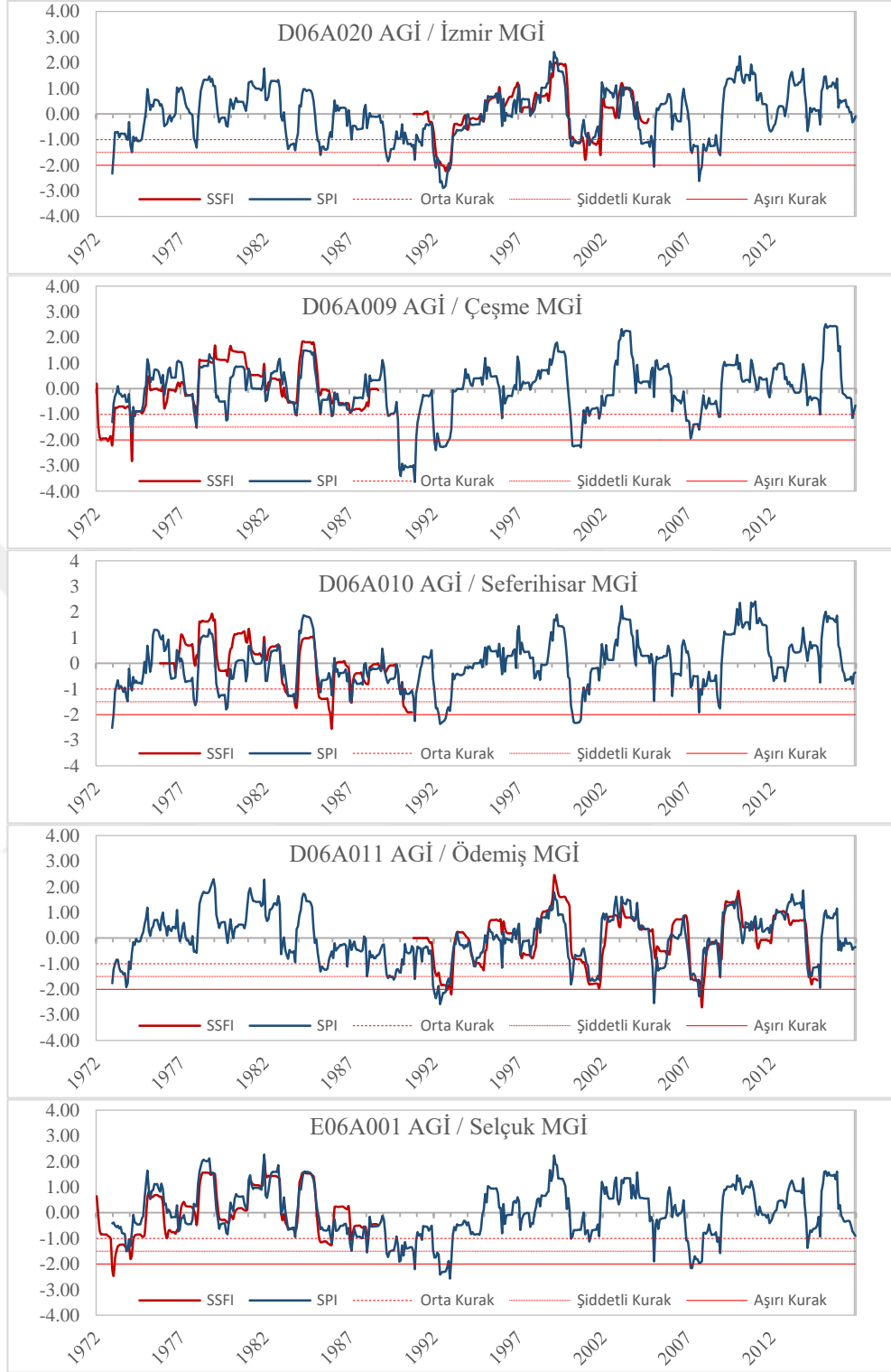


## 6.3 Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Arasındaki İlişki

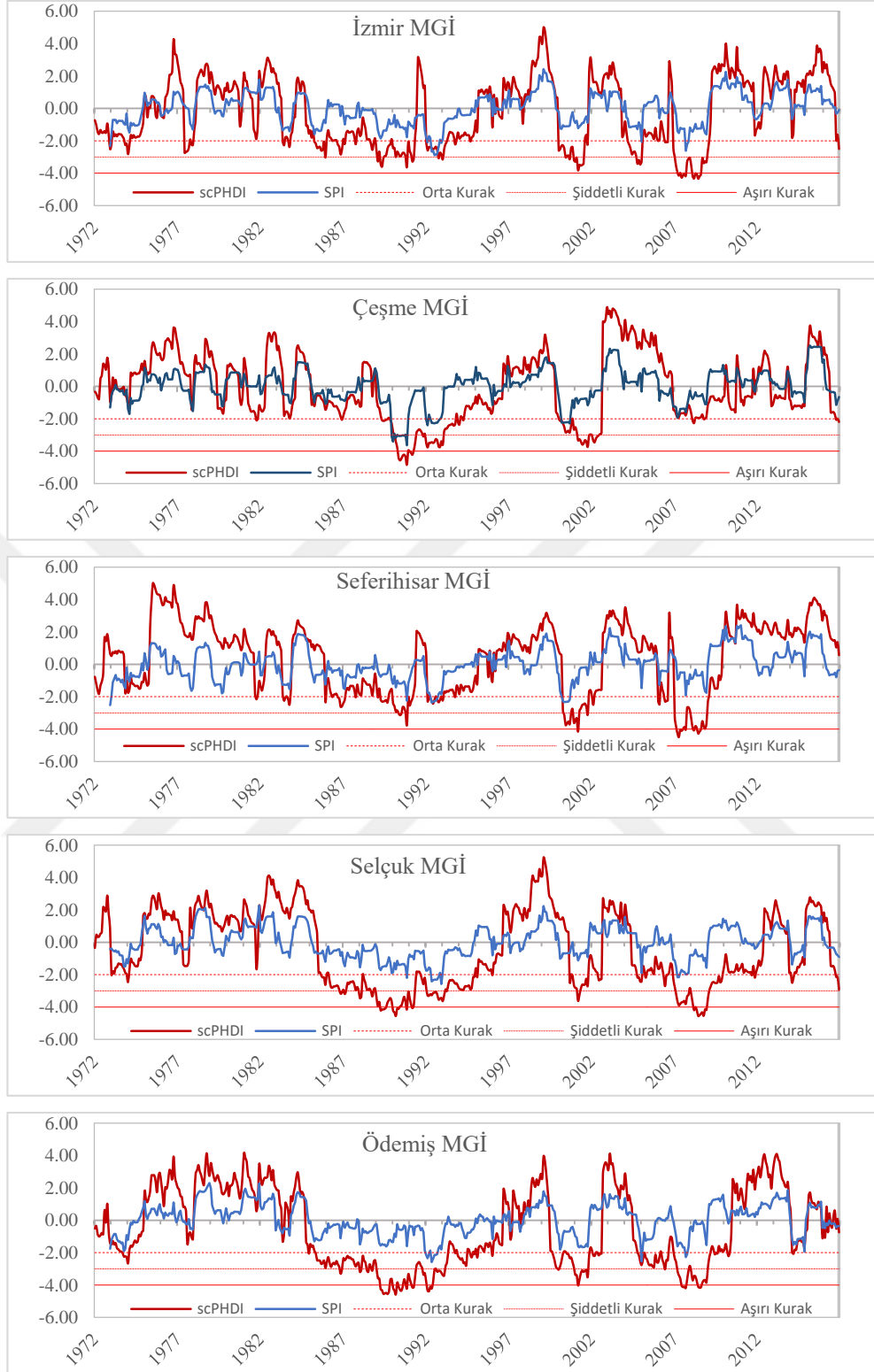
### 6.3.1 Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık İndislerinin Kıyaslanması

Meteorolojik ve hidrolojik kuraklık arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla Tablo 6.13’de verilen 5 adet AGİ ve bu AGİ’lere en yakın konumda bulunan 5 adet MGİ kullanılmıştır. Tespit edilen bu AGİ ve MGİ’ler bazında hesaplanan tüm indisler (SDI hariç) için zamana bağlı değişim grafikleri üzerinden birbirleri ile çapraz kıyaslama yapılmıştır.

Bu kapsamda meteorolojik indisler (SPI, SPEI, DRI) ile hidrolojik kuraklık indislerin (SSFI, scPHDI) zaman serileri kıyaslanmıştır. Her bir istasyon için 5 adet olmak üzere toplamda 30 adet kıyaslama grafiği oluşturulmuştur. SPI/SSFI kıyas grafikleri Şekil 6.41’de; SPI/scPHDI kıyas grafikleri Şekil 6.42’de verilmiştir. SPEI /scPHDI, DRI/scPHDI, SPEI/SSFI ve DRI/SSFI grafikleri ise *Ek.7*’de verilmiştir.



Şekil 6.41 İzmir, Çeşme, Seferihisar, Ödemiş ve Selçuk için 12 aylık SSFI ve 12 aylık SPI zaman dizileri mukayese grafiği



Şekil 6.42 İzmir, Çeşme, Seferihisar, Ödemiş ve Selçuk için 12 aylık scPHDI ve 12 aylık SPI zaman dizileri mukayese grafiği

Şekil 6.41 ve 6.42 ile Ek 7’de verilen indis kıyaslama grafikleri incelendiğinde genel olarak kurak ve nemli dönemlerin hidrolojik ve meteorolojik indislerde hemen hemen birbirine yakın olarak tespit edildiği görülmektedir. Her ne kadar dönem olarak bir eş zamanlılık söz konusu olsa da şiddet bakımından meteorolojik ve hidrolojik kuraklık indisleri arasında bir fark vardır. SSFI indisinin meteorolojik indisler ile kıyas grafiklerinde bu fark çok büyük değildir. Ancak scPHDI için bu farkın çok büyük olduğu grafiklerden görülmekle beraber aradaki bu farkın scPHDI’nın sınıflandırma sisteminden kaynaklandığı söylenebilir. Bu nedenle scPHDI ile meteorolojik indislerinde hemen hemen aynı olduğu söylenebilir.

### ***6.3.2 Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi***

*Bölüm 6.3.1’de anlatıldığı şekilde oluşturulan indislerin zaman serisi kıyas grafikleri incelenmek sureti ile hidrolojik ve meteorolojik kuraklıklar arasındaki uyum izlenmiştir. Grafikler üzerinden başlama-bitiş tarihleri ile şiddet ve süre bakımlarından değerlendirmeler yapılmıştır.*

Hidrolojik kuraklık indisleri ile meteorolojik kuraklık indislerinin *Bölüm 6.3.1’de* yapılan zaman serilerinin kıyaslanması sonucunda tüm indislerin kurak dönem ve nemli dönemleri benzer şekilde tespit ettiği görülmüştür. Çalışma yapılan AGİ ve MGİ’lerin işaret ettiği alanlarda genel olarak meteorolojik kuraklık ile hidrolojik kuraklık aynı zaman dilimleri içinde başlayıp bitmektedir. Bu durum aynı zamanda meteorolojik kuraklığa hidrolojik kuraklığın çok çabuk cevap verdiğini göstermektedir.

*Bölüm 6.1.4.3 ve Bölüm 6.2.4.3’de anlatıldığı şekilde meteorolojik kuraklık indisleri ve hidrolojik kuraklık indisleri için ayrı ayrı olmak üzere tespit edilen ortak kurak tarihlerin birbiri ile kıyaslanması yapılmıştır. Burada meteorolojik indisler ile hidrolojik indisler arasında kıyaslama yapabilmeye olanağını sağlamak üzere hidrolojik kurak tarihlerin tespitinde 1972-2016 dönemi verileri kullanılarak hesaplanan scPHDI kullanılmıştır. Yani hidrolojik kurak tarihler olarak sadece scPHDI için tespit edilen kurak tarihler esas alınmıştır. Meteorolojik indislerin ise *Bölüm 6.1.4.3’de* anlatıldığı*

şekilde üç indis (SPI, SPEI, DRI) göz önüne alınmak sureti ile ortak kurak tarihler tespit edilmiştir. Bu şekilde tespit edilen hem meteorolojik hem de hidrolojik kurak tarihler tek bir tablo üzerinde gösterilerek kıyaslanma olanağı sağlanmıştır. Söz konusu tablo Tablo 6.23'te verilmiştir. Tablo üzerinden istasyon bazında kurak tarihlerin başlama ve bitiş zamanları arasında bir ilişki tespit edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 6.23 Meteorolojik kuraklık indisleri için tespit edilen ortak kurak tarihlerin hidrolojik indisler için tespit edilen ortak kurak tarihler ile kıyaslama tablosu

MGİ	AGİ	METEOROLOJİK KURAKLIK İNDİSLERİ ORTAK KURAK TARİHLERİ	HİDROLOJİK KURAKLIK İNDİSLERİ ORTAK KURAK TARİHLERİ
İZMİR	D06A020	1972-1973; 1985; 1989-1993; 2000-2001; 2004-2005; 2007-2008	1972-1973; 1977; 1983; 1985; 1986-1987; 1989-1994; 2000-2001; 2004; 2006-2009; 2016
ÇEŞME	D06A009	1974; 1977; 1979; 1989-1993; 2000-2001; 2006-2008	1981; 1986; 1989-1994; 2000-2002; 2008; 2016
ÖDEMiŞ	D06A011	1973-1974; 1985; 1989-1990; 1991-1994; 2004-2005; 2007; 2014	1973; 1984; 1985-1994; 1996; 1999-2002; 2004-2006; 2007-2010; 2014
SEFERİHİSAR	D06A010	1972-1973; 1977; 1979; 1987; 1990; 1992-1993; 2000-2001; 2007-2008	1981; 1983; 1985-1987; 1989-1990; 1992-1993; 2000-2002; 2006-2009
SELÇUK	E06A001	1973-1974; 1987; 1989-1992; 2007-2008; 2014	1973; 1985-1995; 2000-2001; 2002; 2005-2009; 2011; 2014; 2016

Tablo 6.23 incelendiğinde istasyon bazında genel olarak meteorolojik kuraklıklar başladıktan hemen sonra hidrolojik kuraklıkların başladığı ancak hidrolojik kuraklıkların meteorolojik kuraklık sona erdikten sonra da bir süre devam ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca hidrolojik kuraklık tarihlerinin meteorolojik kuraklık tarihlerinden fazla olduğu görülmüştür. Bunun nedeni olarak da özellikle havzanın yer altı suyunun dinamik seviyesindeki düşüşe ve zeminin jeolojik özelliklerine bağlı olduğu düşünülmektedir.

Yukarıda verilen kurak tarihlerin özellikleri meteorolojik indisler ve hidrolojik indisler için ayrı ayrı olmak üzere *Bölüm 6.1.4.3* ve *Bölüm 6.2.4.3*'te anlatıldığı şekilde tespit edilmiştir. Meteorolojik indislerin hidrolojik indisler ile kıyaslanabilmesi için dönemlerinin ve sınıflandırmalarının ortak olması gerekmektedir. Ortak dönem kriterini hidrolojik indislerden sadece scPHDI sağladığı için scPHDI bu kıyas için kullanılmıştır. Bununla birlikte scPHDI'nın sınıflandırma sistemi ve eşik değerleri meteorolojik indisler ile aynı değildir. Bu nedenle seçilen beş istasyon için scPHDI'nın indis değerleri tek tek meteorolojik indis sınıflandırma sisteminde yer alan eşik

değerlere göre oranlanarak yeniden düzenlenmiştir. Örneğin -2,18 olan bir scPHDI değeri meteorolojik sınıflandırma sistemine göre -1,09 olarak alınmıştır. Bir başka örnek olarak -3,38 değeri -1,19, -4,15 ise -2,075 olarak düzeltilmiştir. Buna göre seçilen beş istasyon için oluşturulan meteorolojik ve hidrolojik kurak dönemlerine ait özelliklerinin (toplam kurak süre, toplam kuraklık şiddeti, en düşük indis değeri vb.) kıyaslanması Tablo 6.24'te verilmiştir. Bu tablodan istasyonların meteorolojik ve hidrolojik kuraklıktan etkilenme durumları, toplam süre ve toplam kuraklık bakımından analiz edilmiştir.

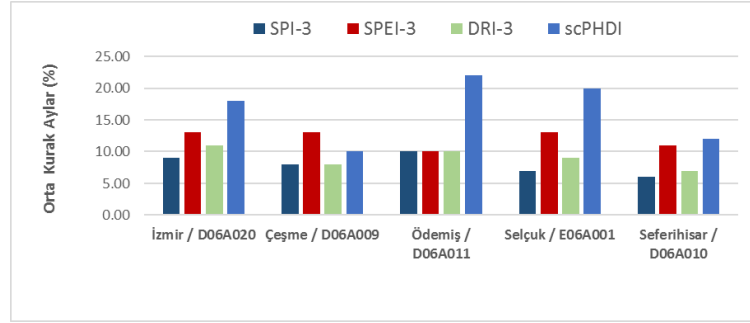
Tablo 6.24 Seçilen istasyonlar için tespit edilen kurak tarihlerin özellikleri

	TOPLAM KURAK AY SAYISI				TOPLAM KURAKLIK ŞİDDETI				EN DÜŞÜK KURAKLIK DEĞERİ				EN YÜKSEK KURAKLIK ŞİDDETI				EN UZUN KURAKLIK SÜRESİ			
	SPI	SPEI	DRI	scPHDI	SPI	SPEI	DRI	scPHDI	SPI	SPEI	DRI	scPHDI	SPI	SPEI	DRI	scPHDI	SPI	SPEI	DRI	scPHDI
İzmir	126	104	108	156	-165,03	-143,38	-155,78	-213,33	-2,89	-2,29	-2,76	-2,17	-31,36	-38,81	-37,59	-48,76	27	23	23	32
Çeşme	86	93	67	108	-140,15	-132,53	-119,81	-154,98	-3,64	-2,28	-3,48	-2,42	-49,39	-38,25	-40,77	-92,29	25	26	16	60
Seferihisar	76	85	88	106	-113,45	-125,90	-128,02	-147,72	-2,52	-2,87	-2,67	-2,25	-24,58	-37,82	-28,55	-46,46	14	23	16	25
Selçuk	62	114	90	190	-99,08	-148,58	-128,33	-279,15	-2,42	-2,43	-2,50	-2,28	-32,14	-43,50	-38,83	-170,83	22	26	26	114
Ödemiş	93	119	102	224	-136,43	-154,08	-148,40	-319,96	-2,58	-2,27	-2,61	-2,29	-27,91	-31,10	-25,92	-155,52	14	23	14	97

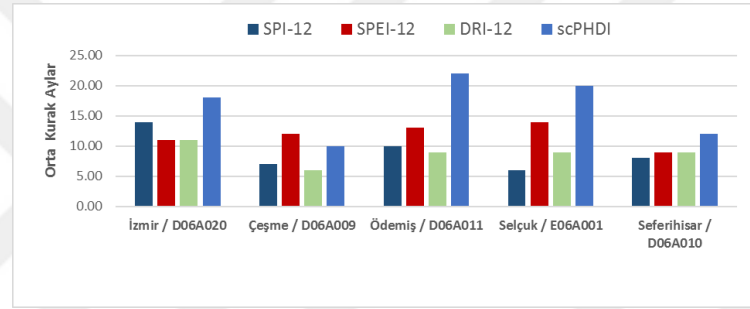
Tablo 6.24 incelendiğinde 1972-2016 döneminde en çok kurak ayın, en yüksek toplam kuraklık şiddetinin, en uzun kuraklık sürelerinin hidrolojik kuraklıkta yani scPHDI sonuçlarında olduğu görülmektedir. Hidrolojik kurak ay sayısının en fazla Ödemiş MGİ'de olmasına karşın meteorolojik kurak ay sayısı en fazla İzmir MGİ'de olmuştur. Yine en yüksek kuraklık şiddeti hidrolojik olarak Ödemiş MGİ'de oluşurken meteorolojik olarak İzmir MGİ'de olmuştur.

*Bölüm 6.1.4.4* ve *Bölüm 6.2.4.4*'te anlatıldığı şekilde oluşturulan kuraklık histogramları üzerinden her bir indis için orta, şiddetli ve aşırı kuraklık ile toplam kuraklık sürelerinin yüzdeleri kıyaslanmıştır. Ancak SSFI için ortak dönem kıstası sağlanamadığından bu kıyaslama grafiklerinde SSFI kullanılmamıştır. Hidrolojik indis olarak sadece scPHDI kullanılmıştır. Tüm indisler için 1972-2016 ortak dönem olarak kullanılabilirdiğinden hem istasyonlar kendi içlerinde hem de birbirleri ile kıyaslanabilmiştir. Ayrıca bu grafiklerden kurak, normal ve nemli olma durumlarının da meteorolojik ve hidrolojik kuraklık için ayrı ayrı kıyaslaması yapılmıştır. Orta

kurak olma durumu için indislerin 3-aylık ve 12-aylık değerlerinin yüzdelik oranları Şekil 6.43'te; şiddetli kuraklık için Şekil 6.44'te; aşırı kuraklık için Şekil 6.45'te ve son olarak toplam kuraklık grafikleri ise 6.46'da verilmiştir.

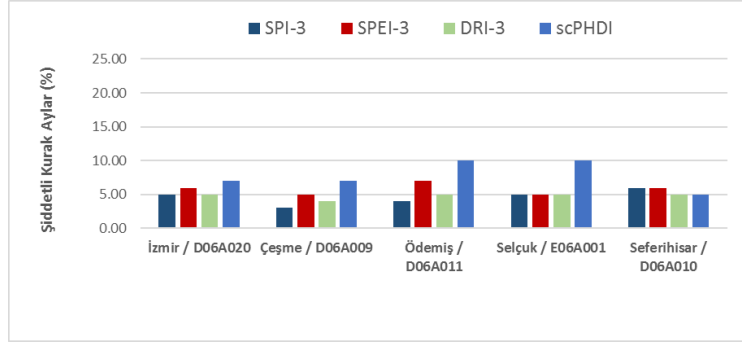


(a)

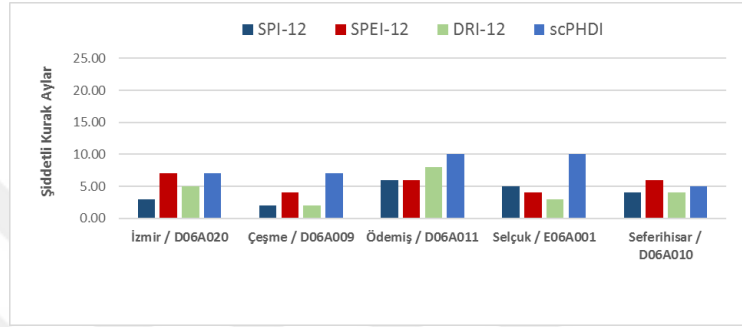


(b)

Şekil 6.43 Orta kurak olma durumu için seçilen tüm indisler için hesaplanan değerlerin kuraklık yüzdeleri (a) 3-aylık (b) 12-aylık

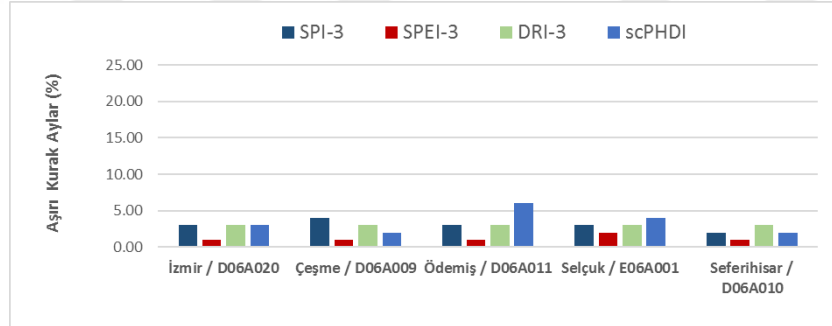


(a)

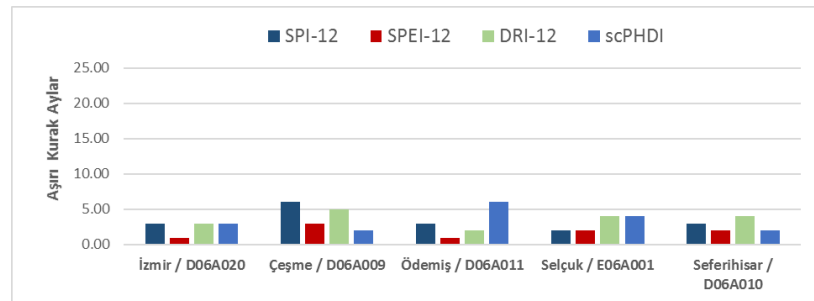


(b)

Şekil 6.44 Şiddetli kurak olma durumu için seçilen tüm indisler için hesaplanan değerlerin kuraklık yüzdeleri (a) 3-aylık (b) 12-aylık



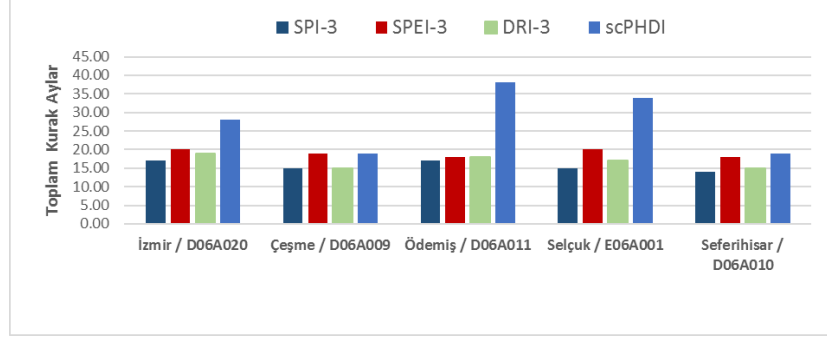
(a)



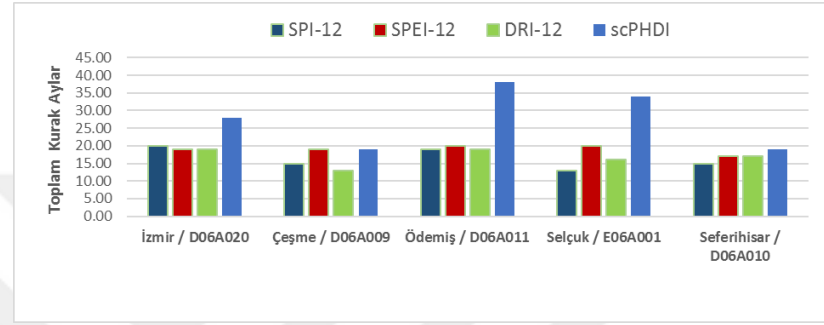
(b)

Şekil 6.45 Aşırı kurak olma durumu için seçilen tüm indisler için hesaplanan değerlerin kuraklık yüzdeleri (a) 3-aylık (b) 12-aylık





(a)



(b)

Şekil 6.46 Toplam kuraklık durumu için seçilen tüm indisler için hesaplanan değerlerin kuraklık yüzdeleri (a) 3-aylık (b) 12-aylık

Genel olarak 3-aylık indis değerlerinin kurak olma oranı ile 12-aylık indis değerlerinin kurak olma oranları birbirine yakındır. Daha önceki bölümlerde de belirtildiği üzere kuraklık oranlarının büyük kısmını orta kuraklık şiddeti oluşturmaktadır. En az kuraklık oranı ise aşırı kuraklık şiddetine tekabül etmektedir.

İzmir, Ödemiş ve Selçuk MGİler için tespit edilen toplam kuraklık oranlarına bakıldığında, hidrolojik kuraklık oranlarının meteorolojik kuraklık oranlarına göre yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle Küçük Menderes Havzası'nın yukarı kısmında yer alan Ödemiş AGİ ile aşağı kısmında yer alan Selçuk AGİ için bu farkın daha belirgin olduğu söylenebilir. Bu bölümlerde meteorolojik kuraklığın hidrolojik kuraklık üzerinde diğer istasyonlara göre daha fazla etkili olduğu da söylenebilir. Dolayısı ile bu alanlardaki kuraklık çalışmalarının öncelikli olarak ele alınmasında fayda vardır.

Çeşme ve Seferihisar MGI'lerde meteorolojik ve hidrolojik kuraklık oranları arasında dengeli bir durumun söz konusu olduğu görülmektedir. Bu MGI'lerde hidrolojik kuraklığın diğer istasyonlardakine kıyasla daha kısa sürdüğü söylenebilir.

Tüm meteoroloji ve akım gözlem istasyonları için hesaplanan tüm kuraklık indislerinin, seçilen tüm dönemlere ait verileri her kuraklık sınıfı için bir renk tayin edilmek sureti ile oluşturulan çizelgeler oluşturulmuştur. Çizelgelerde kullanılan renk skalası oluşturulan ortak sınıflandırma sistemine göre belirlenmiştir. Skalada beyaz renk, normal ve üzeri durumları; sarı renk, orta şiddetli kuraklığı; turuncu, şiddetli kuraklığı ve kırmızı, aşırı kuraklık durumlarını göstermektedir. Bu tablolar kullanılarak meteorolojik ve hidrolojik kuraklık için ayrı ayrı olmak üzere geçmiş kurak tarihler tespit edilmiş ve Tablo 6.25'te verilmiştir. Tablo 6.25'te ayrıca havzada yaşanmış geçmiş kurak tarihlerde verilmiştir. Böylece tespit edilen bu hidrolojik ve meteorolojik kurak tarihler hem kendi aralarında hem de bu bölüm başında verilen havzada yaşanmış kurak tarihler ile kıyaslanabilmektedir.

Tablo 6.25 Meteorolojik ve hidrolojik kurak tarihler ile havzada yaşanmış kurak tarihler tablosu

Meteorolojik kuraklık tarihleri	1972-1973, 1984-1985, 1988-1993, 2000-2001, 2004, 2007-2008, 2014 ve 2016
Hidrolojik kuraklık tarihleri	1972-1973, 1985-1994, 2000-2001, 2007-2008
Yaşanmış gerçek kuraklık tarihleri	1971-1974, 1977, 1983-1984, 1989-1990, 1996, 2001 ve 2007-2008

Tablo 6.25 incelendiğinde meteorolojik ve hidrolojik olarak tespit edilen kurak tarihlerin yaşanmış gerçek kurak tarihleri yansıttığı görülmektedir. Bu durum aynı zamanda tez kapsamında kullanılan indisler ile yapılan kuraklık analizi çalışmalarını doğrulamaktadır.

## BÖLÜM YEDİ

### SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

#### 7.1 Sonuçlar

Tez kapsamında SPI, SPEI, DRI, SDI, SSFI ve scPHDI indisleri kullanılarak meteorolojik ve hidrolojik kuraklık analizleri yapılmıştır. Hidrolojik kuraklık indisi SSFI ve meteorolojik kuraklık indisi DRI Küçük Menderes Havzası'nda ilk defa bu tez kapsamında kullanılmıştır. Meteorolojik kuraklık ile hidrolojik kuraklığın karşılaştırması çalışmaları da yine Küçük Menderes Havzası için ilk defa bu tez kapsamında yapılmıştır.

Seçilen meteoroloji gözlem istasyonları sıcaklık zaman dizileri incelendiğinde ölçülen sıcaklıklarda artış olduğu görülmektedir. Onuşluel Gül ve diğer. (2017) tarafından yapılan çalışmada sıcaklık verileri için Mann-Kendall testi ile yapılan trend analizi neticesinde Kuşadası, Seferihisar, Salihli ve Selçuk istasyonlarında artma eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Aynı çalışma kapsamında yapılan homojenlik analizi sonucunda ise bu tez kapsamında seçilen MGİ yağış verilerinin homojen olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bazı önemli merkezlerde ortalama sıcaklıklar İzmir'de 17,7 °C, Çeşme'de 17,2 °C, Kuşadası'nda 17,1 °C ve Ödemiş'te 16,7 °C olarak kayıtlara geçmiştir. Yıllık ortalama sıcaklıklar 12,4 °C ile 17,7 °C arasında değişmektedir. En sıcak aylar Temmuz ve Ağustos, en soğuk aylar ise Ocak ve Şubat aylarıdır.

Aylık toplam yağışların zaman dizileri incelendiğinde, yağışlarda gözle görülür bir artış veya azalma söz konusu olmadığı anlaşılmaktadır. Onuşluel Gül ve diğer. (2017) tarafından yapılan çalışmada tez kapsamında seçilen tüm MGİ yağış verilerinin homojen olduğu ve Mann-Kendall testi ile yapılan trend analizi neticesinde ise önemli bir trend olmadığı tespit edilmiştir.

Havza genelinde en yağışlı ayların Aralık ve Ocak olduğu; en az yağışlı ayların ise Temmuz ve Ağustos olduğu görülmektedir. Yıllık ortalama toplam yağış en az Çeşme ve Ödemiş Meteoroloji Gözlem İstasyonlarında ölçülmüş olup en fazla yağış ise İzmir ve Selçuk Meteoroloji Gözlem İstasyonlarında ölçülmüştür.

Eklenik yağış sapma grafikleri incelendiğinde 1984-1985 yılları arasında eklenik yağış değerinin en yüksek değere ulaştığı ve bu tarihten sonra çeşitli şiddet ve tarih aralıklarında kurak dönem özellikleri gösterdiği tespit edilmiştir.

Eklenik yağış sapma grafikleri ile 24 aylık SPI değerline ait grafiklerin kıyaslanması neticesinde seçilen tüm MGİ'lerde SPI ile eklenik yağış arasındaki uyum gözlenmiştir. SPI değerlerinin doğrulanması açısından da eklenik yağış sapma grafikleri ile SPI grafiklerinin kıyaslanmasının uygun bir yaklaşım olduğu görülmüştür.

Meteorolojik kuraklık indisleri SPI, SPEI ve DRI için tüm zaman ölçeklerinde oluşturulan zaman serileri incelendiğinde kurak veya nemli olma durumlarının genel olarak aynı olduğu tespit edilmiştir. Yalnız zaman ölçeği arttıkça kuraklıkların belirginleştiği, zaman ölçeği azaldıkça kuraklıkların sıklığını arttığı ancak sürelerinin kısaldığı görülmüştür.

Seçilen meteorolojik indislere göre İzmir, Çeşme, Seferihisar, Ödemiş ve Selçuk istasyonlarında tespit edilen ortak kurak tarihler 1972-73, 1989-92, 2007-08 olurken 1985 yılı Ödemiş ve İzmir MGİ'de, 2000-01 İzmir, Çeşme ve Seferihisar MGİ'de, 2014 yılı ise Ödemiş ve Selçuk MGİ'de tespit edilen kurak tarihler olmuştur.

Seçilen meteorolojik indislere göre İzmir, Çeşme, Seferihisar, Ödemiş ve Selçuk istasyonlarında tespit edilen kurak tarihlerin karakterine bakıldığı zaman en yüksek toplam kurak ay sayısı İzmir MGİ, en az toplam kurak ay sayısı ise Çeşme ve Seferihisar MGİ'de meydana gelmiştir. Çeşme MGİ'de en az toplam kurak ay olmasına rağmen en şiddetli kuraklıkların yaşandığı ve en düşük indis değerlerinin

oluştugu MGİ yine Çeşme olmuştur. En uzun süre devam eden kuraklık ise 27 ay olup İzmir MGİ’de meydana gelmiştir.

Tez kapsamında kullanılan tüm MGİ’ler, tüm zaman ölçekleri ve tüm indisler dikkate alınarak yapılan nihai değerlendirme sonucunda meteorolojik olarak tespit edilen kurak yıllar 1988-1993, 2000-2001, 2004, 2007-2008, 2014 ve 2016 yılları olmuştur. Ayrıca Küçük Menderes Havzası’nda 1972-1973 yıllarında yaşanan orta şiddetli kurak dönem dışında şiddetli ve yoğun kuraklık durumlarının ortaya çıkmasının 1988 yılından sonra olduğu tespit edilmiştir. Nihai olarak tez kapsamında yapılan analizler neticesinde tespit edilen meteorolojik kurak tarihlerin bölgede yaşanmış tarihi kuraklıklar ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Meteorolojik indislerin histogram grafikleri üzerinde yapılan analizler sonucunda SPEI ve DRI arasında orta ve şiddetli kuraklığın tespitinde bir eşdeğerlilik olduğu görülmüştür. SPEI ayrıca aşırı kuraklık yüzdesinin en az olduğu indis olmuştur. Bunun dışında tüm MGİ’lerde yüzdelik oranı en fazla olan kuraklık sınıfı orta kuraklık olurken en az yüzdelik oranı aşırı kuraklık olmuştur. Son olarak 3-aylık indis değerleri ile yapılan histogramlarda en fazla şiddetli kuraklık yüzdesi Aydın ve Ödemiş MGİ’de; en fazla aşırı kuraklık yüzdesi ise Çeşme ve Salihli MGİ’de oluşmuştur. 12-aylıkta ise en fazla şiddetli kuraklık yüzdesi Manisa, Salihli ve Ödemiş MGİ’de; en fazla aşırı kuraklık yüzdesi ise Çeşme MGİ’de oluşmuştur.

Seçilen akım gözlem istasyonlarının gözlemlenmiş akım zaman serilerinin bakıldığında Tahtalı Çay-Seferihisar alt havzası ile Küçük Menderes Nehri alt havzasının alt kotlarında akımların azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Her iki alt havzada tarım faaliyetlerinin yoğun olmasının yanı sıra şehirleşmenin de fazla olduğu bilinmektedir. Özellikle tarım faaliyetlerindeki vahşi ve kayıt altına alınamayan sulamalar havza akımlarını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca hızlı artan şehirleşmenin sonucu olarak mevcut tabiat örtüsü zarar görmekte ve havzaya yağmur suları ulaşmamaktadır. Küçük Menderes alt havzası 5 Mayıs 2018 tarihli Resmi Gazete DSİ Genel Müdürlüğü tarafından verilen ilan ile 167 Sayılı Yer Altı Suları Hakkında Kanun’un 8. maddesi kapsamındaki 10 metreden derin kuyu, galeri ve her türlü yer

altı suyuna ilişkin su alma yapısının inşası yasaklanmıştır. Bu da söz konusu alt havzada kuraklığın geldiği ciddi boyutların bir başka göstergesidir.

Tez kapsamında Küçük Menderes Havzasında seçilen AGİ verileri ile oluşturulan SDI ve SSFI zaman serilerinin özellikle daha büyük zaman ölçeklerinde birebir benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda bu iki hidrolojik indisin özellikle tez kapsamında kullanılan yöntemler ile hesaplanması durumunda çalışmaya önemli bir katkı sağlamayacağından aynı anda kullanılmamasında fayda olacağı düşünülmektedir. Diğer bir hidrolojik kuraklık indisi olan scPHDI ise SDI ve SSFI'dan kurak ay sayısı ve kuraklık şiddeti açılarından tamamen farklı sonuçlar vermiştir. Bu nedenle birbiri yerine kullanılması uygun bir seçenek olmayacaktır.

Seçilen hidrolojik indislere göre İzmir, Çeşme, Seferihisar, Ödemiş ve Selçuk istasyonlarında tespit edilen kurak tarihlerin karakterine bakıldığı zaman en yüksek toplam kurak ay sayısı 114 ay olarak Selçuk MGİ'de, en az toplam kurak ay sayısı ise Çeşme ve Seferihisar MGİ'de meydana gelmiştir. En düşük indis değeri ise -2,42 olarak Çeşme MGİ'de tespit edilmiştir. Ödemiş MGİ'de en şiddetli kuraklıkların yaşandığı istasyon olmuştur.

SSFI-24 ile hesaplanan en yüksek toplam kuraklık % 23,5 ile E06A001 nolu istasyon olurken scPHDI ile hesaplanan en yüksek kuraklık ise Salihli MGİ'de belirlenmiştir. En düşük toplam kuraklık ise %6,3 ile SSFI-12 değerleri ile D06A009 nolu istasyonda, %17,2 olarak ta scPHDI ile Çeşme MGİ olmuştur.

