DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SEYHAN HAVZASI'NDA KURAKLIĞIN ZAMANSAL VE ALANSAL DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Ayşegül KUZUCU

Eylül, 2016
İZMİR

SEYHAN HAVZASI'NDA KURAKLIĞIN ZAMANSAL VE ALANSAL DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

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

Ayşegül KUZUCU

Eylül, 2016
İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

AYŞEGÜL KUZUCU, tarafından **DOÇ. DR. GÜLAY ONUŞLUEL GÜL** yönetiminde hazırlanan **"SEYHAN HAVZASI'NDA KURAKLIĞIN ZAMANSAL VE ALANSAL DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Gülay ONUŞLUEL GÜL

Yönetici

Yrd. Doç. Dr. Öner Levend Arıkoğlu

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Ayşegül Özgenç Aksoy

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Öncelikle, bu çalışmanın hazırlanmasında büyük emeği olan, engin bilgi ve tecrübelerinden daima yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman anlayışlı olan tez danışmanım, Hocam Doç. Dr. Gülay ONUŞLUEL GÜL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Beni dünyaya getiren, yetiştiren ve her zaman yanımda olan en büyük desteğim annem Hatice KUZUCU ve babam Yalçın KUZUCU'ya sonsuz teşekkür ederim. Canım kardeşim Salih KUZUCU'ya varlığı ve desteği için çok teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans hayatım boyunca bana mesleğimi, özellikle de hidrolojiyi çok sevdiren, daima örnek aldığım, Hocalarım Prof. Dr. Ertuğrul BENZEDEN, Prof. Dr. Türkay BARAN, Doç. Dr. Ali GÜL, Doç. Dr. Okan FISTIKOĞLU, Öğr. Gör. Dr. Yalçın ÖZDEMİR, Öğr. Gör. Dr. Cem Polat ÇETİNKAYA, Araş. Gör. Dr. Filiz BARBAROS'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hocalarım Prof. Dr. Serap KAHRAMAN, Prof. Dr. Serhan TANYEL, Araş Gör. Dr. Sadık Can GİRGİN ve Araş Gör. Dr. Onur MERTER'e yüksek lisans eğitimim boyunca verdikleri destek için çok teşekkür ederim.

Başta F. Sema KANDIR olmak üzere, ihtiyacım olduğunda desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, ailem gibi hissettiğim tüm iş arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İlkokuldan beri en yakın arkadaşım Duygu DİNCİOĞLU'na ve yüksek lisans sınıf arkadaşım Okan AYGÜN'e her zaman yanımda oldukları ve yardımları için çok teşekkür ederim. Manevi destek sağlayan tüm lisans arkadaşlarıma ve bu tezin basımında emeği geçen, çok sevdiğim Ezgi AYKOÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayşegül KUZUCU

SEYHAN HAVZASI'NDA KURAKLIĞIN ZAMANSAL VE ALANSAL DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

ÖZ

Çalışmanın amacı, Türkiye'de, Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Seyhan Havzası'da kuraklık analizi yapmaktır. Seyhan Havzası, Türkiye'nin en verimli tarımsal alanlarını içermektedir. Seyhan Havzası'nda ve çevresinde bulunan 30 adet Meteoroloji Gözlem İstasyonunun (MGİ) aylık toplam yağış miktarları (mm) temin edilip gözlem süreleri kontrol edilerek ortak periyot (1970-2010) belirlenmiştir. Ortak periyot içerisindeki eksik yağış verileri regresyon ile tamamlanmıştır. Çalışmada kullanılan her MGİ'nin yağış verileri kullanılarak homojenlik analizleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılan tüm MGİ'ler için 1, 3, 6, 9, 12, 24, 36 ve 48 aylık Standartlaştırılmış Yağış İndisleri (SPI) hesaplanmıştır. Her bir istasyon için hesaplanan SPI değerlerinin zamana bağlı değişimi grafikte gösterilmiştir. 1, 3, 6 ve 12 aylık SPI değerleri kullanılarak, tüm istasyonlar için en kritik yani SPI değerlerinin minimuma en çok düştüğü tarihler için alansal kuraklık analizi yapılmıştır. Alansal kuraklık analizinde Normal (Ordinary) Kriging yöntemi uygulanmış olup, çapraz geçerlilik sonuçlarına göre Kriging metodu içerisindeki tüm modeller karşılaştırılmış, en uygun model belirlenip uygulanmıştır. En kurak tarihler için Seyhan Havzası kuraklık haritaları oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki bölgelerin kuraklıktan ne kadar etkilendiği, kuraklık sınıflandırmasına göre renklendirilen haritalarda sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, Kriging analizinde kullanılmak üzere seçilen en kritik zamanlar için Seyhan Havzası'nda olağanüstü kuraklığın hakim olduğunu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Seyhan nehri havzası, kuraklık, Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI), zamansal ve alansal kuraklık analizi, Normal (Ordinary) Kriging, kuraklık haritaları, regresyon, homojenlik analizi, Mann-Kendall trend testi, Sen'in eğim metodu, t-testi, Pettitt testi, Alexandersson SNHT testi, Buishand testi

INVESTIGATION OF TEMPORAL AND SPATIAL CHANGES OF DROUGHT IN SEYHAN BASIN

ABSTRACT

The aim of this study is to analyse the drought of Seyhan Basin that is located in the Mediterranean Region in Turkey. Seyhan Basin has included the most fertile soil of Turkey. The monthly precipitation dataset of 30 meteorological stations around Seyhan Basin have been provided. The observation period between 1970 and 2010 has been determined considering the observation periods for each meteorological station. The missing data in the observation period between 1970 and 2010 have been completed via regression analyses. The homogeneity analyses have been done using precipitation data of each meteorological station. Standardized Precipitation Index (SPI) has been calculated for 1, 3, 6, 9, 12, 24, 36 and 48-monthly periods for each meteorological station and the time-dependent variances related to 1, 3, 6 and 12 monthly SPI values have been shown in charts. Ordinary Kriging Method for the spatial drought analysis has been performed for each meteorological station for the months when SPI values are most frequently being minimum in. The Ordinary Kriging models have been compared with the results of cross-validation so that the fitting models are determined. The drought maps of Seyhan Basin have been occured for the driest periods and the drought clasification have been showed with different colours in the maps. This study indicates that extremely droughts are dominated in Seyhan Basin in the driest dates which are selected for using in kriging analyses.

Keywords: Seyhan basin, drought, Standardized Precipitation Index (SPI), spatial and temporal drought analyses, Ordinary Kriging, drought mapping, regression, homogeneity analysis, Mann-Kendall trend test, Sen's slope method, t test, Pettitt test, Alexandersson SNHT test, Buishand test

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZ iv
ABSTRACT v
ŞEKİLLER LİSTESİ ix
TABLOLAR LİSTESİ xiii

BÖLÜM BİR - GİRİŞ 1

BÖLÜM İKİ - KURAKLIK TANIMLARI 6

BÖLÜM ÜÇ - KURAKLIĞIN ETKİLERİ 8

3.1 Ekonomik Etkiler……..8
3.2 Çevresel Etkiler……..…9
3.3 Sosyal Etkiler……9

BÖLÜM DÖRT - DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR 10

4.1 Akademik Çalışmalar…….....…...…..10
4.1.1 Kuraklıkla İlgili Genel Çalışmalar….....10
4.1.2 Kuraklık İndisleri İle İlgili Çalışmalar…….…...10
4.1.3 SPI İle İlgili Çalışmalar…….…....12
4.1.4 Alansal Kuraklık Analizi ile İlgili Çalışmalar…….....17
4.2 Kurumsal Çalışmalar……..…….....…19
4.2.1 Türkiye'deki Kurumlar ve Yaptıkları Çalışmalar……...……19
4.2.2 Yurtdışındaki Bazı Kurumlar ve Yaptıkları Çalışmalar…… .21

BÖLÜM BEŞ-KURAKLIK İNDİSLERİ 25

BÖLÜM ALTI - ÇALIŞMA ALANI..... 32

6.1 Çalışma Alanının Yeri…….....32
6.2 Yer Şekilleri ve Genel Arazi Dağılışı…….……35
6.3 Akarsular……...…..37
6.4 İklim Özellikleri…….....38
6.5 Tarım ve Hayvancılık…….….39

BÖLÜM YEDİ - ÇALIŞMA YÖNTEMİ..... 41

7.1 Veri Temini…….…….…42
7.2 Regresyon Analizi…….……...45
7.3 Homojenlik Analizi…….…….51
7.3.1 Pettitt Testi…….…….……..53
7.3.2 Alexandersson Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT).....53
7.3.3 Buishand Testi……..54
7.3.4 Mann-Kendall Trend Testi…….……..55
7.3.5 Sen'in Eğim Metodu…….....56
7.3.6 t- Testi…….....57
7.3.7 Homojenlik Analizi Sonuçları…… ……..58
7.4 Standartlaştırılmış Yağış İndislerinin Elde Edilmesi…….…….....62
7.5 Alansal Kuraklık Analizi……..…....71
7.5.1 Kriging Metodu……..……..72
7.5.2 Yarıvariogram…….…….76
7.5.3 Normal (Ordinary) Kriging…….…….…77

BÖLÜM SEKİZ - SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... 84

8.1 Sonuçlar…….….84
8.1.1 Yağış Verilerinin Değerlendirilmesi …….…….84
8.1.2 Seyhan Havzası'nda Kuraklığın Zamansal Analizi…….…88
8.1.3 Seyhan Havzası'nda Kuraklığın Alansal Analizi……...…102

8.2 Öneriler……..…….....123

KAYNAKLAR 124

EKLER 134

Ek 1 Kısaltmalar……..134

Ek 2 Yağışların ve SPI Değerlerinin Zamana Bağlı Değişim Grafikleri...……..135

Ek 2.A Aylık Toplam Yağışların Zamana Bağlı Değişimi……...…..135

Ek 2.B 1, 3, 6 ve 12 Aylık SPI Değerlerinin Zamana Bağlı Değişimi…......143

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Kuraklık çeşitleri 2
Şekil 1.2 Kuraklık ile oluşabilecek durumlar) 3
Şekil 3.1 Kuraklığın etki alanları 8
Şekil 4.1 MGM Kuraklık İzleme Sistemi'nden alınan Adana bölgesi 3 aylık SPI grafiği 19
Şekil 4.2 MGM tarafından, 2016 yılı Şubat ayı için 3 aylık SPI değerleri kullanılarak hazırlanmış kuraklık haritası 20
Şekil 4.3 EDO tarafından Şubat ayı 1989 yılı için SPI yöntemi ile yapılan kuraklık analizi 22
Şekil 4.4 DMCSEE tarafından Şubat ayı 1989 yılı için SPI yöntemi ile yapılan kuraklık analizi 23
Şekil 4.5 IRI kuraklık görüntüleme sistemine göre Türkiye'de 3 aylık SPI değerlerine göre 1989 yılı Şubat ayı kuraklık durumu 24
Şekil 6.1 Seyhan Havzası'nın Türkiye'deki konumu 32
Şekil 6.2 Seyhan Havzası ve komşu havzaları 33
Şekil 6.3 Seyhan Havzası'nda yer alan il ve ilçeler 34
Şekil 6.4 Seyhan Havzası arazi örtüsü 36
Şekil 6.5 Seyhan Havzası arazi kullanımı oranları dairesel grafikte gösterim 36
Şekil 7.1 Kuraklık analizinde izlenen adımlar 41
Şekil 7.2 Çalışma kullanılan MGİ'ler 44
Şekil 7.3 Kullanılan MGİ'lerin Yıllık Ortalama Yağış Miktarları (mm) 50
Şekil 7.4 Çalışmada kullanılan homojenlik testleri 51
Şekil 7.5 Çalışmada kullanılan trend testleri 52
Şekil 7.6 Yağışların kümülatif olasılıkları ve SPI değerlerinin elde edilmesi 64
Şekil 7.7 Ortalaması sıfır ve varyansı bir olan standart normal dağılımlı SPI 66
Şekil 7.8 SPI hesaplama yazılımı 67
Şekil 7.9 SPI hesaplama yazılımı girdi dosyası 68
Şekil 7.10 SPI hesaplama yazılımı çıktı dosyası 69
Şekil 7.11 Alansal analiz yöntemleri 71

Şekil 7.12 Kriging ile oluşturulan yüzey 72
Şekil 7.13 Kriging metodu çeşitleri 73
Şekil 7.14 1989 yılı Şubat ayı 1 aylık SPI değerlerinin histogramı 74
Şekil 7.15 1989 yılı Şubat ayı 1 aylık SPI değerlerinin normal QQ-çizimi 75
Şekil 7.16 1989 yılı 1 aylık Şubat ayı SPI değerlerinin alansal trendi 75
Şekil 7.17 1989 yılı Şubat ayı 1 aylık SPI değerlerinin yarıvariogram bulutu 75
Şekil 7.18 Yarıvariograma en uygun modelin seçilmesi 76
Şekil 7.19 Tepe varyans noktası , etki uzaklığı ve kontrolsüz etki 77
Şekil 7.20 Ordinary Kriging adımları ve tipleri 78
Şekil 7.21 Geoistatistiksel analiz tipinin seçilmesi 79
Şekil 7.22 Kriging tipinin seçilmesi 79
Şekil 7.23 Yarıvariogram modelinin seçilmesi 80
Şekil 7.24 Komşuluğun araştırılması 81
Şekil 7.25 Seçilen kriging tipinin çapraz geçerlilik sonuçları 81
Şekil 8.1 Adana MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi 86
Şekil 8.2 Pınarbaşı-Kayseri MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi 86
Şekil 8.3 Tomarza MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi 86
Şekil 8.4 Sarız MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi 87
Şekil 8.5 Ulukışla MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi 87
Şekil 8.6 Karaisalı MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi 87
Şekil 8.7 Karataş MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi 88
Şekil 8.8 Adana MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık e) 24 aylık SPI değerleri 90
Şekil 8.9 Pınarbaşı-Kayseri MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık e) 24 aylık SPI değerleri 91

Şekil 8.10 Tomarza MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık e) 24 aylık SPI değerleri 93
Şekil 8.11 Sarız MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık e) 24 aylık SPI değerleri 95
Şekil 8.12 Ulukışla MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık e) 24 aylık SPI değerleri 97
Şekil 8.13 Karaisalı MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık e)24 aylık SPI değerleri 98
Şekil 8.14 Karataş MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık e) 24 aylık SPI değerleri 100
Şekil 8.15 Yıllık ortalama yağış verileri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging işlem adımları: (a) Yarıvariogram modeli, (b) Komşuluk, (c) Çapraz geçerlilik sonuçları 106
Şekil 8.16 Yıllık ortalama yağış verileri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging (log dönüşümlü) işlem adımları (a) Yarıvariogram modeli, (b) Komşuluk, (c) Çapraz geçerlilik sonuçları 107
Şekil 8.17 1972 Aralık ayı için 1 Aylık SPI değerleri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging işlem adımları: (a) Yarıvariogram modeli, (b) Komşuluk, (c) Çapraz geçerlilik sonuçları 108
Şekil 8.18 1989 yılı Nisan ayı 3 Aylık SPI değerleri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging işlem adımları: (a) Yarıvariogram modeli, (b) Komşuluk, (c) Çapraz geçerlilik sonuçları 109
Şekil 8.19 2001 yılı Ocak ayı için 3 Aylık SPI değerleri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging işlem adımları: (a) Yarıvariogram modeli, (b) Komşuluk, (c) Çapraz geçerlilik sonuçları 110
Şekil 8.20 1989 yılı Haziran ayı için 6 Aylık SPI değerleri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging işlem adımları: (a) Yarıvariogram modeli, (b) Komşuluk, (c) Çapraz geçerlilik sonuçları 111
Şekil 8.21 1989 yılı Mayıs ayı için 6 Aylık SPI değerleri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging işlem adımları: (a) Yarıvariogram modeli, (b) Komşuluk, (c) Çapraz geçerlilik sonuçları 112

Şekil 8.22 1973 yılı Ekim ayı için 12 Aylık SPI değerleri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging işlem adımları: (a) Yarıvariogram modeli, (b) Komşuluk, (c) Çapraz geçerlilik sonuçları 113
Şekil 8.23 Yıllık ortalama yağış miktarının (mm) alansal değişimi 114
Şekil 8.24 Yıllık ortalama yağış miktarının (mm) alansal değişimi (Log dönüşümlü) 115
Şekil 8.25 1989 Şubat ayı 1 aylık SPI değerlerine göre alansal kuraklık analizi 116
Şekil 8.26 1972 Aralık ayı 1 aylık SPI değerlerine göre alansal kuraklık analizi 117
Şekil 8.27 1989 Nisan ayı için 3 aylık SPI değerlerine göre alansal kuraklık analizi 118
Şekil 8.28 2001 Ocak ayı için 3 aylık SPI değerlerine göre alansal kuraklık analizi. 119
Şekil 8.29 1989 Haziran ayı için 6 aylık SPI değerlerine göre alansal kuraklık analizi 120
Şekil 8.30 1989 Mayıs ayı için 6 aylık SPI değerlerine göre alansal kuraklık analizi 121
Şekil 8.31 1973 Ekim ayı için 12 aylık SPI değerlerine göre alansal kuraklık analizi 122

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 6.1 Seyhan Havzası'ndaki akarsular ve özellikleri 38
Tablo 7.1 Çalışmada kullanılan yazılımlar ve kullanıldığı işlemler 42
Tablo 7.2 Çalışmada kullanılan meteoroloji gözlem istasyonları 43
Tablo 7.3 Regresyon analizi yapılan meteoroloji gözlem istasyonları 48
Tablo 7.4 Çalışmada kullanılan MGİ'lerin regresyonla tamamlanmış verileri ve yıllık yağış miktarlarının ortalaması 49
Tablo 7.5 1970-2010 dönemi aylık toplam yağış verilerinin homojenlik analizi sonuçları 60
Tablo 7.6 1970-2010 dönemi aylık toplam yağış verilerinin trend analizi sonuçları 61
Tablo 7.7 SPI sınıflandırması (NOAA) 70
Tablo 7.8 Kriging metodları ve harita yüzey çıktıları 74
Tablo 8.1 SPI değerlerine göre 1970-2010 periyodundaki en kurak tarihler 101
Tablo 8.2 Tüm istasyonların en kurak tarihlerdeki SPI değerleri 102
Tablo 8.3 Yarıvariogram modellerinin çapraz-geçerlilik sonuçları 104
Tablo 8.4 Kriging ile oluşturulan SPI dağılımları için çapraz geçerliliğin R Studio'da yapılması 105

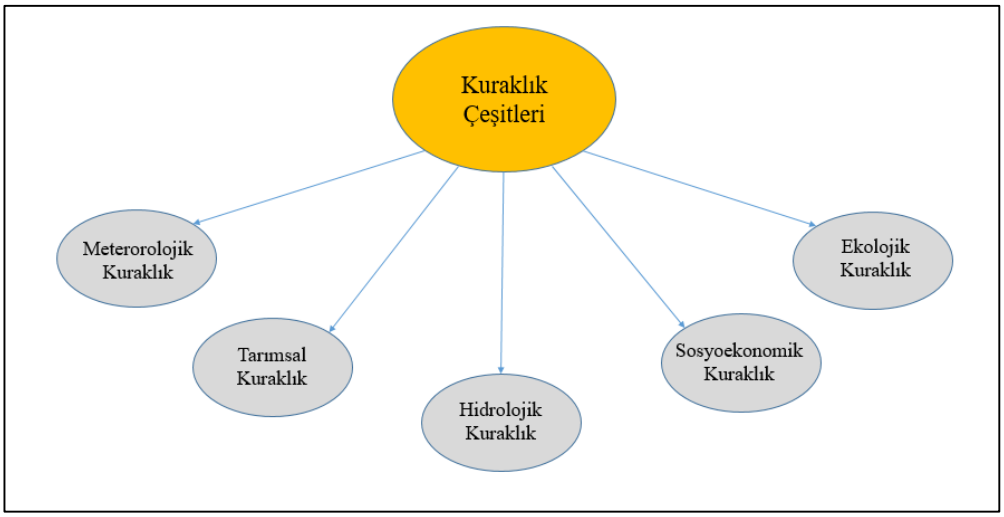
BÖLÜM BİR
GİRİŞ

Günümüzde dünyanın birçok bölgesinde su kıtlığı yaşanmaktadır. Nüfus artışı, yeraltı ve yüzey sularının kirlenmesi nedenleriyle su ihtiyacında artış söz konusu olmaktadır. Kuraklık, bilinen en eski tarihten bu yana yaşanan doğal bir olaydır. İklim değişikliğinin kuraklık üzerindeki etkileri ile ilgili araştırmalar devam etmesine rağmen kuraklık karakteristiklerinin analizlerinde hala eksiklikler gözlemlenmektedir. Kuraklığın doğal faktörlerden çok, toprak, su ve biyolojik kaynakların yanlış veya aşırı kullanımı gibi olumsuz uygulamalar nedenleri ile etkisini artırdığı bilimsel olarak ortaya konmuştur.