SSFI ve scPHDI için hesaplanan tüm değerler göz önüne alındığında genel olarak 1972-1973, 1985-1994, 2000-2001 ve 2007-2008 yıllarının kurak yıllar olarak tespit edildiği söylenebilir. Bu kurak dönemler arasında 1989-1990 ile 2007-2008 yıllarının daha şiddetli kurak dönemler olduğu grafiklerde görülmektedir. Bunun yanı sıra SSFI tablolarında 1972-1973 yıllarının da kurak yıllar olduğu görülmektedir. Bu dönemdeki kuraklıktan ise en çok E06A001 nolu Selçuk AGİ'nin etkilendiği görülmektedir. 1992 yılında özellikle D06A001 nolu Beydağ AGİ'de yoğun şekilde

aşırı kuraklıkların olduğu görülmüştür. Salihli MGİ civarının hidrolojik kuraklıktan en çok etkilen bölge olduğu söylenebilir. Son olarak 2016 yılı itibari ile yeni bir kurak dönemin başlaması olası gözükmektedir.

Tez çalışması kapsamında scPHDI ile yapılan analiz sonuçlarına bakıldığında, scPHDI ile hesaplanan kuraklık şiddetinin, meteorolojik indislerle hesaplanan değerlerden bir miktar yüksek olarak tespit edilmesine rağmen scPHDI'nın, genel kuraklık trendlerini meteorolojik kuraklık analizi sonuçlarına uygun şekilde tespit edebildiği görülmüştür.

Seçilen meteorolojik ve akım gözlem istasyonları bazında bakıldığında hidrolojik kuraklığın meteorolojik kuraklığa çok çabuk cevap verdiği görülmüştür. Bu da hidrolojik kuraklığın meteorolojik kuraklıklardan çok hızlı etkileneceğinin bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

Havza'daki hidrolojik kuraklıkların meteorolojik kuraklıktan daha şiddetli ve uzun süreli olduğu tespit edilmiştir. Bu durum havzanın kuraklıktan etkilenme düzeyini yükseltmektedir.

Tez kapsamında tespit edilen ortak hidrolojik ve meteorolojik kuraklık tarihlerinin, yaşanmış gerçek kuraklık tarihleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bu durum kuraklık analizi için kullanılan yöntemin havzada gelecekte yapılacak çalışmalarda uygulanabilir nitelikte olduğunu göstermektedir.

## **7.2 Öneriler**

Tez kapsamında yapılan meteorolojik kuraklık analizleri sonucunda tespit edilen kurak tarihlerin bölgede yaşanmış tarihi kuraklıklar ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle Küçük Menderes Havzası'nda tarihi kuraklıkların tespiti için bu tez kapsamında kullanılan analiz yaklaşımının bu bölgede yapılacak benzer çalışmalarda kullanılabileceği düşünülmektedir.

SPI, SPEI ve DRI verilerinin birbiri ile kıyaslanması sonucunda her 3 indisin de benzer bir davranış gösterdiği görülmüştür. Bu nedenle Küçük Menderes Havzasında her 3 indisin de meteorolojik kuraklık analizinde birbirinin yerine kullanılabileceği düşünülmektedir.

Hidrolojik kuraklık indisi scPHDI'nın tüm meteorolojik kuraklık indisleri ile benzer kurak dönemlere işaret ettiği görülmüştür. Bu nedenle havzada yaşanmış kurak tarihlerin tespitinde tüm indislerin (SPI, SPEI, DRI, scPHDI) kullanılabileceği düşünülmektedir.

Çalışma sonucunda özellikle hidrolojik kuraklıktan en çok etkilenecek alt havzalar Küçük Menderes ve İzmir alt havzaları olarak tespit edilmiştir. Özellikle Küçük Menderes alt havzasında hali hazırda kuraklığın etkileri görülmektedir.

Küçük Menderes Havzası'nda akım verilerinin düzenli ve yeterince uzun olmaması nedeni ile de bu havza için hidrolojik kuraklık tespitlerinde, yağış, sıcaklık ve toprak su tutma kapasitesi (AWC) verilerini kullanarak hidrolojik kuraklığı tespit eden scPHDI indisinin kullanılmasında fayda olduğu düşünülmektedir. Ancak scPHDI'nın daha sağlıklı hesaplanabilmesi için indisin darboğazı olan toprak su tutma kapasitesine ilişkin havza özelinde çalışmalar yapılmasına ihtiyaç vardır.

Hidrolojik kuraklıkların meteorolojik kuraklıklarla yaklaşık aynı zamanlarda başladığı ancak daha şiddetli ve uzun süre devam ettiği görülmüştür. Bu nedenle akımların, meteorolojik kuraklıklardan göreceli olarak çok fazla etkilendiği söylenebilir. Akımlardaki bu şiddetli azalma ise depolama tesislerinin kapasitelerini direkt olarak etkileyecektir. Havzada özellikle yağışın azalma eğiliminde olduğu bölgelerde kuraklığa ilişkin tedbirlerin öncelikli olarak alınmasında fayda olduğu düşünülmektedir.

Havzada yer alan akım gözlem istasyonları için yapılan incelemeler neticesinde havzada en az 30 yıl kesintisiz veri temini imkânı olmadığı anlaşılmıştır. Kuraklığa ilişkin yapılan çalışmalarda en önemli husus gözlem verileri olduğu için eldeki mevcut



veriler ile diğer iklimsel veriler ve depolama tesislerine ilişkin bilgiler de kullanarak eksik verilerin tamamlanması gerekmektedir. Kùçük Menderes Havzası'nda bu konu da kapsamlı ve kalıcı bir çalışmaya ihtiyaç vardır.

Havza genelindeki tüm AGİ'lerin son 30 yıldaki verilerine bakıldığında çok fazla sayıda eksik veri olan ay olduğu tespit edilmiştir. Eksik verilerin fazla olduğu akım gözlem istasyonlarına ait ölçüm sisteminin gözden geçirilmesi, ölçümde yaşanan aksaklıkların tespit edilmesi ve sistemin en kısa sürede iyileştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca havzanın temsiliyetine ve topoğrafyasına uygun şekilde ilave AGİ'lerin yapılması düşünölmelidir.

Kùçük Menderes Havzası'nda yer alan bazı AGİ'lerde akım verilerinin homojen olmadığı ve bazılarının da ise trendler söz konusu olduğu görölmüştür. Daha doğru ve daha detaylı iklim çalışmaları yürütölebilmesi için akım verilerindeki bu düzensizliklerin nedenleri ile birlikte tespit edilmesi gerekmektedir. Gözlem istasyonlarının yağış alanları bu anlamda titizlikle incelenmeli ve kırılmaların sebepleri belirlenmelidir. Buna göre akım verilerinin yeniden düzenlemesi yapılmalıdır.

Yaşanması olası kuraklık durumları için gerekli hazırlık ve iyileştirmelerin bugünden yapılmaya başlanması büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla kuraklığın sürekli izlenmesi gerekir. Kuraklık izlenmesinin temel unsurlarından olan kuraklık indislerinden havza için uygun olanlar belirlenmeli ve belirlenen indislerin otomatik olarak güncellenmesini sağlayan bir sistem oluşturulmalıdır.

## KAYNAKLAR

Abramowitz, M. ve Stegun, I. A. (1965). *Handbook of mathematical functions, with formulas, graphs, and mathematical tables* (3. Baskı). New York: Dover Publications.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. ve Smith, M. (1998). Cropevapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 56. 15 Nisan 2019, <http://www.fao.org/3/X0490E/X0490E00.htm>.

Alley, W.M. (1984). The Palmer drought severity index: Limitations and assumptions. *Journal of Applied Meteorology*, 23, 1100-1109.

Bayissa, Y., Maskey S., Tadesse, T., Jan van Andel S., Moges, S., Van Griensven, A. ve Solomatine, D. (2018). Comparison of the performance of six drought indices in characterizing historical drought for the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Geosciences 2018*, 8 (3), 81.

Bölük, E. (2016). *Aydeniz iklim sınıflandırmasına göre Türkiye İklimi*. 15 Nisan 2019, [https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim\\_siniflandirmalari/aydeniz.pdf](https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/aydeniz.pdf).

Çamalan, G., Akgündüz, A.S., Ayvacı, H., Çetin, S., Arabacı, H. ve Coşkun, M. (2017). SPEI indisine göre Türkiye geneli kuraklık değişim ve eğilim projeksiyonları. *IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, 5 - 7 Temmuz 2017, İstanbul*. 15 Mayıs 2019, [http://ibrahimcamalan.weebly.com/uploads/1/3/3/8/13385466/t%C4%B0kdek\\_spe\\_i\\_%C4%B0nd%C4%B0s%C4%B0ne\\_g%C3%96re\\_t%C3%9Crk%C4%B0ye\\_genel%C4%B0\\_kuraklik\\_de%C4%9E%C4%B0%C5%9E%C4%B0m\\_ve\\_e%C4%9E%C4%B0l%C4%B0m\\_projeks%C4%B0yonlari\\_-13\\_haz.pdf](http://ibrahimcamalan.weebly.com/uploads/1/3/3/8/13385466/t%C4%B0kdek_spe_i_%C4%B0nd%C4%B0s%C4%B0ne_g%C3%96re_t%C3%9Crk%C4%B0ye_genel%C4%B0_kuraklik_de%C4%9E%C4%B0%C5%9E%C4%B0m_ve_e%C4%9E%C4%B0l%C4%B0m_projeks%C4%B0yonlari_-13_haz.pdf).

Drought Management Centre for Southeastern Europe (DMCSEE). (b.t.). *Drought bulletins and maps*. 04 Nisan 2019, [www.dmcsee.org/en/drought\\_monitor/](http://www.dmcsee.org/en/drought_monitor/).

- Duygu, M.B. (2015). *Büyük Menderes Havzasının kuraklıktan etkilenebilirliğinin değerlendirilmesi*. 15 Nisan 2019, <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/TEZLER/Mustafa%20Berk%20Duygu%20-%20UZMANLIK%20TEZİ.pdf>
- Ghioca, M. (2009). Drought monitoring using self-calibrating Palmer's indices in the southwest of Romania. *Romanian Reports in Physics*, 61 (1), 151–164.
- Gillette, H. P. (1950). A creeping drought under way. *Water and Sewage Works*, March 1950, 104-105.
- Gumbel, E.J. (1963). Statistical forecast of droughts. *Bulletin of the International Association of Science Hydrology*, 8 (1), 5-23.
- Gümüş, V. (2017). Akım Kuraklık İndeksi ile Asi Havzasının hidrolojik kuraklık analizi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5 (1), 65-73.
- Gümüş, V. ve Algın, H.M. (2017). Meteorological and hydrological drought analysis of the Seyhan - Ceyhan River Basins, Turkey. *Meteorological Applications*, 24 (1), 62-73.
- Gümüş, V., Başak, A. ve Oruç, N. (2016). Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) yöntemi ile Şanlıurfa İstasyonunun kuraklık analizi. *Harran Üniversitesi, Mühendislik Dergisi*, 1 (1), 36-44.
- Helsel, D.R. ve Hirsch, R.M. (1992). *Statistical methods in water resources* (1st ed.). Amsterdam: Elsevier Science.
- Kulik, M. S. (1958). Agroclimatic indices of drought. *Commission for Agricultural Meteorology (CAgM) Abridged Final Report of the Second Session*, 83, 75-81

- Kurnaz L. (2014). *Kuraklık ve Türkiye*. 04 Nisan 2019, <https://ipc.sabanciuniv.edu/wp-content/uploads/2014/03/IPC-kurakl%c4%b1k2.pdf>
- Lettenmaier, D.P., Wood, E.F. ve Wallis, J.R. (1994). Hydroclimatological trends in the continental United States 1948–1988. *Journal of Climate*, 7 (4), 586–607.
- Linsley, R. K., Kohler M. A. ve Paulhus J. L. H. (1958). *Hydrology for Engineers* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
- Ljubenkov, I. ve Kalin, K.J. (2016). Evaluation of drought using standardised precipitation and flow indices and their correlations on an example of Sinjsko polje. *Gradevinar* 68 (2), 135-143.
- Logan, K.E, Brunsell, N.A., Jones, A.R. ve Feddema, J.J. (2010). Assessing spatiotemporal variability of drought in the U.S. central plains. *Journal of Arid Environments*, 74 (2), 247-255.
- Lweendo, M.K., Lu, B., Wang, M., Zhang, H. ve Xu, W. (2017). Characterization of droughts in humid subtropical region, Upper Kafue River Basin (Southern Africa). *Water* 2017, 9 (4), 242.
- Mavromatis, T. (2007). Drought index evaluation for assessing future wheat production in Greece. *International Journal of Climatology*, 27 (7), 911–924.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. ve Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California*, 179-183.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. ve Kleist, J. (1995). Drought monitoring with multiple time scales. *9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January 1995, Dallas*, 233-236.

- Modarres, R. (2007). Streamflow drought time series forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21 (3), 223 - 233.
- Nalbantis, I. (2008). Evaluation of a hydrological drought index. *European Water* 23/24, 67-77.
- Nalbantis, I. ve Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23 (5), 881–897.
- National Drought Mitigation Center (NDMC) (b.t.). *Drought monitoring*. 04 Nisan 2019, <https://droughtmonitor.unl.edu/>.
- National Drought Mitigation Center (NDMC) (b.t.). *Types of drought*. 04 Nisan 2019, <https://drought.unl.edu/Education/DroughtIn-depth/TypesofDrought.aspx>.
- Önöz, B. ve Bayazıt, M. (2003). The power of statistical tests for trend detection. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 27 (4), 247-251.
- Onuşluel Gül, G., Gül A. ve Kuzucu A. (2017). Analysis of drought in Küçük Menderes River Basin using SPI and SPEI drought indices. *STAHY 2017 Workshop*, 21-22 Eylül 2017, Warsaw, Poland.
- Palmer, W. (1965). Meteorological drought. *Department of Commerce Weather Bureau Research Paper No. 45*. 04 Nisan 2019, National Climatic Data Center (NDCC)
- RStudio Team, (2015). *RStudio: Integrated development for R*. RStudio, Inc. Boston. 15 Nisan 2019, <http://www.rstudio.com/>.
- Shukla S. ve Wood, A. W. (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters*, 35 (2), 41–46.

T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) (b.t.). *Kuraklık izleme sistemi 3.0*. 15 Nisan 2019, <http://kuraklikizle.mgm.gov.tr/>.

T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) (b.t.). *Kuraklık sınıflandırması*. 15 Nisan 2019, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/kuraklikanalizi.aspx?d=yontemsinif#sfB>.

T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) (2014). *Türkiye kuraklık değerlendirme raporu (Mart 2014)*. 15 Nisan 2019, <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yayinlar/2014/T%C3%BCrkiye-Kuraklik-Degerlendirmesi-2014.pdf>.

T.C. Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) (b.t.). *Havza bazında kuraklık izlemesi web programı*. 15 Nisan 2019, <http://kuraklikyonetimi.ormansu.gov.tr/index.html>.

T.C. Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) (2017). *Ulusal kuraklık yönetimi strateji belgesi ve eylem planı (2017-2023)*. 15 Nisan 2019, <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ulusal%20Kurakl%C4%B1k%20Y%C3%B6netimi%20Strateji%20Belgesi%20ve%20Eylem%20Plan%C4%B1/Ulusal%20Kurakl%C4%B1k%20Y%C3%B6netimi%20Strateji%20Belgesi%20ve%20Eylem%20Plan%C4%B1.pdf>.

T.C. Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) (2018). *Küçük Menderes Havzası kuraklık yönetim planı*. 15 Nisan 2019, [http://kuraklikyonetimi.ormansu.gov.tr/\\_engine/file.axd?file=/dokuman/KM\\_06/KM\\_Nihai\\_Rapor\\_Cilt1.pdf](http://kuraklikyonetimi.ormansu.gov.tr/_engine/file.axd?file=/dokuman/KM_06/KM_Nihai_Rapor_Cilt1.pdf)

T.C. Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) (2019). *Küçük Menderes Havzası Nehir Havza Yönetim Planı Hazırlanması Projesi, Nehir Havza Yönetim Planı Taslak Nihai Raporu*, <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Duyuru/157/Kucuk-Menderes-Havzasi-Taslak-Nihai-Nehir-Havza-Yonetim-Plani-Ve-Ekleri>

- Tannehill, I. R. (1947). *Drought, its causes and effects*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Tatlı, H. ve Türkeş, M. (2011). Palmer Kuraklık Şiddeti ve Standartlaştırılmış Yağış İndislerinin Türkiye üzerinde karşılaştırılması. *5. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu Bildiri Kitabı*, 231-239.
- Telesca, L., Lovallo, M., Lopez-Moreno, I. ve Vicente-Serrano, S. (2012). Investigation of scaling properties in monthly streamflow and Standardized Streamflow Index time series in the Ebro basin (Spain). *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391 (4), 1662-1678.
- Thom, H.C.S. (1966). *Some methods of climatological analysis*. Geneva: Secretariat of the World Meteorological Organization.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38 (1), 55-94.
- Tigkas, D. (2008). Drought characterisation and monitoring in Regions of Greece, *European Water 23/24*, 29-39.
- Tigkas, D., Vangelis, H. ve Tsakiris, G. (2015). DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*, 8 (3), 697-709.
- Tsakiris, G., Nalbantis, I., Pangalou, D., Tigkas, D. ve Vangelis, H. (2008). Drought meteorological monitoring network design for the Reconnaissance Drought Index (RDI). *1st International Conference, Drought management: scientific and technological innovations, 12-14 June 2008, Zaragoza*.
- Tsakiris, G. ve Vangelis, H. (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water 9/10*, 3-11.

Türkeş, M. (1990). *Türkiye'de kurak bölgeler ve önemli kurak yıllar*. (Yayımlanmamış doktora tezi), İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, İstanbul.

Türkeş M. (2012). Kuraklık, çölleşme ve birleşmiş milletler çölleşme ile savaşım sözleşmesi'nin ayrıntılı bir çözümlemesi. *Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi*, 20 (1), 7-55.

United Nations (UN) (2018). *Suya ilişkin üst düzey panel (HLPW) sonuç dokümanı*.  
14 Mart 2018,  
[https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/17825HLPW\\_Outcome.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/17825HLPW_Outcome.pdf)

United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) (1994). *United Nations Convention to Combat Desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa*. 15 Nisan 2019,  
<https://www.unccd.int/>

Von Neumann, J. (1941). Distribution of the ratio of the mean square successive difference to the variance. *Annals of Mathematical Statistics*, 13, 367–395.

Vicente-Serrano, S. M. ve López-Moreno, J. I. (2005). Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in amountainous Mediterranean basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9, 523–533.

Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S. ve López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23 (7), 1696-1718.

Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Azorin-Molina, C. ve Morán-Tejeda, E. (2012). Accurate computation of a Streamflow Drought Index. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17 (2), 318-332.



- Wang, H., Pan, Y. ve Chen, Y. (2017). Comparison of three drought indices and their evolutionary characteristics in the arid region of northwestern China. *Atmospheric Science Letters*, 18 (2017), 132-139.
- Wells, N., Goddard, S. ve Hayes, M. J. (2004). A Self-Calibrating Palmer Drought Severity Index. *Journal of Climate*, 17 (12), 2335-2351.
- Whipple, W. Jr. (1966). Regional drought frequency analysis. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 92 (2), 11-32.
- Wilhite, D.A. ve Glantz, M.H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10 (3), 111-120.
- World Meteorological Organization (WMO) (1996). *WMO drought initiatives: High-Level Meeting on National Drought Policy (HMNDP) and Integrated Drought Management Programme (IDMP)*. 15 Nisan 2019, [www.wmo.int/pages/prog/wcp/drought/index\\_en.php](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/drought/index_en.php)
- World Meteorological Organization (WMO) (2012). *Standardized Precipitation Index user guide*. 15 Mayıs 2019, [http://www.wamis.org/agm/pubs/SPI/WMO\\_1090\\_EN.pdf](http://www.wamis.org/agm/pubs/SPI/WMO_1090_EN.pdf)
- World Meteorological Organization (WMO) (2016). *Handbook of drought indicators and indices*, 4 Şubat 2019, [http://www.droughtmanagement.info/literature/GWP\\_Handbook\\_of\\_Drought\\_Indicators\\_and\\_Indices\\_2016.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf).
- Wu, J., Chen, X., Guo, L., Yao, H., Chen, Y. ve Liu, M., (2016). Response of hydrological drought to meteorological drought under the Influence of large reservoir. *Advances in Meteorology*, 2016 (4), 1-11.

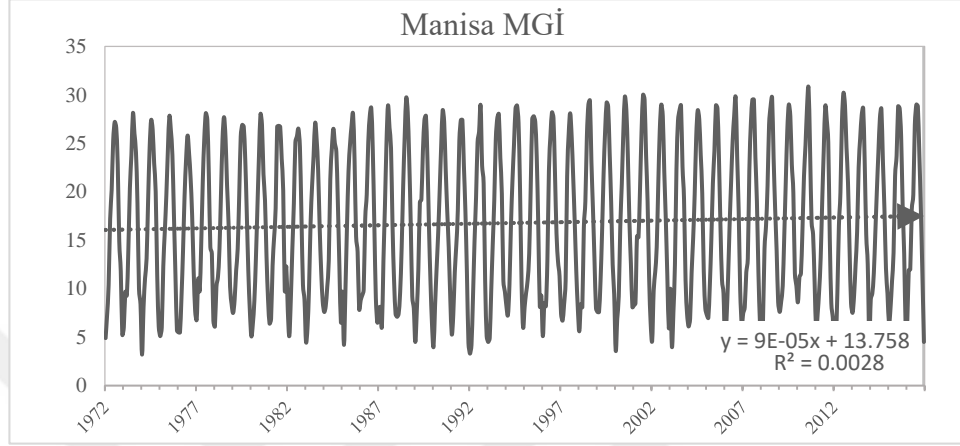
## EKLER

### EK 1: Kısaltmalar

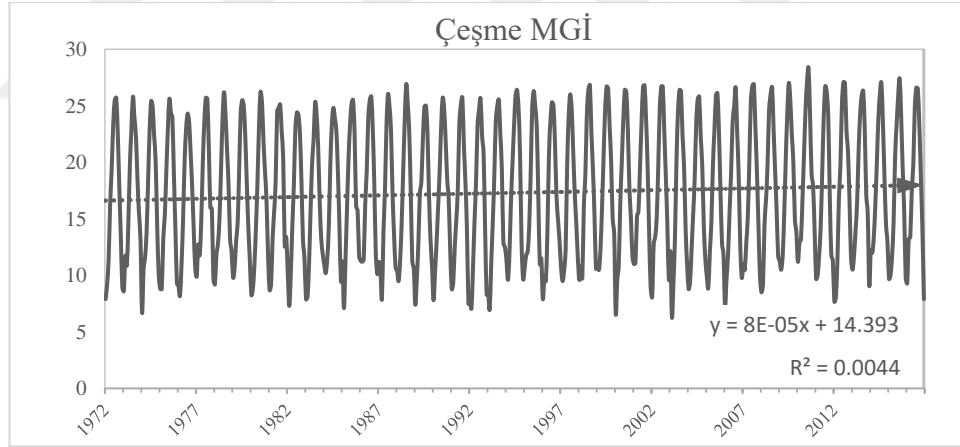
AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
MGİ	Meteoroloji Gözlem İstasyonu
SPI	Standartlaştırılmış Yağış İndisi
SDI	Akım Kuraklık İndisi
SRI	Standartlaştırılmış Akım İndis
DRI	Kuraklık Arama İndisi
SPEI	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi
PDSI	Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi
PHDI	Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi
scPDSI	Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi
scPHDI	Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi
PM	Penman-Monteith Yöntemi
PET	Potansiyel Evapotranspirasyon Değeri
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü
UNCCD	Birleşmiş Milletler Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi
ICID	Uluslararası Sulama ve Drenaj Komisyonu
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MGİ	Meteoroloji Gözlem İstasyonu
DSİ	Devlet Su İşleri
SYGM	Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
ASCE	Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği
NDMC	Ulusal Kuraklık Önleme Merkezi - Lincoln, ABD
DMCSEE	Güneydoğu Avrupa Kuraklık Yönetim Merkezi

## EK 2: Meteorolojik Verilerin Zamana Bağlı Değişim Grafikleri

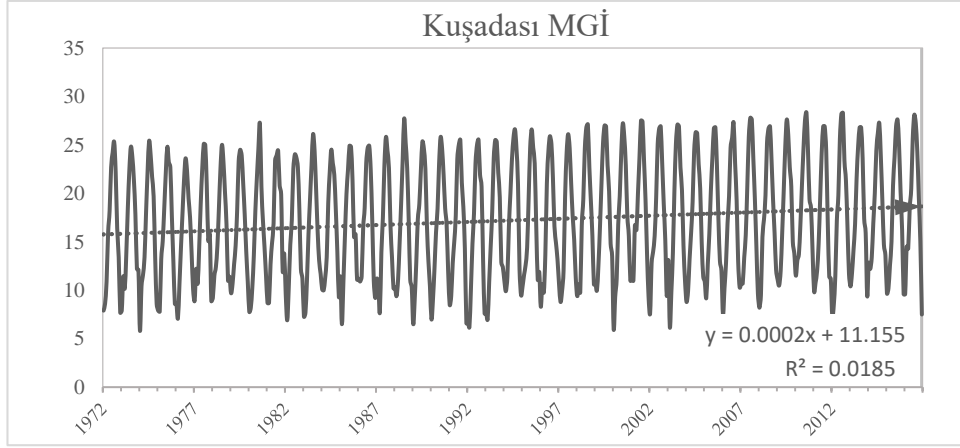
### Ek 2.A: Seçilen MGİ'lerde Gözlemlenmiş Aylık Ortalama Sıcaklık (°C) Verilerinin Zamana Bağlı Değişim Grafikleri



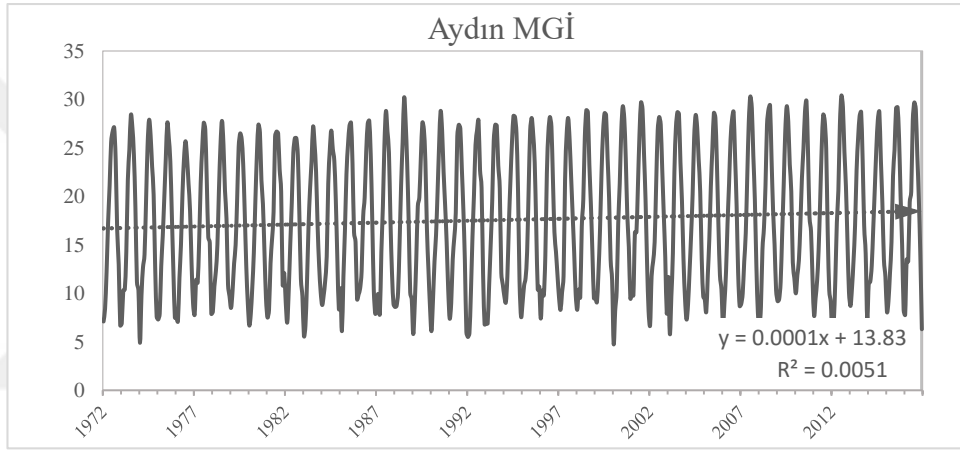
Şekil 2.A.1 Manisa MGİ aylık ortalama sıcaklık-zaman değişimi (1972-2016)



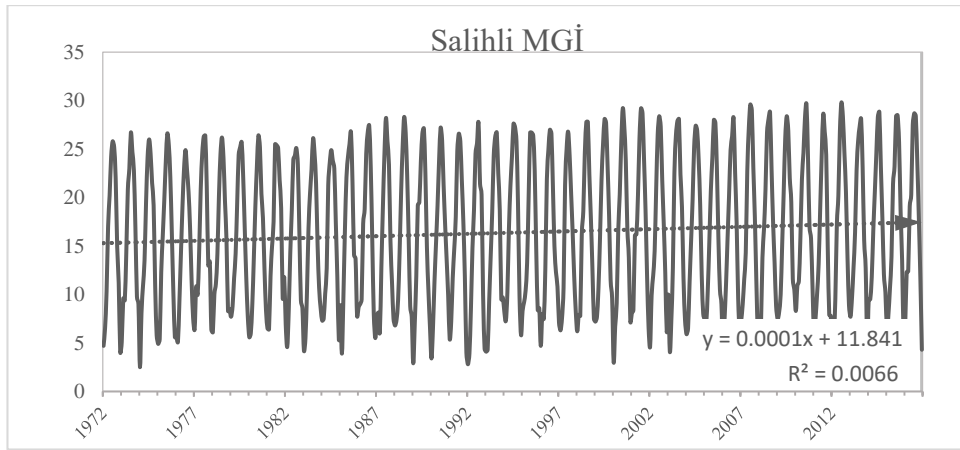
Şekil 2.A.2 Çeşme MGİ aylık ortalama sıcaklık-zaman değişimi (1972-2016)



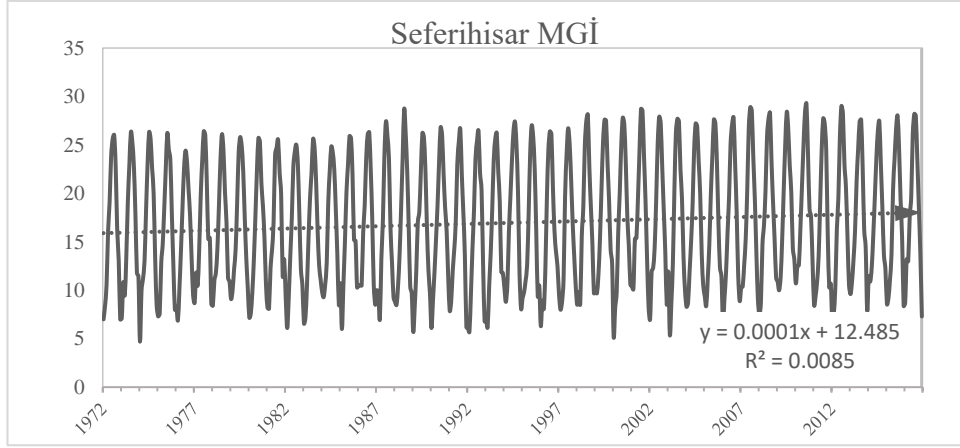
Şekil 2.A.3 Kuşadası MGİ aylık ortalama sıcaklık-zaman değişimi (1972-2016)



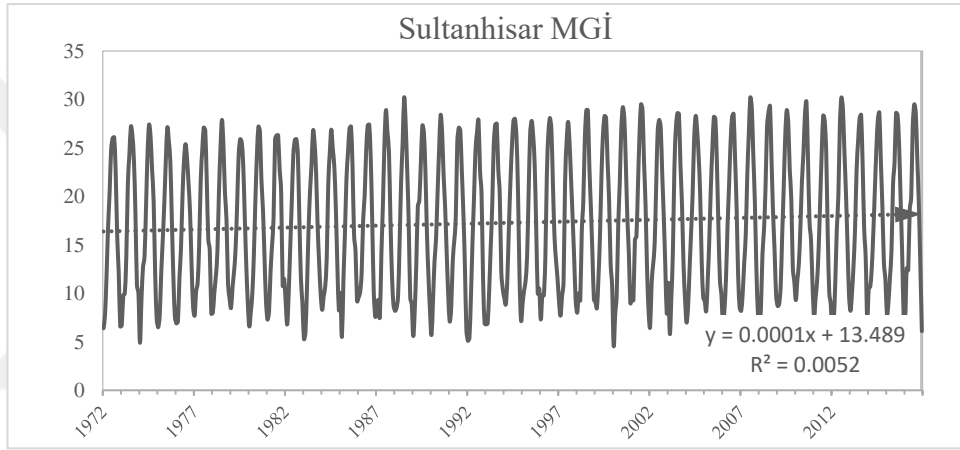
Şekil 2.A.4 Aydın MGİ aylık ortalama sıcaklık-zaman değişimi (1972-2016)



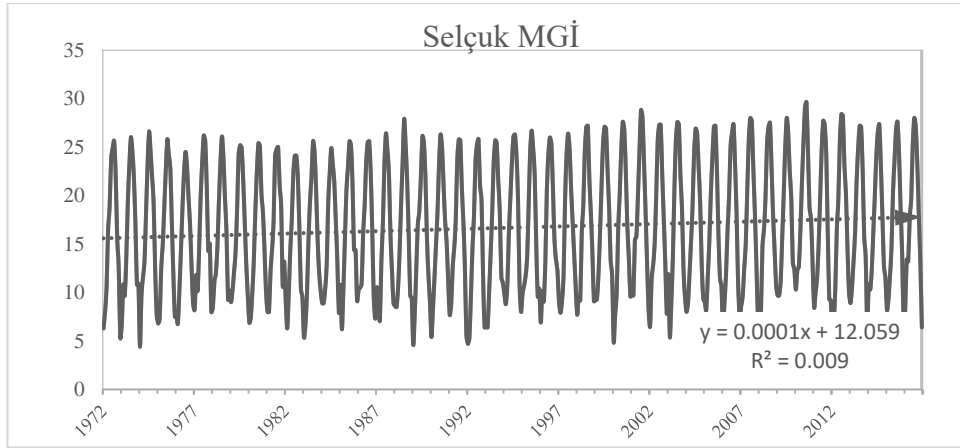
Şekil 2.A.5 Salihli MGİ aylık ortalama sıcaklık-zaman değişimi (1972-2016)



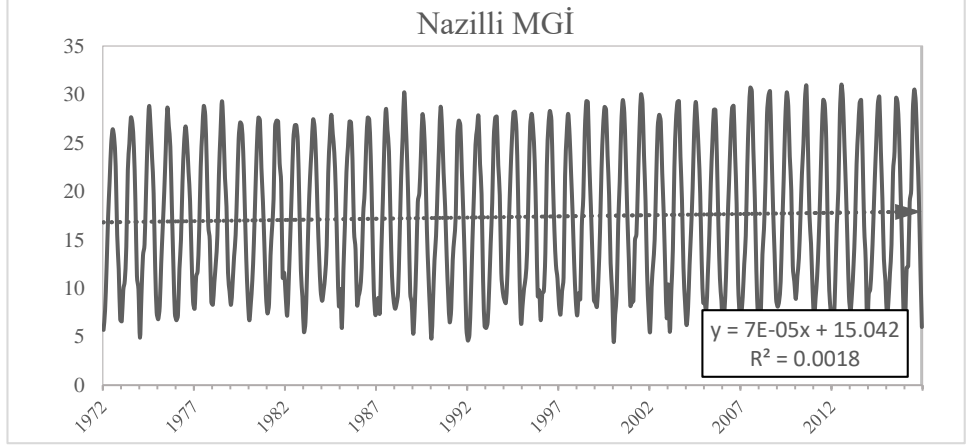
Şekil 2.A.6 Seferihisar MGİ aylık ortalama sıcaklık-zaman değişimi (1972-2016)



Şekil 2.A.7 Sultanhisar MGİ aylık ortalama sıcaklık-zaman değişimi (1972-2016)

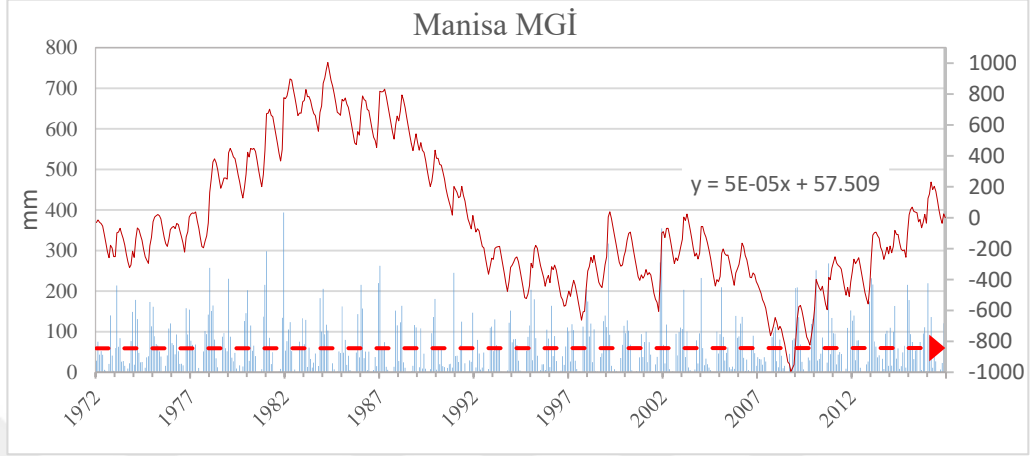


Şekil 2.A.8 Selçuk MGİ aylık ortalama sıcaklık-zaman değişimi (1972-2016)

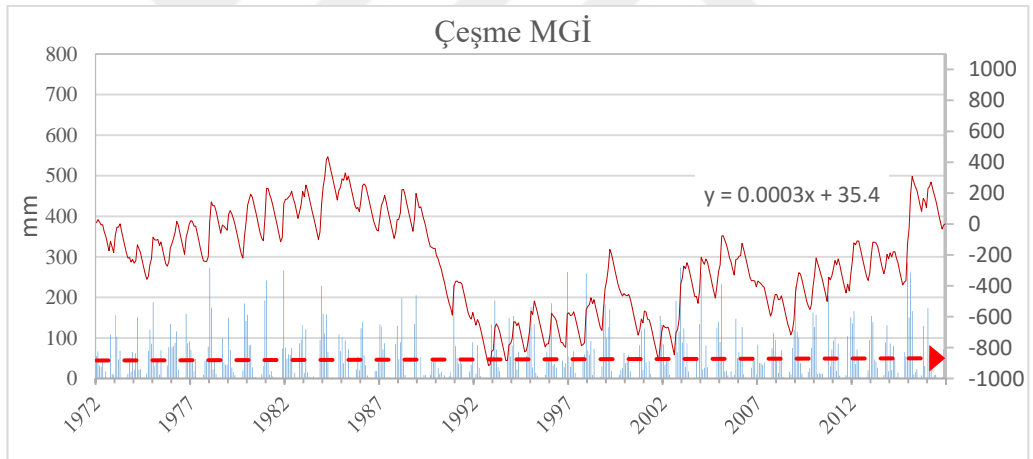


Şekil 2.A.9 Nazilli MGİ aylık ortalama sıcaklık-zaman değişimi (1972-2016)

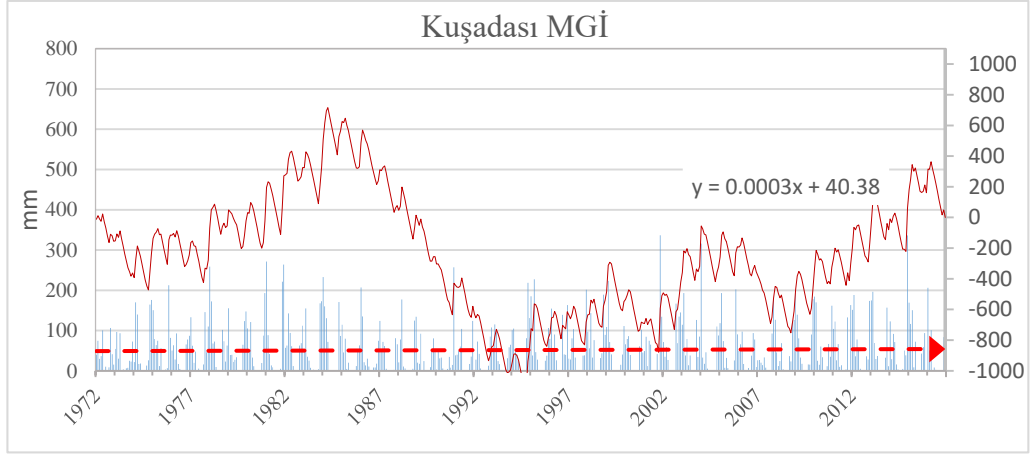
**Ek 2.B: Seçilen MGİ'lerde Gözlemlenmiş Aylık Toplam Yağış Miktarı (mm) ile Eklenik Yağış Sapma Miktarının (mm) Zamana Bağlı Değişim Grafikleri**



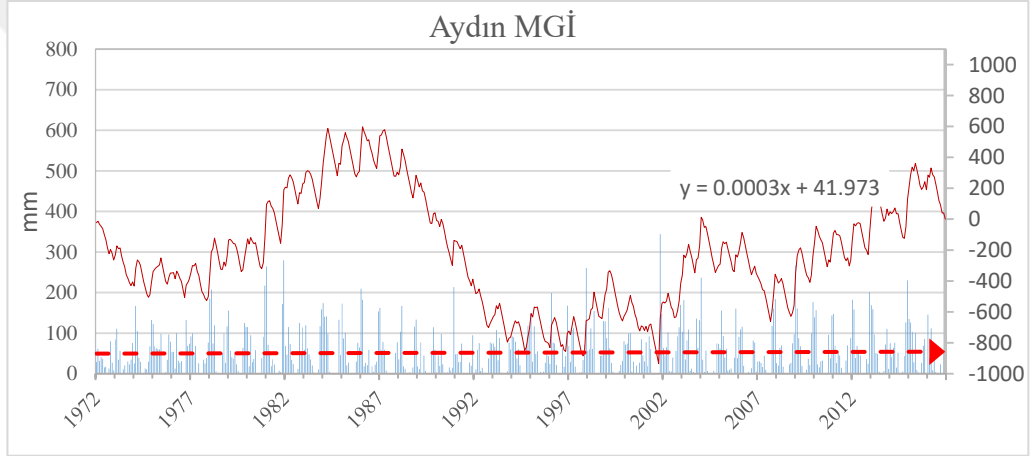
Şekil 2.B.1 Manisa MGİ aylık toplam yağış miktarı (mm) ve eklenik sapma miktarının (mm) zamana bağlı değişimi (1972-2016)



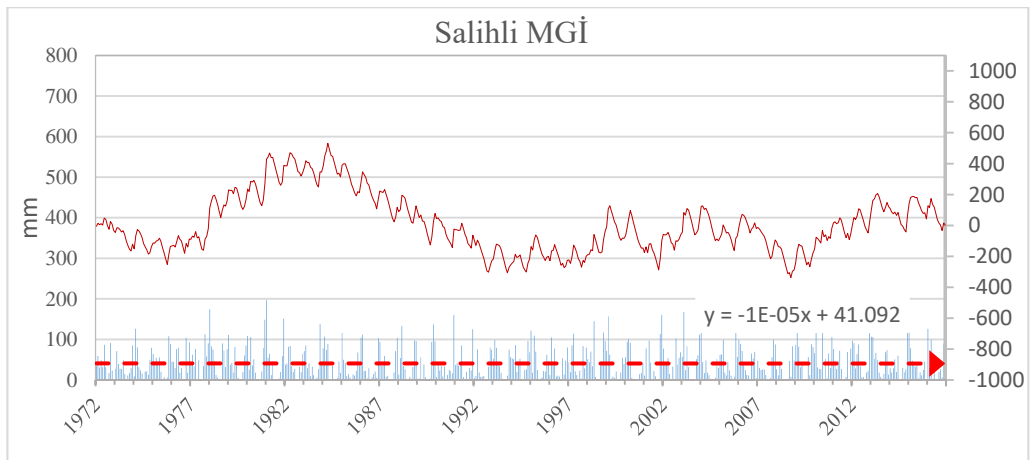
Şekil 2.B.2 Çeşme MGİ aylık toplam yağış miktarı (mm) ve eklenik sapma miktarının (mm) zamana bağlı değişimi (1972-2016)



Şekil 2.B.3 Kuşadası MGİ aylık toplam yağış miktarı (mm) ve eklenik sapma miktarının (mm) zamana bağlı değişimi (1972-2016)

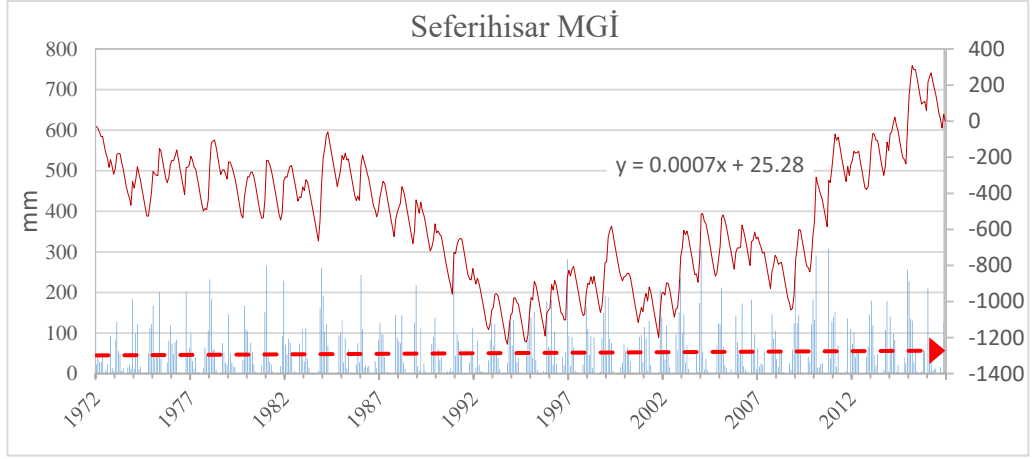


Şekil 2.B.4 Aydın MGİ aylık toplam yağış miktarı (mm) ve eklenik sapma miktarının (mm) zamana bağlı değişimi (1972-2016)

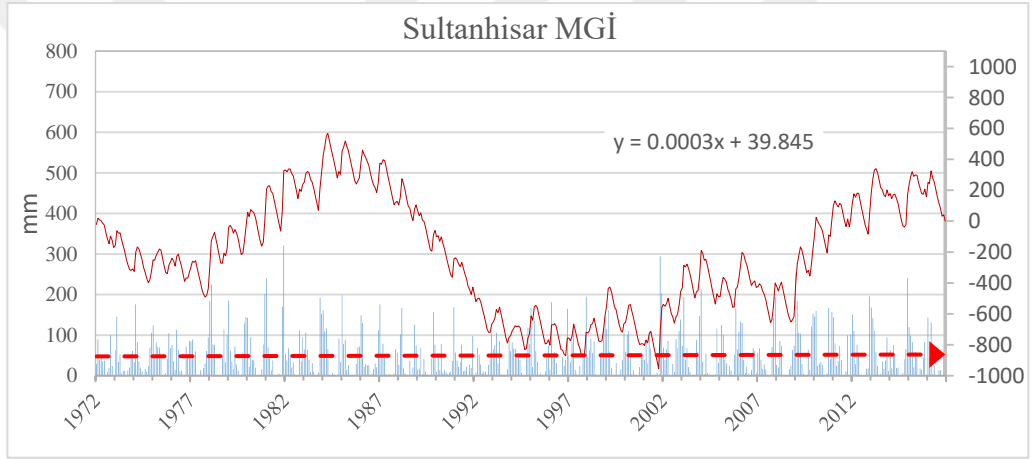


Şekil 2.B.5 Salihli MGİ aylık toplam yağış miktarı (mm) ve eklenik sapma miktarının (mm) zamana bağlı değişimi (1972-2016)

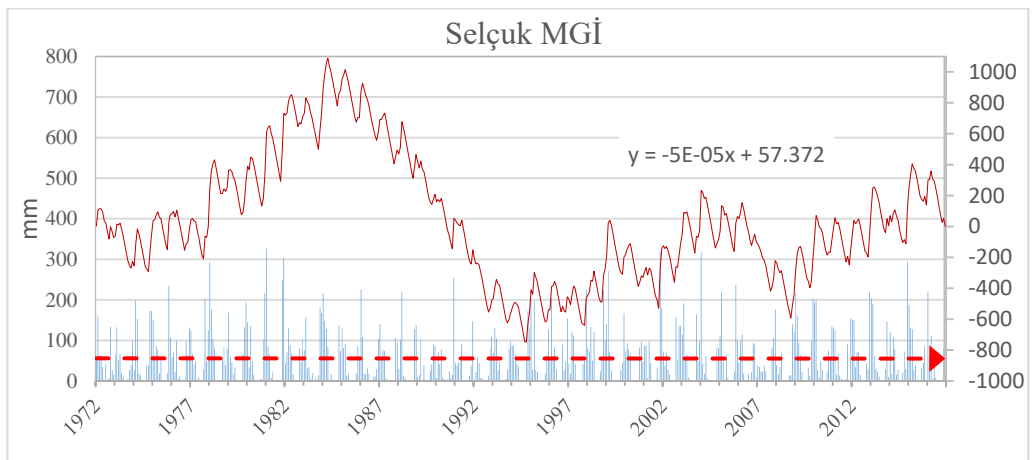




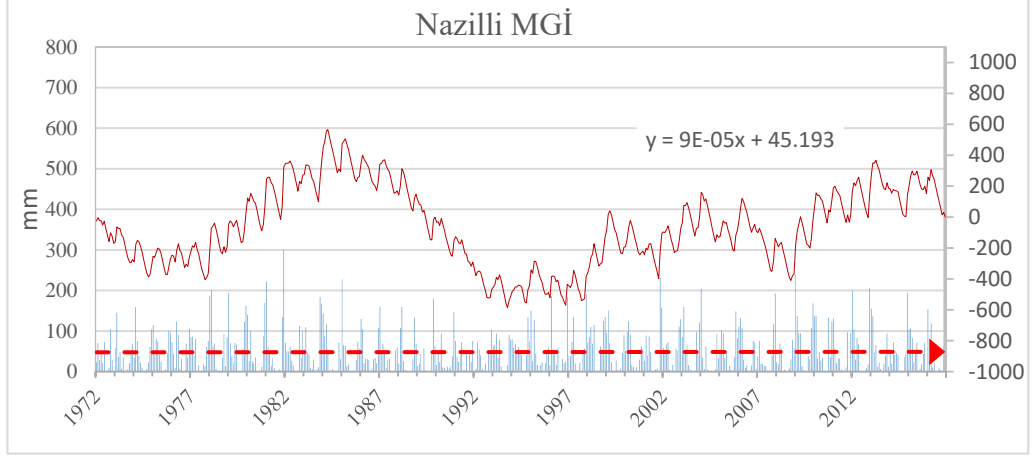
Şekil 2.B.6 Seferihisar MGİ aylık toplam yağış miktarı (mm) ve eklenik sapma miktarının (mm) zamana bağlı değişimi (1972-2016)



Şekil 2.B.7 Sultanhisar MGİ aylık toplam yağış miktarı (mm) ve eklenik sapma miktarının (mm) zamana bağlı değişimi (1972-2016)



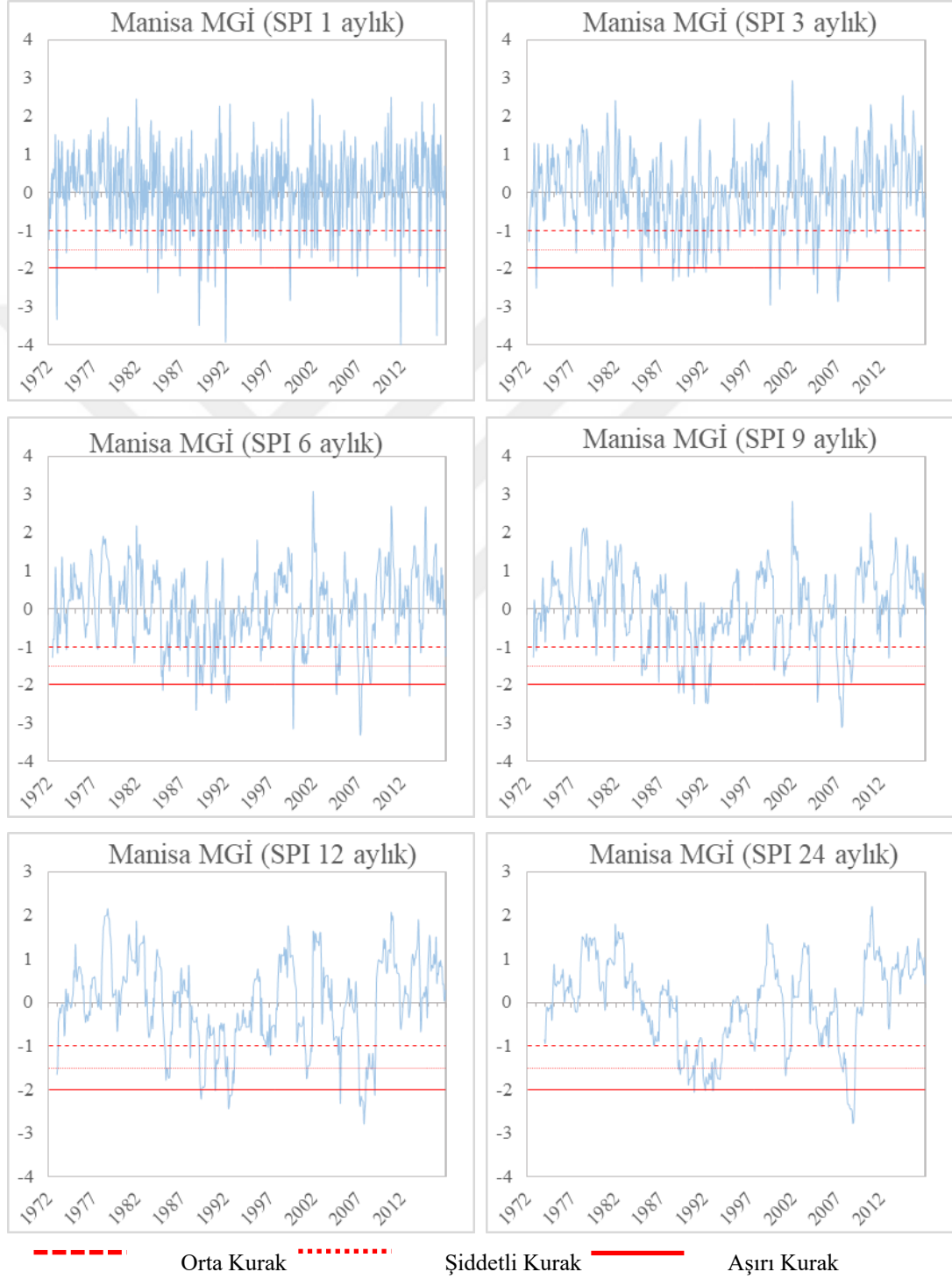
Şekil 2.B.8 Selçuk MGİ aylık toplam yağış miktarı (mm) ve eklenik sapma miktarının (mm) zamana bağlı değişimi (1972-2016)



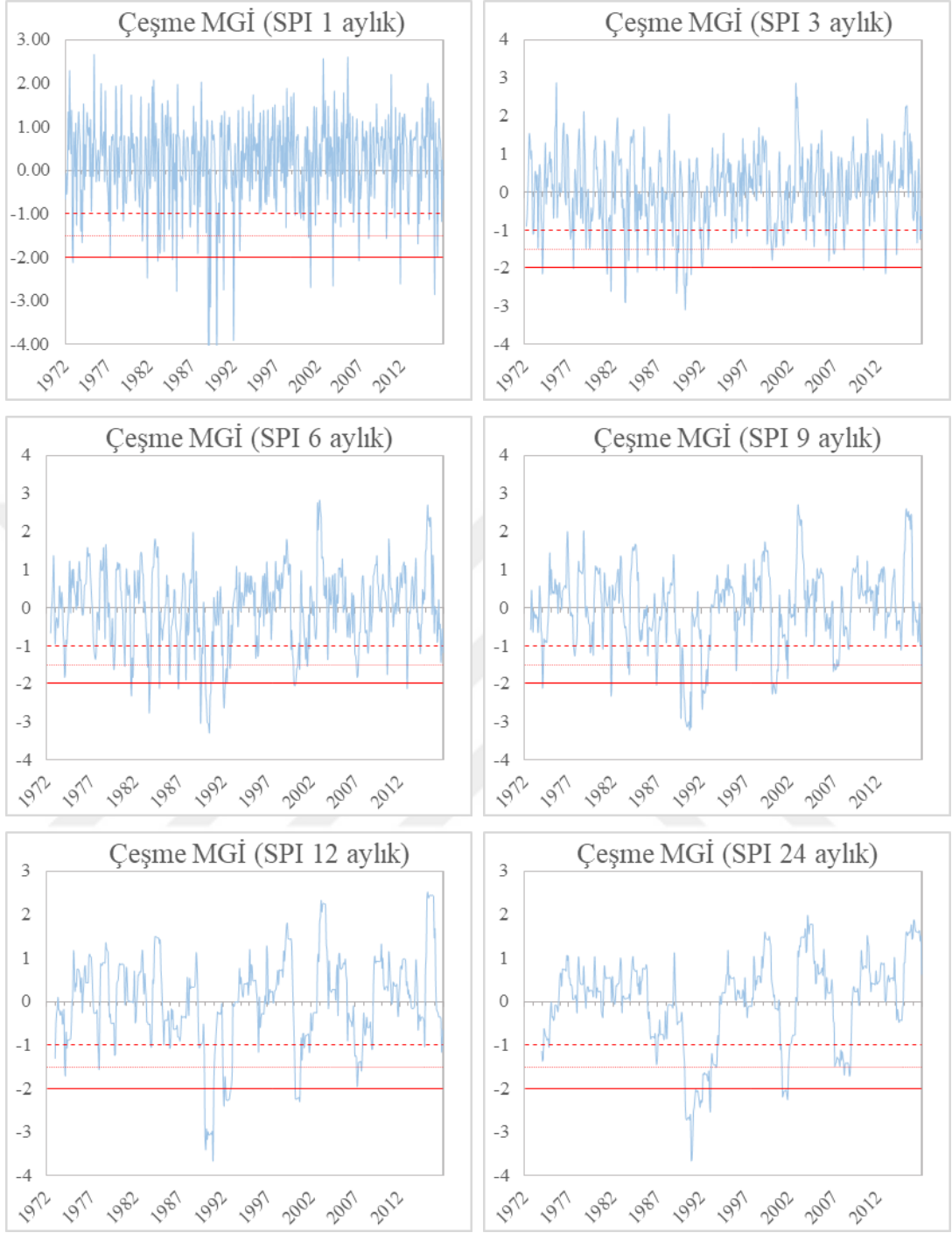
Şekil 2.B.9 Nazilli MGİ aylık toplam yağış miktarı (mm) ve eklenik sapma miktarının (mm) zamana bağlı değişimi (1972-2016)

### EK 3: Meteorolojik Kuraklık İndislerinin Zamana Bağlı Değişim Grafikleri

#### Ek 3.A: SPI Zaman Serileri (1-3-6-9-12-24 aylık)

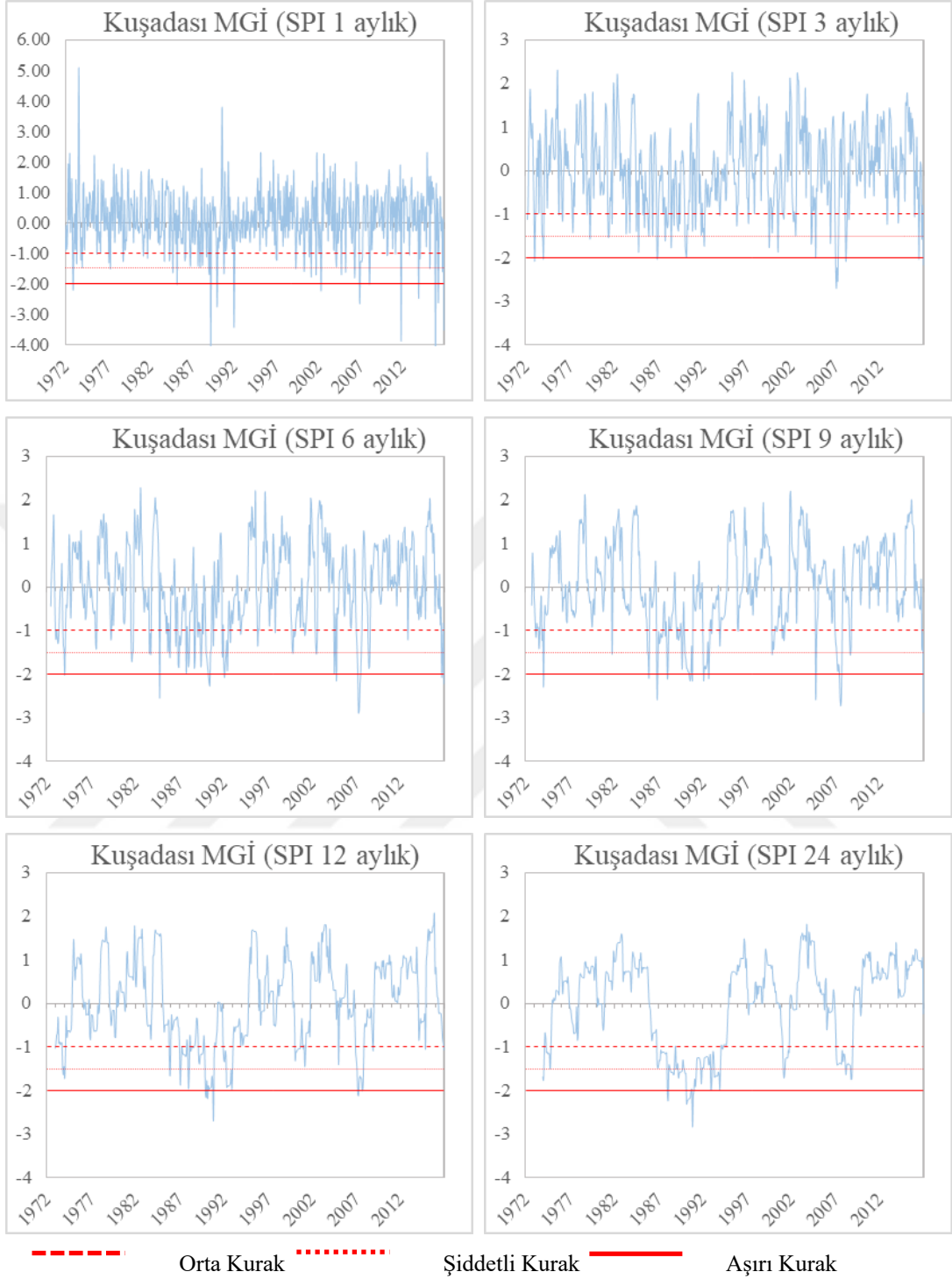


Şekil 3.A.1 Manisa MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri

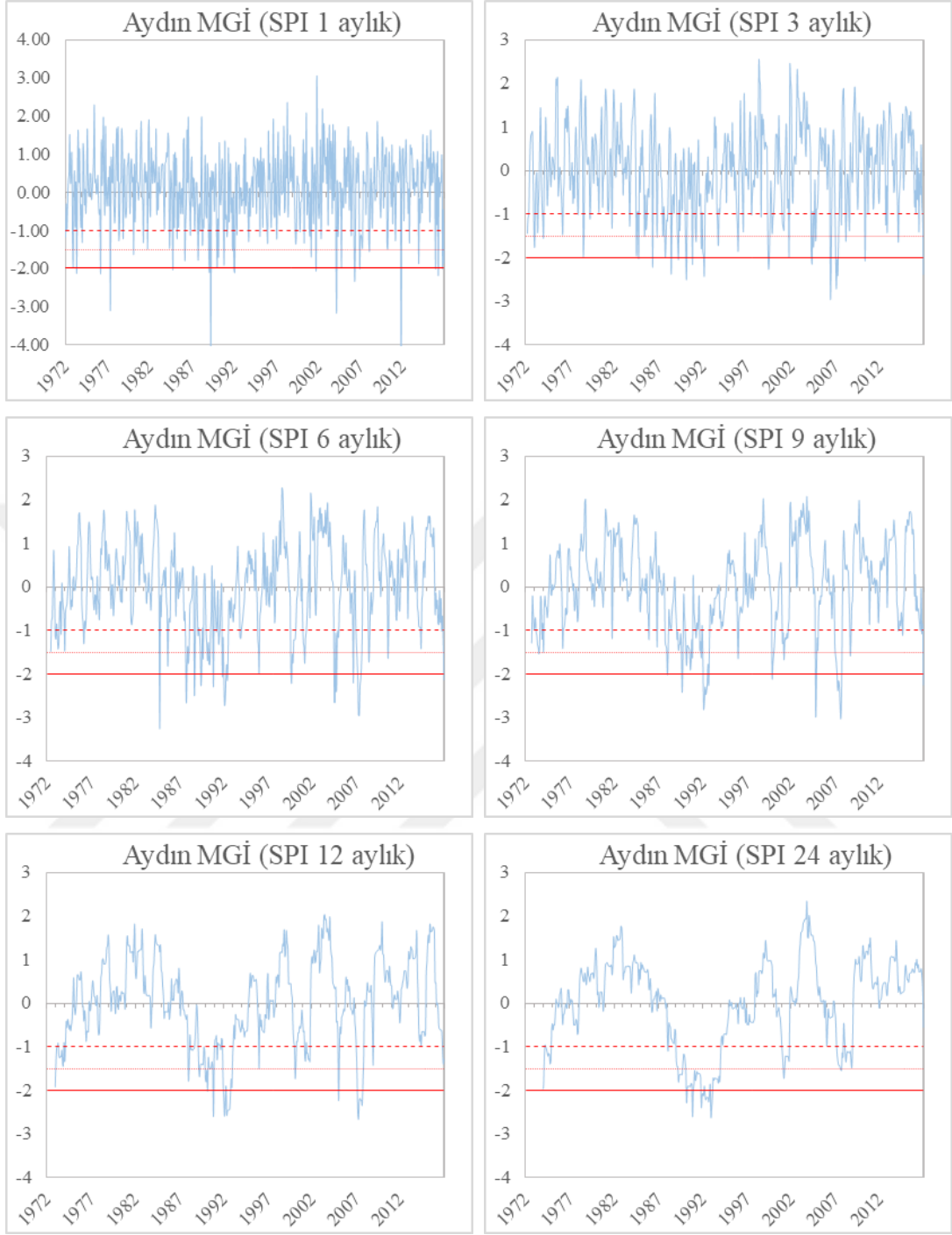


----- Orta Kurak      ..... Şiddetli Kurak      ————— Aşırı Kurak

Şekil 3.A.2 Çeşme MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri

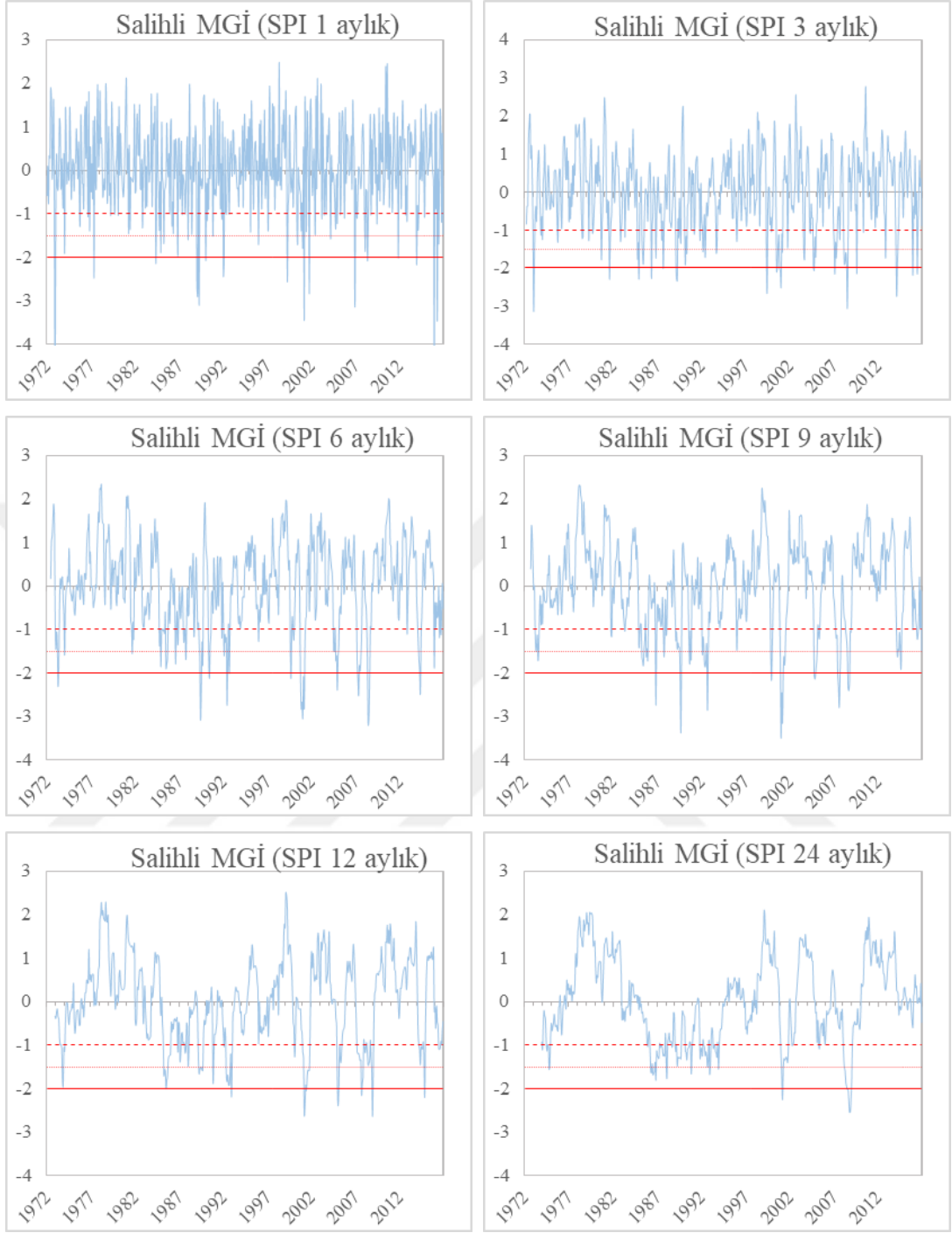


Şekil 3.A.3 Kuşadası MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri



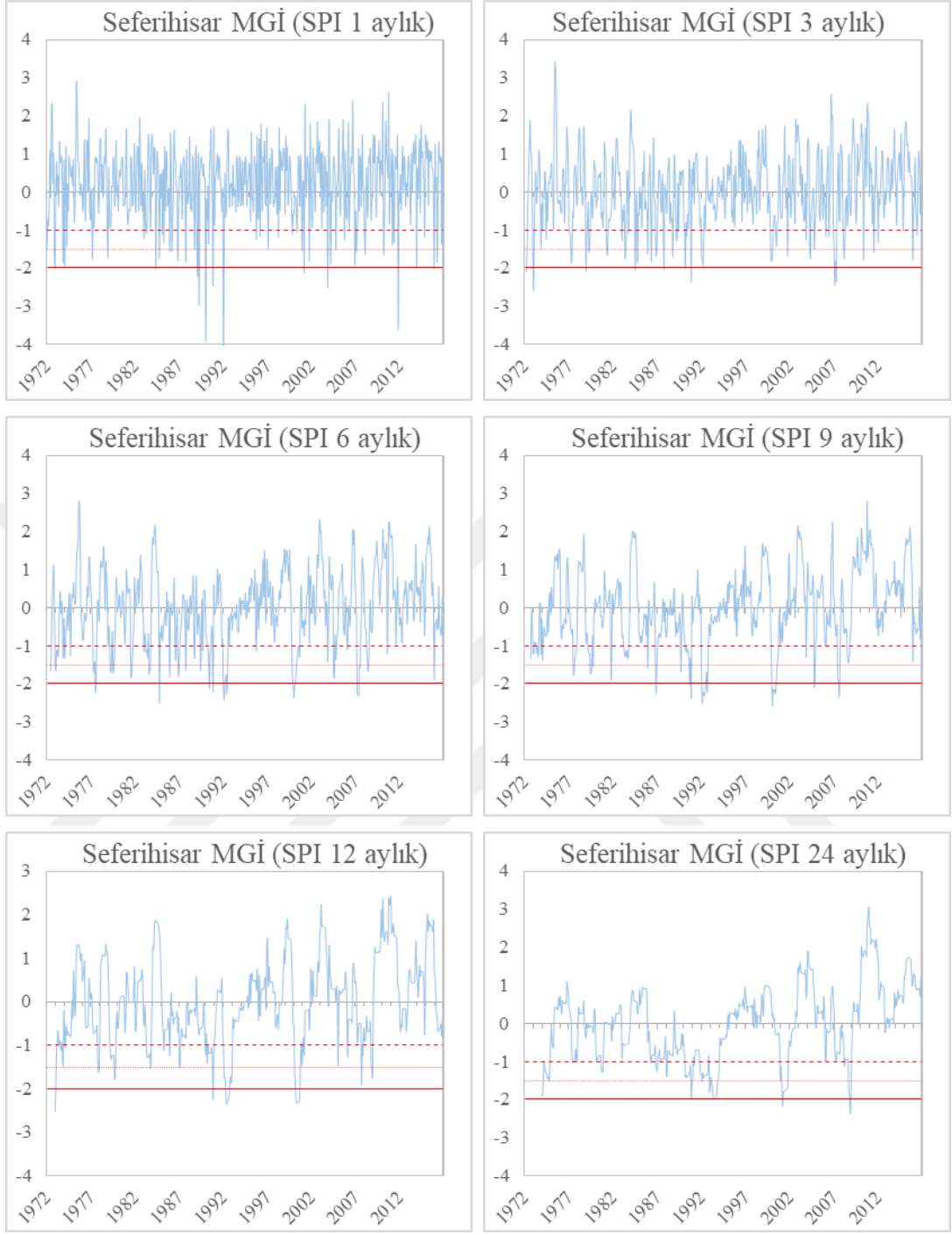
- - - - - Orta Kurak    
 . . . . . Şiddetli Kurak    
 ————— Aşırı Kurak

Şekil 3.A.4 Aydın MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri



----- Orta Kurak      ..... Şiddetli Kurak      ————— Aşırı Kurak

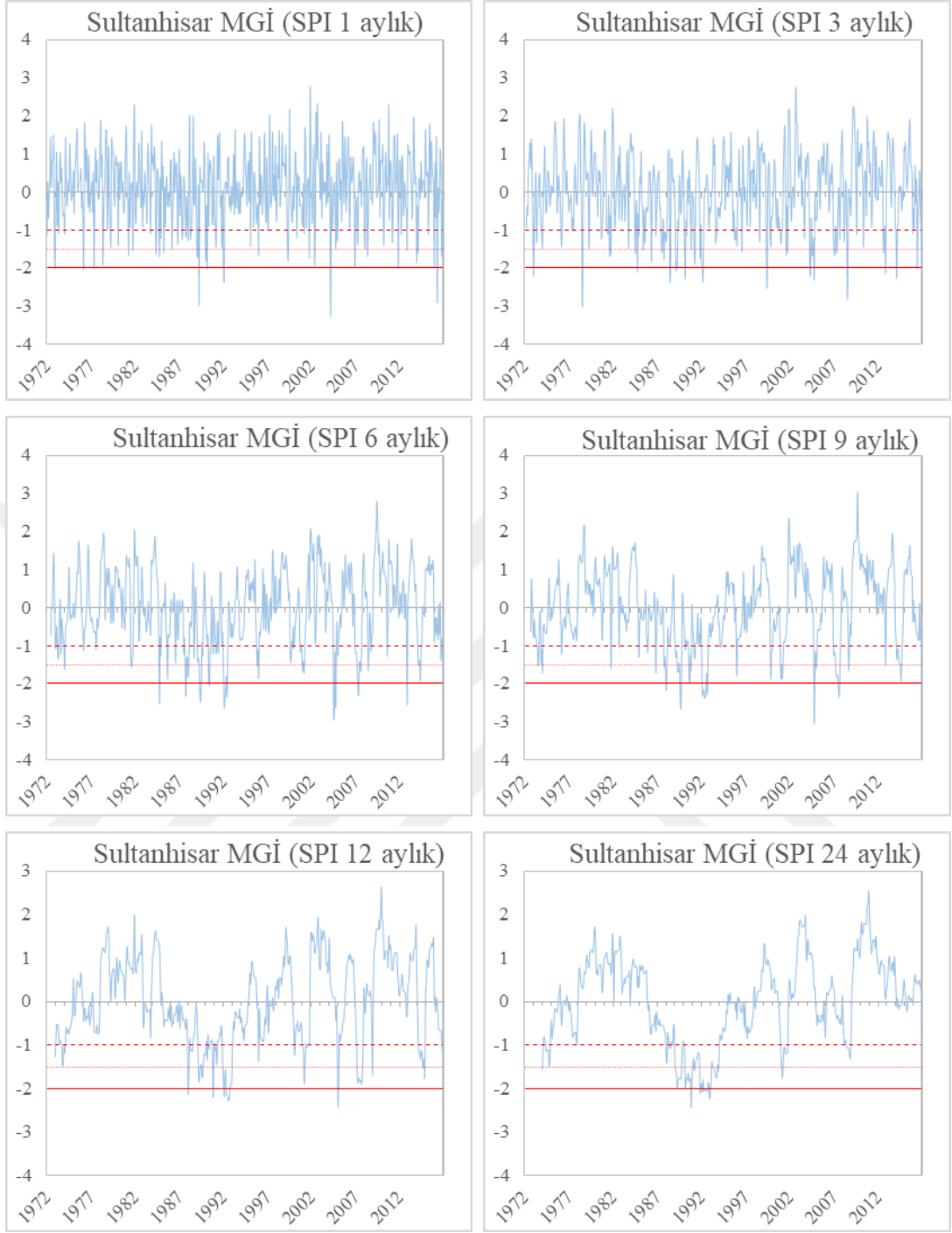
Şekil 3.A.5 Salihli MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri



----- Orta Kurak      ..... Şiddetli Kurak      ————— Aşırı Kurak

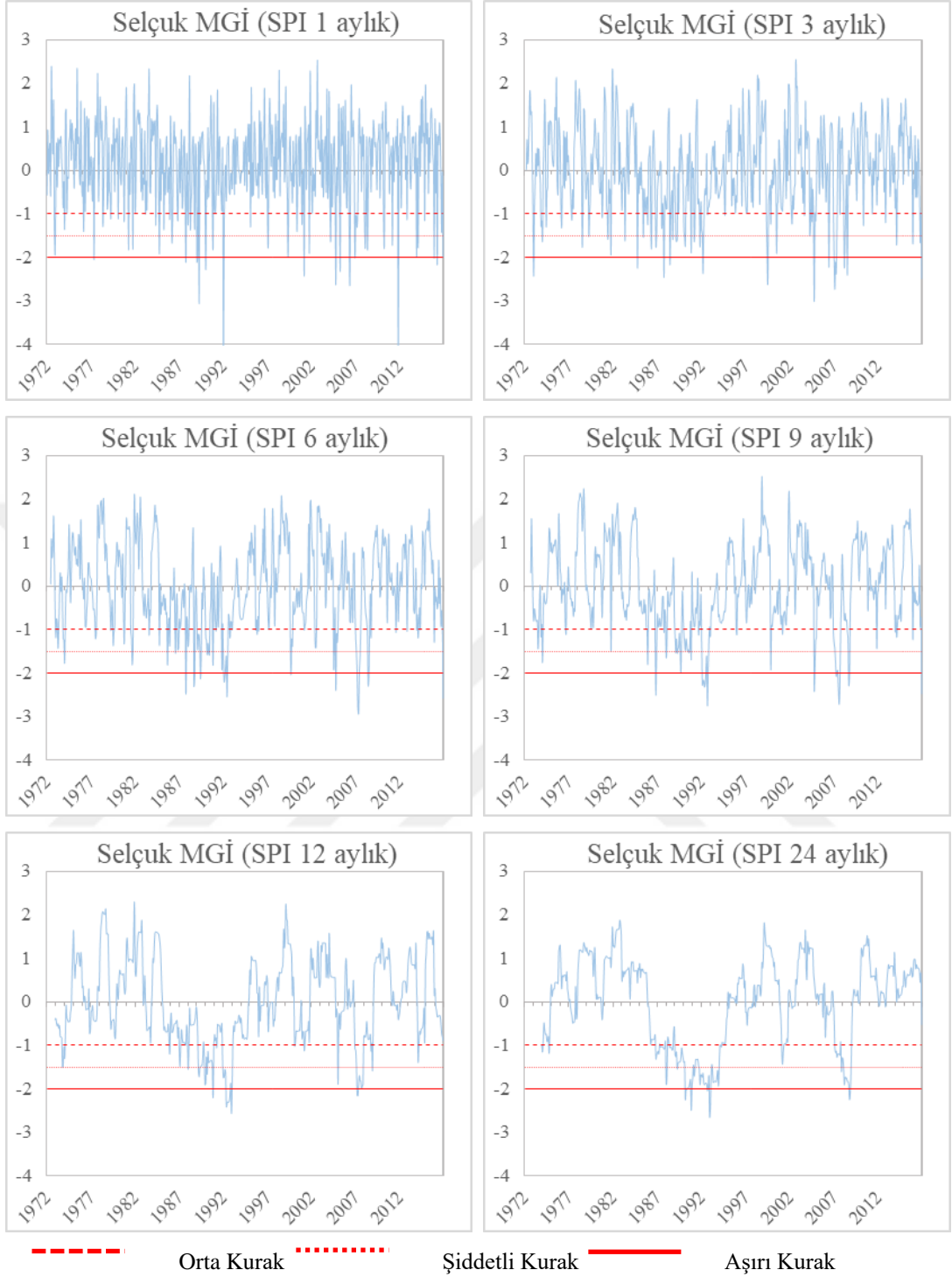
Şekil 3.A.6 Seferihisar MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri

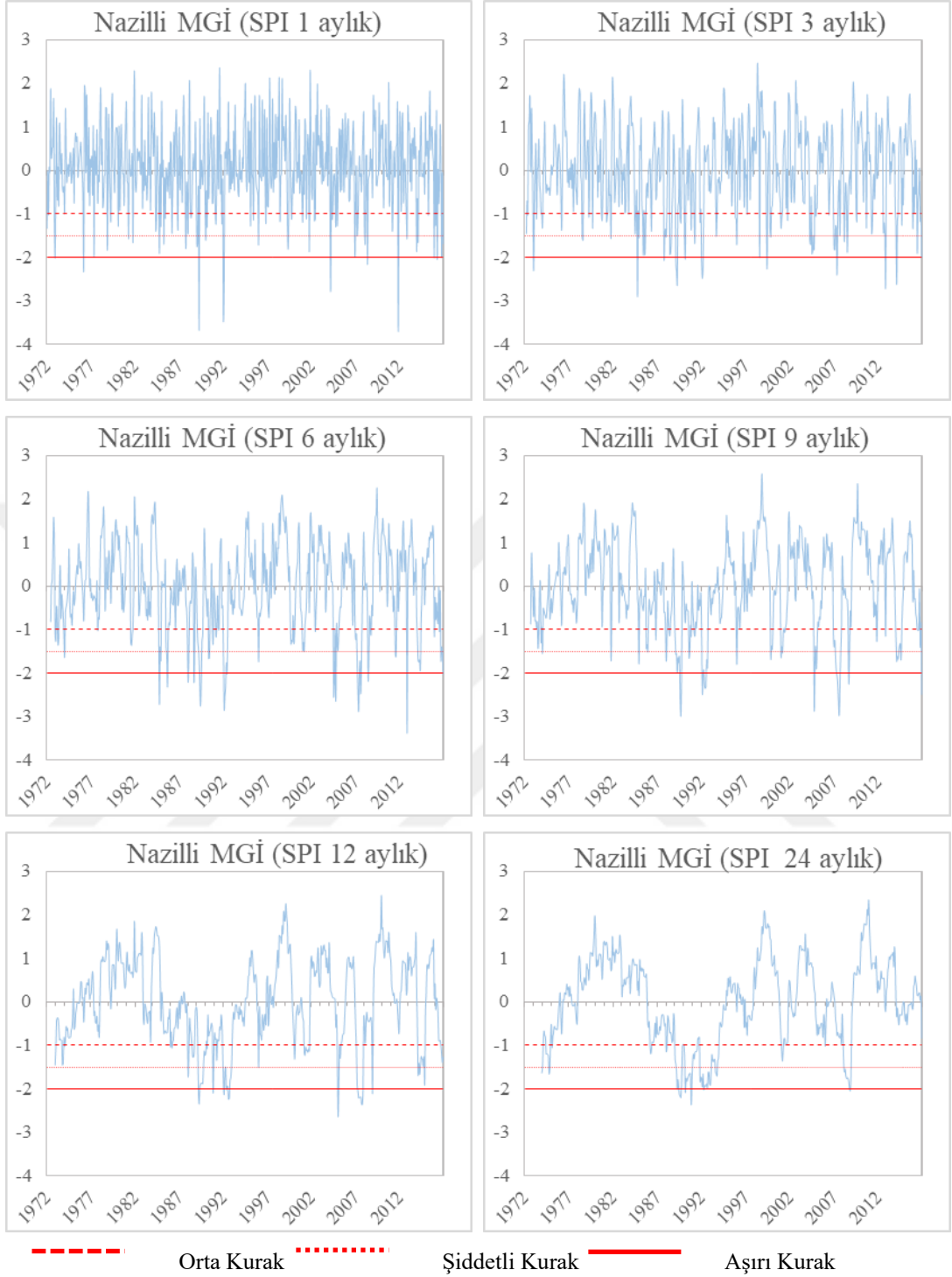




----- Orta Kurak      ..... Şiddetli Kurak      ——— Aşırı Kurak

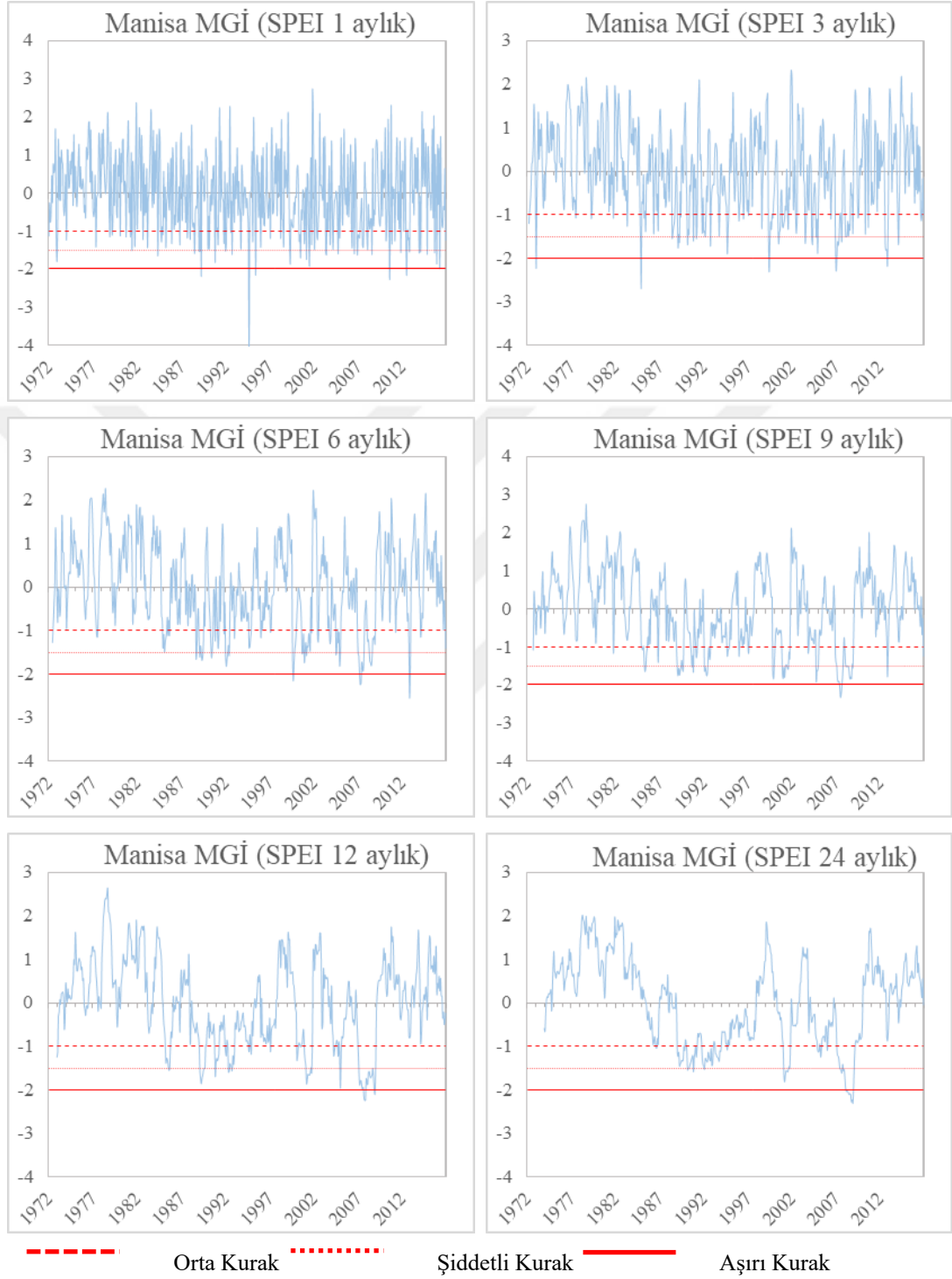
Şekil 3.A.7 Sultanhisar MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri



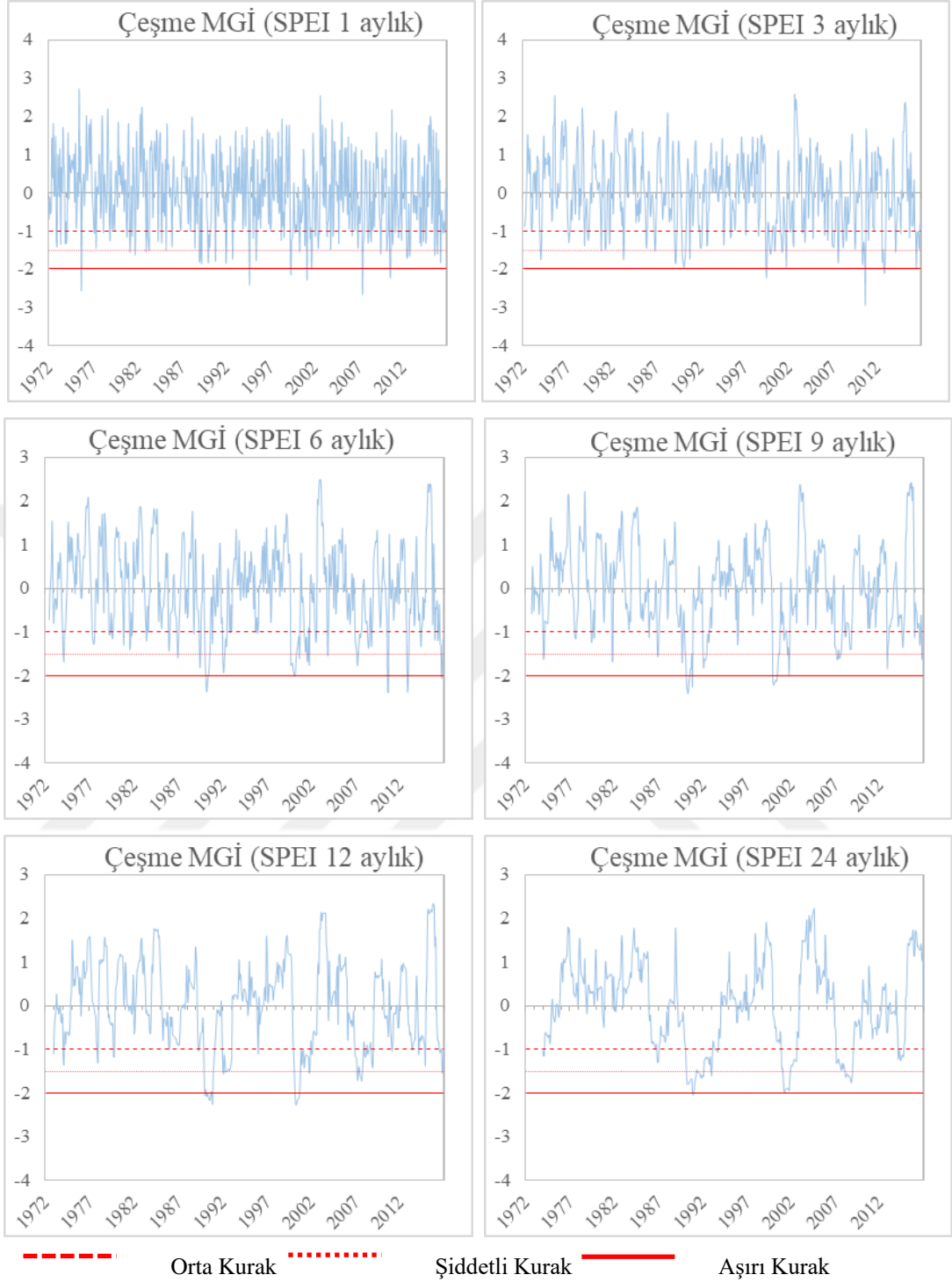


Şekil 3.A.9 Nazilli MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri

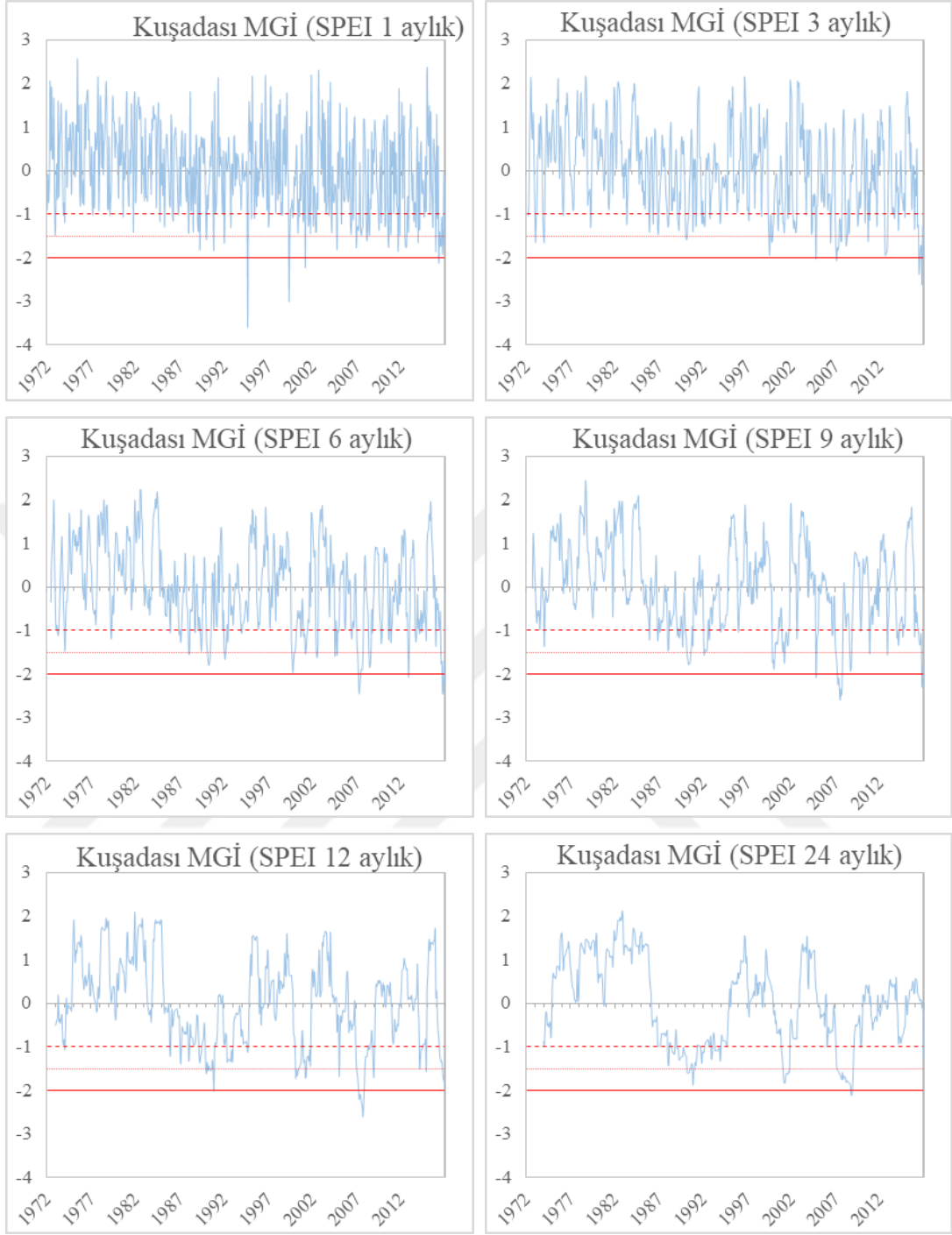
**Ek 3.B: SPEI Zaman Serileri (1-3-6-9-12-24 aylık)**



Şekil 3.B.1 Manisa MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPEI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri

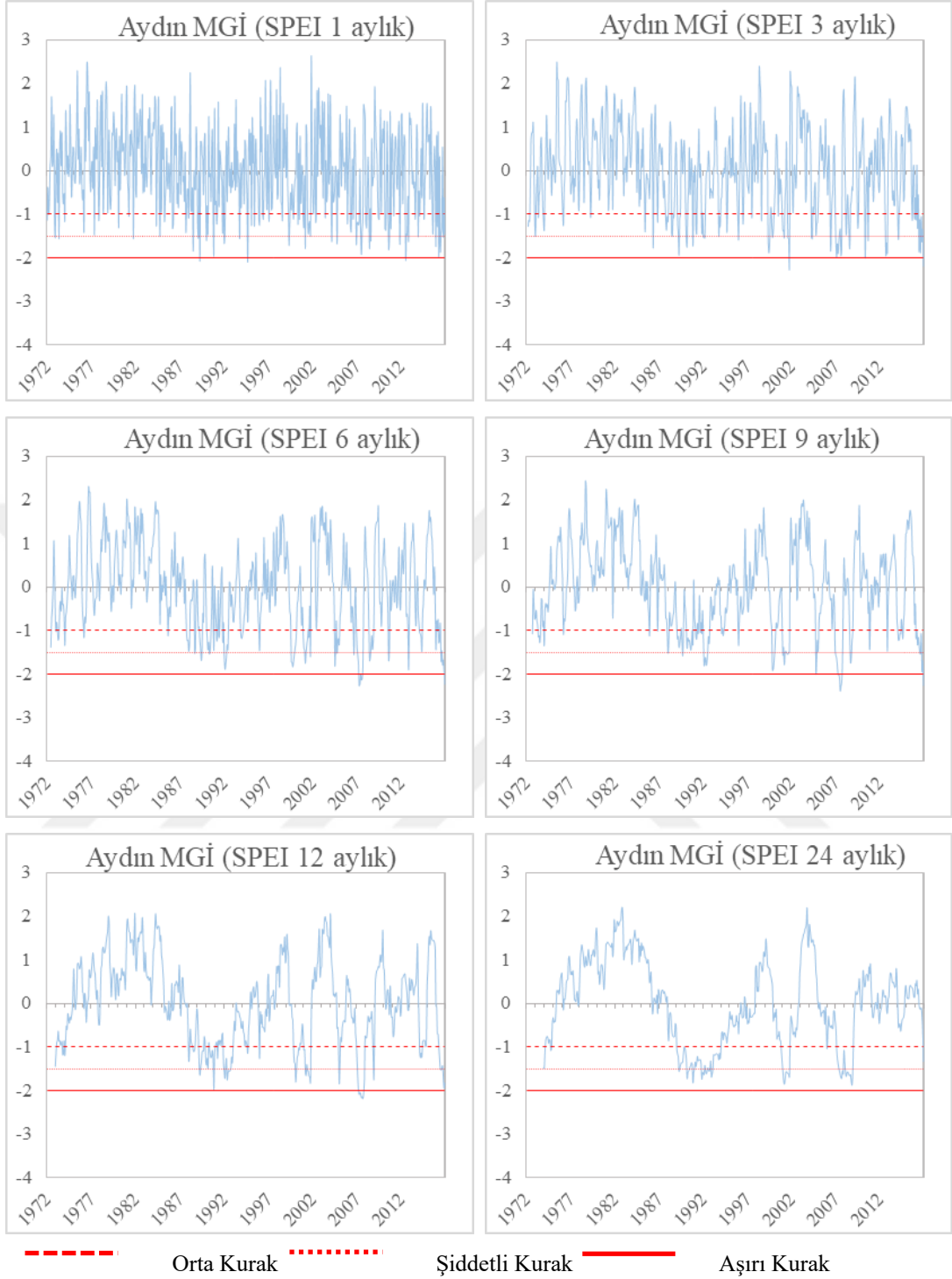


Şekil 3.B.2 Çeşme MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPEI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri

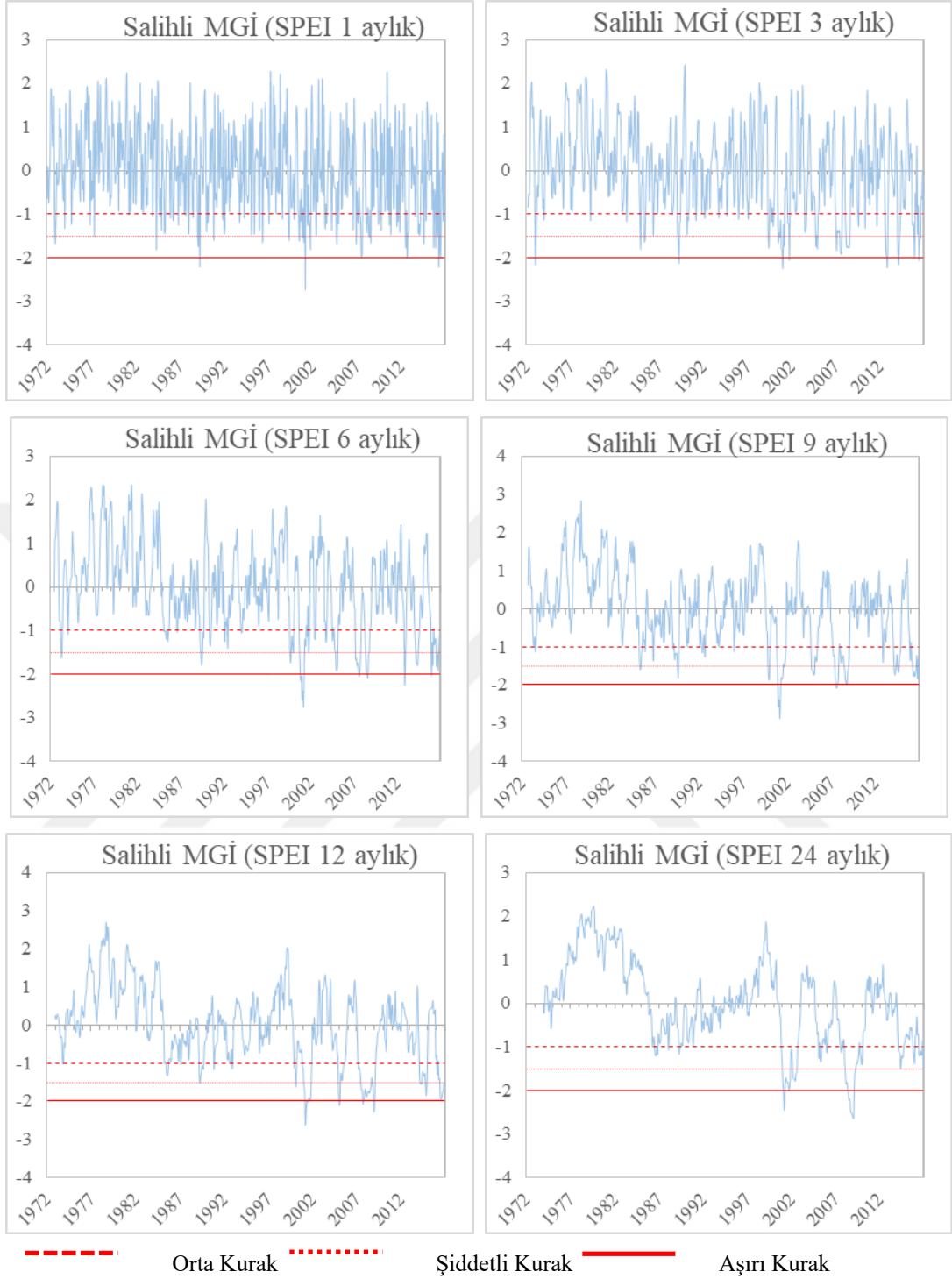


----- Orta Kurak      ..... Şiddetli Kurak      ————— Aşırı Kurak

Şekil 3.B.3 Kuşadası MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPEI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri

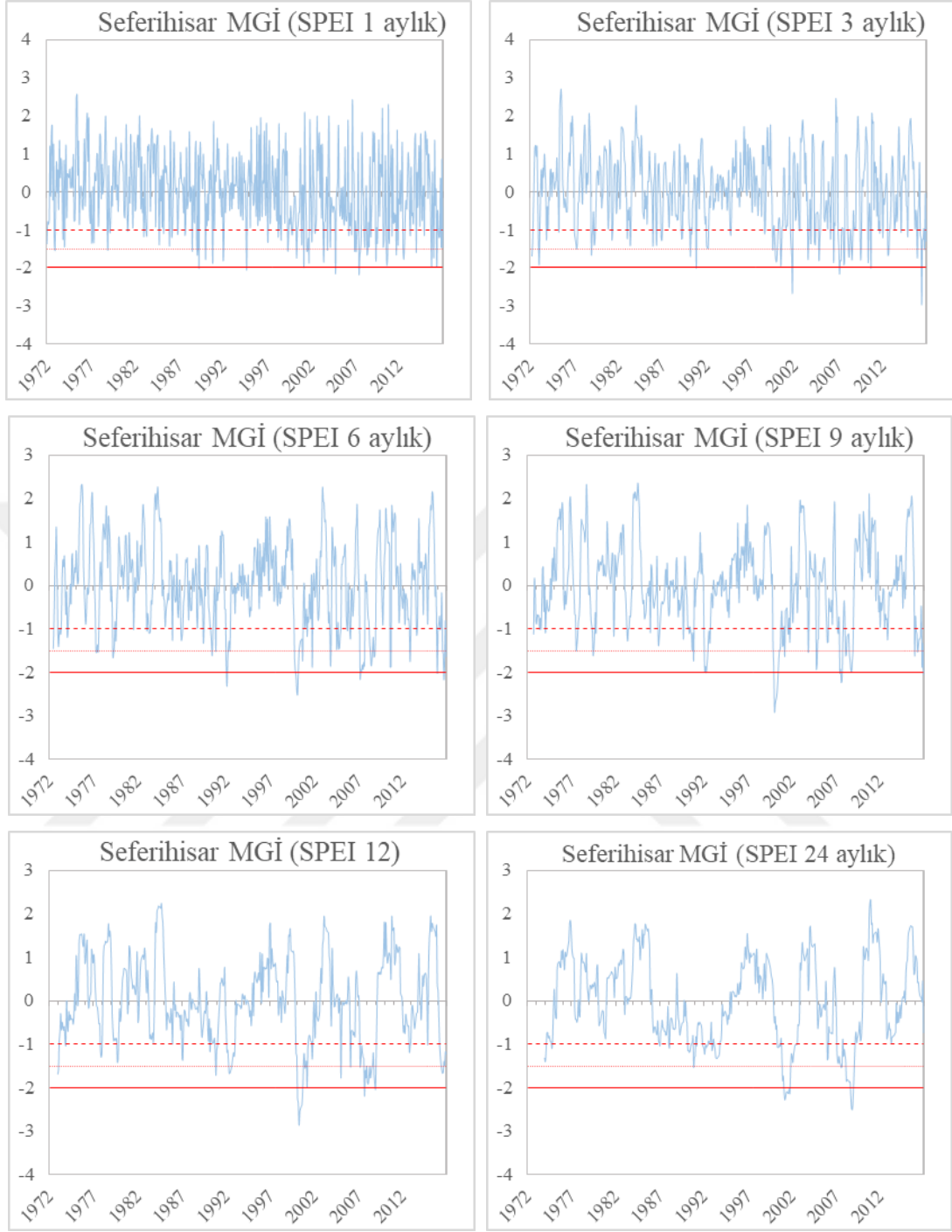


Şekil 3.B.4 Aydın MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPEI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri



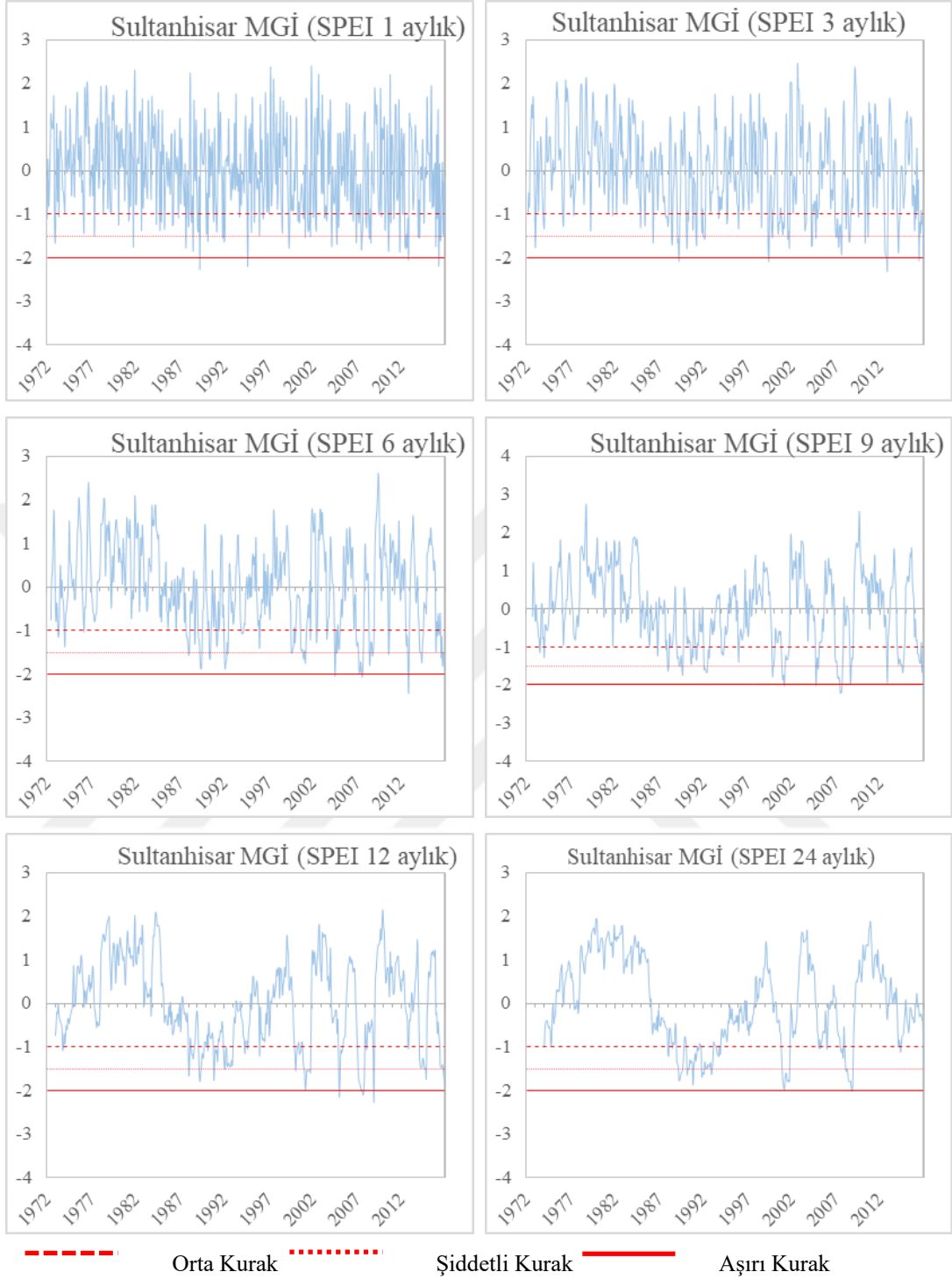
Şekil 3.B.5 Salihli MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPEI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri



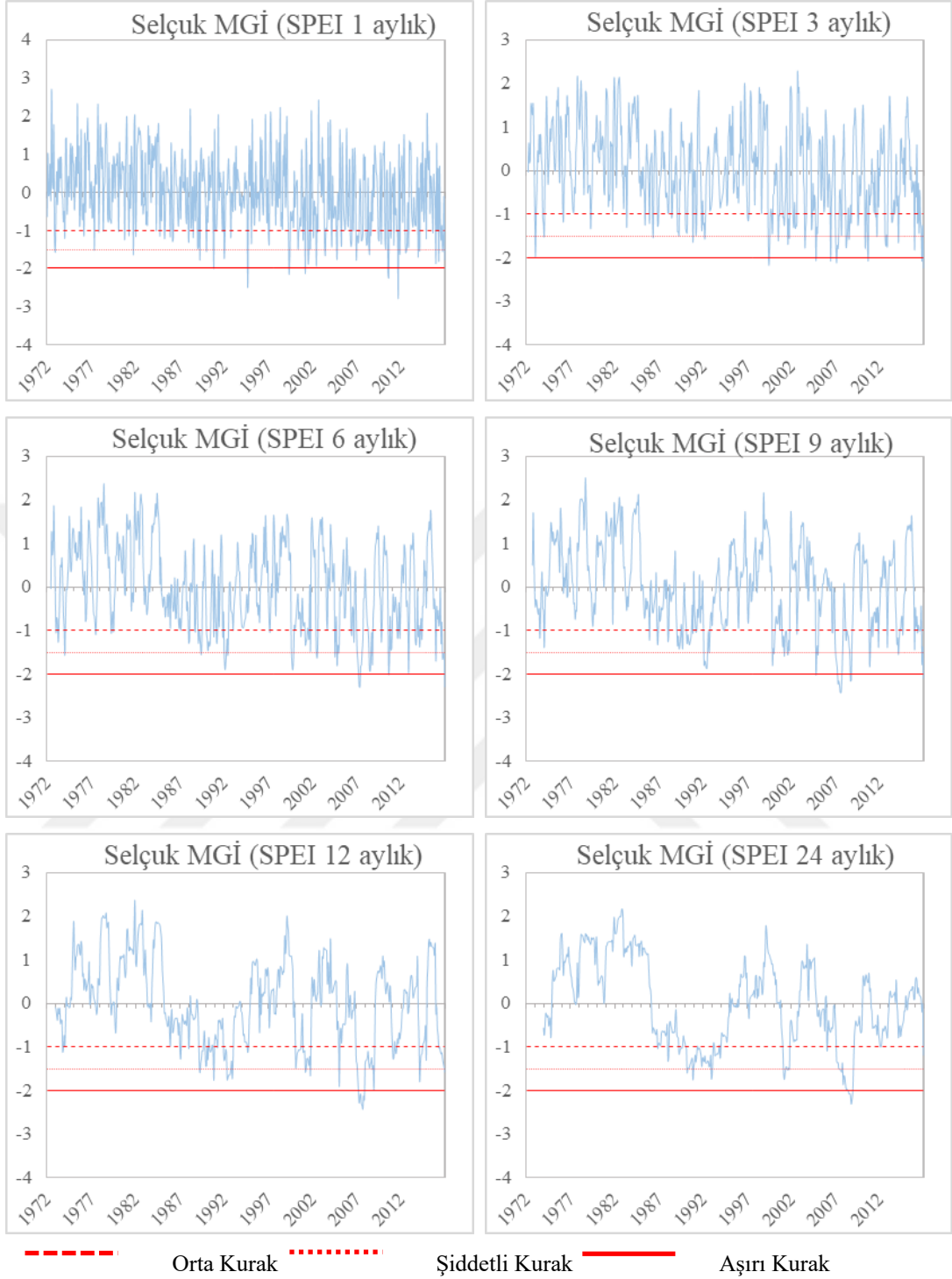


----- Orta Kurak      ..... Şiddetli Kurak      ————— Aşırı Kurak

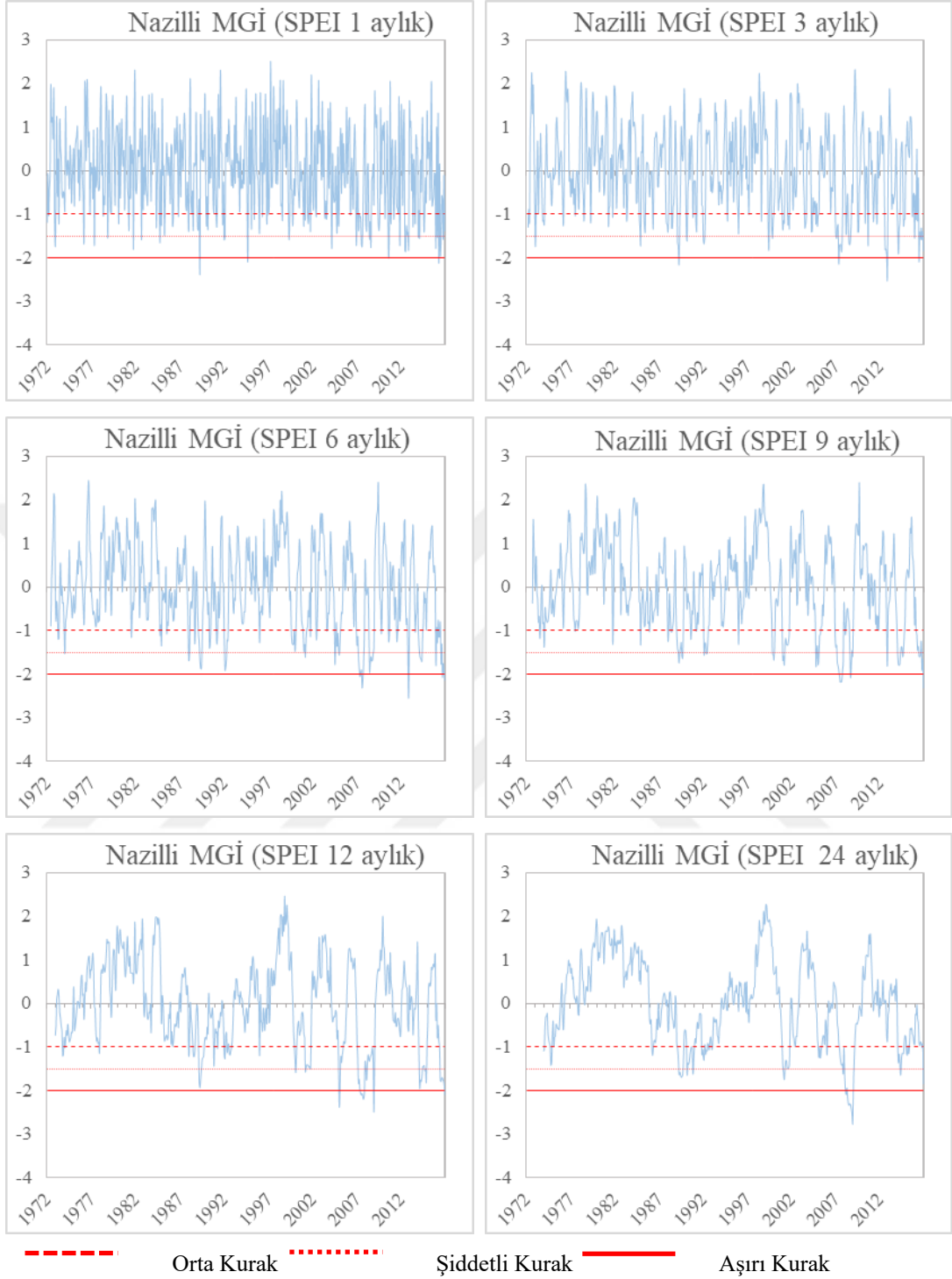
Şekil 3.B.6 Seferihisar MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPEI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri



Şekil 3.B.7 Sultanhisar MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPEI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri

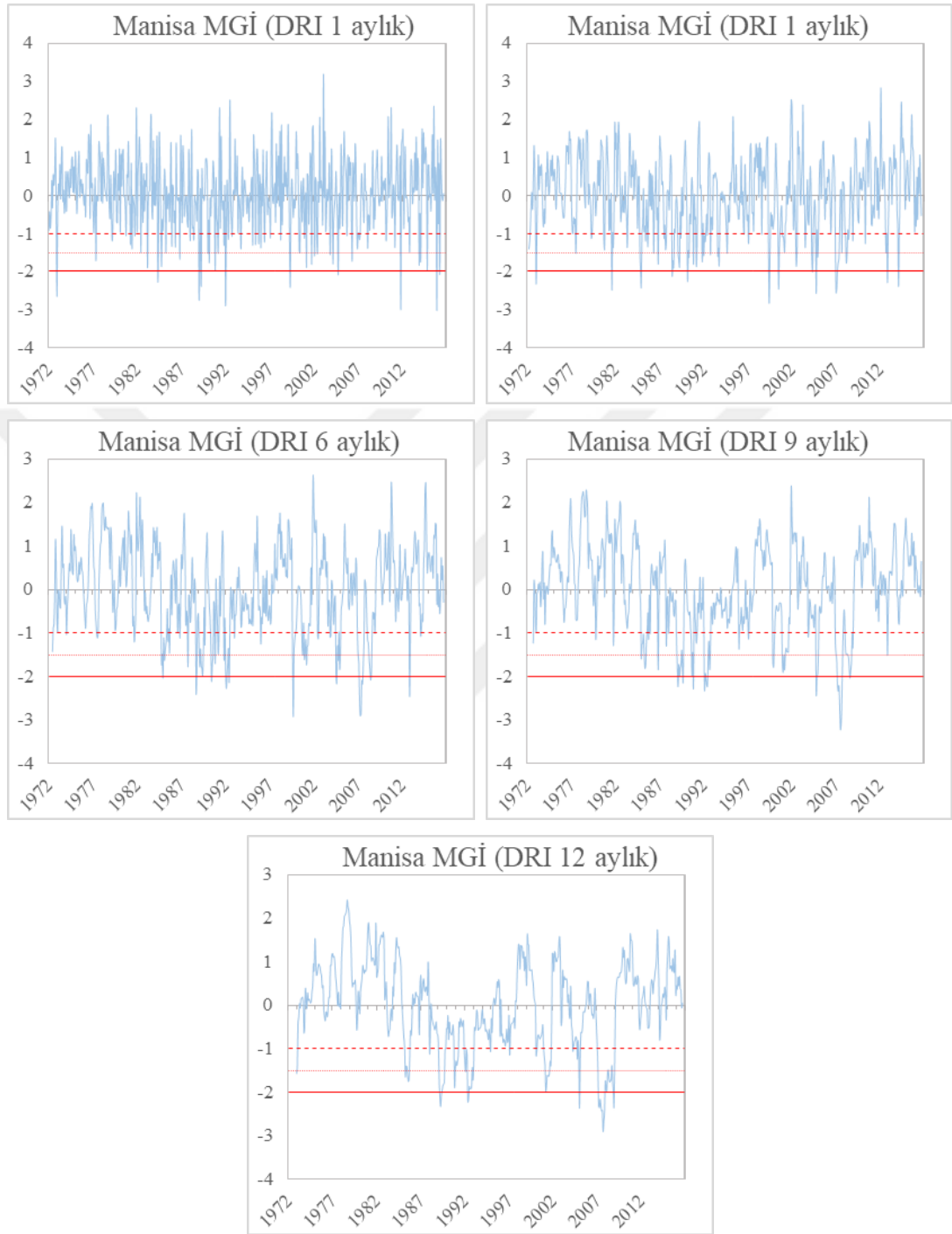


Şekil 3.B.8 Selçuk MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPEI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri



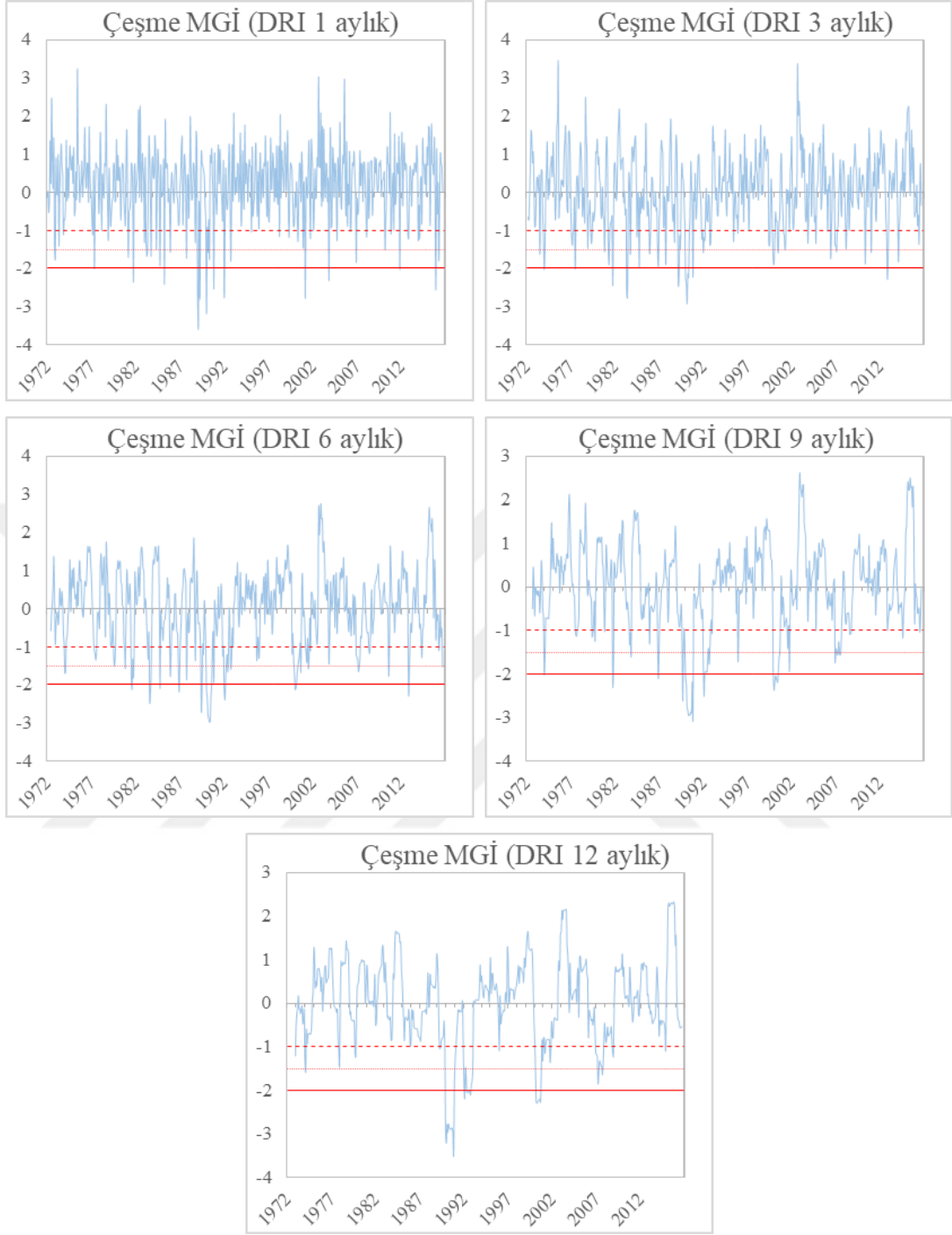
Şekil 3.B.9 Nazilli MGİ 1-3-6-9-12-24 aylık SPEI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri

**Ek 3.C: DRI Zaman Serileri (1-3-6-9-12 aylık)**



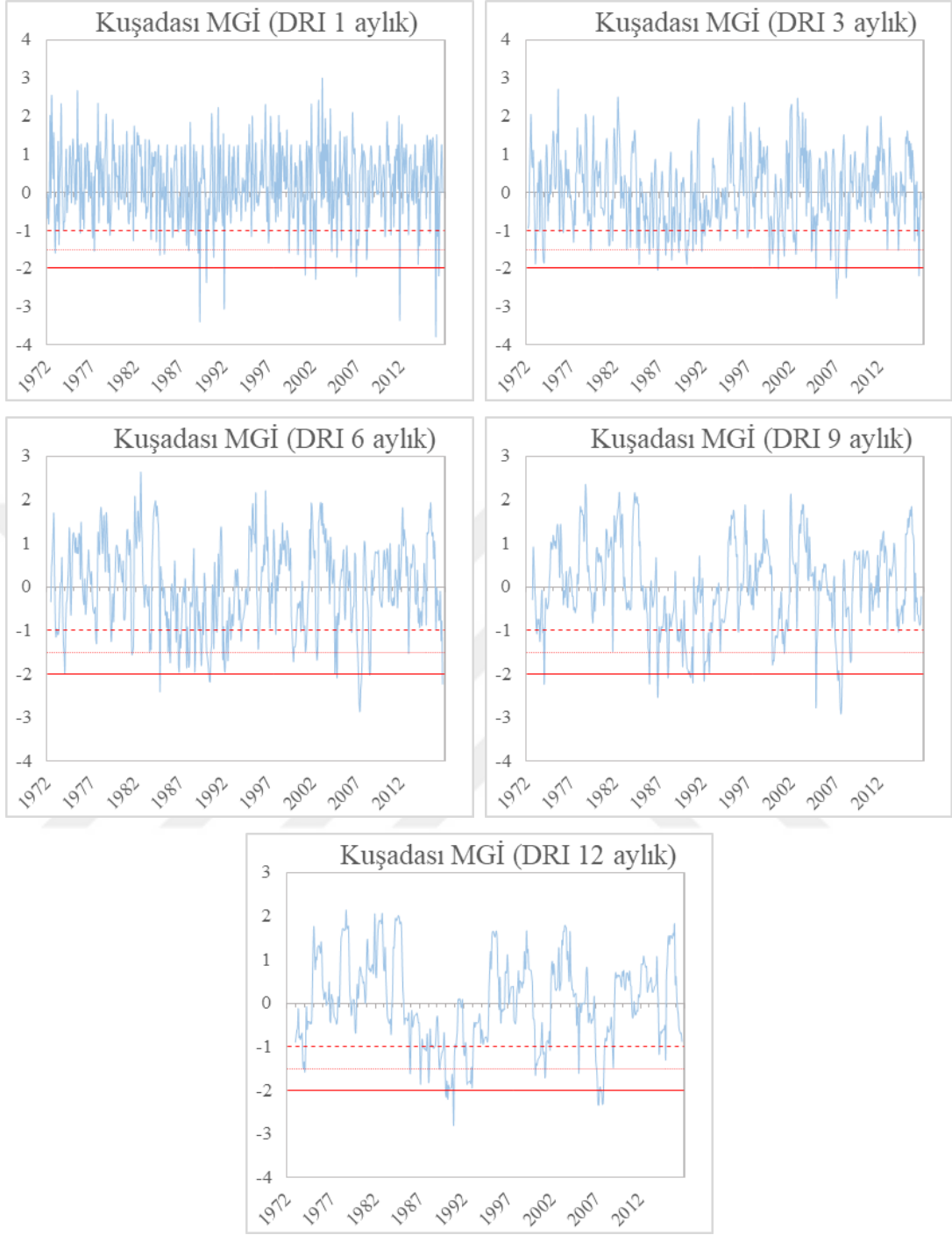
----- Orta Kurak      ..... Şiddetli Kurak      ——— Aşırı Kurak

Şekil 3.C.1 Manisa MGİ 1-3-6-9-12 aylık DRI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri



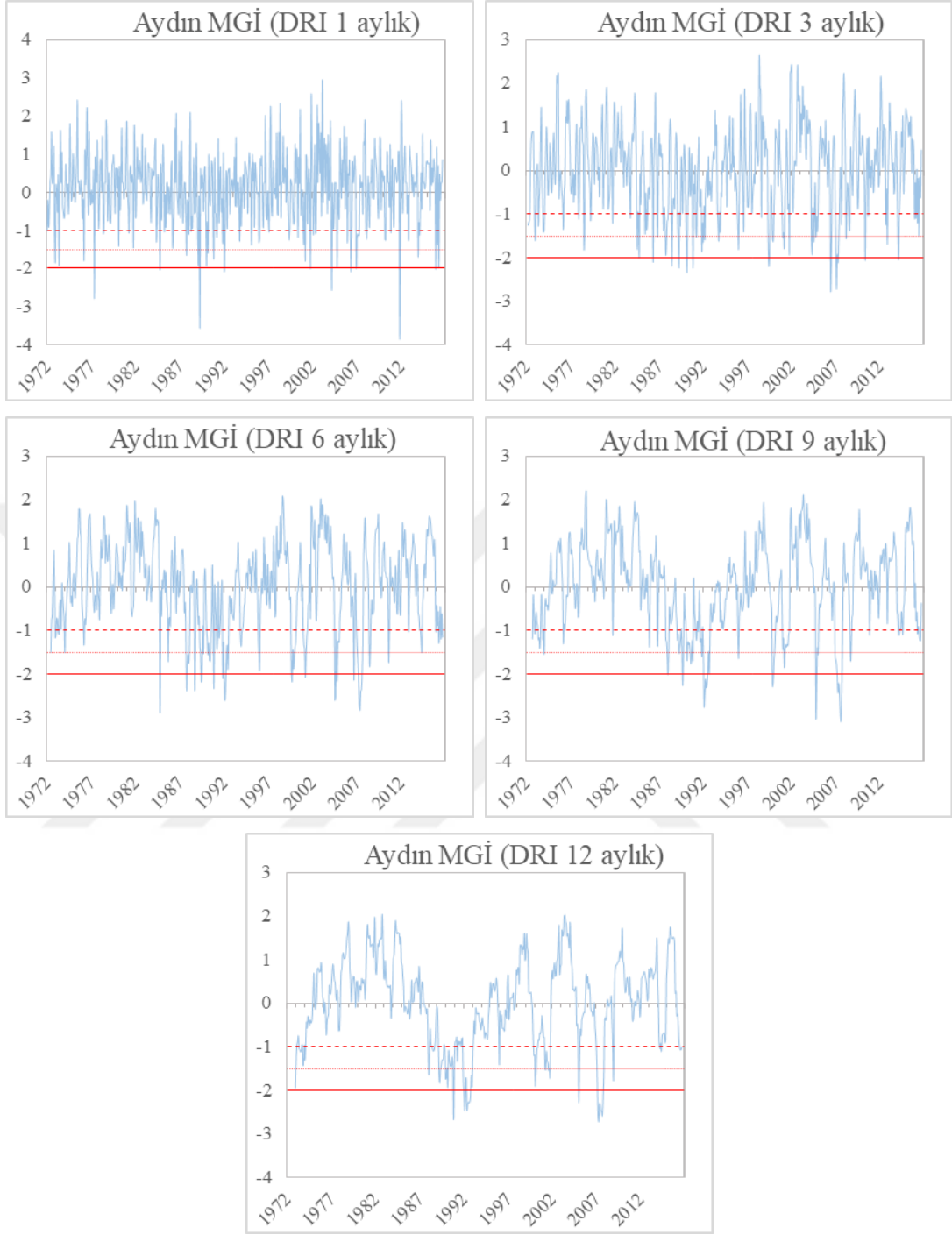
----- Orta Kurak      ..... Şiddetli Kurak      ————— Aşırı Kurak

Şekil 3.C.2 Çeşme MGİ 1-3-6-9-12 aylık DRI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri



----- Orta Kurak      ..... Şiddetli Kurak      ————— Aşırı Kurak

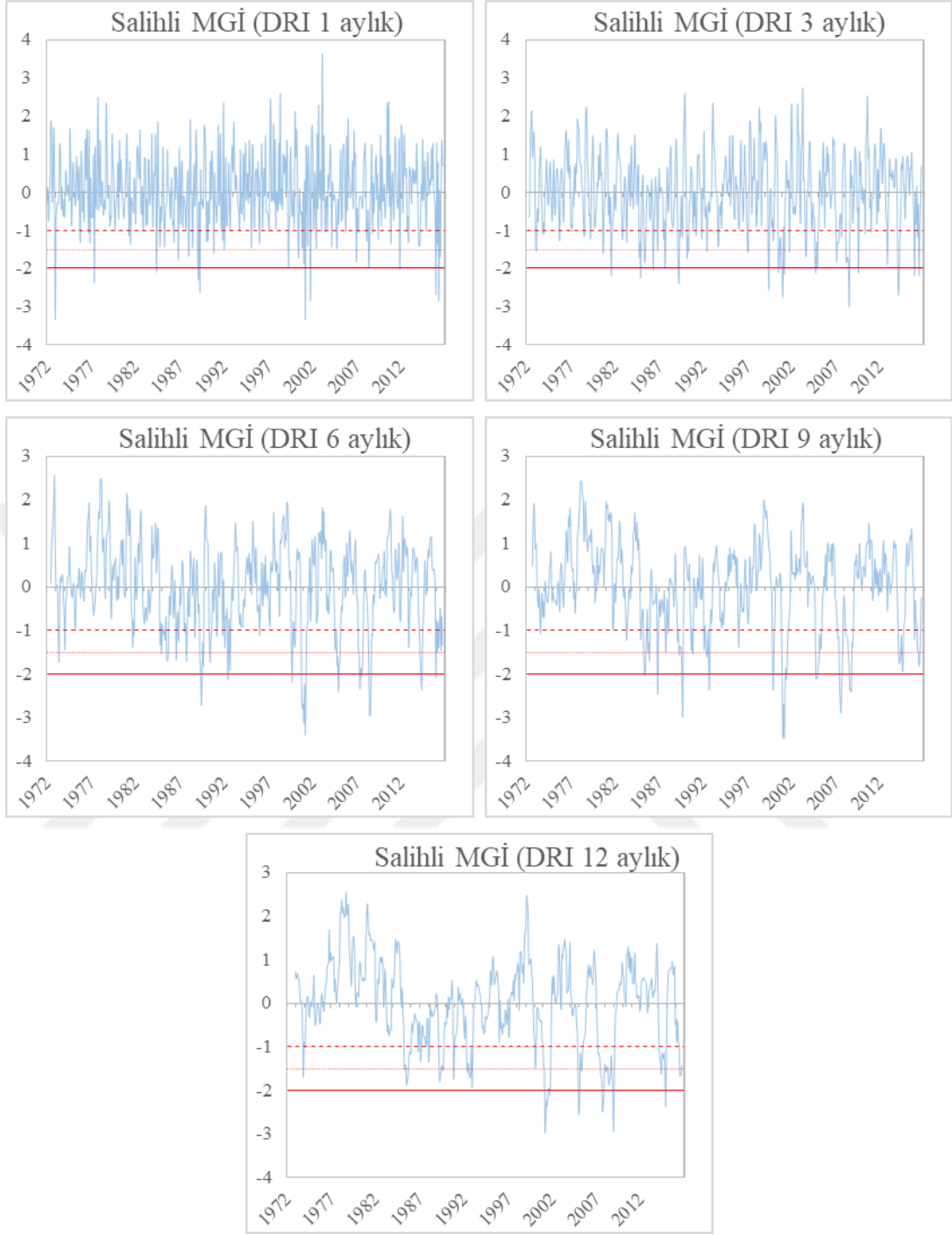
Şekil 3.C.3 Kuşadası MGİ 1-3-6-9-12 aylık DRI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri



----- Orta Kurak      ..... Şiddetli Kurak      ————— Aşırı Kurak

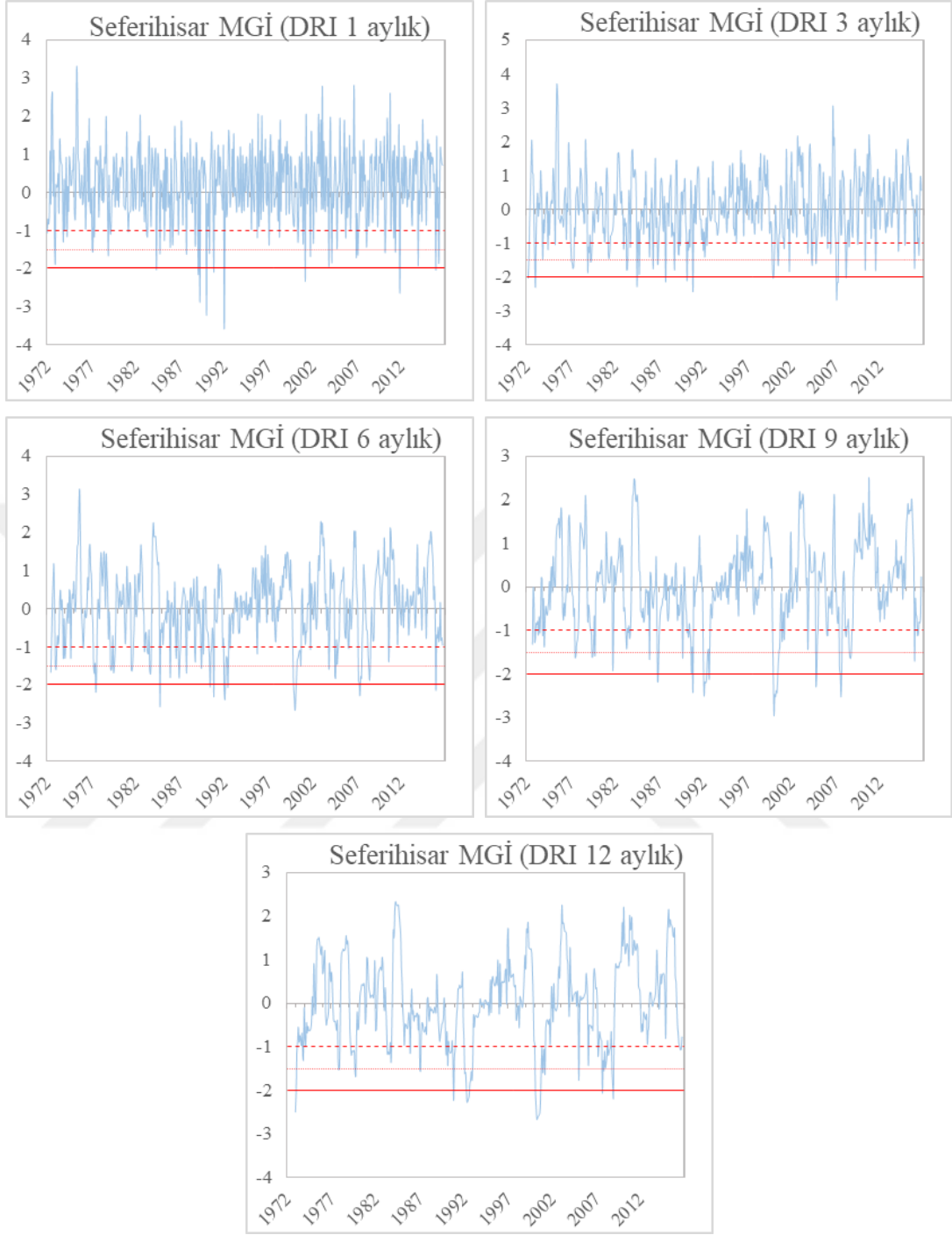
Şekil 3.C.4 Aydın MGİ 1-3-6-9-12 aylık DRI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri





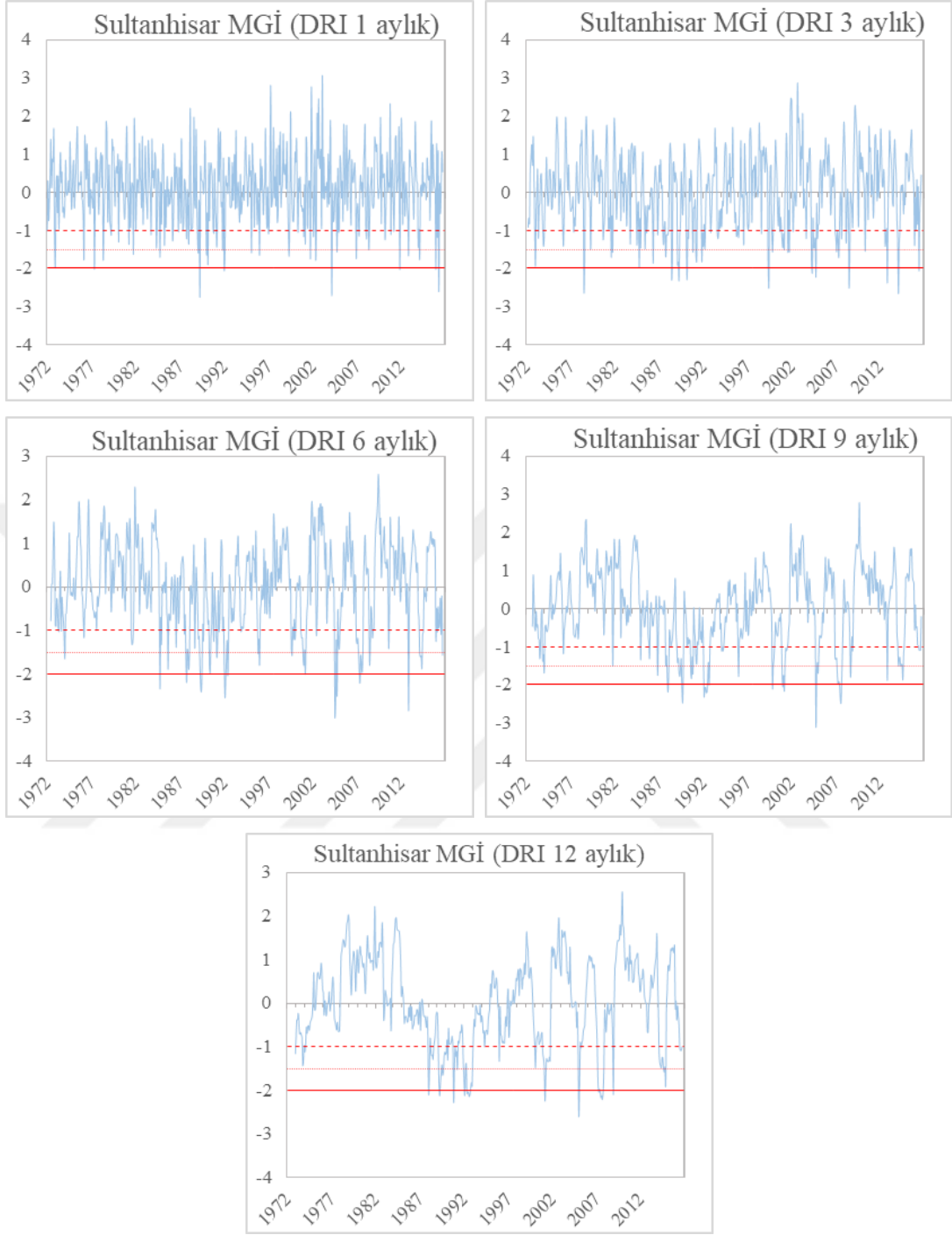
----- Orta Kurak      ..... Şiddetli Kurak      ————— Aşırı Kurak

Şekil 3.C.5 Salihli MGİ 1-3-6-9-12 aylık DRI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri



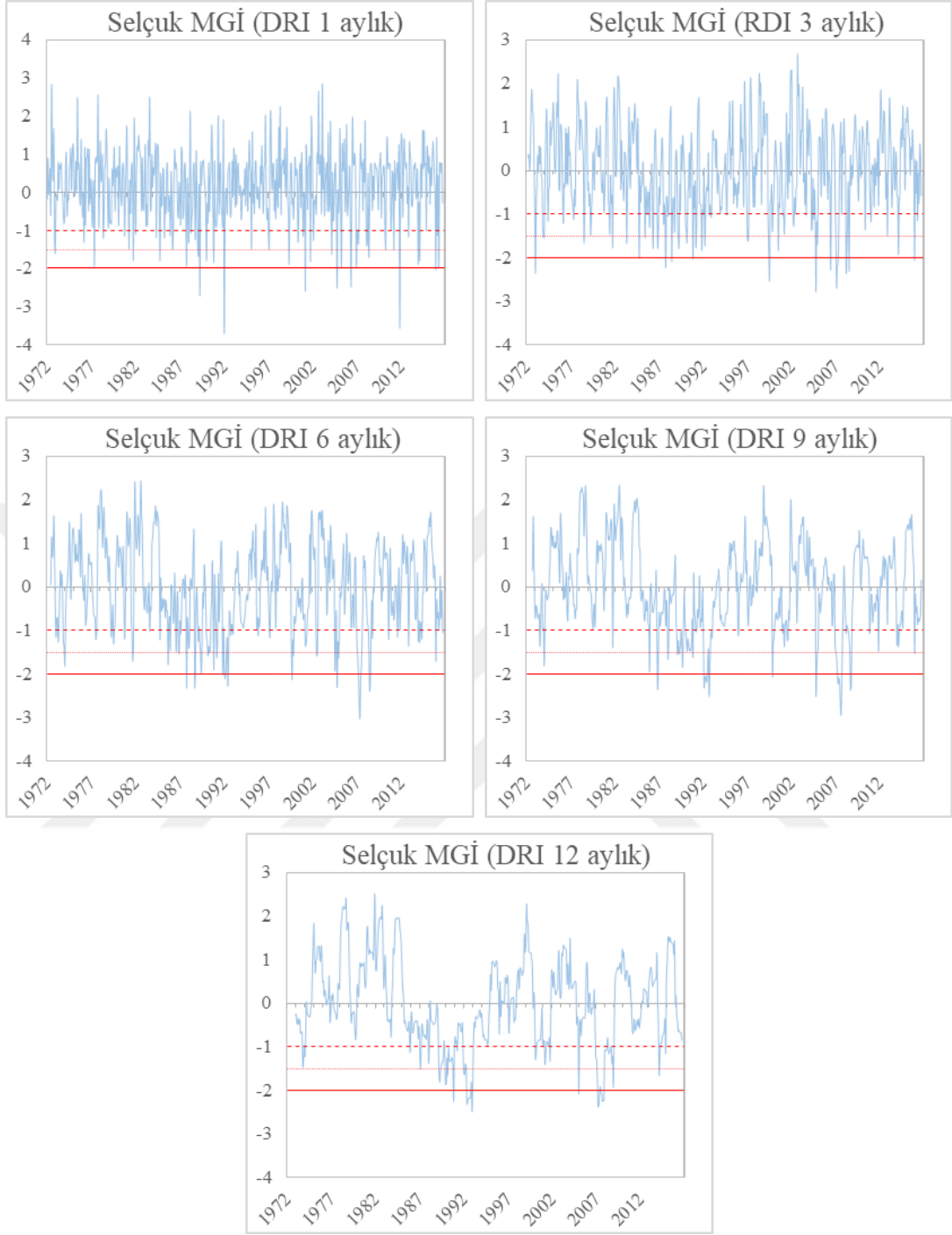
----- Orta Kurak      ..... Şiddetli Kurak      ————— Aşırı Kurak

Şekil 3.C.6 Seferihisar MGİ 1-3-6-9-12 aylık DRI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri



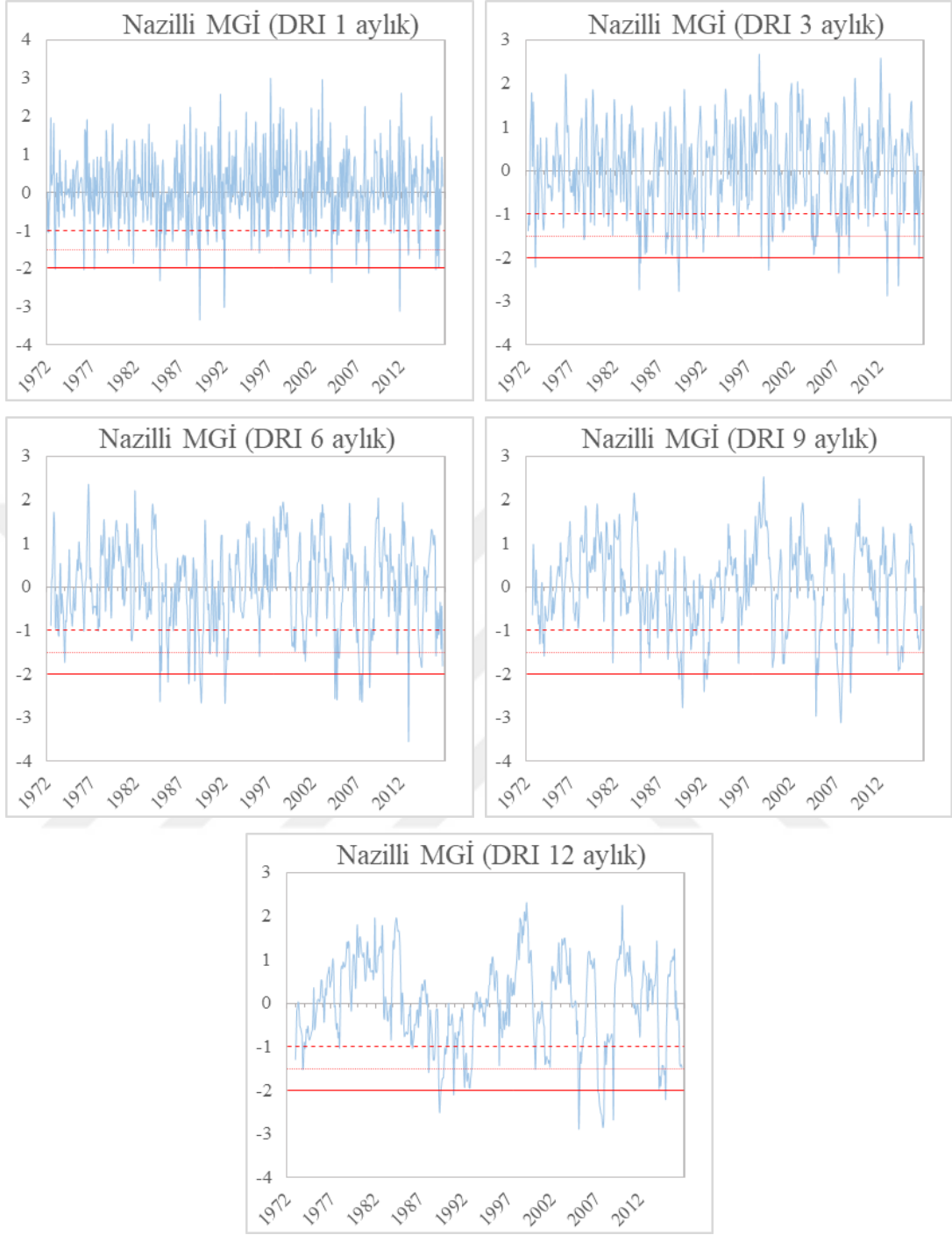
----- Orta Kurak      ..... Şiddetli Kurak      ————— Aşırı Kurak

Şekil 3.C.7 Sultanhisar MGİ 1-3-6-9-12 aylık DRI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri



----- Orta Kurak      ..... Şiddetli Kurak      ————— Aşırı Kurak

Şekil 3.C.8 Selçuk MGİ 1-3-6-9-12 aylık DRI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri

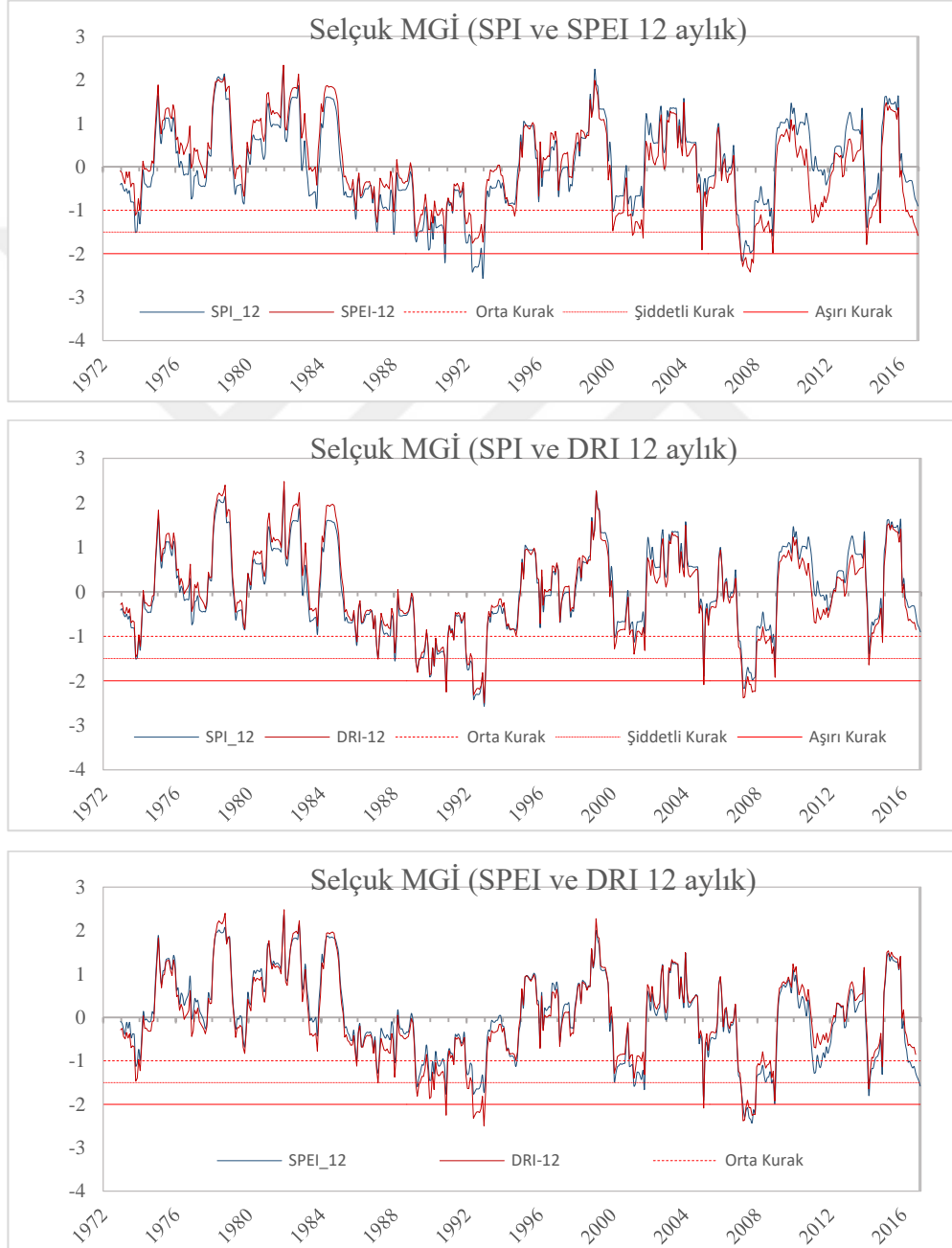


----- Orta Kurak      ..... Şiddetli Kurak      ————— Aşırı Kurak

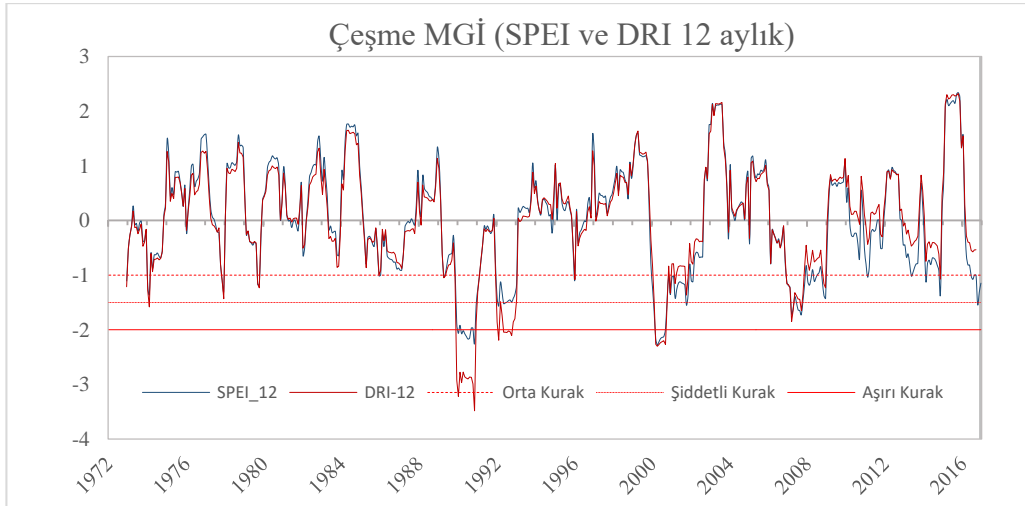
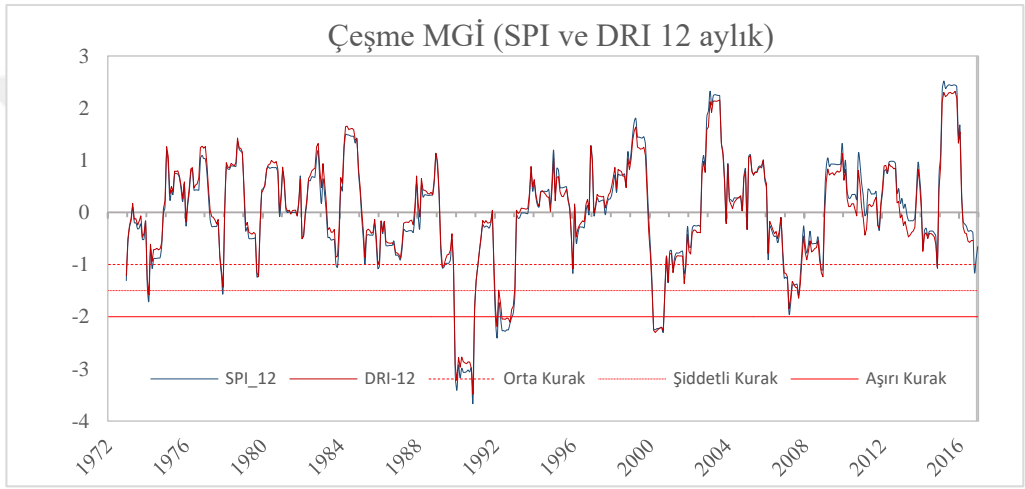
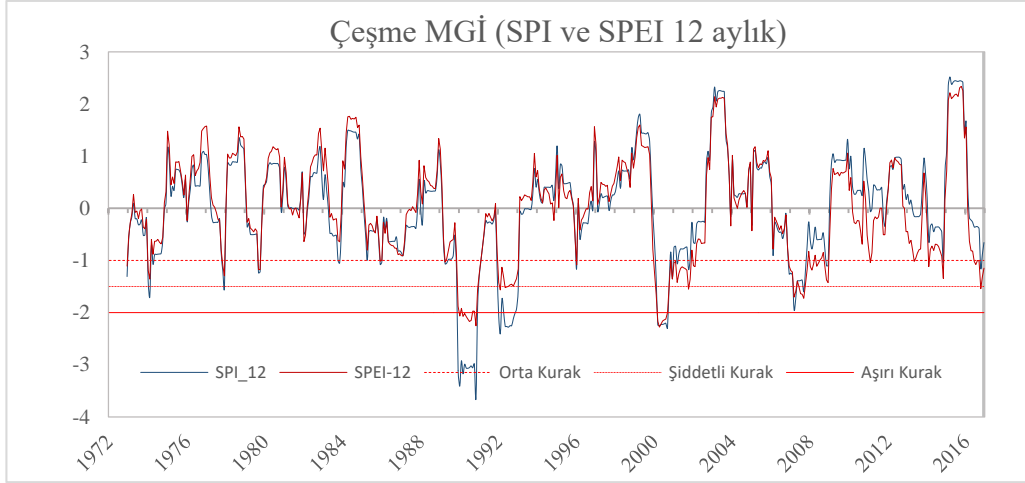
Şekil 3.C.9 Nazilli MGİ 1-3-6-9-12 aylık DRI değerleri zamana bağlı değişim grafikleri

## EK 4: Meteorolojik Kuraklık İndislerinin Değerlendirilme ve Karşılaştırma Grafikleri

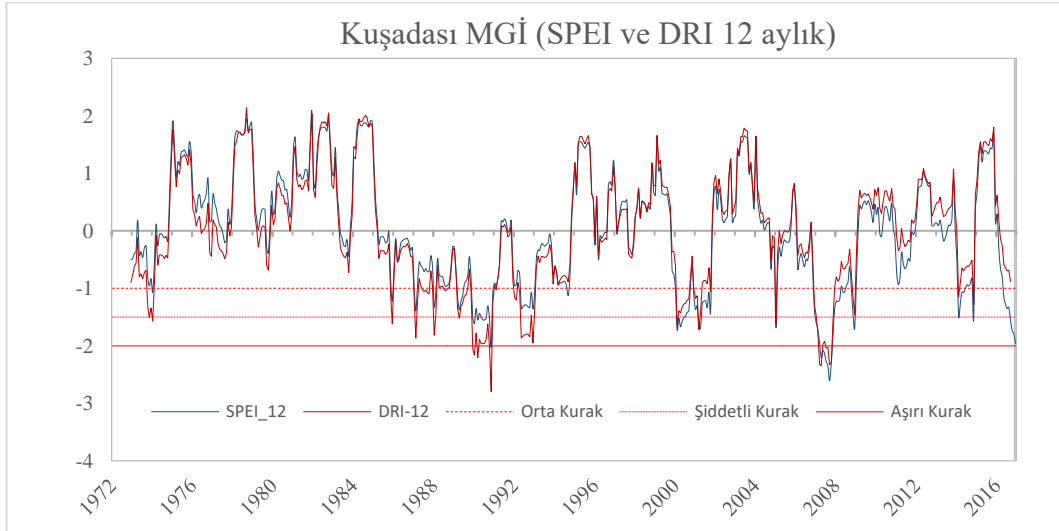
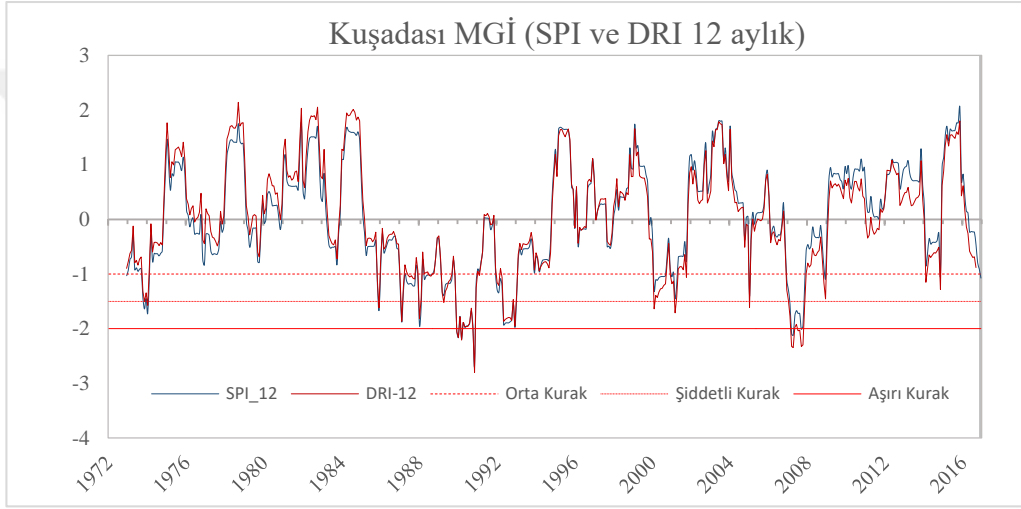
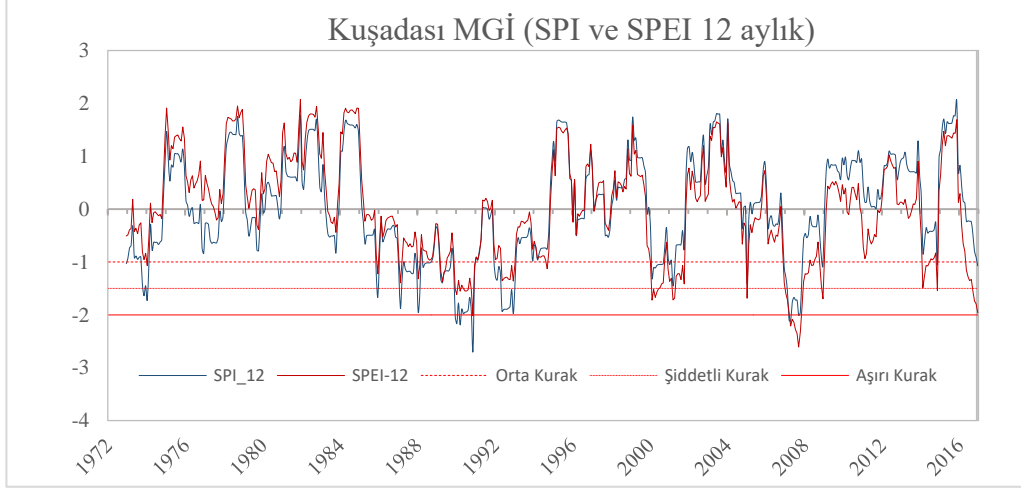
*Ek 4.A: 12 aylık SPI, SPEI ve DRI indislerinin zamana bağlı değişim grafiklerinin karşılaştırılması (1972-2016)*



Şekil 4.A.1 Selçuk MGİ SPI-SPEI-DRI zaman serilerinin kıyaslama grafikleri

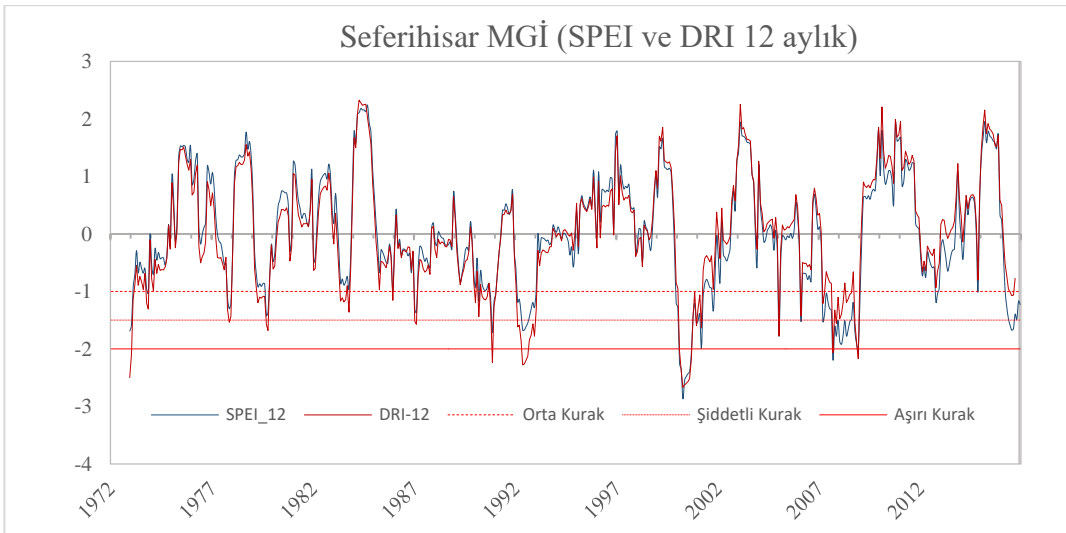
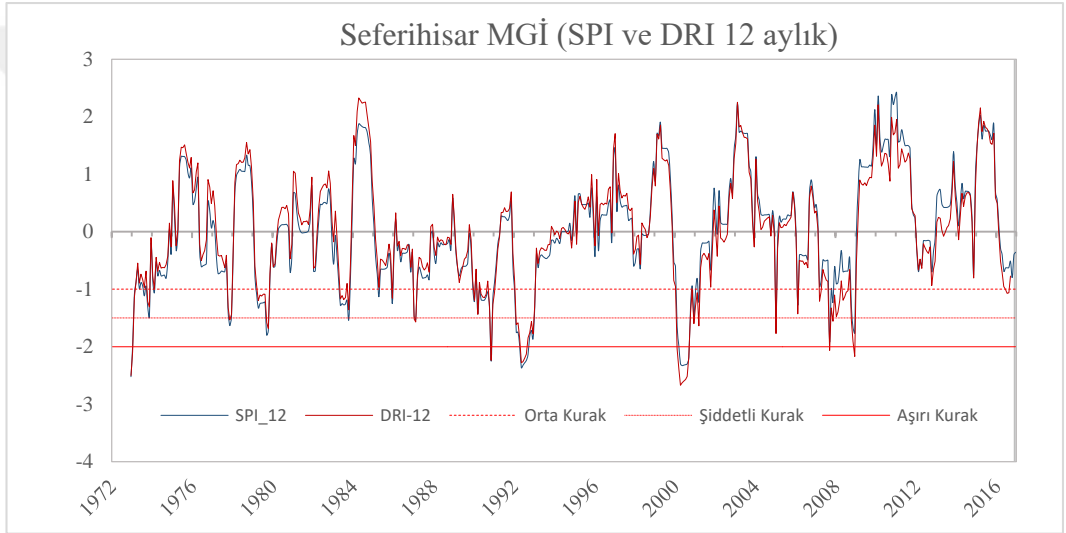
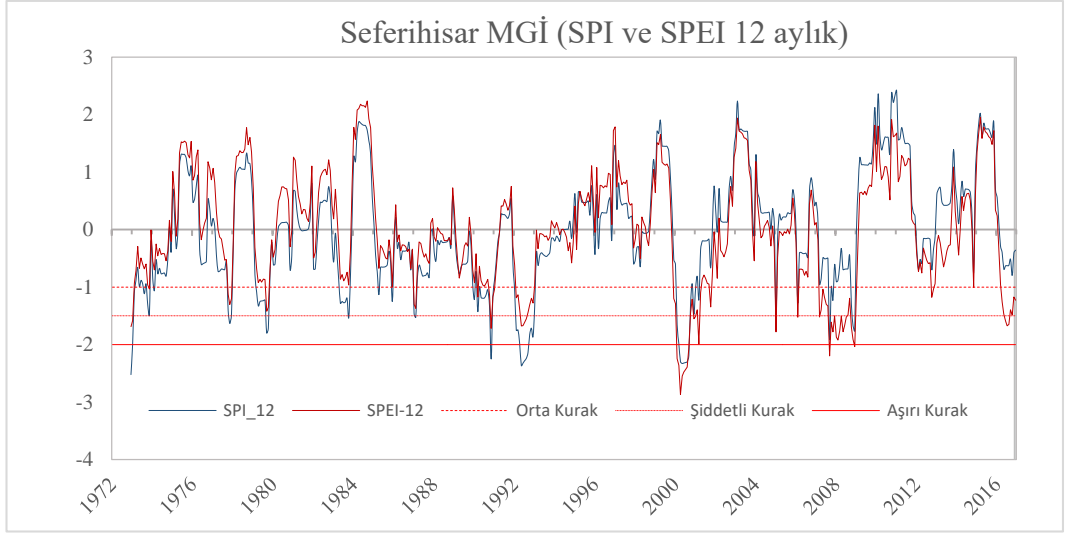


Şekil 4.A.2 Çeşme MGİ SPI-SPEI-DRI zaman serilerinin kıyaslama grafikleri



Şekil 4.A.3 Kuşadası MGİ SPI-SPEI-DRI zaman serilerinin kıyaslama grafikleri





Şekil 4.A.4 Seferihisar MGİ SPI-SPEI-DRI zaman serilerinin kıyaslama grafikleri

***EK 4.B: Seçilen MGİ'lerde hesaplanan SPEI ve DRI değerleri için tespit edilen kurak tarihler ve özellikleri tablosu***

Tablo 4.B.1 Seçilen MGİ'lerde hesaplanan SPEI değerleri için tespit edilen kurak tarihler ve özellikleri tablosu

MGİ	kuraklık başlangıç tarihi	kuraklık bitiş tarihi	kuraklık süresi (ay)	en düşük SPEI değeri	kuraklık şiddeti
İZMİR	Ara-1972	Oca-1973	2	-1.76	-3.15
	Oca-1974	Ağu-1974	8	-1.26	-7.59
	Nis-1985	Eyl-1985	6	-1.29	-6.78
	Şub-1989	Eyl-1989	8	-1.76	-10.78
	Haz-1990	Nis-1991	11	-1.64	-12.54
	Ara-1991	Oca-1993	14	-1.81	-21.07
	Şub-2000	Eki-2001	21	-1.73	-28.55
	Mar-2004	Oca-2005	11	-1.87	-14.11
	Mar-2007	Oca-2009	23	-2.29	-38.81
ÇEŞME	Oca-1974	Şub-1974	2	-1.36	-2.39
	Kas-1977	Ara-1977	2	-1.29	-2.39
	Eyl-1979	Eki-1979	2	-1.17	-2.35
	Kas-1989	Şub-1991	16	-2.25	-29.40
	Oca-1992	Oca-1993	13	-1.56	-18.30
	Oca-2000	Şub-2002	26	-2.28	-38.25
	Ara-2006	Ara-2008	25	-1.72	-31.35
	Haz-2016	Ara-2016	7	-1.54	-8.10
ÖDEMiŞ	Ağu-1973	Oca-1974	6	-1.46	-6.37
	Nis-1985	Eyl-1985	6	-1.21	-6.14
	Mar-1989	Mar-1990	13	-1.68	-16.17
	Ara-1991	Ara-1992	13	-1.69	-17.62
	May-1994	Kas-1994	7	-1.21	-7.54
	Ara-1999	Eki-2001	23	-1.89	-31.10
	Ara-2004	Eki-2005	11	-2.22	-14.92
	Şub-2007	Haz-2008	17	-2.27	-25.75
	Kas-2008	Ara-2008	2	-2.19	-3.61
	Şub-2014	Kas-2014	10	-1.75	-14.01
	Şub-2016	Ara-2016	11	-1.15	-10.85
SELÇUK	Eki-1973	Oca-1974	4	-1.12	-3.90
	Oca-1987	Şub-1987	2	-1.28	-2.35
	Mar-1989	Kas-1990	21	-1.77	-24.39
	Ara-1991	Oca-1993	14	-1.76	-20.14
	Şub-2000	Eki-2001	21	-1.64	-24.69
	Ara-2006	Oca-2009	26	-2.43	-43.50
	Oca-2011	Tem-2011	7	-1.28	-7.61
	Şub-2014	Kas-2014	10	-1.79	-10.88
	Nis-2016	Ara-2016	9	-1.58	-11.12
SEFERİHİSAR	Ara-1972	Oca-1973	3	-1.69	-4.20
	Eki-1977	Ara-1977	3	-1.30	-3.63
	Eyl-1979	Eki-1979	2	-1.42	-2.77
	Oca-1987	Şub-1987	2	-1.37	-2.67
	Eki-1990	Oca-1991	4	-1.72	-5.06
	Oca-1992	Oca-1993	12	-1.68	-16.39
	Ara-1999	Eki-2001	23	-2.87	-37.82
	Mar-2007	Oca-2009	23	-2.20	-36.32
	Eki-2012	Ara-2012	3	-1.18	-3.16
	Mar-2016	Ara-2016	10	-1.67	-13.88

Tablo 4.B.2 Seçilen MGİ'lerde hesaplanan DRI değerleri için tespit edilen kurak tarihler ve özellikleri tablosu

MGİ	kuraklık başlangıç tarihi	kuraklık bitiş tarihi	kuraklık süresi (ay)	en düşük DRI değeri	kuraklık şiddeti
İZMİR	Ara-1972	Oca-1973	2	-2.30	-3.94
	Oca-1974	Ağu-1974	8	-1.47	-8.29
	Kas-1977	Ara-1977	2	-1.27	-2.27
	May-1983	Eki-1983	6	-1.24	-6.32
	Nis-1985	Eyl-1985	6	-1.45	-7.65
	Şub-1989	Eyl-1989	8	-2.08	-12.14
	Haz-1990	Nis-1991	11	-1.79	-13.06
	Ara-1991	Oca-1993	14	-2.72	-29.06
	Şub-2000	Eyl-2000	8	-1.55	-10.87
	Oca-2001	Eki-2001	10	-1.61	-11.61
	Nis-2004	Oca-2005	10	-2.21	-12.98
	Mar-2007	Oca-2009	23	-2.76	-37.59
ÇEŞME	Oca-1974	Şub-1974	2	-1.58	-2.86
	Kas-1977	Ara-1977	2	-1.43	-2.53
	Eyl-1979	Eki-1979	2	-1.23	-2.38
	Nis-1989	May-1989	2	-1.05	-2.06
	Kas-1989	Şub-1991	16	-3.48	-40.77
	Ara-1991	Oca-1993	14	-2.19	-25.66
	Şub-2000	Nis-2001	15	-2.30	-24.62
	Ara-2006	Eki-2007	11	-1.85	-15.62
ÖDEMiŞ	Eki-2008	Ara-2008	3	-1.23	-3.31
	Ara-1972	Oca-1974	14	-1.89	-16.34
	Nis-1985	Eyl-1985	6	-1.27	-6.86
	Oca-1988	Şub-1988	2	-1.35	-2.38
	Şub-1989	Mar-1990	14	-1.80	-19.01
	Ara-1991	Oca-1993	14	-2.49	-25.92
	May-1994	Haz-1994	2	-1.14	-2.28
	Ara-1999	Nis-2000	5	-1.99	-6.76
	Oca-2001	Eki-2001	10	-1.87	-16.70
	Ara-2004	Eyl-2005	10	-2.61	-13.88
	Şub-2007	Şub-2008	13	-2.56	-21.07
SELÇUK	Kas-2008	Ara-2008	2	-1.86	-3.07
	Şub-2014	Kas-2014	10	-1.99	-14.13
	Eki-1973	Oca-1974	4	-1.47	-5.06
	Oca-1987	Mar-1987	3	-1.51	-3.63
	Mar-1989	Nis-1991	26	-2.25	-34.94
	Ara-1991	Oca-1993	14	-2.50	-26.76
	Şub-2000	Nis-2000	3	-1.28	-3.33
	Ara-2000	Eki-2001	11	-1.40	-11.06
SEFERİHİSAR	Ara-2006	Ara-2008	25	-2.38	-38.83
	Şub-2014	May-2014	4	-1.64	-4.72
	Ara-1972	Şub-1973	3	-2.50	-5.73
	Ağu-1973	Kas-1973	4	-1.31	-4.18
	Eki-1977	Ara-1977	3	-1.54	-4.30
	Mar-1979	Eki-1979	8	-1.68	-9.79
	May-1983	Eki-1983	6	-1.36	-6.87
	Oca-1987	Şub-1987	2	-1.57	-3.09
	Oca-1990	Oca-1991	13	-2.24	-15.34
	Şub-1992	Oca-1993	12	-2.28	-22.17
	Oca-2000	Mar-2001	15	-2.67	-28.55
	Mar-2007	Nis-2007	2	-1.21	-2.24
Eyl-2007	Ara-2008	16	-2.17	-21.66	
May-2016	Ağu-2016	4	-1.07	-4.10	

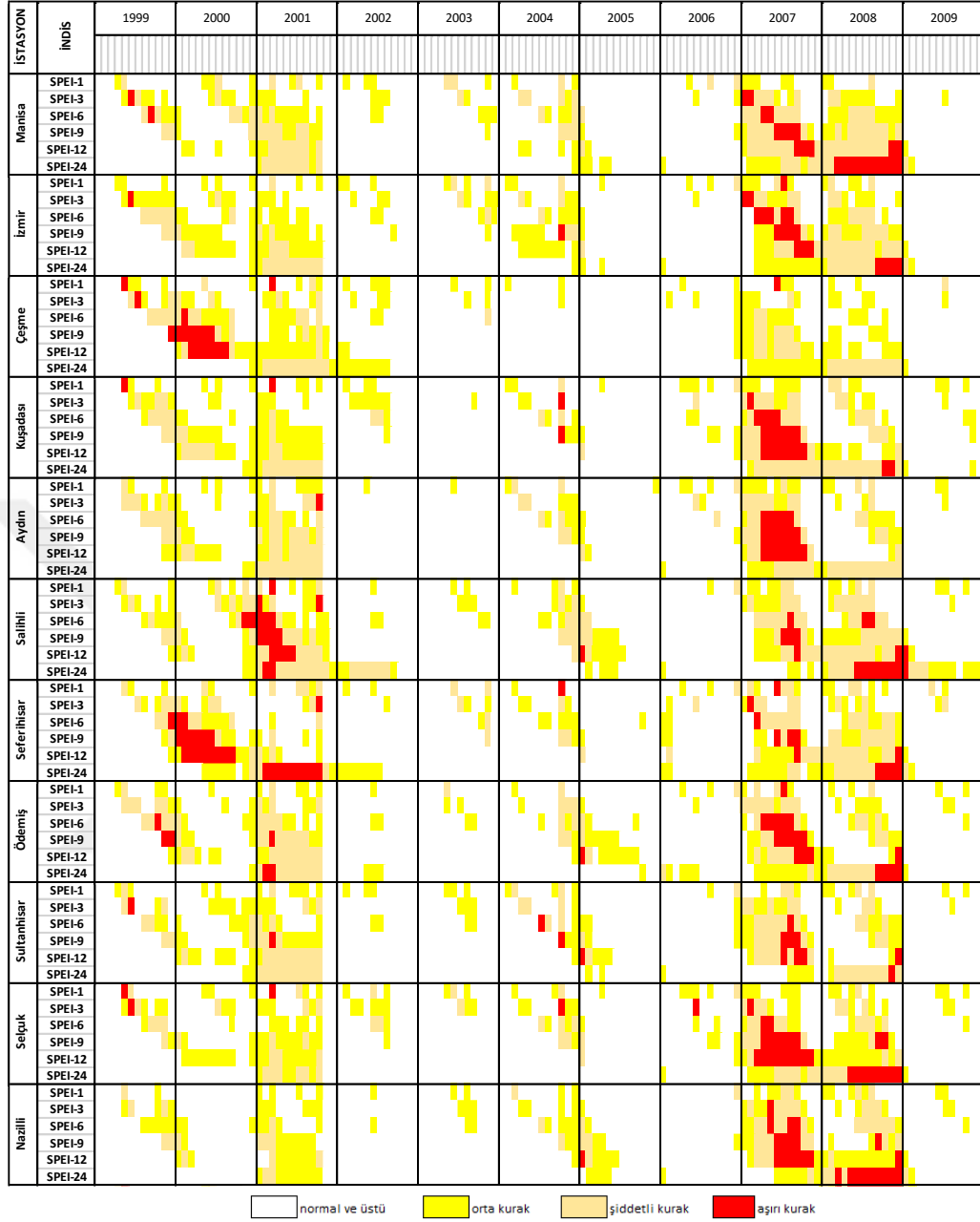
**EK 4C: Kuraklık sınıflandırmasına göre renklendirilmiş kurak tarih tabloları (SPEI –DRI)**

Tablo 4.C.1 (SPEI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (1988-1994)

İSTASYON	İNDİS	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Manisa	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
İzmir	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Çeşme	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Kuşadası	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Aydın	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Sarılihi	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Seferihisar	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Ödemiş	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Sultanhisar	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Selçuk	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Nazilli	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							

normal ve üstü orta kurak şiddetli kurak aşırı kurak

Tablo 4.C.2 (SPEI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (1999-2009)



Tablo 4.C.3 (SPEI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (2010-2016)

İSTASYON	İNDİS	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Manisa	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
İzmir	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Çeşme	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Kuşadası	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Aydın	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Sarımsaklı	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Seferihisar	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Ödemiş	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Sultanhisar	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Selçuk	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							
Nazilli	SPEI-1							
	SPEI-3							
	SPEI-6							
	SPEI-9							
	SPEI-12							
	SPEI-24							

normal ve üstü orta kurak şiddetli kurak aşırı kurak

Tablo 4.C.4 (DRI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (1988-1994)

İSTASYON	İNDİS	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Manisa	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
İzmir	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Çeşme	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Kuşadası	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Aydın	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Salihi	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Seferihisar	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Ödemiş	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Sultanhisar	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Selçuk	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Nazilli	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							

normal ve üstü
  orta kurak
  şiddetli kurak
  aşırı kurak

Tablo 4.C.5 (DRI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (1999-2009)

İSTASYON	İNDİS	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Manisa	DRI-1											
	DRI-3											
	DRI-6											
	DRI-9											
	DRI-12											
İzmir	DRI-1											
	DRI-3											
	DRI-6											
	DRI-9											
	DRI-12											
Çeşme	DRI-1											
	DRI-3											
	DRI-6											
	DRI-9											
	DRI-12											
Kuşadası	DRI-1											
	DRI-3											
	DRI-6											
	DRI-9											
	DRI-12											
Aydın	DRI-1											
	DRI-3											
	DRI-6											
	DRI-9											
	DRI-12											
Saili	DRI-1											
	DRI-3											
	DRI-6											
	DRI-9											
	DRI-12											
Seferihisar	DRI-1											
	DRI-3											
	DRI-6											
	DRI-9											
	DRI-12											
Ödemiş	DRI-1											
	DRI-3											
	DRI-6											
	DRI-9											
	DRI-12											
Sultanhisar	DRI-1											
	DRI-3											
	DRI-6											
	DRI-9											
	DRI-12											
Selçuk	DRI-1											
	DRI-3											
	DRI-6											
	DRI-9											
	DRI-12											
Nazilli	DRI-1											
	DRI-3											
	DRI-6											
	DRI-9											
	DRI-12											

normal ve üstü orta kurak şiddetli kurak aşırı kurak



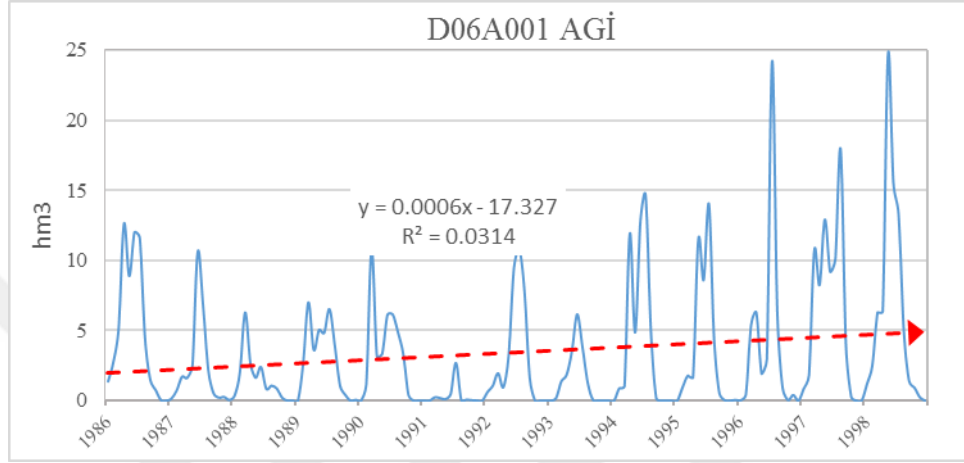
Tablo 4.C.6 (DRI) kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (2010-2016)

İSTASYON	İNDİS	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Manisa	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
İzmir	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Çeşme	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Kuşadası	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Aydın	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Salihi	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Seferihisar	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Ödemiş	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Sultanhisar	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Selçuk	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							
Nazilli	DRI-1							
	DRI-3							
	DRI-6							
	DRI-9							
	DRI-12							

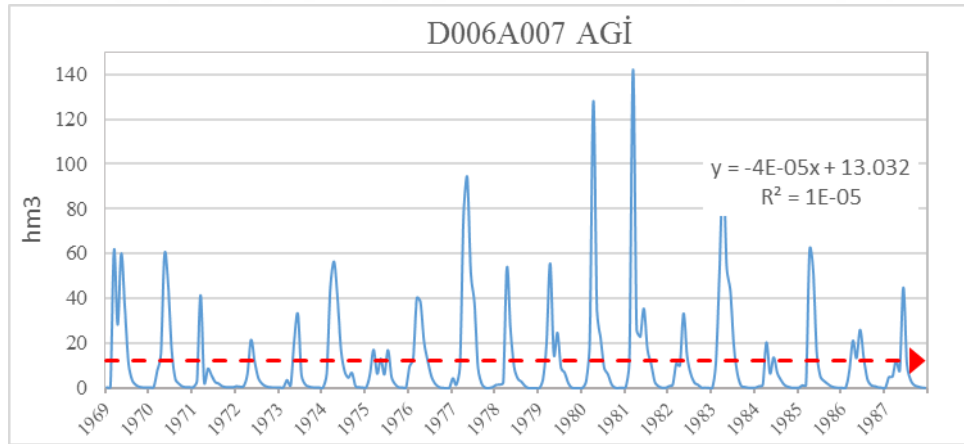
normal ve üstü orta kurak şiddetli kurak aşırı kurak

## EK 5: Hidrolojik Verilerin ve Hidrolojik Kuraklık İndislerinin Zamana Bağlı Değişim Grafikleri

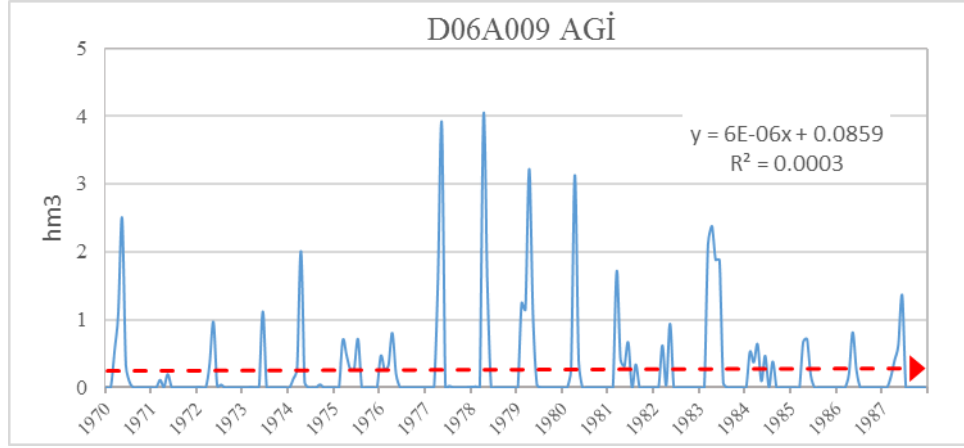
### Ek 5.A: Seçilen AGİ'lerde Gözlemlenmiş Aylık Ortalama Akımların (hm<sup>3</sup>) Verilerinin Zamana Bağlı Değişim Grafikleri



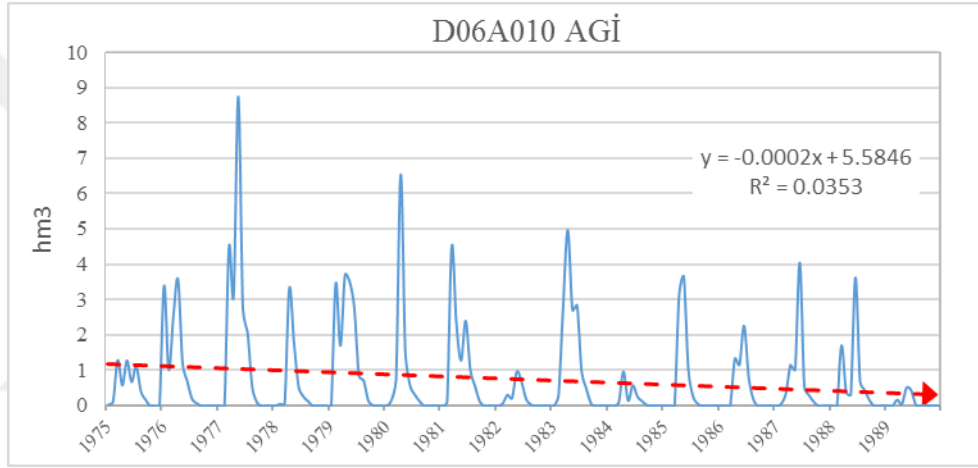
Şekil 5.A.1 D06A001 Küçük Menderes Nehri-Beydağı Köprüsü AGİ Akımları (hm<sup>3</sup>) zamana bağlı değişimi (1986-1999)



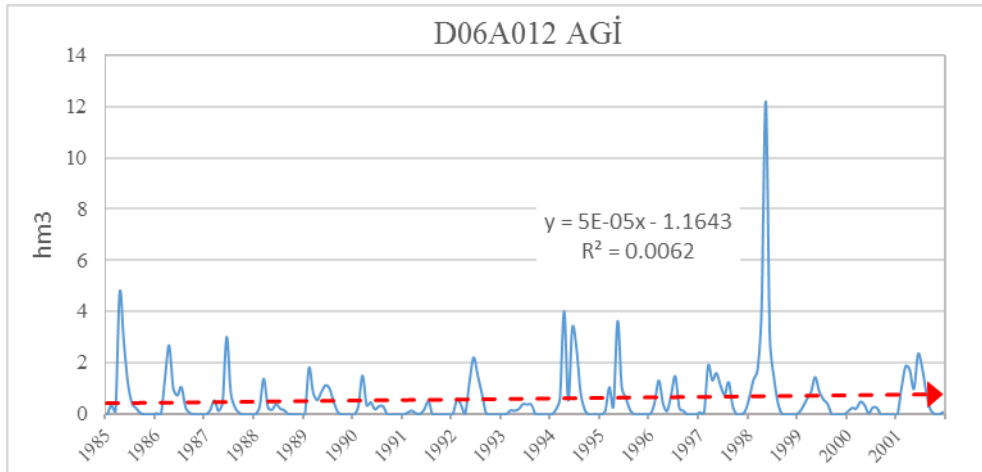
Şekil 5.A.2 D006A007 Tahtalı Çayı-Dereboğazı AGİ Akımları (hm<sup>3</sup>) zamana bağlı değişimi (1969-1988)



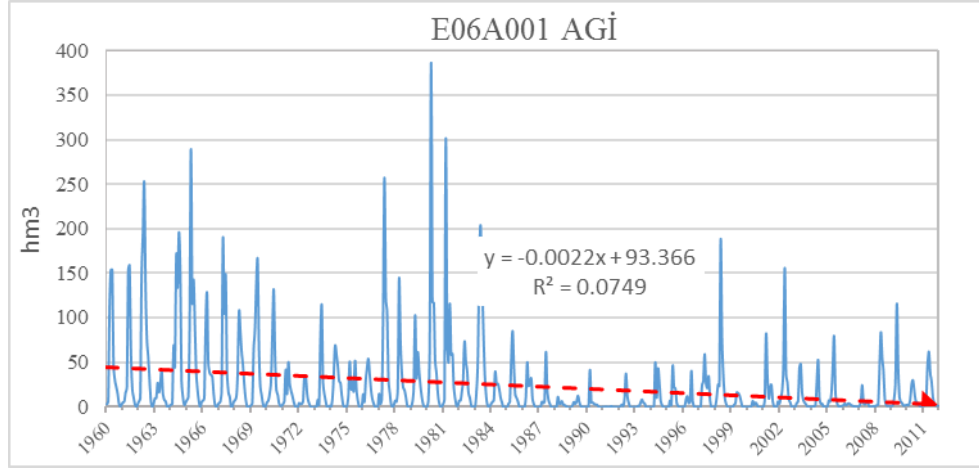
Şekil 5.A.3 D06A009 Hırsız Dere-Alaçatı AGİ Akımları (hm3) zamana bağlı değişimi (1970-1988)