Byrant (1993), afetlerin şiddeti, etki olduğu süre, etkilediği toplam alan, can kaybı, toplam ekonomik kayıp ve sosyal etki ve kalıcılığı göz önünde bulundurarak yaptığı değerlendirmede kuraklık olayını, önem sırasına göre dünyada etkili olan 31 çeşit doğal afet içinde ilk sırada göstermiştir. Kuraklığın başlangıç ve bitişinin belirsiz oluşu, kümülatif olarak artması, aynı anda birden fazla kaynağa etkisi ve ekonomik boyutunun yüksek olması kuraklığın önemli özelliklerindendir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), b.t).

Atmosferde sıcaklıkların artması ve nemliliğin azalması sonucunda yağışlar meydana gelmez. Bu olay atmosfer içinde ortaya çıkan geniş ölçekteki iklim salınımları ile ilişkilidir. Kuraklık, yağış eksikliği veya çok hafif yağışların oluşması sonucunda, uzun zaman ve geniş alanlarda, buharlaşma ve evapotranspirasyonun dengeli biçimde sürdürülemediğinden dolayı nemliliğin uzun dönem ortalamasından daha az olması sonucunda ortaya çıkmaktadırlar.

Kuraklık; Ulusal Kuraklık Önleme Merkezi (NDMC) tarafından, meteorolojik, tarımsal, hidrolojik, sosyoekonomik ve ekolojik kuraklık olarak sınıflandırılmış olup Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Kuraklık çeşitleri

Meteorolojik kuraklık yağışların belirgin şekilde normal değerlerin altına düşmesiyle açığa çıkmaktadır. Kuraklık süresi boyunca yağışlar azalırken buharlaşmalar artmaktadır. Nem azlığının derecesi ve uzunluğu meteorolojik kuraklığı belirlemektedir ve bölgeden bölgeye farklılıklar gözlenebilir. Meteorolojik kuraklık olayı hızlı bir şekilde kuvvetlenebildiği gibi aniden sonlanabilmektedir. Kuraklık periyotları genellikle, belirlenen eşik değerlerinin altında yağışlı olan günlerin sayısı olarak tanımlanmıştır.

Toprakta bitkinin ihtiyacını karşılayacak miktarda su bulunmaması olarak tanımlanan tarımsal kuraklık, nem kaybının artması ve su kaynaklarında kıtlık oluşması durumunda meydana gelmektedir (Afet ve Acil Durum Yönetimi Merkezi, AFAD, b.t.). Büyüme periyodu boyunca herhangi bir bitkinin suya ihtiyaç duyduğu belirli bir kritik döneminde toprak nemi olmadığı zaman tarımsal kuraklık ortaya çıkmaktadır. Tarımsal kuraklık meteorolojik kuraklıktan sonra ve hidrolojik kuraklıktan önce ortaya çıkan tipik bir durumdur (Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), b.t).

Hidrolojik kuraklık ise uzun süre devam eden yağış eksikliği neticesinde ortaya çıkan yeryüzü ve yeraltı sularındaki eksilmeleri ifade etmekte olup nehir akımı ölçümleri ve yeraltı suyu seviyeleri ölçümleri ile takip edilebilir. Meteorolojik kuraklık

sona erdikten uzun süre sonra dahi hidrolojik kuraklık varlığını sürdürebilmektedir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), b.t).

Sosyo-ekonomik kuraklık, yukarıda bahsedilen kuraklık tiplerinden farklı bir durum arz etmektedirler. Çünkü bu kuraklık yer ve zamana bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Kısacası sosyo-ekonomik kuraklık, yağışlardaki azalmanın sonucu olarak gelişen ve üretimin ihtiyacı karşılayamadığı durumlarda ortaya çıkmaktadır.

Ekolojik kuraklık ise su temininde, uzun süreli ve geniş çapta yayılmış eksiklik olarak tanımlanmaktadır.

NDMC tarafından yapılan çalışma ile meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık dönemlerinde oluşabilecek başlıca durumlar, oluşum sırası ve neden-sonuç ilişkisi göz önünde bulundurularak diyagram haline getirilmiş ve Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2 Kuraklık ile oluşabilecek durumlar (Ulusal Kuraklık Azaltma Merkezi (NDMC), b.t.)

Kuraklık çalışmalarında, yağış verilerinden yararlanarak hesaplama olanağı olan Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. SPI, McKee ve diğer. (1993) tarafından kuraklığı tanımlamak ve izlemek amacıyla geliştirilmiştir. SPI; yağışın ortalamadan çıkarılıp, standart sapmaya bölünmesi ile elde

edilen standartlaştırılmış bir değerdir. SPI ile herhangi bir bölgede belirli bir zaman ölçeğinde kurak veya nemli olaylardaki anormallikler belirlenebilir. Yalnızca yağış değerlerine bağlı olan ve kolay hesaplanan bir indis olan SPI, sadece olasılıkla ilgilidir ve devam eden periyotta yağış eksikliğini hesaplamaktadır. SPI, normal dağılımlıdır. Böylece kurak dönemin yanı sıra, yağışlı dönemler de bu yöntem ile izlenebilmektedir.

"Seyhan Havzası'nda Kuraklığın Zamansal ve Alansal Değişiminin İncelenmesi" konusu kapsamında hazırlanan yüksek lisans tezi, Türkiye'nin en verimli tarımsal alanlarını içeren Seyhan Nehri Havzası'nda kuraklık analizi yapmayı amaçlamaktadır. Sekiz ana bölümden oluşan çalışmanın başlıkları aşağıda sırasıyla verilmiştir:

1. Giriş
2. Kuraklık Tanımları
3. Kuraklık Etkileri
4. Daha Önce Yapılan Çalışmalar
5. Kuraklık İndisleri
6. Çalışma Alanı
7. Çalışma Yöntemi
8. Sonuçlar ve Öneriler

Çalışmanın sonundaki *Ekler* kısmında MGİ'lerde ölçülen aylık toplam yağış miktarlarının (mm) zamana bağlı değişim grafikleri ile bu yağış verilerinden elde edilen 1, 3, 6 ve 12 aylık SPI değerlerinin zaman bağlı değişim grafikleri sunulmuştur.

Yapılan tez çalışması kapsamında,

- Seyhan Havzası'nda ve çevresinde bulunan meteoroloji gözlem istasyonlarının (MGİ) aylık toplam yağış miktarları (mm) temin edilmiştir.

- Çalışmada kullanılan tüm MGİ'ler için aylık toplam yağış miktarlarının (mm) kayıt süreleri kontrol edilerek ortak periyot, 1970-2010 yılları arası olarak belirlenmiştir.

- Ortak periyot içerisindeki eksik yağış verileri regresyon analizi ile doğrusal denklemleri elde edilerek tamamlanmıştır.

- Çalışmada kullanılan her MGİ için homojenlik analizleri yapılmıştır. Zaman serisindeki ani değişimleri belirleyen Pettitt Testi. Alexandersson SNHT Testi ve Buishand Testi, zaman serisi boyunca oluşan değişimi belirleyen Mann-Kendall Trend Testi, Sen'in Eğim Metodu ve t Testi uygulanmıştır.

- Çalışmada kullanılan her bir istasyonun 1970-2010 periyodu için, aylık toplam yağış miktarlarının zamana bağlı değişim grafikleri çizilmiştir.

- Çalışmada kullanılan tüm MGİ'ler için 1, 3, 6, 9, 12, 24, 36 ve 48 aylık Standartlaştırılmış Yağış İndisleri (SPI) hesaplanmıştır. Her bir istasyon için hesaplanan 1, 3, 6 ve 12 aylık SPI değerlerinin zamana bağlı değişimi grafiklerde gösterilmiştir.

- Hesaplanan 1, 3, 6 ve 12 aylık SPI değerleri kullanılarak, en kritik yani SPI değerlerinin minimuma en çok düştüğü tarihler için alansal kuraklık analizi yapılmıştır. Alansal kuraklık analizinde Normal (Ordinary) Kriging yöntemi uygulanmış olup, çapraz geçerlilik sonuçlarına göre Kriging metodu içerisindeki tüm modeller karşılaştırılmış ve en uygun model belirlenip uygulanmıştır.

- Hesaplanan SPI değerlerine göre elde edilen en kritik ya da başka bir deyişle en kurak tarihler için Seyhan Havzası kuraklık haritaları oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki bölgelerin kuraklıktan ne kadar etkilendiği, kuraklık sınıflandırmasına göre renklendirilen haritalarda gösterilmiştir.

BÖLÜM İKİ
KURAKLIK TANIMLARI

Kuraklığı tanımlamadaki tüm bakış açıları kuraklığın belirli bir zaman diliminde yağış eksikliğinden kaynaklanan yetersiz nem durumu olduğunu kabul etmektedir. Dünyada farklı bölgelerdeki hidrometrik değişkenler ve sosyoekonomik faktörlerdeki farklılıklar su taleplerinin stokastik doğasında olduğu gibi kuraklığın kesin bir tanımı olmasına engel olmaktadır.

Yevjevich (1967) tarafından belirtildiği gibi kuraklık tanımı için oldukça çeşitli görüşlerin var olması kuraklığın araştırılmasında temel engellerden biridir. Kuraklık tanımlamaları yaparken kavramsal ve işlevsel olarak ayrım yapmak önemli olmaktadır (Wilhite ve Glantz, 1987).

Kavramsal tanımlar, kuraklığın dönem başlangıcını, dönem sonunu ve şiddetini belirlemekte yardımcı olmaktadır. İşlevsel tanımlar ise verilen süre içinde kuraklık frekansı, şiddeti ve süresinin analizi için kullanılmaktadır (Mishra ve Singh, 2009).

Gumbel (1963) kuraklığı "günlük akarsu akımlarının yıllık değerinin en küçüğü", Palmer (1965) "bir alanın normal hidrolojik koşullarından önemli bir sapması" olarak ve Linsley ve diğer. (1959) "önemli bir yağış miktarı olmayan sürekli bir zaman periyodu" olarak tanımlamışlardır.

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO,1996), kuraklığın "yağışlarda sürekli ve geniş bir eksiklik olduğunu" belirtmiştir. Birleşmiş Milletler Kuraklık ve Çölleşme ile Mücadele Kongresi (UNCCD, 1994) kuraklığı "yağışların önemli derecede normal değerlerin altına düştüğü zamanlarda oluşan, doğal olarak meydana gelen bir olay" olarak tanımlamış ve "arazi kaynakları üretim sistemlerini olumsuz etkileyen ciddi hidrolojik dengesizliklere neden olduğunu" belirtmiştir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO, 1983) "kuraklık tehlikesini ürünlerin nem eksikliğinden dolayı başarısız olduğu yılların yüzdesi" olarak tanımlamıştır.