Şekil 5.A.4 D06A010 Yassı Çay-Çukurköy AGİ Akımları (hm3) zamana bağlı değişimi (1975-1990)

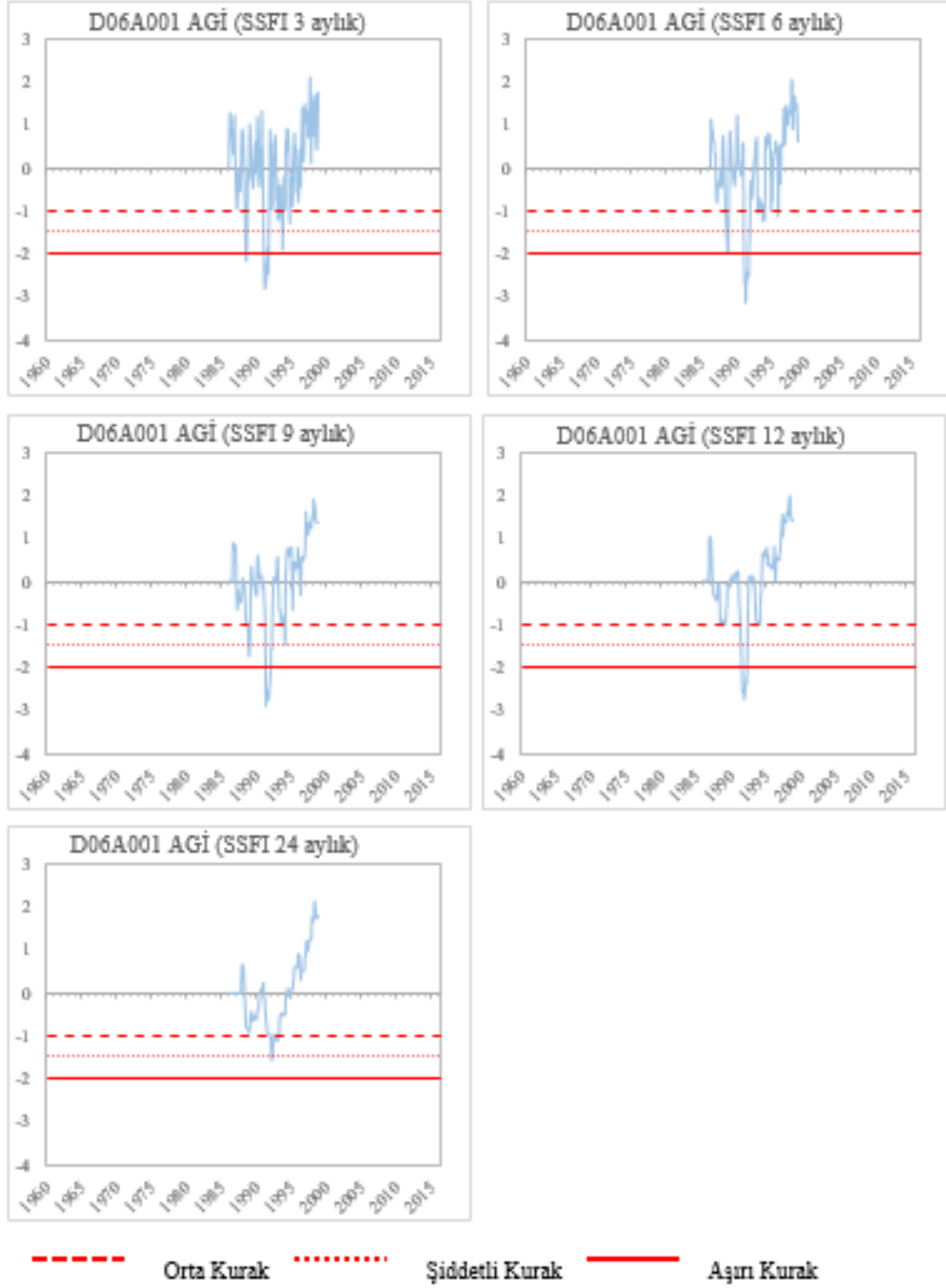


Şekil 5.A.5 D06A012 Aktaş Çayı-Bülbüller AGİ Akımları (hm3) zamana bağlı değişimi (1985-2002)

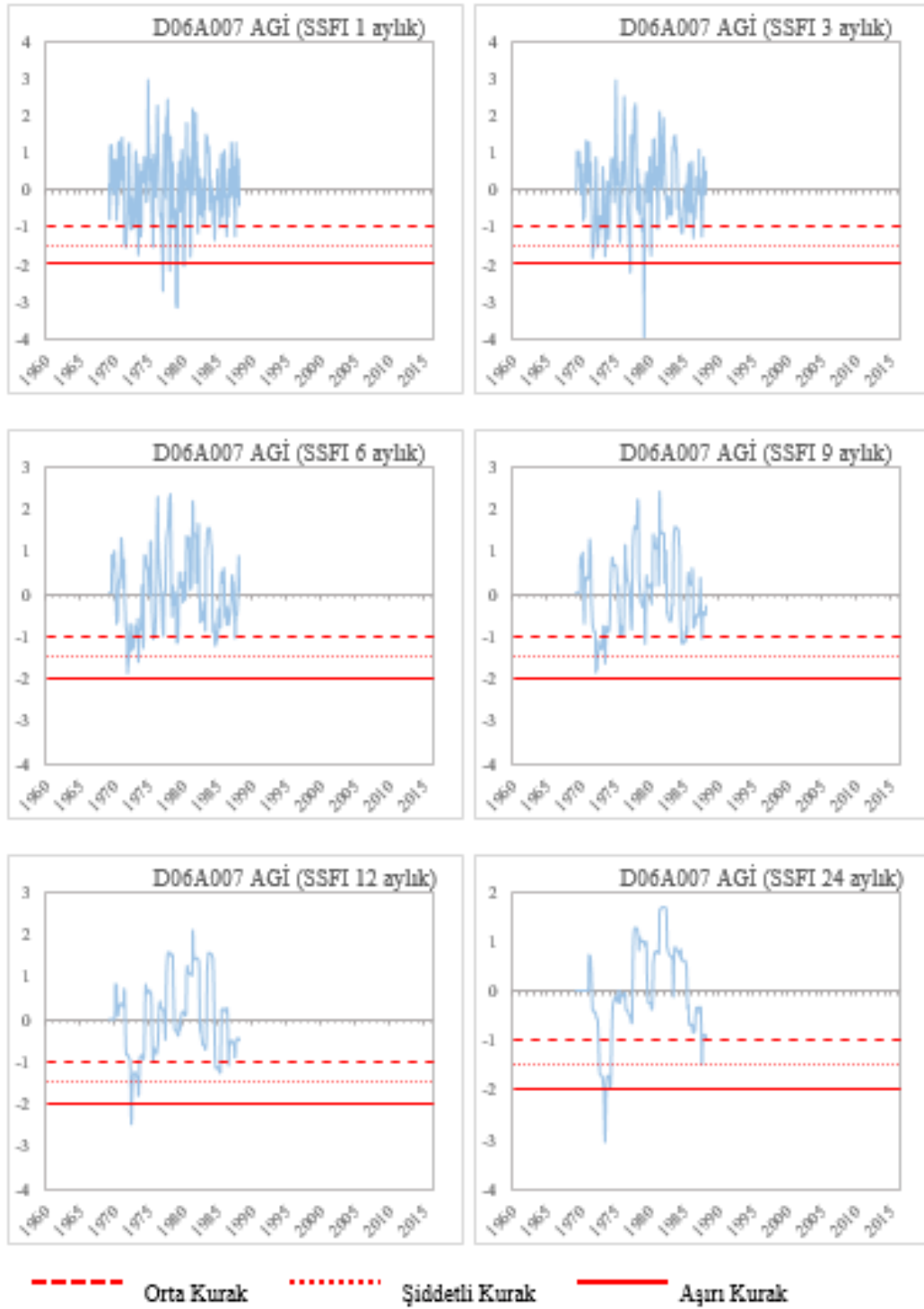


Şekil 5.A.6 E06A001 Küçük Menderes Nehri -Selçuk AGİ Akımları (hm3) zamana bağlı değişimi (1960-1985)

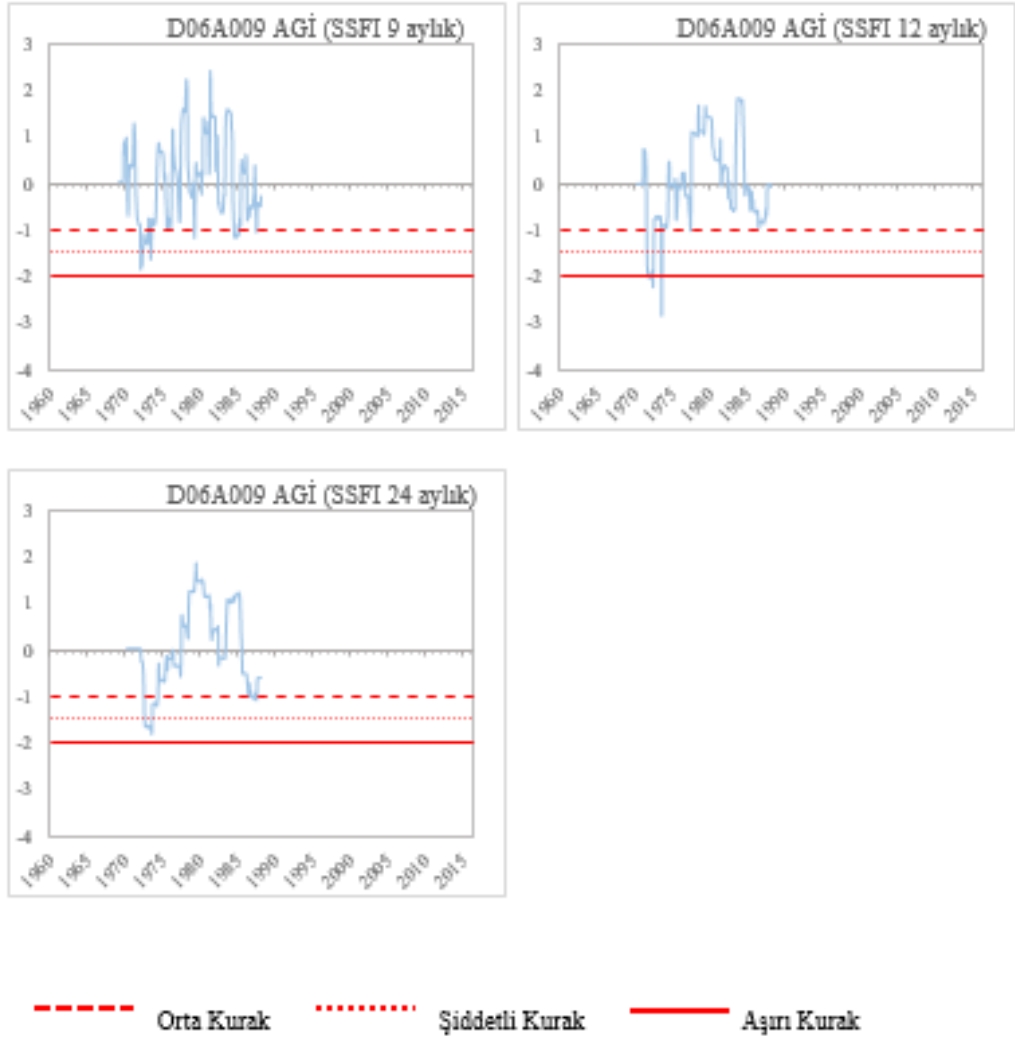
**Ek 5.B: SSFI Zaman Serileri (1-3-6-9-12-24 aylık)**



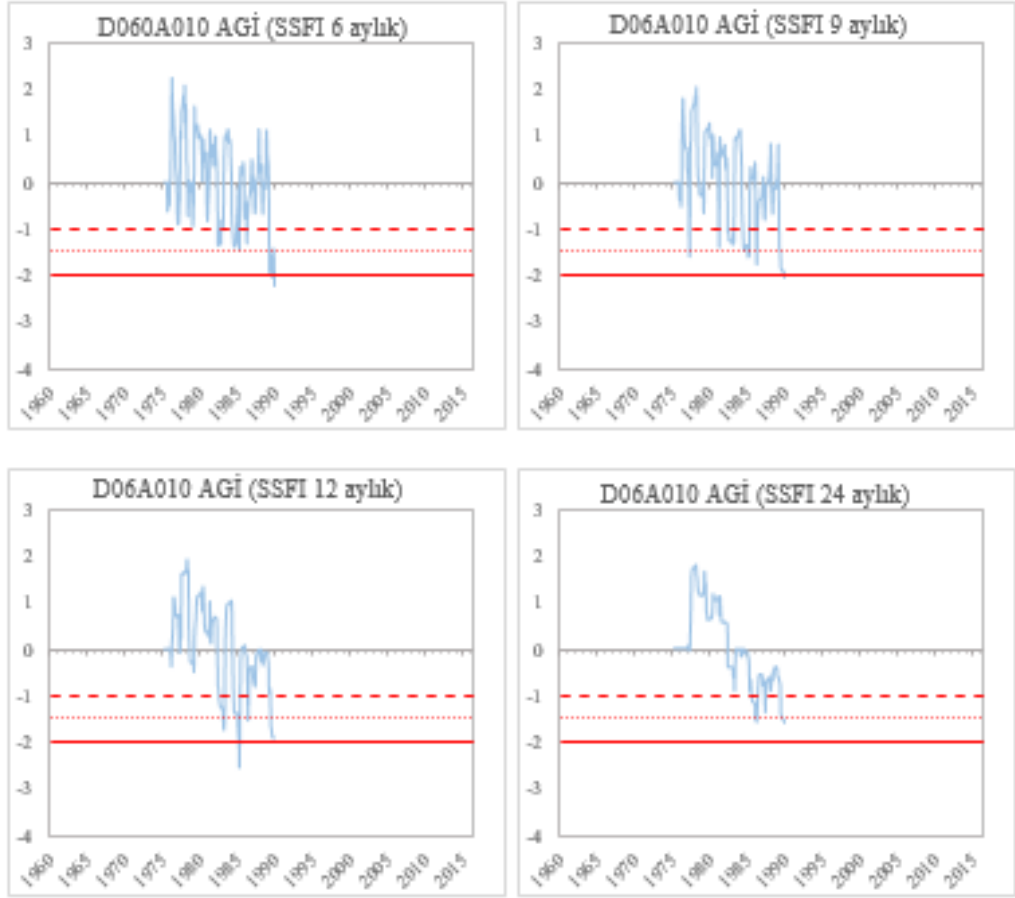
Şekil 5.B.1 Beydağı Köprüsü AGİ (D06A001) 3-6-9-12-24 aylık SSFI değerleri zaman dizileri



Şekil 5.B.2 Dereboğazı AGİ (D06A007) 1-3-6-9-12-24 aylık SSFI değerleri zaman dizileri



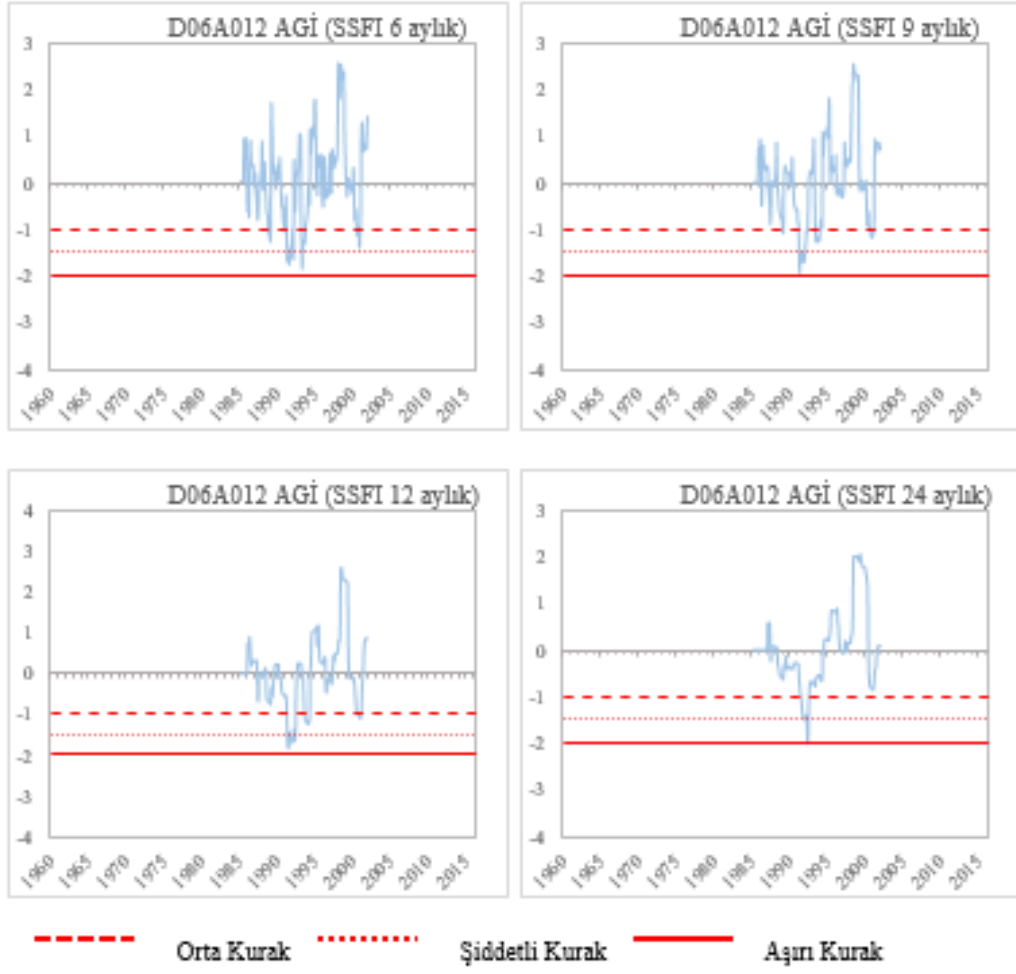
Şekil 5.B.3 Alaçatı AGİ (D06A009) 3-6-9-12-24 aylık SSFI değerleri zaman dizileri



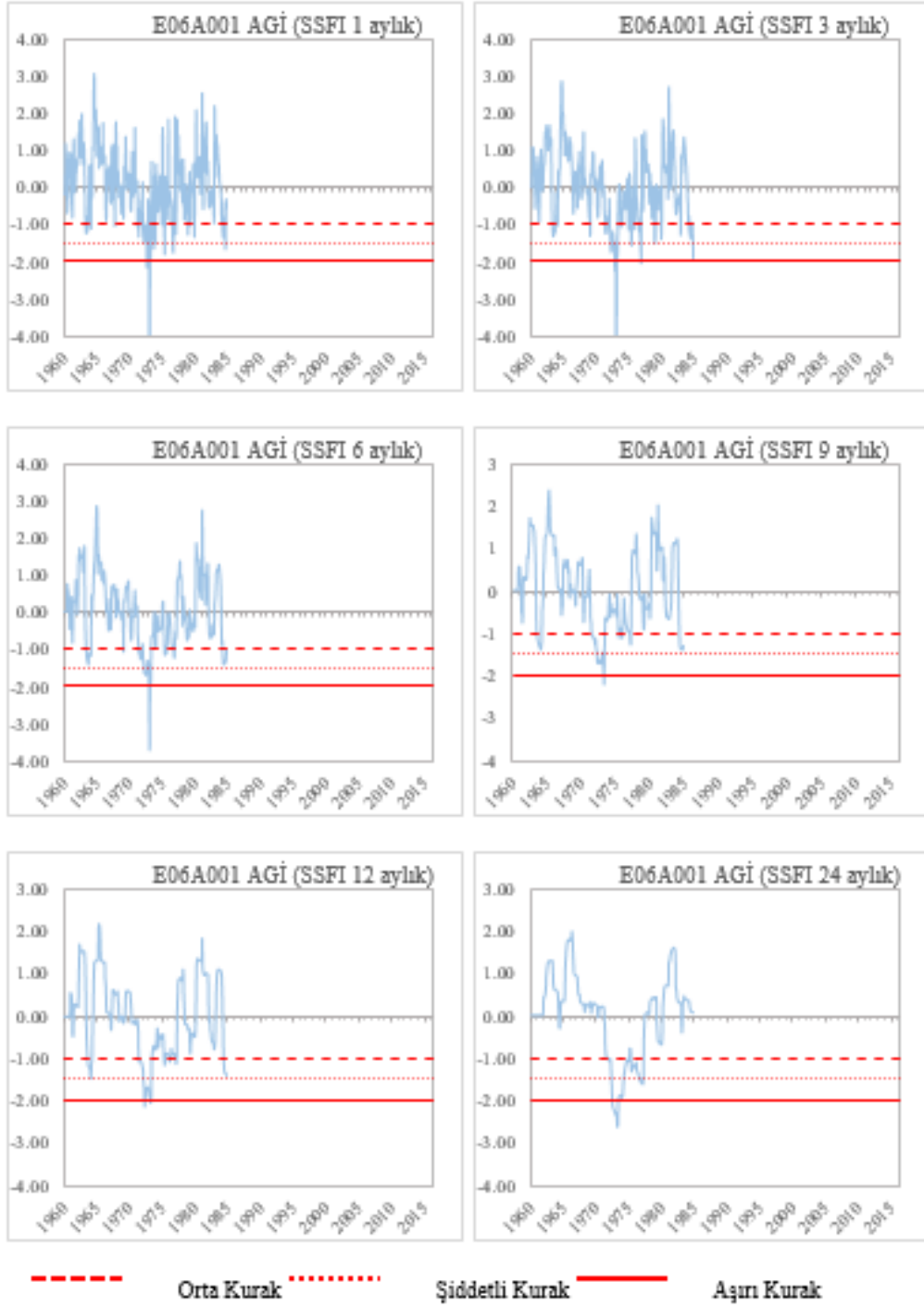
----- Orta Kurak      ..... Şiddetli Kurak      ————— Aşırı Kurak

Şekil 5.B.4 Çukurköy AGİ (D06A010) 6-9-12-24 aylık SSFI değerleri zaman dizileri



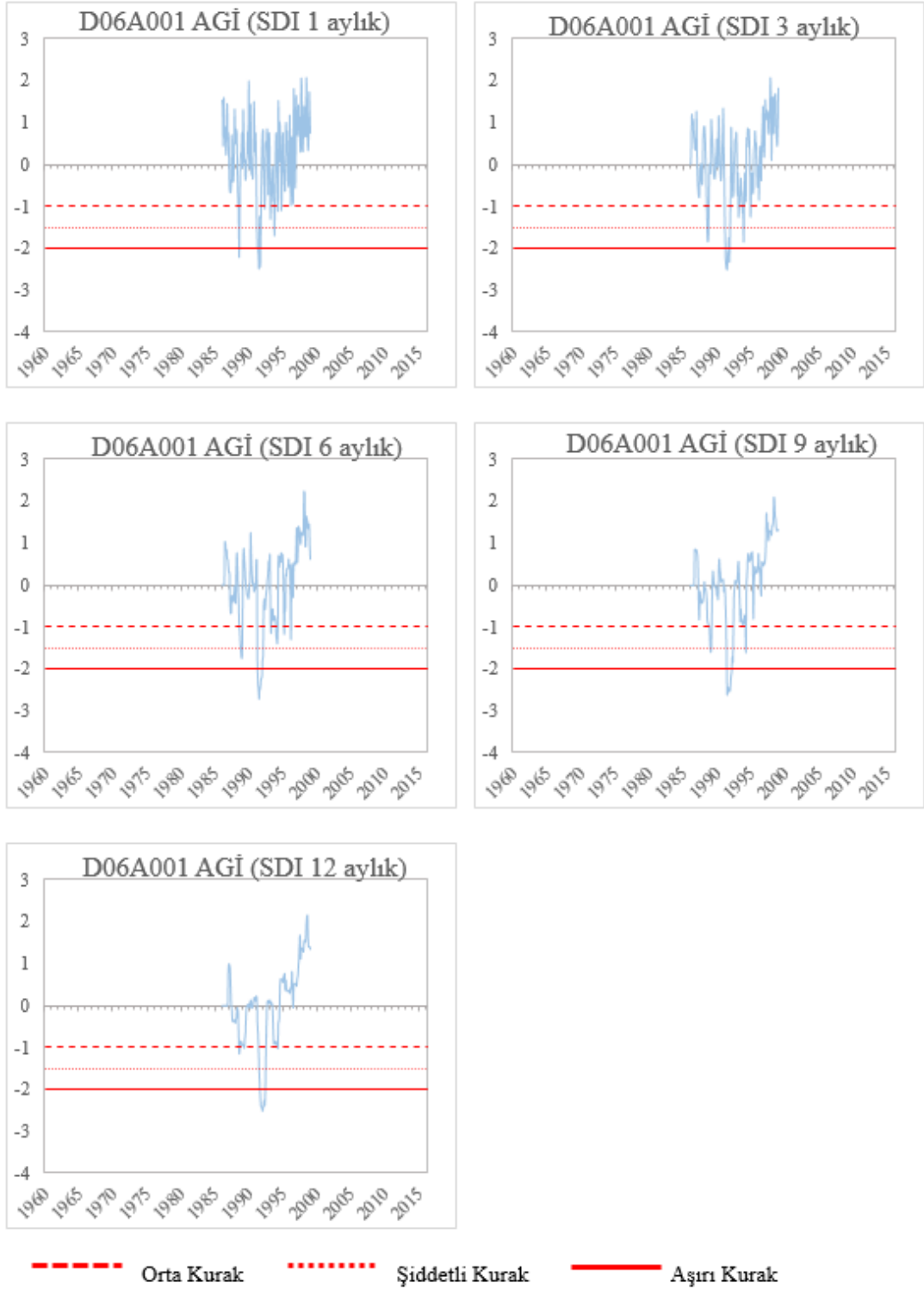


Şekil 5.B.5 Bülbüller AGİ (D06A012) 6-9-12-24 aylık SSFI değerleri zaman dizileri

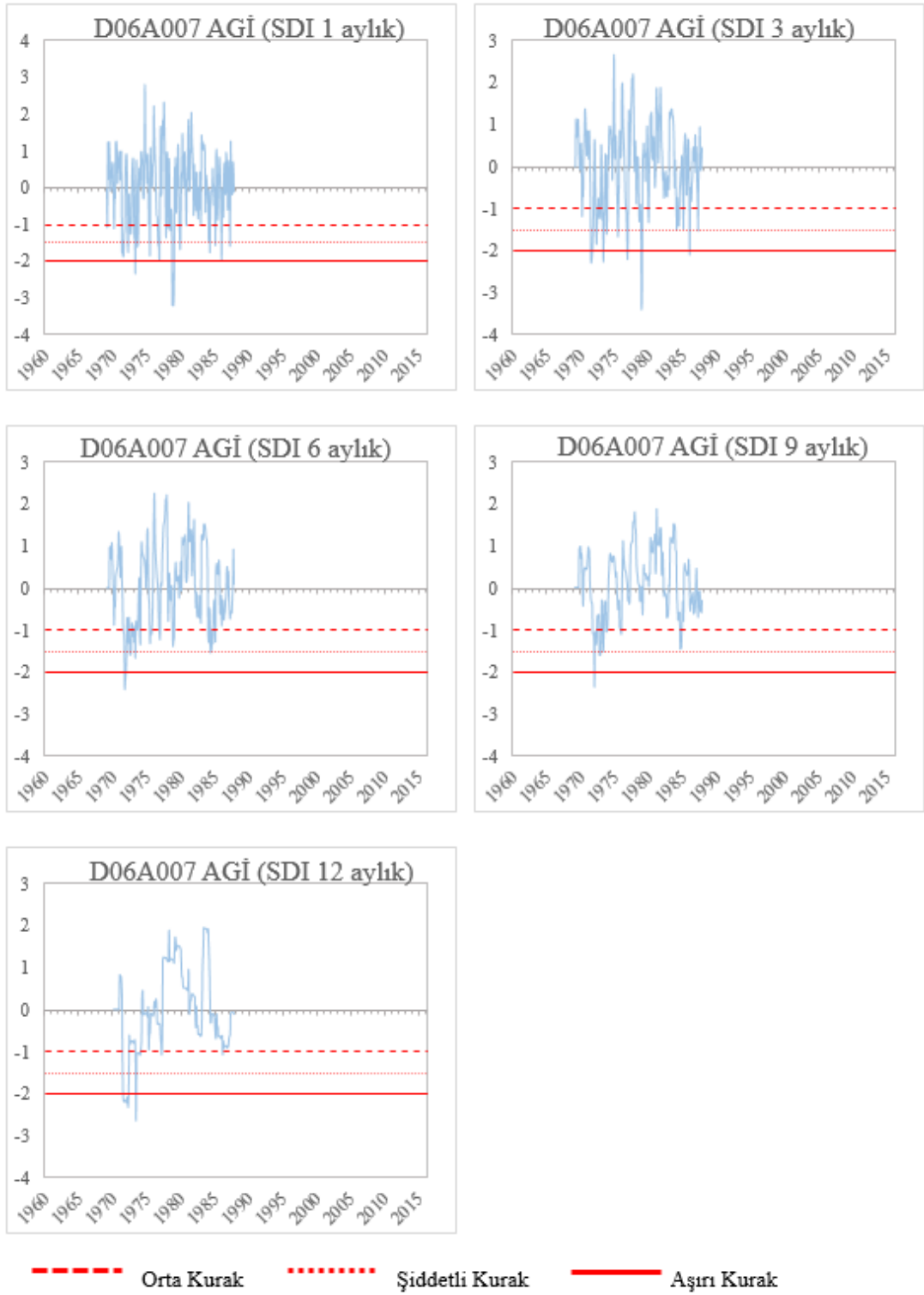


Şekil 5.B.6 Selçuk AGİ (E06A001) 1-3-6-9-12-24 aylık SSFI değerleri zaman dizileri

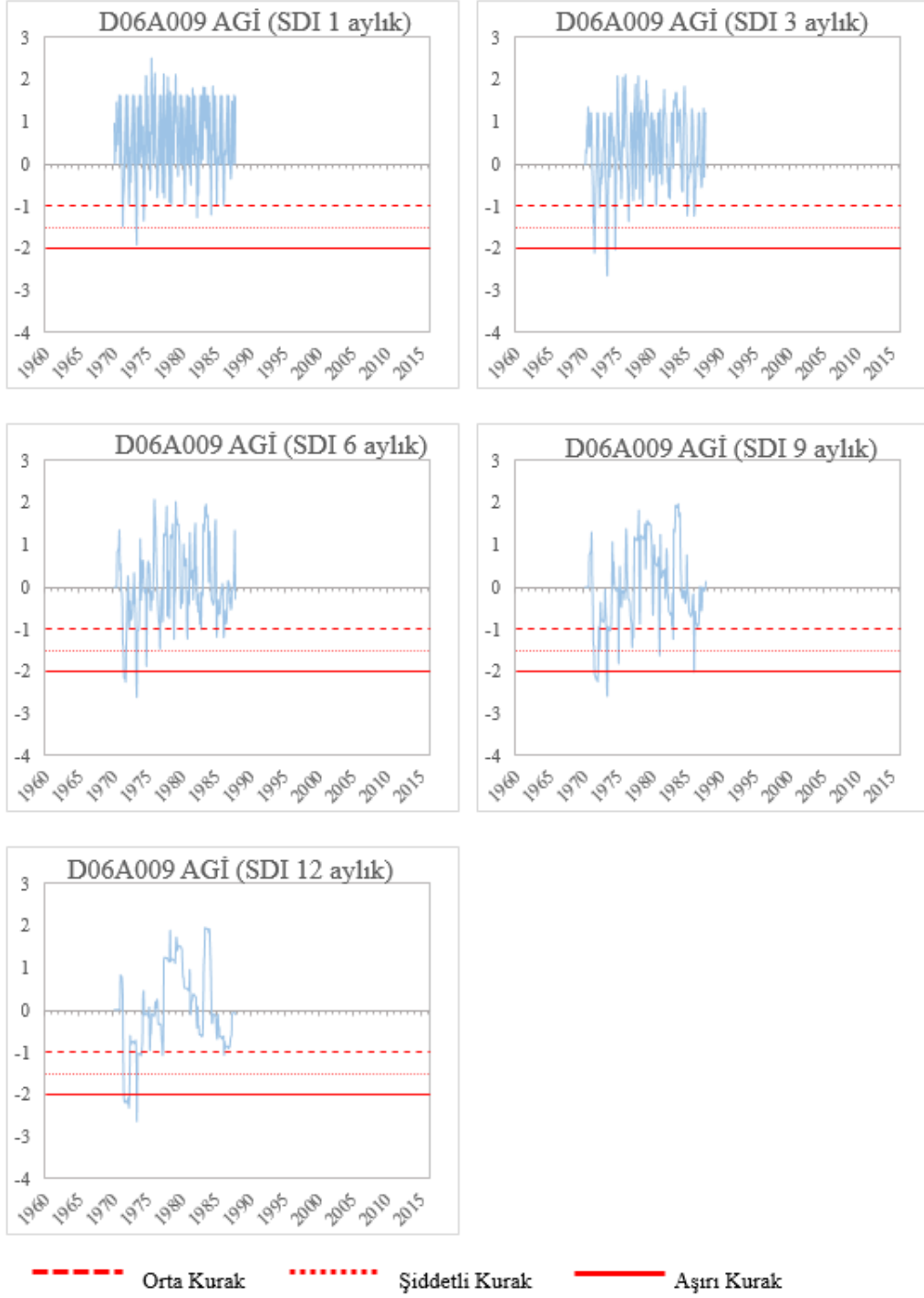
**Ek 5.C: SDI Zaman Serileri (1-3-6-9-12 aylık)**



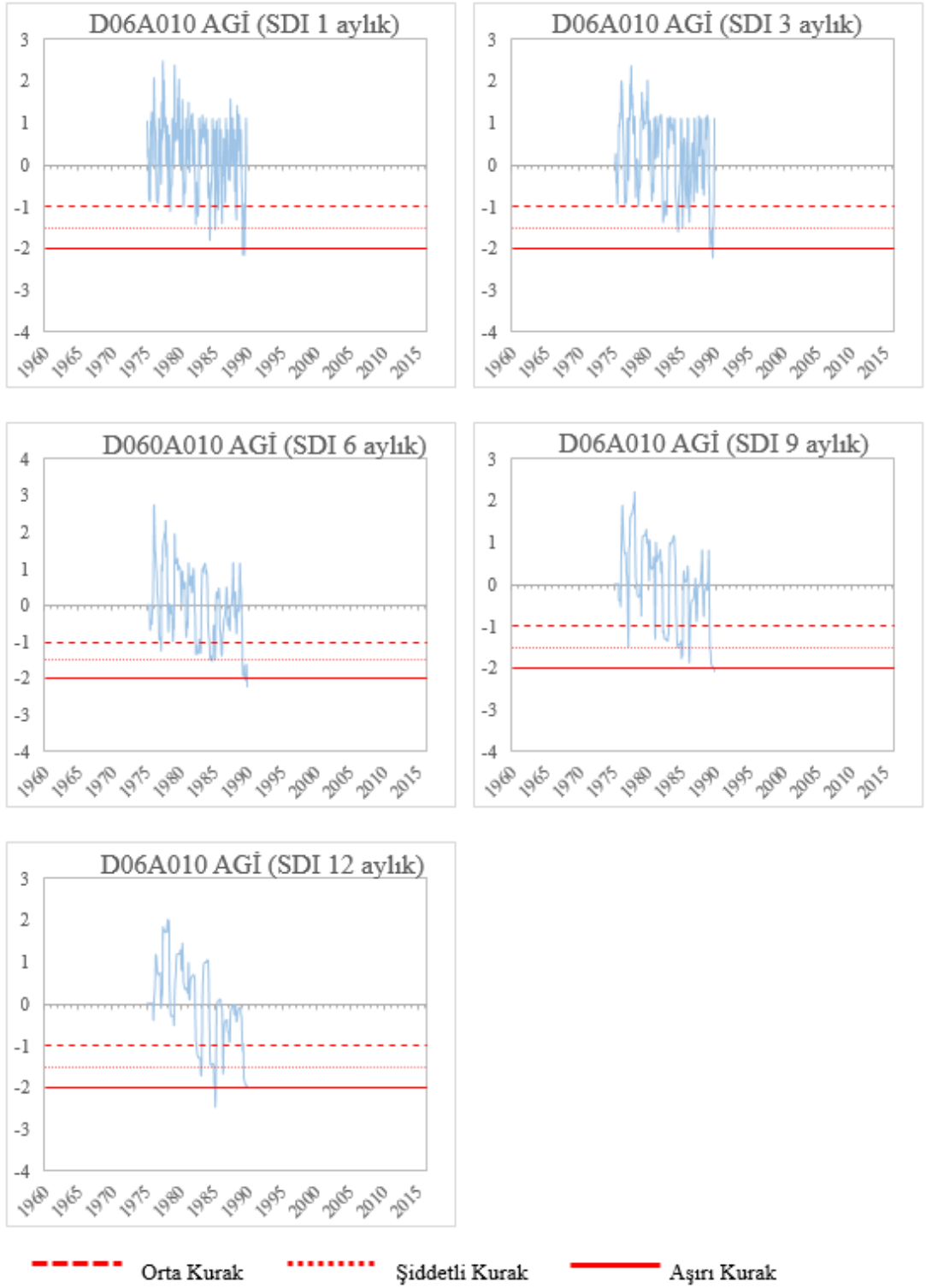
Şekil 5.C.1 Beydağı Köprüsü AGİ (D06A001) 1-3-6-9-12 aylık SDI değerleri zaman dizileri



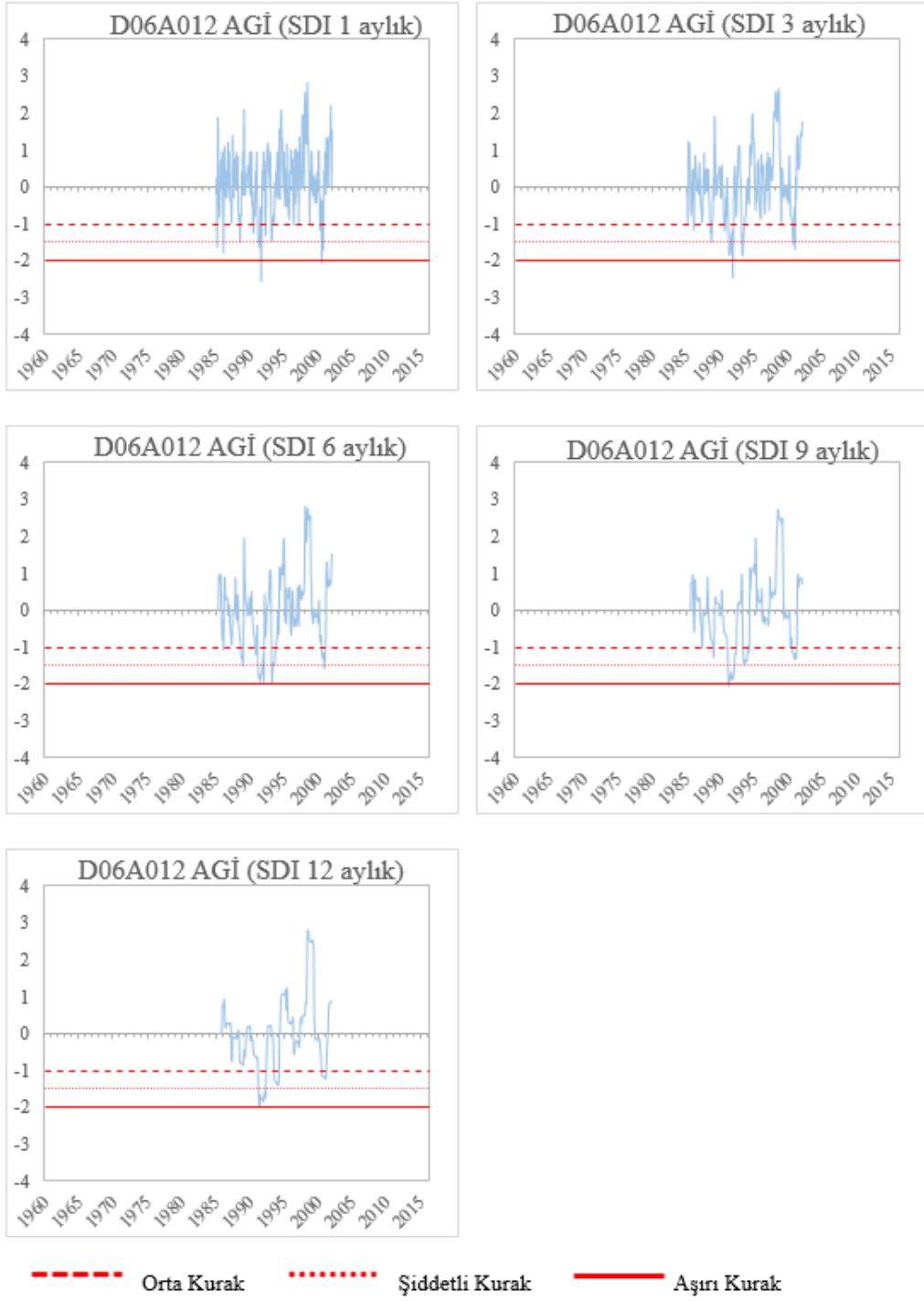
Şekil 5.C.2 Dereboğazi AGİ (D06A007) 1-3-6-9-12 aylık SDI değerleri zaman dizileri