Schneider (1996) kuraklığı “bir bölge için uzun yıl ortalamalarına göre yağış miktarının eksikliğinin geniş bir dönemi” olduğunu belirtmiştir.

Bayazıt ve Önöz (2008) kuraklığı “bölgenin iklime bağlı olmaksızın, su miktarının normalin altına düşmesi halinde görülen ekstrem bir zaman-alan süreci” olarak tanımlamışlardır.

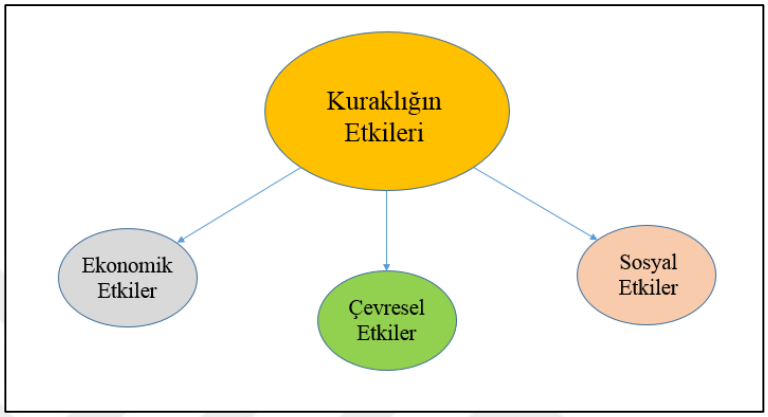
Şen (2009), kuraklığın “sadece basit bir yağış eksikliği olmadığını, ısrarlı olarak nemliliğin uzun yıllar ortalamasından aşağıya düşmesi sonucunda ortaya çıktığını ve bir bölgede yağış, buharlaşma ve terlemenin dengeli bir şekilde devam ettirilememesinden kaynaklandığını” vurgulamıştır.

Bayazıt ve Önöz (2008), akarsuyun normalden az su taşıdığı dönemleri incelerken iki yaklaşım önermiştir. Bunlar düşük akım analizi ve run analizidir. Düşük akımların analizi, debi süreklilik, yıl içi debi frekans ve kısmi süreklilik eğrileri kullanılarak akarsudaki debinin belli bir yüzdesinde aştığı değerleri belirlemeye dayanmaktadır. Düşük akımlar, çeşitli indisler kullanılarak tanımlanabilmektedirler.

Run analizinde, Yevjevich (1967) kuraklık parametrelerini tanımlamak ve istatistiksel özellikleri araştırmak süre, şiddet, yoğunluğa dayalı için bir yaklaşım önermiştir. Akarsu akışlarının zaman serisi incelendiğinde belli bir eşik değerin altı kurak dönem olarak kabul edilmektedir.

BÖLÜM ÜÇ
KURAKLIĞIN ETKİLERİ

Kuraklığın etkileri ekonomik, çevresel ve sosyal etkiler olmak üzere üç kategoride incelenebilmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Kuraklığın etki alanları

3.1 Ekonomik Etkiler

Kuraklıkla ilgili ekonomik etkilerin büyük bir kısmı, yeraltı ve yüzey sularına direk ve dolaylı yoldan muhtaç olan tarım ve tarımla ilgili sektörlerde gerçekleşmektedir. Hayvan ve ürün kayıplarına ek olarak böcek istilaları, bitki örtüsünün yok olması ve erozyon ile de ilişkilidir. Vahşi hayvan popülasyonunun ve insanların daha çok etkilendiği kuraklık dönemi boyunca orman yangınları da artmaktadır. Kuraklık etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılan bir başka gösterge ise gelir kaybıdır. Çiftçilerin gelirlerindeki azalma dalgalanma etkisi yaratmaktadır. Bu durum diğer perakendecileri ve dolayısıyla tüm sektörleri etkilemektedir. Buna bağlı olarak işsizlikte artış, alınan kredilerin ödenememesi, devletin aldığı vergilerde oluşabilecek kayıplar, öte yandan yiyecek, enerji ve diğer tüketim ürünlerinde meydana gelen fiyat artışları ekonomiyi zora sokmaktadır. Hidroelektrik üretimi de kuraklık döneminde önemli derecede etkilenmektedir.

3.2 Çevresel Etkiler

Çevresel olarak kuraklığın bitki ve hayvan türleri kayıpları, vahşi yaşam, hava ve su kalitesi, orman yangınları, toprak kalitesinde azalma, biyo çeşitlilik kaybı ve toprak erozyonu gibi etkileri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları kuraklıktan kısa dönemde etkilenmekte ve kuraklık sona erdiğinde kısa sürede normale dönebilmektedir. Fakat bazı etkiler daha uzun sürmekte, hatta kalıcı etkiler göstermektedir.

3.3 Sosyal Etkiler

Sosyal açıdan kuraklığın kamu güvenliği ve sağlığı, su kullanıcıları arasında çatışmalar, yaşam kalitesinde azalmalar, kuraklık etkilerinin dağılımındaki eşitsizlikler ve afet durumu gibi etkileri mevcuttur. Su ve yiyeceğin olduğu yerlere, genellikle kentsel alanlara doğru popülasyonların göçmesi birçok ülke için ciddi bir sorundur. Göç ettikleri yerlerde yoksulluk ve huzursuzluk artışına yol açabilmektedir.

Kuraklık problemi büyük ölçekte ele alındığında su kaynaklarının çok maksatlı kullanımının optimal geliştirilmesi ve yönetilmesi söz konusudur. Kuraklık yönetimi fiziksel olarak kolay görünse de sosyoekonomik yönden çok karmaşıktır. Bu nedenle ulusal ve uluslararası düzeylerde kuraklık stratejilerinin uygulanmasına çok seyrek rastlanmaktadır (Yevjevich ve Vlachos, 1983).

BÖLÜM DÖRT
DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR

4.1 Akademik Çalışmalar

4.1.1 Kuraklıkla İlgili Genel Çalışmalar

Mishra ve Singh (2010) çalışmalarında kuraklığı çoklu iklimsel ve hidrolojik parametrelerle karakterize etmişlerdir. Bu iki parametre seti arasındaki ilişkiyi anlamanın, kuraklığın etkilerini azaltmada önlemler geliştirmek için gerekli olduğunu savunmuşlardır. Kuraklığın temel kavramlarını yeniden incelemişler ve kuraklık sınıflandırması, kuraklık indisleri, paleoklimatik çalışmaları kullanarak tarihi kuraklıklar ve büyük ölçekli iklim indisleri arasındaki bağıntıları ortaya koymuşlardır.

Jaewon ve diğer. (2012) kuraklık karakteristiklerinin analizini Kore yarımadasındaki Namhan Nehri'nin üst akarsu havzası için yapmışlardır. 1967-2007 dönemi aylık akışlar kullanılarak Run teorisine göre şiddet-süre-tekerrür (SDF) analizleri gerçekleştirmişler ve aylık ortalama değerlerin altında akışlar belirlemişlerdir. Kuraklık özelliklerinin istatistiksel analizleri yapılmış, süre ve tekerrür değerleri için Weibul dağılımını, kuraklık şiddeti için Gamma dağılımını öngörmüşlerdir. Çeşitli rastgele değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlamak için Copula teorisini uygulamışlardır. Copula teorisi ile hesaplanan kuraklık şiddeti-süre-tekerrür eğrileri ile kuraklık olasılığını hesaplamayı mümkün görüp gelecekteki kuraklıkları ele almak için ön veri olarak kullanmışlardır.

4.1.2 Kuraklık İndisleri İle İlgili Çalışmalar

Akhtari ve diğer. (2009) çalışmalarında İran'ın Tahran ilindeki 43 istasyonun verilerini kullanarak 1 aylık SPI ve EDI değerlerini elde ederek kuraklık analizi yapmışlardır. Kriging metodunu en doğru yöntem sayılmasına rağmen hareketli ağırlıklı ortalama basitlik ve işlem hızı ile birlikte makul bir doğruluk sağlamaktadır. Bu sebeple hareketli ağırlıklı ortalama yöntemi bölgede fiili kuraklık görüntüleme sistemi için tavsiye etmektedirler.

Tatlı ve Türkeş (2011a) Palmer kuraklık şiddeti indisinin hesaplanması amacıyla, Amerika Bileşik Devletleri'nde bulunan ORNL DAAC'nin (Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Centre) 1 m'deki toprak su tutma kapasitesi verilerini kullanmışlardır. Elde edilen PDSI (Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi) ve SPI değerleri arasında çapraz Pearson korelasyon katsayıları hesaplayarak alansal dağılım haritaları elde etmişlerdir. PDSI ile SPI arasındaki korelasyon katsayısı değerleri, 0,7 – 0,9 ile 12 aylık diziler arasında olduğunu, diğer taraftan 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 belirtmişlerdir. Böylece, PDSI ya da SPI indisleri kullanılarak, kuraklık izlemede 12 aylık zaman ölçekleri için anlamlı sonuçlar elde edileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Doğan ve diğer. (2012) Konya'daki yarı kurak kapalı bir havzada oluşan kuraklığı tespit etmek için 12 adet istasyon verisinden yararlanarak normalin yüzdesi (PN), yağış miktarı ondalık tabanlı kuraklık indisi (RDDI), istatistiksel Z-değeri, Çin-Z indisi (CZI), Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ve etkili kuraklık indisi (EDI) olmak üzere altı kuraklık indisini karşılaştırmışlardır. Kuraklık sınıfları çeşitli zaman aralıkları için korelasyonlar yardımıyla değerlendirilmiştir. EDI için tüm zaman aralıkları göz önüne alındığında, diğer kuraklık indislerine göre en iyi korelasyona sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. RDDI'nin tüm zaman aralıkları için kuraklıkları tahmin edilenden fazla hesapladığını göstermişlerdir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda PN'nin, artan zaman aralığı için kuraklık yüzdesinde bir azalma olduğunu, SPI ve CZI'nin daha tutarlı olduğunu belirtmişlerdir.

Xu ve diğer. (2015) çalışmalarında, Çin'de 1961-2012 periyodunda gerçekleşen kuraklık olayını tanımlamak için 3 boyutlu gruplama yöntemi geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında 3 aylık SPI, RDI ve SPEI (Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi) değerleri kullanılarak kuraklık analizi yapılmıştır. Sonuçlara göre, SPI ve RDI kullanımı kurak bölgelerde daha uygun bulunurken, bu üç indis nemli bölgelerde aynı performansı göstermektedir.

Svoboda ve diğer. (2015) çalışmalarında ABD için hazırlanan Kuraklık Risk Atlası'nı SPI, SPEI, PDSI kuraklık gibi indislerine göre güncellemiş ve genişletmiştir. Kuraklık Risk Atlası, şiddet, süre, tekerrür gibi çeşitli kuraklık karakteristiklerini ve trendi analiz etmeye izin verebilecektir.

4.1.3 SPI İle İlgili Çalışmalar

Çaldağ ve diğer. (2004) çalışmalarında, Türkiye'nin tarımsal üretiminin en önemli kısımlarından biri olan Trakya Bölgesi'ni kuraklık açısından değerlendirmişlerdir. Bölgedeki uzun dönem meteorolojik verileri, kuraklık düzeyini analiz etmek için kullanmışlardır. SPI değerlerinin sonuçları İstanbul hariç Trakya bölgesinin 2000 ve 2001 yıllarında şiddetli kuraklık koşullarının etkileri altında olduğunu göstermektedir.

Sönmez ve diğer. (2005) çalışmalarında, Türkiye'deki meteorolojik kuraklıkların alansal ve zamansal boyutlarını hassasiyet kapsamında araştırmıştır. SPI yöntemini çoklu zaman aralıklarında, kuraklık olayının şiddeti ve frekansına dayanan kuraklık hassasiyetindeki coğrafik çeşitlilikleri detaylandırmak için kullanmışlardır. Kısa zaman aralıklarında, şiddetli kuraklıkların oluşumu ülkenin kıyı olmayan kısımlarında gözlemlenmesine rağmen bölgesel ölçekte, güneydoğu ve doğu Anadolu'yu, daha kısa zaman aralıklarında orta (ılıman) kuraklık ile nitelendirmişlerdir. Genel olarak kurak olmayan koşullar için gerekli yağış miktarının kıyı kesimlerden iç kesimlere doğru azalmakta olduğunu belirtmişlerdir.

Yıldız (2009) çalışmasında, Türkiye'deki yarı kurak bir bölge olan Hirfanlı Barajı Havzası'ndaki meteorolojik kuraklıkların karakteristiklerini kuraklık şiddetinin bir ölçüsü olarak SPI kullanarak belirlemiştir. Çalışma yapılan bölge, ülkenin büyük su kaynaklarından biri olan ve sıklıkla kuraklık olaylarına maruz kalan Kızılırmak Nehri'nin memba kısmını kapsamaktadır. SPI'nın alansal ve zamansal karakteristiklerini kullanarak, farklı tekerrür aralıkları için kuraklık şiddeti-alan-tekerrür eğrilerini bölge için oluşturmuştur. Bölgede seçilen önceden oluşmuş kuraklıkların tekerrür aralıkları ve şiddet alanı kapsamı elde edilmiş ve kuraklık şiddetinin değerlendirmesi sunulmuştur.

Saravi ve diğer. (2009) çalışmalarında yağış eksikliğinin günlük, mevsimsel ve yıllık salınımlarının İran ikliminin doğal karakteristikleri olduğunu belirtmişlerdir. Kuraklık çalışmalarında şiddet-süre-tekerrür kadar kuraklığın başlangıç ve bitişinin de önemli olduğunu vurgulamışlardır. İran Karoon Nehri havzasındaki kuraklık karakteristiklerini analiz etmişler ve kuraklık haritaları geliştirmişlerdir. 3, 6, 12 aylık SPI değerlerini havza içinde ve yakınındaki istasyonların yağış verilerini kullanarak hesaplamışlar ve değerlendirme sonucu 1999 kuraklığının etkinliğini göstermişlerdir. Kurak ve yağışlı dönemler belirleyip karakteristikler oluşturmuşlar ve "*ArcGIS"* kullanarak harita üzerinde kuraklığın alansal dağılımını araştırmışlardır. Bunun sonucunda havzanın güneydoğu bölgelerinde aşırı kurak koşulların baskın olduğunu gözlemlemişlerdir. Kuraklık süresini ve şiddeti 5-10-20-50-100 yıl tekerrür aralığı için hesaplayıp süre-tekerrür ve şiddet-tekerrür bağıntıları geliştirmişlerdir.

Keskin ve diğer. (2009) çalışmalarında, Türkiye'deki göller bölgesi etrafında bulunan dokuz istasyondan alınan verileri kullanarak meteorolojik kuraklık analizi için uygulanmışlardır. Kuraklık analizi için 3, 6, 9 ve 12 aylık SPI değerlerini hesaplamışlardır. SPI sınıflamalarını, Uyarlamalı Sinir Tabanlı Bulanık Sonuç Sistemi (ANFIS) ve bulanık mantık ile modellemişlerdir. Gözlenen değerleri ve modelleme sonuçlarını karşılaştırıp 12 aylık SPI değerleri kullanarak ANFIS modelinin, bulanık mantık modellerinden daha uyumlu olduğunu göstermişlerdir.

Topçu ve diğer. (2010) çalışmalarında gelecekteki kuraklık karakteristiklerinin muhtemel değişimlerini analiz etmeyi amaçlamışlardır. SPI değerleri kuraklık karakteristiklerini belirlemek için kullanılmaktadır. 1960-1990 dönemi için yağış verileri Türkiye'deki 52 istasyondan elde etmişlerdir. 2070-2100 yılları için gelecek yağış verilerini bölgesel bir iklim modeli olan RegCM3'ü kullanarak benzeşim yapmışlardır. Gelecekteki kuraklık karakteristiklerindeki muhtemel değişiklikleri değerlendirmek için her benzetilmiş yağış serisi, SPI hesaplamalarındaki referans döneminden türetilen ortalama yağış miktarı ile karşılaştırmışlardır. Kuraklık haritalarını, kuraklığın alansal değişimini belirlemek için oluşturmuşlardır. Sonuçlar, kuraklık koşullarının ülkede çeşitli olduğunu, şiddet, süre ve tekerrür için artan trendin saptandığını göstermektedir. Marmara'nın doğusunu, Karadeniz'i ve Doğu Anadolu

Bölgesi'nin kuzeydoğu kısmını sulak olarak nitelendirmişlerdir. Diğer bölgeler de daha sık, şiddetli ve uzun süreli kuraklıkla yüz yüze gelinecek olmasına rağmen, özellikle şiddetli kuraklık koşullarının Batı Akdeniz ve Ege Bölgesi'nde beklendiğini vurgulamışlardır.

Şimşek ve Çakmak (2010) çalışmalarında, Türkiye'de 2007-2008 yılında gerçekleşen kuraklığı analiz etmişlerdir. 151 adet meteoroloji istasyonunun 30 yıl uzunluğundaki aylık yağış verilerini kullanmışlardır. Yağış analizi için 106 istasyon verisi, sıcaklık analizi için 130 istasyon verisi kullanılmıştır. Kuraklığı, SPI ve PN kuraklık indisleri ve yağış ile sıcaklık analizleri yaparak değerlendirmişlerdir.12 aylık SPI sonuçlarına göre kuraklık Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesi'nin güney kısmında görülmektedir. 12 aylık PN sonuçlarına göre Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde kuraklık gözlenmektedir.

Logan ve diğer. (2010) çalışmalarında 1900-2006 yılları arasında yağıştaki değişimi değerlendirmişlerdir. Aylık yağış verileri ile Kansas Nehri Havzası için alansal analiz yapmışlar ve 1 aydan 12 aya kadar farklı zaman ölçekleri için SPI değerlerini hesaplamışlardır. Tüm zaman periyotları için SPI değerlerinin doğrusal trendi analiz edilmiştir. Fourier analizi de SPI değerlerinin karakteristiklerini belirlemek için kullanılmıştır.

Ramazanipour ve diğer. (2011) çalışmalarında İran'daki Hazar Denizi'nin güney kıyılarındaki kuraklığı araştırmışlardır. Kuraklık çalışması için, beş meteoroloji istasyonundan 48 yıllık (1956-2003) yağış verilerini elde etmişlerdir. İlk olarak kuraklığı SPI bazında hesaplamışlar, sonrasında kuraklık karakteristiklerini (şiddet, süre ve tekerrür) analiz etmişlerdir. Sonuçlar sulaklığın yüksek frekansının alanın ana ayırt edici bileşenlerinden biri olduğunu göstermiştir. Bu, 1-3 ay arasında oluşan kuraklığın yaklaşık %62-83'ünü içermektedir. Bu yüzden uzun dönem kuraklıklar en düşük frekansa sahip olmaktadır. Buna ilave olarak, kuraklık katsayılarının, batı istasyonlarında doğu istasyonlarından ziyade yüksek korelasyona sahip olduğunu göstermiştir. Kuraklık yoğunluğu ve süresi arasındaki ilişkiler, şiddet ve süredeki artışın frekansın azalmasıyla ilgili olduğunu göstermektedir.

Tatlı ve Türkeş (2011b) Türkiye'de gözlenen aylık yağış değerlerinden elde edilen SPI kullanmışlardır. CGCM2'nin yağış simülasyonlarında elde edilen SPI değerlerini tahmin edici olarak kullanan çok değişkenli regresyon modellerini kullanarak ölçek küçültmesi yapmışlardır. Önerilen modelin güvenilirliğini savunmak için 1940-2007 döneminde, ölçek küçültme model sonuçları ile kontrol modeli sonuçlarını karşılaştırarak kuraklık ve nemlilik sınıflarının oluşumu ile kontrol modelinin tahmin ürünlerinin doğruluk oranı ya da tahminin oluşmasının bir ölçüsü olan düzeltme katsayılarını tüm tahmin noktalarında hesaplamışlar ve başarı durumunu ortaya koymuşlardır. SRESS A2 ve SRESS B2 ile kontrol modellerinin elde edilen kuraklık sınıflarının olasılık dağılımlarını incelemişlerdir.

Tabari ve diğer. (2012) çalışmalarında, İran'ın doğu havzasında seçilen 10 adet sinoptik istasyonda ölçülen aylık yağış verilerini kullanarak Mann-Kendall ve Spearman trend testlerini uygulamış, sonuçları karşılaştırmış ve sonuç olarak bölgede yağışlarda azalma olduğunu görmüşlerdir. Kuraklık şiddeti, 12 aylık SPI değerleri hesaplayarak elde etmişlerdir. Lag-1 serisi için de aynı işlemler yapıp yıllık serinin sonuçlarına benzer sonuçlar bulmuşlardır.