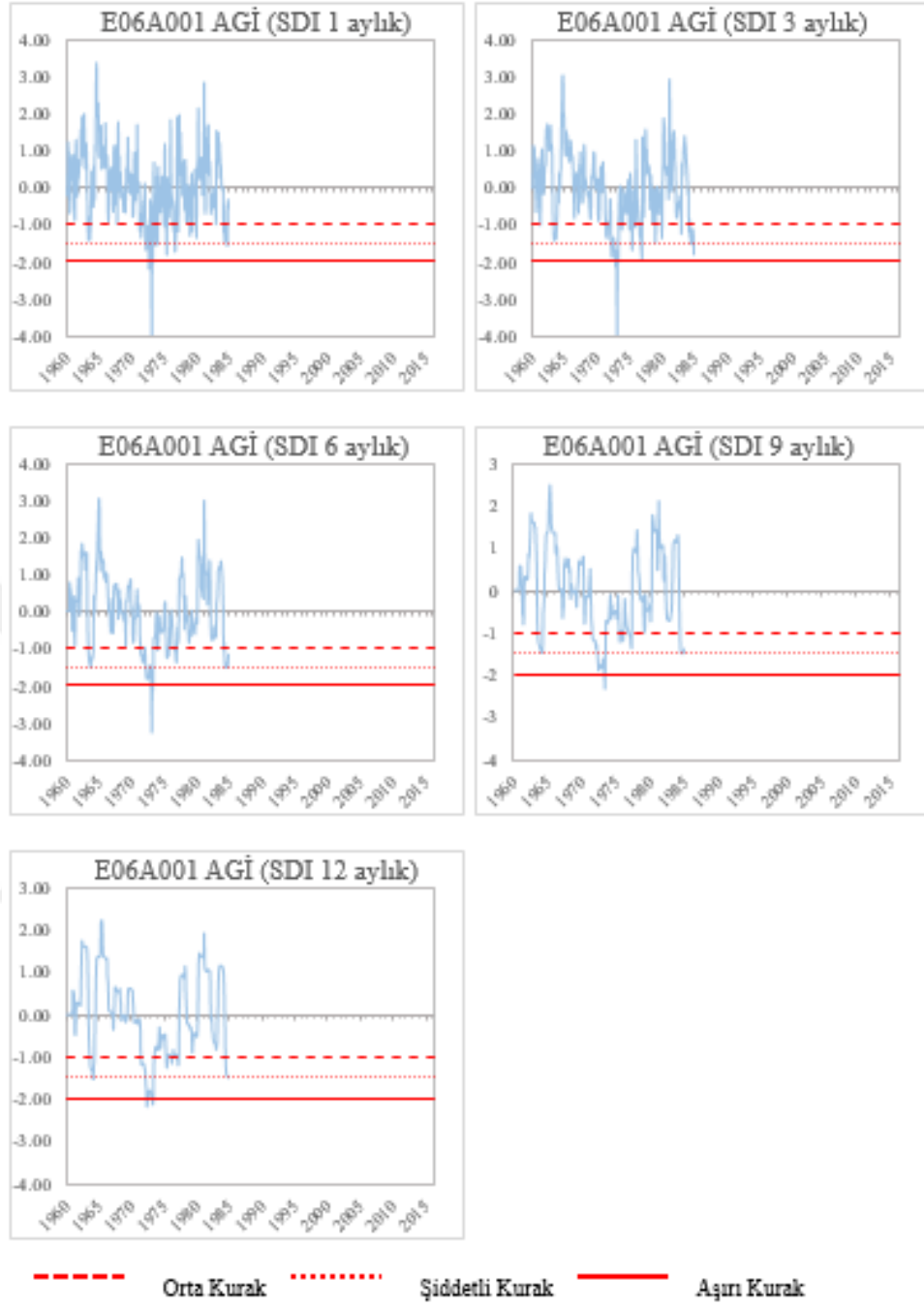
Şekil 5.C.3 Alaçatı AGİ (D06A009) 1-3-6-9-12 aylık SDI değerleri zaman dizileri



Şekil 5.C.4 Çukurköy AGİ (D06A010) 1-3-6-9-12 aylık SDI değerleri zaman dizileri



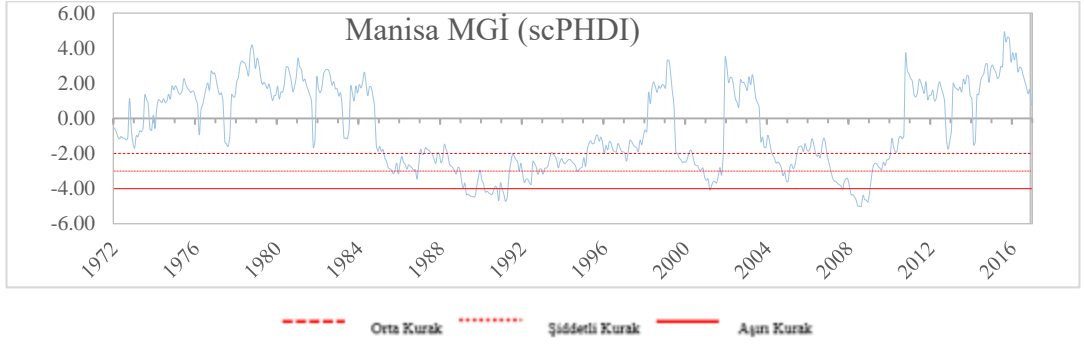
Şekil 5.C.5 Bülbüller AGİ (D06A012) 1-3-6-9-12 aylık SDI değerleri zaman dizileri



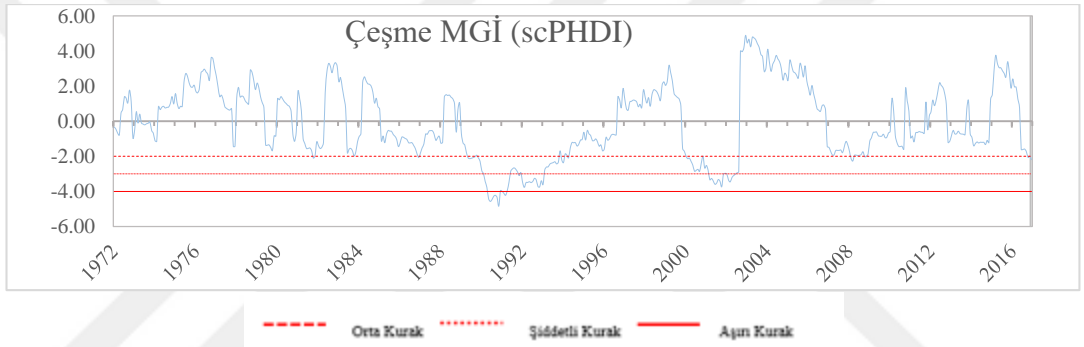
Şekil 5.C.6 Selçuk AGİ (E06A001) 1-3-6-9-12 aylık SDI değerleri zaman dizileri



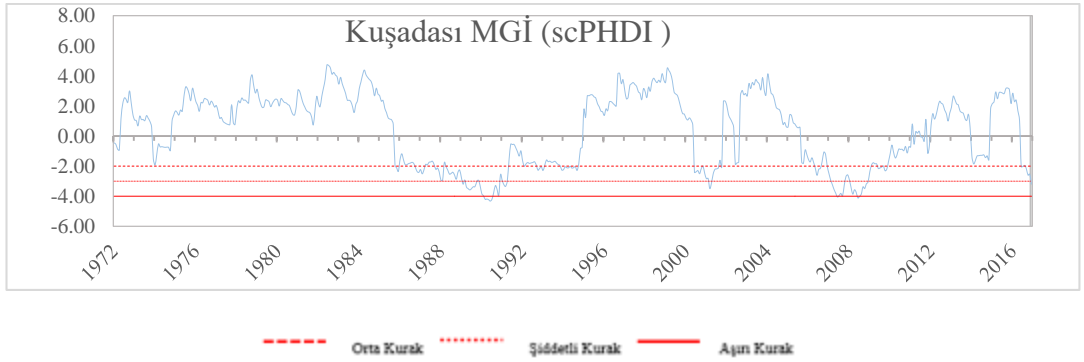
### Ek 5.D: scPHDI Zaman Serileri



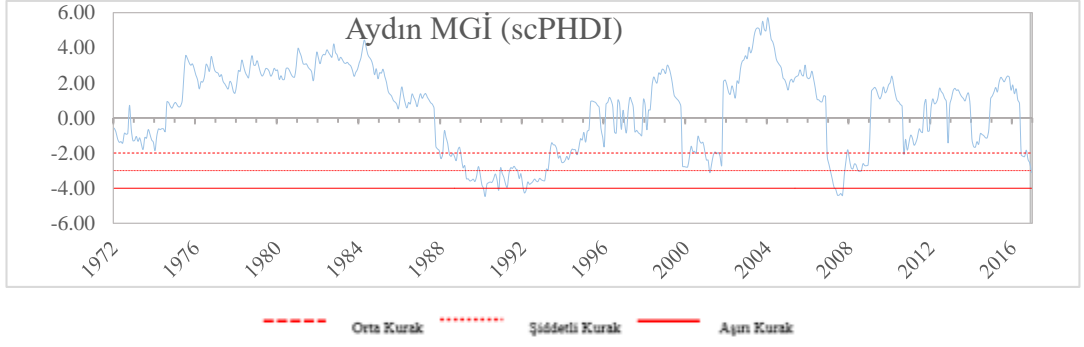
Şekil 5.D.1 Manisa MGİ scPHDI değerlerinin zamana bağlı değişimi (1972-2016)



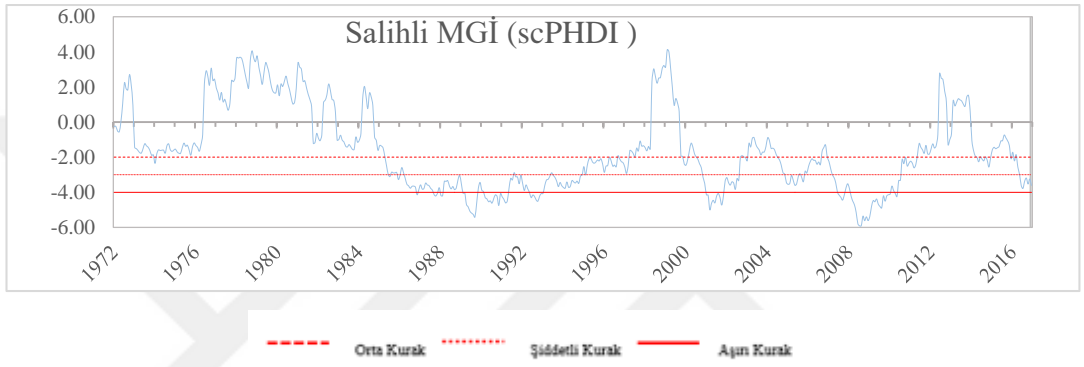
Şekil 5.D.2 Çeşme MGİ scPHDI değerlerinin zamana bağlı değişimi (1972-2016)



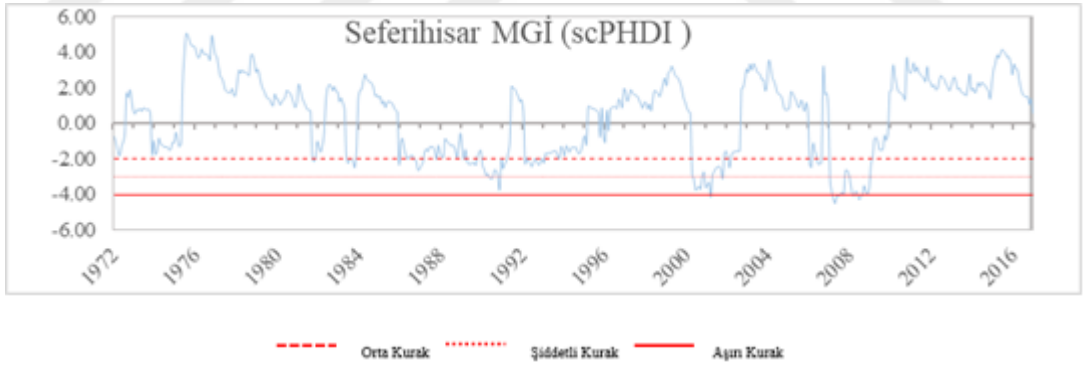
Şekil 5.D.3 Kuşadası MGİ scPHDI değerlerinin zamana bağlı değişimi (1972-2016)



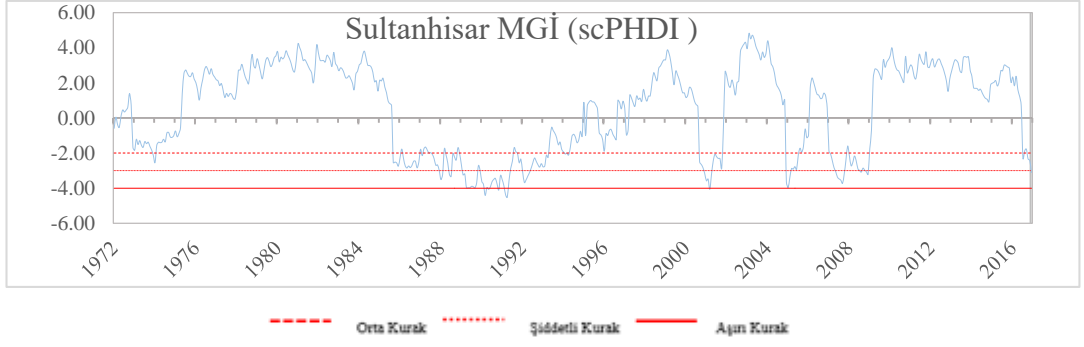
Şekil 5.D.4 Aydın MGİ scPHDI değerlerinin zamana bağlı değişimi (1972-2016)



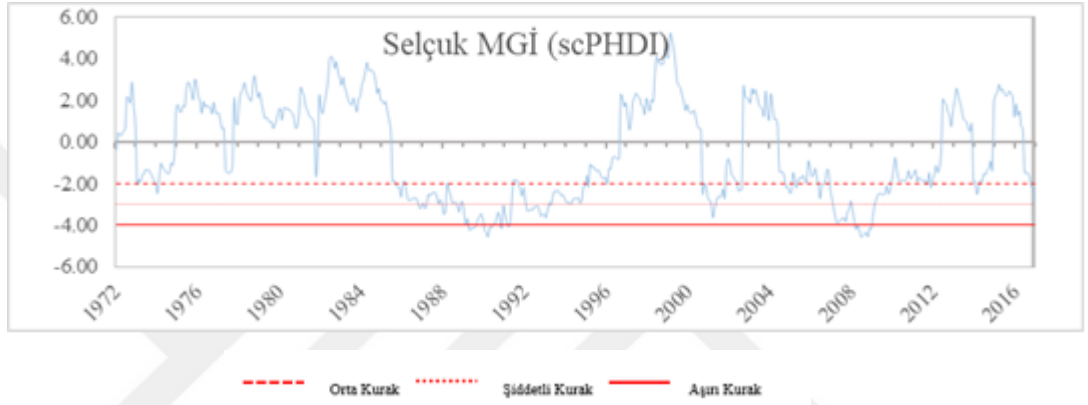
Şekil 5.D.5 Salihli MGİ scPHDI değerlerinin zamana bağlı değişimi (1972-2016)



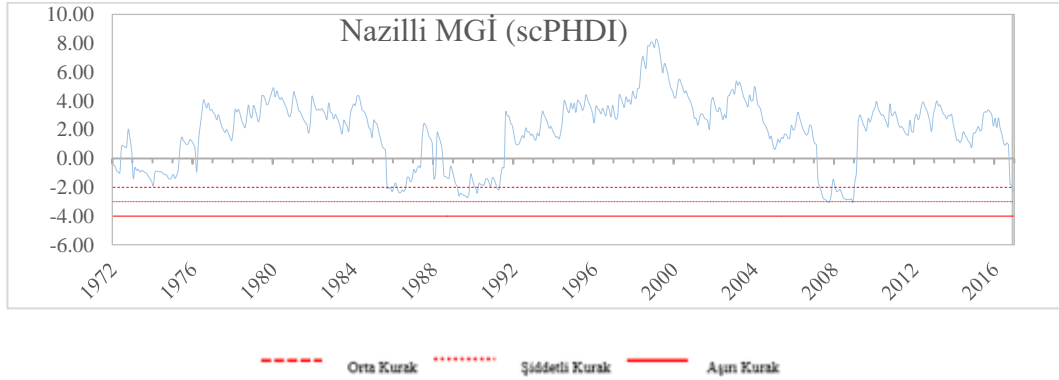
Şekil 5.D.6 Seferihisar MGİ scPHDI değerlerinin zamana bağlı değişimi (1972-2016)



Şekil 5.D.7 Sultanhisar MGİ scPHDI değerlerinin zamana bağlı değişimi (1972-2016)



Şekil 5.D.8 Selçuk MGİ scPHDI değerlerinin zamana bağlı değişimi (1972-2016)



Şekil 5.D.9 Nazilli MGİ scPHDI değerlerinin zamana bağlı değişimi (1972-2016)

## EK 6: Hidrolojik Kuraklık İndislerinin Değerlendirilme ve Karşılaştırma Grafikleri

Tablo 6.A.1 SSFI kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (1971-1978)

İSTASYON	İNDİS	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
D06A001	SSFI-1								
	SSFI-3								
	SSFI-6								
	SSFI-9								
	SSFI-12								
D06A007	SSFI-1								
	SSFI-3								
	SSFI-6								
	SSFI-9								
	SSFI-12								
D06A009	SSFI-1								
	SSFI-3								
	SSFI-6								
	SSFI-9								
	SSFI-12								
D06A010	SSFI-1								
	SSFI-3								
	SSFI-6								
	SSFI-9								
	SSFI-12								
D06A011	SSFI-1								
	SSFI-3								
	SSFI-6								
	SSFI-9								
	SSFI-12								
D06A012	SSFI-1								
	SSFI-3								
	SSFI-6								
	SSFI-9								
	SSFI-12								
D06A020	SSFI-1								
	SSFI-3								
	SSFI-6								
	SSFI-9								
	SSFI-12								
E06A001	SSFI-1								
	SSFI-3								
	SSFI-6								
	SSFI-9								
	SSFI-12								

normal ve üstü orta kurak şiddetli kurak aşırı kurak

Tablo 6.A.2 SSFI kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (1989-1994)

İSTASYON	İNDİS	1989	1990	1991	1992	1993	1994
		[Görsel olarak kuraklık durumları gösterilen alanlar]					
D06A001	SSFI-1						
	SSFI-3						
	SSFI-6						
	SSFI-9						
	SSFI-12						
	SSFI-24						
D06A007	SSFI-1						
	SSFI-3						
	SSFI-6						
	SSFI-9						
	SSFI-12						
	SSFI-24						
D06A009	SSFI-1						
	SSFI-3						
	SSFI-6						
	SSFI-9						
	SSFI-12						
	SSFI-24						
D06A010	SSFI-1						
	SSFI-3						
	SSFI-6						
	SSFI-9						
	SSFI-12						
	SSFI-24						
D06A011	SSFI-1						
	SSFI-3						
	SSFI-6						
	SSFI-9						
	SSFI-12						
	SSFI-24						
D06A012	SSFI-1						
	SSFI-3						
	SSFI-6						
	SSFI-9						
	SSFI-12						
	SSFI-24						
D06A020	SSFI-1						
	SSFI-3						
	SSFI-6						
	SSFI-9						
	SSFI-12						
	SSFI-24						
E06A001	SSFI-1						
	SSFI-3						
	SSFI-6						
	SSFI-9						
	SSFI-12						
	SSFI-24						

normal ve üstü
  orta kurak
  şiddetli kurak
  aşırı kurak

Tablo 6.A.3 SSFI kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (1999-2005)

İSTASYON	İNDİS	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		SSFI-1 SSFI-3 SSFI-6 SSFI-9 SSFI-12 SSFI-24	SSFI-1 SSFI-3 SSFI-6 SSFI-9 SSFI-12 SSFI-24	SSFI-1 SSFI-3 SSFI-6 SSFI-9 SSFI-12 SSFI-24	SSFI-1 SSFI-3 SSFI-6 SSFI-9 SSFI-12 SSFI-24	SSFI-1 SSFI-3 SSFI-6 SSFI-9 SSFI-12 SSFI-24	SSFI-1 SSFI-3 SSFI-6 SSFI-9 SSFI-12 SSFI-24	SSFI-1 SSFI-3 SSFI-6 SSFI-9 SSFI-12 SSFI-24
D06A001	SSFI-1 SSFI-3 SSFI-6 SSFI-9 SSFI-12 SSFI-24							
D06A007	SSFI-1 SSFI-3 SSFI-6 SSFI-9 SSFI-12 SSFI-24							
D06A009	SSFI-1 SSFI-3 SSFI-6 SSFI-9 SSFI-12 SSFI-24							
D06A010	SSFI-1 SSFI-3 SSFI-6 SSFI-9 SSFI-12 SSFI-24							
D06A011	SSFI-1 SSFI-3 SSFI-6 SSFI-9 SSFI-12 SSFI-24		orta kurak	şiddetli kurak	şiddetli kurak		orta kurak	aşırı kurak
D06A012	SSFI-1 SSFI-3 SSFI-6 SSFI-9 SSFI-12 SSFI-24			orta kurak				
D06A020	SSFI-1 SSFI-3 SSFI-6 SSFI-9 SSFI-12 SSFI-24		orta kurak	orta kurak	orta kurak			
E06A001	SSFI-1 SSFI-3 SSFI-6 SSFI-9 SSFI-12 SSFI-24							

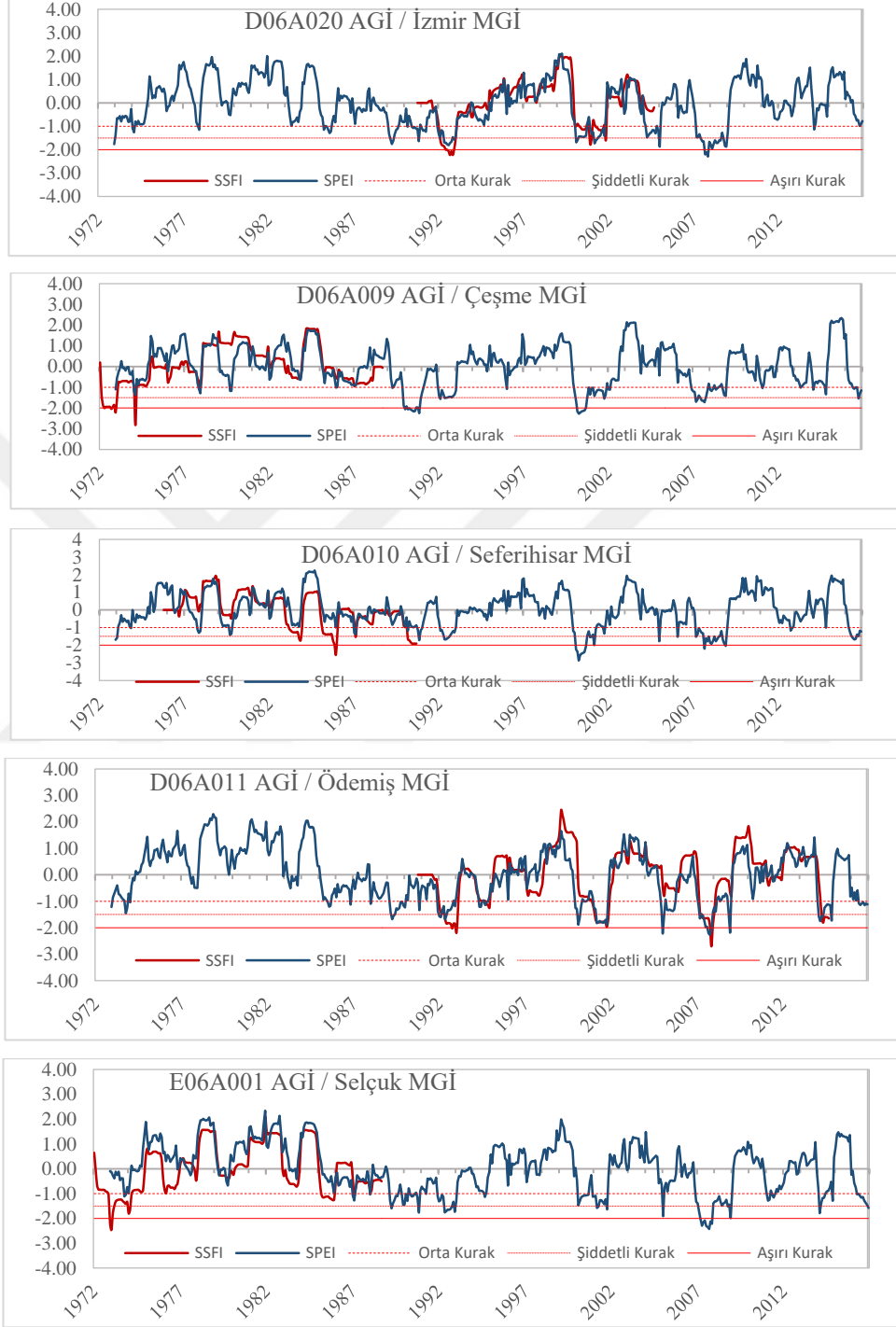
normal ve üstü
  orta kurak
  şiddetli kurak
  aşırı kurak

Tablo 6.A.4 SSFI kuraklık dönemlerinin karşılaştırma çizelgesi (2006-2011)

İSTASYON	İNDİS	2006	2007	2008	2009	2010	2011
D06A001	SSFI-1						
	SSFI-3						
	SSFI-6						
	SSFI-9						
	SSFI-12						
D06A007	SSFI-1						
	SSFI-3						
	SSFI-6						
	SSFI-9						
	SSFI-12						
D06A009	SSFI-1						
	SSFI-3						
	SSFI-6						
	SSFI-9						
	SSFI-12						
D06A010	SSFI-1						
	SSFI-3						
	SSFI-6						
	SSFI-9						
	SSFI-12						
D06A011	SSFI-1						
	SSFI-3						
	SSFI-6						
	SSFI-9						
	SSFI-12						
D06A012	SSFI-1						
	SSFI-3						
	SSFI-6						
	SSFI-9						
	SSFI-12						
D06A020	SSFI-1						
	SSFI-3						
	SSFI-6						
	SSFI-9						
	SSFI-12						
E06A001	SSFI-1						
	SSFI-3						
	SSFI-6						
	SSFI-9						
	SSFI-12						

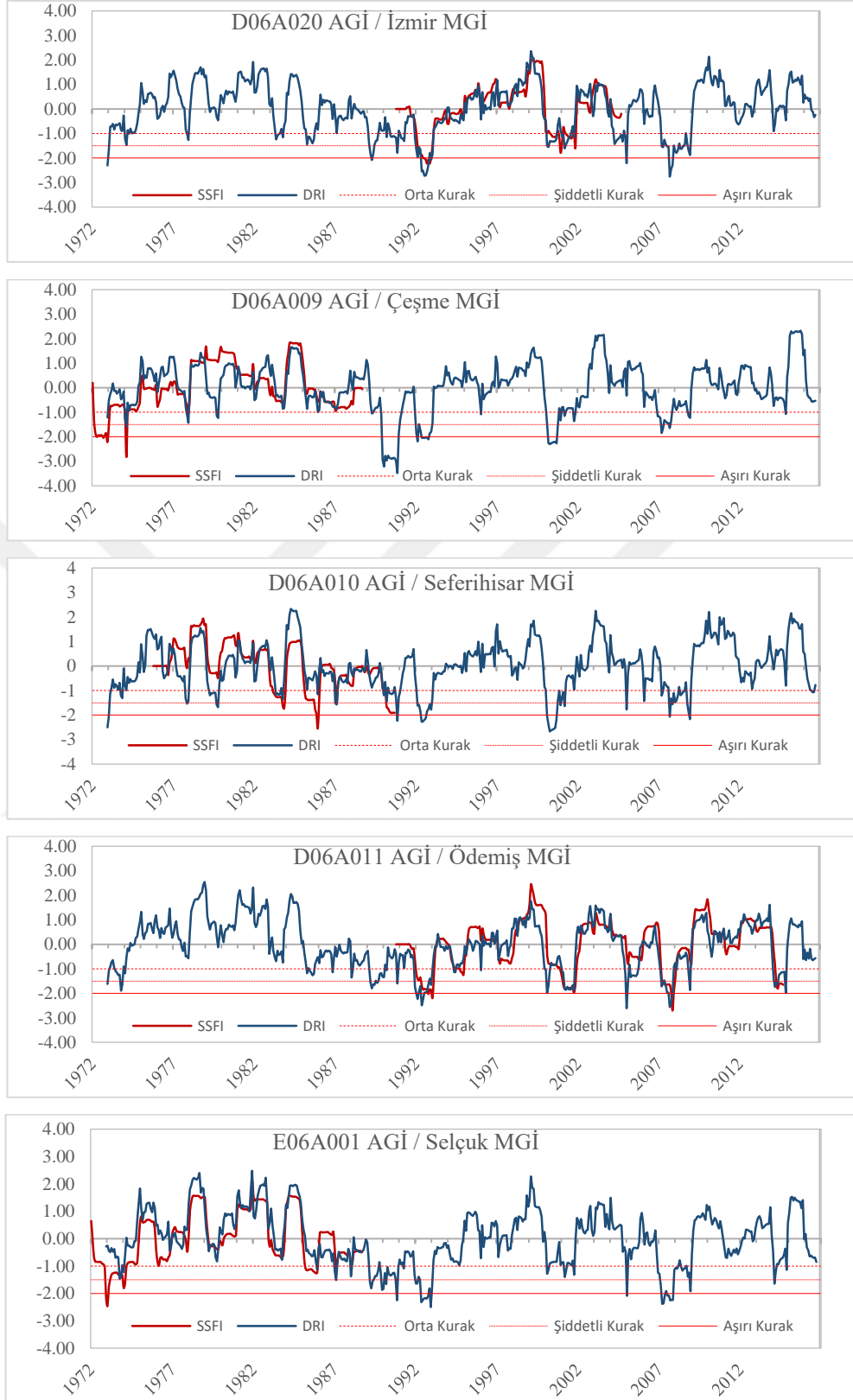
normal ve üstü
  orta kurak
  şiddetli kurak
  aşırı kurak

## EK 7: Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Arasındaki İlişki

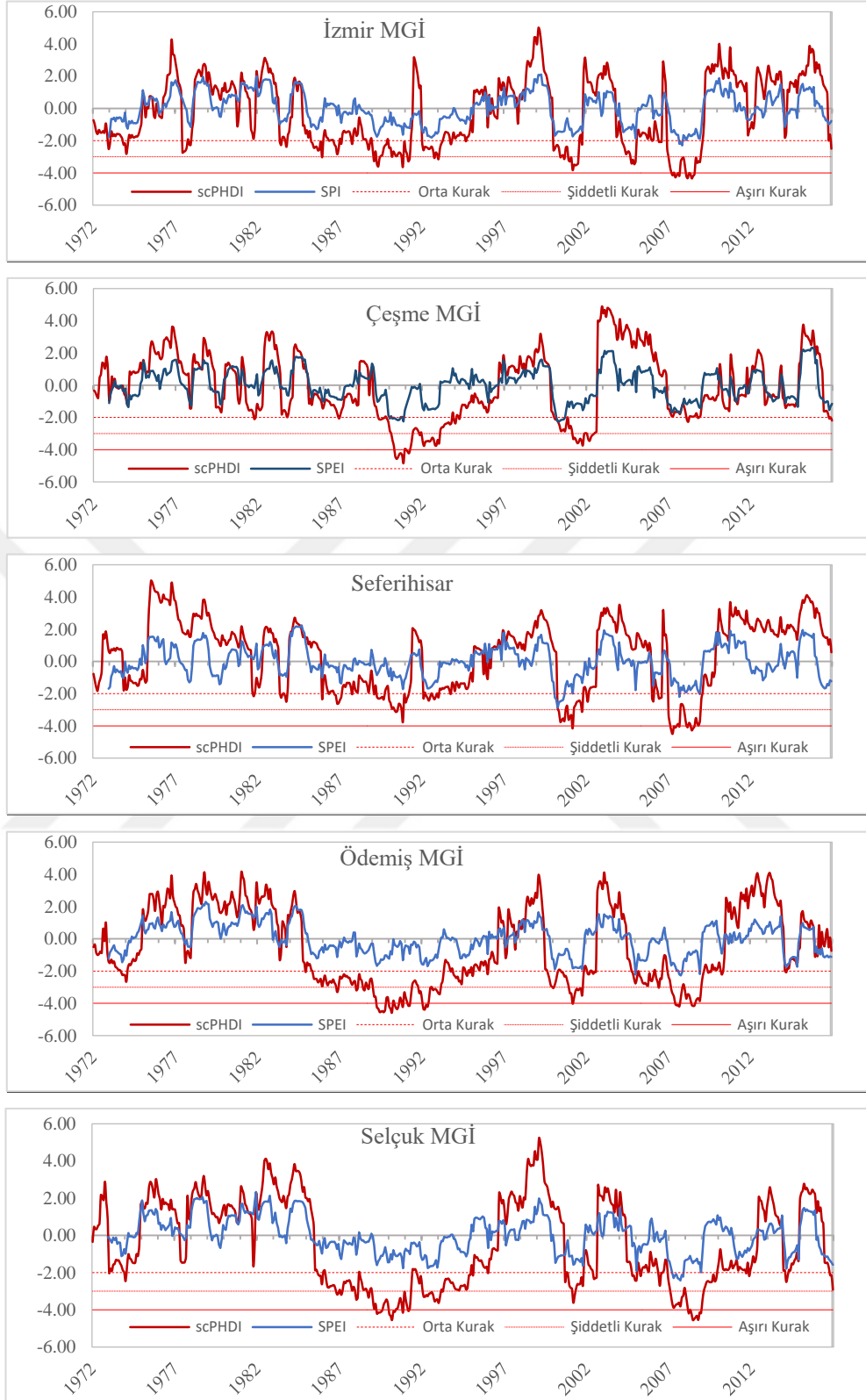


Şekil 7.A.1 Seçilen istasyonların SSFI-SPEI zaman serilerinin kıyaslama grafikleri

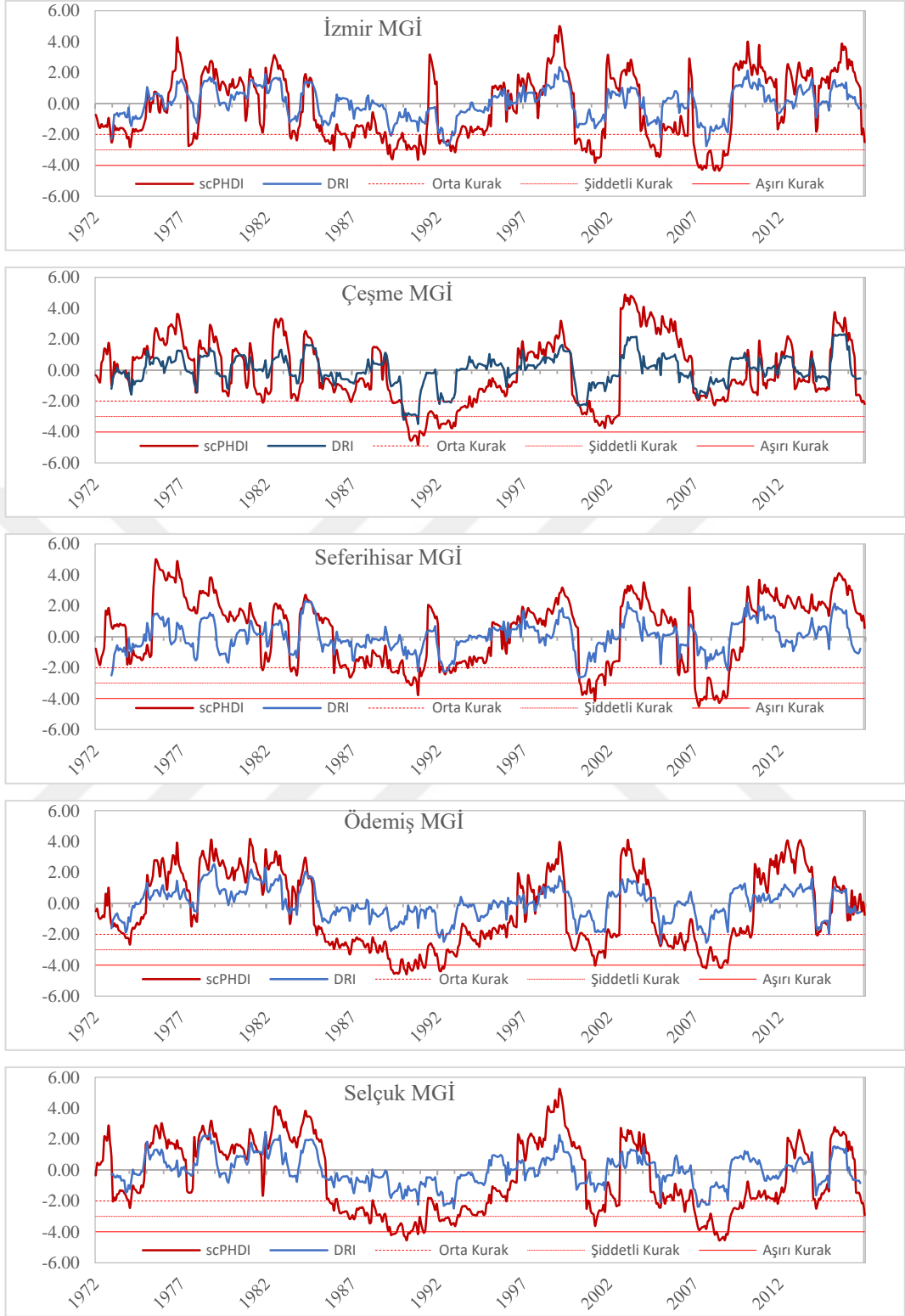




Şekil 7.A.2 Seçilen istasyonların SSFI – DRI zaman serilerinin kıyaslama grafikleri



Şekil 7.A.3 Seçilen istasyonların scPHDI-SPEI zaman serilerinin kıyaslama grafikleri



Şekil 7.A.4 Seçilen istasyonların scPHDI-DRI zaman serilerinin kıyaslama grafikleri