Reddy ve Ganguli (2012) çalışmalarında, Hindistan'da batı Rajasthan'da kuraklık olaylarının şiddet-süre-tekerrür (S.D.F.) ilişkisini modellemek için Copula tabanlı çok değişkenli olasılık yaklaşımını kullanmışlardır. Kuraklığı, 6 aylık SPI ile analiz etmişlerdir. Olasılık yoğunluk fonksiyonunun test edilmesinin ardından kuraklığın değişken şiddetinin lognormal dağılımla gösterilmesi daha uygun bulunmuştur. İki değişkenli dört farklı Copula sınıfı olan Archimedean, ekstrem değer, Plackett ve eliptik aileler, kuraklık karakteristiklerinin ortak dağılımlarının modellenmesi için değerlendirilmiştir. Ekstrem değer copulanın diğer sınıfları ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir. Ortak dağılım, tekerrür aralığını belirlemek ve kuraklık şiddeti-süre-tekerrür eğrilerini türetmek amacıyla çalışma alanı için en iyi sonuç veren copuladan elde edilmiştir. Çalışma sonuçlarının kuraklığa meyilli alanlarda, kuraklığın azaltılması stratejisinin planlaması ve adaptasyonunda yardımcı olabilen SDF eğrileri etkin olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur.

Kim ve diğer. (2013) Kore'deki potansiyel kuraklık tehlike alanlarının alansal dağılımını SPI ve iklim değişikliği nedeniyle görülen potansiyel kuraklık tehlike alanlarındaki değişiklikler tahmin edilmiştir. Potansiyel kuraklık tehlike alanlarının alansal dağılımındaki değişiklikleri hesaplama girişiminde, Kore Meteoroloji İdaresi (KMA)'ya bağlı 54 meteoroloji istasyonundan gözlemlenen veriler (1976-2010) ve CNRM:CM3, CSIRO:MK3, CONS:ECHOG ve UKMO:HADCM olmak üzere 4 küresel iklim modelinden (GCM) 2011-2099 periyodu için üretilen verileri kullanılmıştır. SDF eğrilerini potansiyel kuraklık tehlikesi haritalama yaklaşımını kullanarak potansiyel kuraklık tehlike alanlarını hesaplamak için 54 meteoroloji istasyonu için türetmişlerdir. Potansiyel kuraklık tehlike alanları için alansal dağılım, geçmişte sık kuraklığa maruz kalan Nakdong Nehri Havzası'nda kuraklığın daha kötüleştiğini ve daha şiddetli kuraklıkların gelecekte, ülkenin orta kesiminde yer alan Han Nehri Havzası'nda yaşanabileceğini göstermektedir. Dört GCM sonuçlarının analizinden, daha şiddetli kuraklık gelecekte Kore Peninsula boyunca beklenmektedir. Buna ek olarak potansiyel kuraklık alanlarının UKMO:HADCM modeli ile tahmin edildiği gibi güneyden doğuya ve ülkenin merkezine doğru değişebileceği beklenmektedir.

Lee ve Kim (2013) çalışmalarında, Seoul Bölgesi'ndeki geçmiş ve gelecekteki kuraklık olaylarını, Kore Peninsula'da bulunan Seoul meteoroloji istasyonundan gözlemlenen verileri ve genel sirkülasyon modellerinin (GCM) dört farklı tipi, GFDL:CM2_1, CONS:ECHO-G, MRI:CGCM2_3_2 ve UKMO:HADGEM1 kullanarak analiz etmişlerdir. Kuraklık tekerrür süresi gibi istatistiksel özellikleri analiz etmek için SPI değerlerini, kuraklık frekans analizinden SDF eğrilerini türetmek için kullanmışlardır.

Huang ve diğer. (2014a), Çin'in Hunan ilinde 75 adet meteoroloji istasyonunun 1961-2010 gözlem aralığında ölçülen aylık yağış verilerini kullanmışlardır. Sulak gün yağışı, basit günlük yoğunluk indisi, maksimum 1 günlük yağış, minimum 5 günlük yağış, ardışık kurak gün sayısı, ardışık sulak gün sayısı, şiddetli yağışlı günler, sağanak yağışlı günler, çok sulak gün yağışı indisleri olmak üzere 9 adet aşırı yağış indisini ve Oliver ve Martin-Vide tarafından bulunan 2 adet yağış yoğunluğu indisini hesaplamış

ve yağış erozyonunu incelemişlerdir. Mann-Kendall ve Sen'in Eğimi trend analizlerini yapmış ve sonuçları değerlendirmişlerdir. 24 aylık SPI değerlerini kullanarak Temel Bileşenler Analizi (PCA) gerçekleştirmiş ve sonuçları değerlendirmişlerdir.

Huang ve diğer. (2014b) çalışmalarında, Çin'in Sichuan ilinde 109 meteoroloji istasyon verisini kullanarak 1961-2008 yılları arasında altı indis hesaplayarak yağışın değişim modelini incelemişlerdir. 98 adet istasyon verisi için yıllık maksimum 1 günlük yağış, yıllık maksimum 5 günlük yağış, ardışık kurak gün sayısı ardışık sulak gün sayısı, çok sulak gün yağışı ve sulak günlerde yıllık toplam yağış hesaplayarak Mann-Kendall trend analizi yapmışlardır. Sulak günlerde hesaplanan yıllık toplam yağış ve ardışık sulak gün sayısında azalan trendin olduğu sonucuna ulaşmışlardır. 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık SPI değerlerini hesaplamış ve 24 aylık SPI değerleri kullanılarak PCA yapmışlardır. Sichuan'nın merkezi ve doğusunda dikkate alınması gereken kuraklık olayının oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Dahal ve diğer. (2016) çalışmalarında aylık ve dönemsel yağış verilerinin trend analizini yapmış, sonuçları değerlendirip bölgesel haritalar çıkarmışlardır. 3 ve 12 aylık SPI ile Haziran-Eylül ve Aralık-Şubat dönemleri için hesaplanan SPI sonuçları için de trend analizi yapmışlardır. de trend analizi yapmışlardır. 12 aylık SPI değerleri 10 bileşene ayrılıp PCA yapılmıştır. İlk üç bileşene göre 2001-2012 yılları periyodunda haziran-eylül ve aralık-şubat dönemlerini karşılaştırmışlardır.

4.1.4 Alansal Kuraklık Analizi ile İlgili Çalışmalar

Sırdaş ve Şen (2003) çalışmalarında, kuraklık özelliklerini belirlemek için Run analizi ve Z-değerini kullanmışlardır. Buna ek olarak, haritalama için alansal bir kuraklık analizi olarak Kriging kullanmışlardır. Çalışmada, Türkiye'de Trakya bölgesinde yer alan İstanbul, Edirne, Tekirdağ ve Kırklareli'nin yağış kayıtlarını kullanmışlar ve kuraklık dönemi, büyüklüğü ve SPI değerleri kuraklık süresi ve büyüklüğü arasındaki ilişkiyi tanımlamışlardır.

Shamsuddin ve Behrawan (2008) çalışmalarında, Bangladeş'te, tehlike ve hassasiyetin birlikte vurgulandığı kuraklık riskinin alansal değerlendirmesi için bir yöntem sunmuşlardır. Farklı zaman aralıklarında kuraklık tehlikesinin alansal boyutunu haritalaştırmak için *"ArcGIS"* yazılımında SPI değerlerini kullanmışlardır. Sonuçlar, Bangladeş'in kuzey ve kuzeybatısında kuraklığın en yüksek riske sahip olduğunu göstermiştir.

Tsakiris ve diğer. (2008) çalışmalarında, yeni Kuraklık Arama İndisi (RDI) ve onun gerekliliklerini göstermişlerdir. Aynı zamanda bu gibi indislerin hesaplanmasını için temin edilen verilerde bir meteorolojik görüntüleme ağının gereksinimlerini belirlemişlerdir. Kuraklığı görüntüleme amacıyla Kriging yöntemini kullanmışlardır.

Karavitis ve diğer. (2011) çalışmalarında, tüm Yunanistan'da yer alan ve 1947-2004 periyodunu kapsayan, 46 istasyonda ölçülen yağış verilerini değerlendirip 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık SPI değerlerini hesaplamışlardır. Alansal gösterimi SURFER 9 yazılımı paket programını kullanarak geoistatistiksel metotlarla yapmışlardır.

Aydın ve Çiçek (2013) çalışmalarında, 1975 ile 2010 yılları arasında verisi olan 36 meteoroloji istasyonunun yağış verilerini kullanarak Ege Bölgesi'nin alansal modelini göstermişlerdir. Yıllık ortalama yağışı, Normal (Ordinary) Kriging ve Ters Uzaklık Ağırlıklı (IDW) tekniklerini kullanarak modellemişlerdir. Yağışların alansal modelini oluşturmada Kriging yöntemi daha etkili olmuştur.

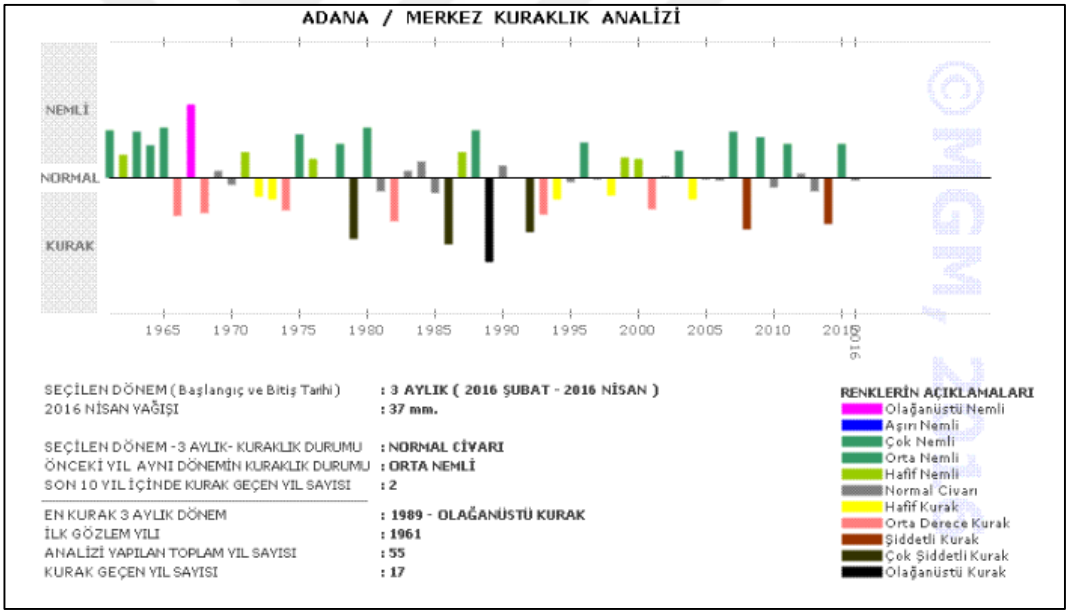
Buttafuaco ve diğer. (2015) çalışmalarında Güney İtalya'nın Calabria bölgesinde 129 istasyon verisini kullanarak kısa (3 ve 6 aylık) ve uzun (12 ve 24 aylık) dönem SPI değerlerini hesaplamışlardır. Kuraklığı alansal olarak karakterize etmek amacıyla SPI değerleri, ölçüm yapılmayan yerlerde geoistatistiksel yaklaşım ile hesaplanmış ve haritalanmıştır. Uzun dönem SPI serisi kullanılarak trend analizi yapmışlar ve bunun sonucunda SPI değerlerinde azalan bir eğilimin olduğunu saptamışlardır. Şiddetli ve aşırı kurak koşullarını sağlayan alanların yüzdesini hesaplayıp bu alanların zamana bağlı dağılımını (1916-2006 yılları) göstermiş ve en kurak periyodu belirlemişlerdir.

En şiddetlisi Aralık 2001 –Nisan 2002 tarihleri arasında oluşan önemli kuraklık olaylarının Calabria bölgesinde geniş çapta gerçekleştiğini görmüşlerdir.

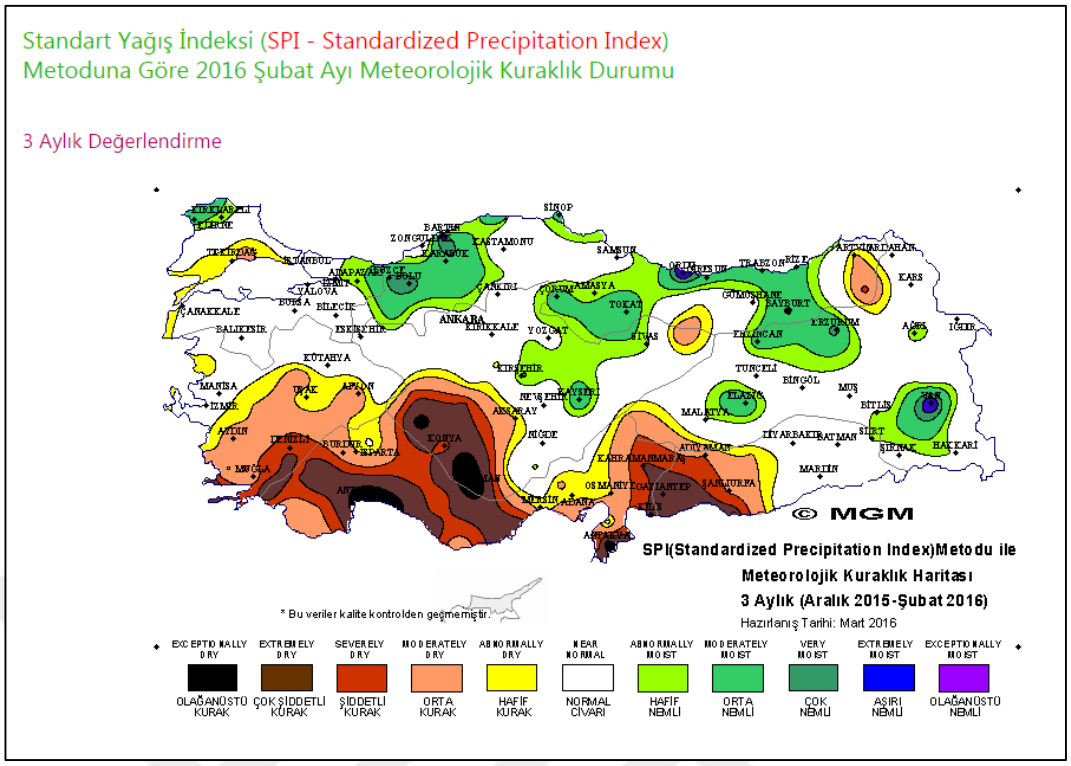
4.2 Kurumsal Çalışmalar

4.2.1 Türkiye'deki Kurumlar ve Yaptıkları Çalışmalar

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yürütülmekte olan "Kuraklık İzleme Sistemi", meteorolojik kuraklığın uzun dönemde ve farklı periyotlarda izlenebilmesine olanak sağlamaktadır (Şekil 4.1) . MGM, her ay sonu güncellediği yağış verilerini kullanarak SPI ve PN metodu ile 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık periyotlar için kuraklık analizi yapmakta ve kuraklık sınıflandırmasına göre renklendirilen kuraklık haritalarını hazırlayıp sunmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.1 MGM Kuraklık İzleme Sistemi'nden alınan Adana bölgesi 3 aylık SPI grafiği (Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), b.t.)



Şekil 4.2 MGM tarafından, 2016 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), hidrolojik kuraklığın izlenimi Genel Müdürlük tarafından yapılmaktadır. İşletmeye açılmış olan depolama tesislerinde su seviyesinin düşmesi, hidrolojik kuraklığın belirtisi olarak kabul edilmektedir. DSİ bölge müdürlükleri kendi havzalarına ait hidrolojik envanterlerine ve hazırlanmış su bütçesine göre "Kuraklık İşletme Talimatı" hazırlamaktadırlar.

Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) 2011 tarihinde kurulmuştur. Tüm havzalarda Kuraklık Yönetim Planlarının hazırlanması hedeflenmektedir. Çalışma kapsamında kuraklık türleri için kuraklık şiddeti temel alınarak kuraklık indisleri belirlenmesi planlanmaktadır. Havzada yapılacak kuraklık analizinin yanında ayrıca kuraklığın etkisinin analiz edildiği sektörel etki analizi yapılması planlanmaktadır.

Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEM), 2011 yılında kurulmuştur. Toprağın korunması, tabii kaynakların geliştirilmesi, çölleşme ve erozyonla mücadele edilmesi, çığ, heyelan ve sel kontrolü faaliyetleriyle ilgili politika

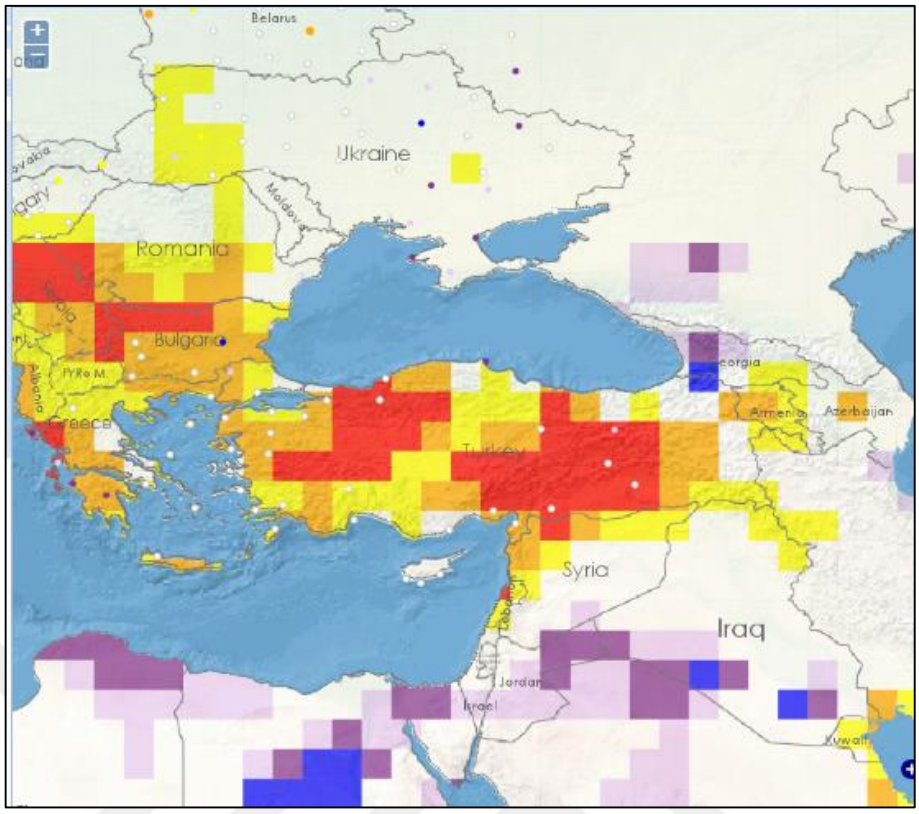
ve stratejiler belirlemekte, ilgili kurum ve kuruluşlar arasında işbirliği ve koordinasyon sağlamaktadır.

Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (TRGM), her il için Tarımsal Kuraklık İl Kriz Merkezi oluşturularak illerin kendi şartlarına göre Tarımsal Kuraklık Eylem Planı'nı hazırlamıştır. Ayrıca, 2008-2012 yıllarını kapsayan Türkiye Tarımsal Kuraklıkla Mücadelesi Eylem Planı (2008) Tarım ve Köyişleri Bakanlığı tarafından hazırlanmıştır. İzleme Erken Uyarı ve Tahmin Komitesi oluşturulmuştur. Bu doğrultuda her ay düzenli olarak toplanarak alınan veriler doğrultusunda raporlar hazırlanmaktadır.

Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM), tarımsal kuraklığa hassas olan alanların belirlenmesi ve risk haritalarının oluşturulması, mekânsal ve zamansal çözünürlüklü toprak nem tahmini, tarımsal kuraklığın izlenmesi gibi projeleri planlanmış ve uygulamaya almıştır.

4.2.2 Yurtdışındaki Bazı Kurumlar ve Yaptıkları Çalışmalar

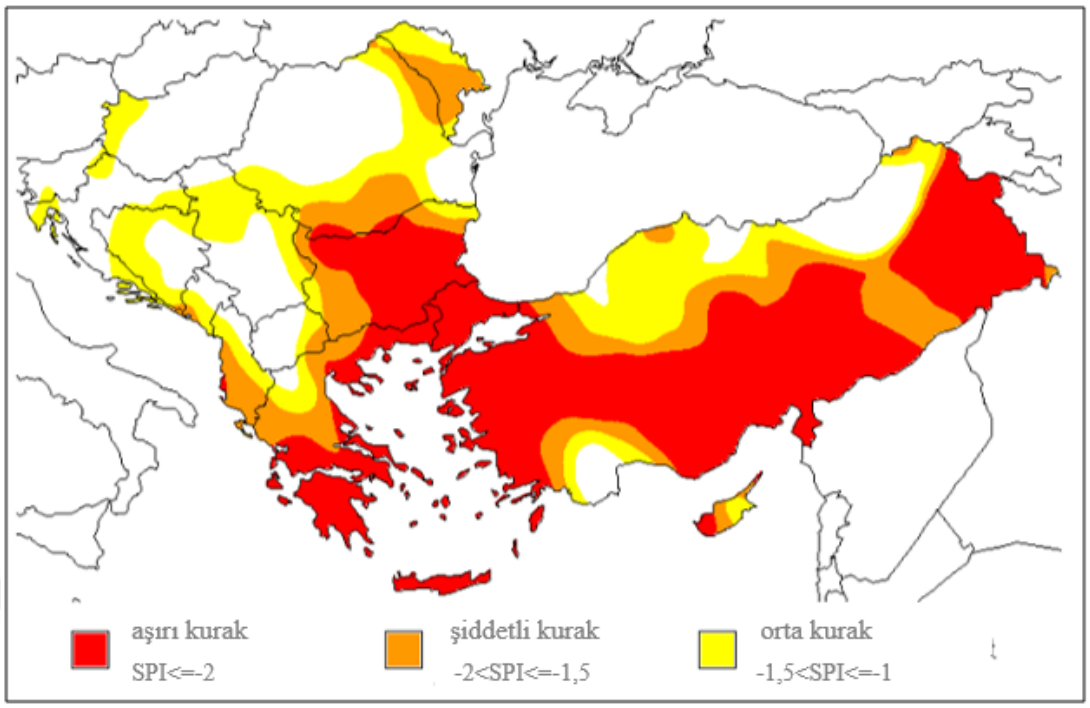
Avrupa Kuraklık Gözlemevi (EDO), çeşitli yöntemlerle kuraklık analizi yapmaktadır. Yağış, toprak nemi ve bitki indikatörleri gibi verileri kullanarak kuraklığın oluşumunu gözlemlemektedir. EDO, SPI ve birleşik kuraklık gözlem indisi kullanarak Avrupa, Afrika, Güney ve Orta Amerika'da kuraklık oluşumunu izleyip bu bölgeler için kuraklık haritaları oluşturmaktadır (Şekil 4.3). EDO kuraklık görüntüleme sisteminde Türkiye'nin 1989 yılı Şubat ayı kuraklık durumu görüntülenmiş ve Şekil 4.3'te verilmiştir. Buna göre çalışma alanı olan Seyhan Havzası'nda şiddetli ve olağanüstü kuraklık olduğu görülmektedir.



Şekil 4.3 EDO tarafından Şubat ayı 1989 yılı için SPI yöntemi ile yapılan kuraklık analizi (Avrupa Kuraklık Gözlemevi (EDO), b.t)

Avrupa Kuraklık Merkezi (EDC), Avrupa'da yapılan kuraklık araştırmalarının ve kuraklık yönetimi kuruluşlarının merkezidir. Avrupa dışında uluslararası kurumlar, projeler ve organizasyonlar ile bağlantı kurmaktadır.

Güneydoğu Avrupa Kuraklık Yönetimi Merkezi (DMCSEE), Türkiye'nin de üye olduğu bir kuruluş olup, 30 yıllık zaman serisi kullanarak 1, 3, 6 ve 12 aylık SPI değerlerini doğu Avrupa bölgesi için hesaplamakta ve kuraklığı görüntülemektedir. Aynı zamanda 50 yıllık yağış verisi kullanarak yağışın zamansal ve alansal değişimini de sunmaktadır. DMCSEE kuraklık görüntüleme sisteminde 1 aylık SPI değerlerini kullanarak oluşturulan Türkiye'nin 1989 yılı Şubat ayı kuraklık durumu Şekil 4.4'te verilmiştir. Buna göre çalışma alanı olan Seyhan Havzası'nda olağanüstü kuraklık olduğu görülmektedir.



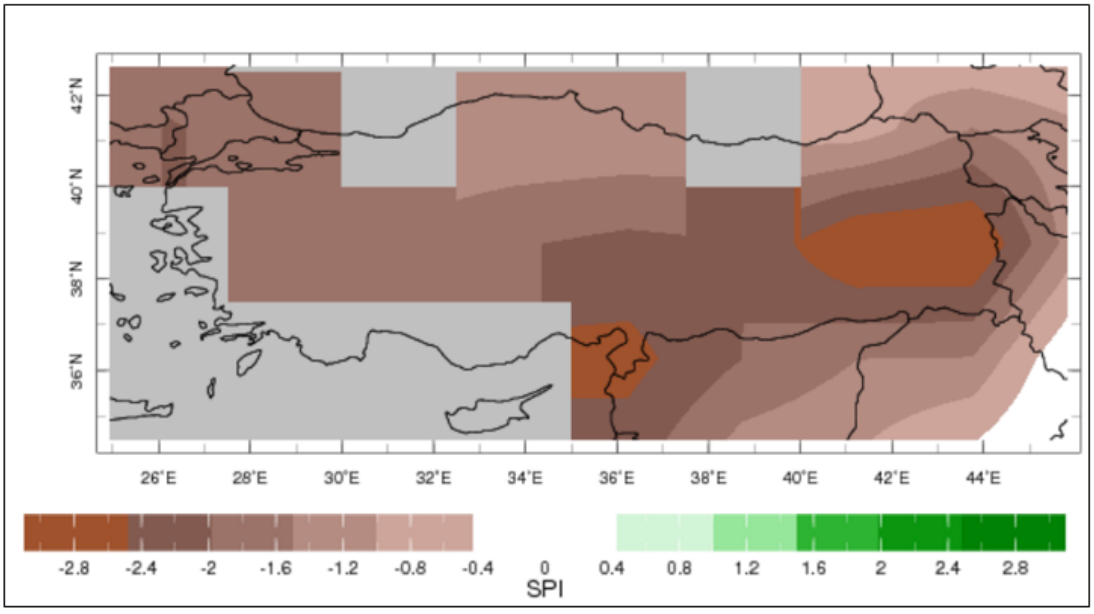
Şekil 4.4 DMCSEE tarafından Şubat ayı 1989 yılı için SPI yöntemi ile yapılan kuraklık analizi (Güneydoğu Avrupa Kuraklık Yönetimi Merkezi (DMCSEE), b.t)

Ulusal Kuraklık Önleme Merkezi (NDMC), 1995 yılında ABD'nin Lincoln eyaletinde bulunan Nebraska Üniversitesi'nde kurulmuştur. Ulusal ve uluslararası çeşitli projelerde yer almaktadırlar. Ulusal ölçekte kuraklığı araştırıp haritalama işlemini yapmaktadırlar. Çalışma kapsamında kullanılan SPI hesaplama programı NDMC tarafından geliştirilmiştir. Uluslararası kuraklık planlama çalışmaları yürütmekte ve erken uyarı sistemi geliştirmektedirler.

Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi (NOAA) ve *Ulusal Entegre Kuraklık Bilgilendirme Sistemi (NIDIS)* birlikte Amerika bölgesi için SPI, Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI), Ekin Nemi İndisi (CMI) gibi kuraklık indisleri kullanarak kuraklık analizi yapıp haftalık, aylık ve mevsimsel görüntülemesini yapmaktadırlar.

Uluslararası İklim ve Çevre Araştırma Enstitüsü (IRI), Kolombiya Üniversitesi bünyesinde iklim, tarım, doğal afetler, su ve ekosistemle ilgili çalışmalar yürütmektedir. Aynı zamanda dünya çapında iklim, iklim ve sağlık, iklim ve tarım gibi birçok alanda gözlem veri ağı oluşturup görüntülemektedirler. Tüm dünyada yer alan istasyonlardan en az 50 yıllık yağış verisi olanların gözlenmiş aylık yağış miktarları

kullanılarak tüm dünya için SPI değerleri hesaplanmıştır. 1979 yılından günümüze kadar olan tüm tarihler için SPI değerleri kuraklık sınıflarına göre dünya çapında görüntülenebilmektedir. IRI kuraklık görüntüleme sisteminde 3 aylık SPI verileri kullanılarak Türkiye'nin 1989 yılı Şubat ayı kuraklık durumu Şekil 4.5'te verilmiştir. Buna göre çalışma alanı olan Seyhan Havzası'nda olağanüstü kuraklık olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5 IRI kuraklık görüntüleme sistemine göre Türkiye'de 3 aylık SPI değerlerine göre 1989 yılı Şubat ayı kuraklık durumu (Uluslararası İklim ve Çevre Araştırma Enstitüsü (IRI),b.t)

BÖLÜM BEŞ
KURAKLIK İNDİSLERİ

Kuraklık; meteorolojik, tarımsal, hidrolojik, sosyoekonomik ve ekolojik kuraklık olarak sınıflandırılmıştır (NDMC, 2016). Meteorolojik kuraklık, yağışların beklenenden az olması; tarımsal kuraklık, toprakta bitkinin ihtiyacını karşılayacak miktarda su bulunmaması, nem kaybının artması ve su kaynaklarında kıtlık oluşması; hidrolojik kuraklık ise uzun süre devam eden yağış eksikliği neticesinde yeryüzü ve yeraltı sularında eksilme durumunda ortaya çıkmaktadır.

Kuraklık türüne göre kuraklık indislerinden bir ya da birkaçı kullanılabilmektedir. Kullanılacak veriler, seçilen indise göre değişkenlik göstermektedir. Kuraklık indisleri sonuçlarına göre çalışma alanı için kuraklık riski belirlenmiş olmaktadır.

Meteorolojik kuraklığı belirlemek için yağış verileri kullanılarak çeşitli kuraklık indisleri hesaplanmaktadır. Meteorolojik kuraklığı belirlemek için yaygın olarak kullanılan kuraklık indisleri aşağıda verilmiştir:

- *Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI),* yerel kuraklıkları tanımlamak ve göstermek için McKee ve diğer. (1993) tarafından geliştirilmiştir. Kısa dönem süreleri tarım, mevsimler veya yılları kapsayan uzun dönem süreleri ise su sağlama, su kaynakları planlaması ve hidrolojik çalışmalar için önem taşımaktadır. SPI; yağışın ortalamadan çıkarılıp, standart sapmaya bölünmesi ile elde edilen standartlaştırılmış bir değerdir. Olasılık dağılımını standartlaştırarak SPI, ortalaması 0, varyansı 1 olan normal dağılımlı değişkene dönüştürülmektedir. SPI ile herhangi bir bölgede belirli bir zaman ölçeğinde kurak veya nemli olaylardaki anormallikler belirlenebilir. Yalnızca yağış değerlerine bağlı olan ve kolay hesaplanabilen bir indistir. Kurak dönemin yanı sıra, yağışlı dönemler de bu yöntem ile izlenebilmektedir.

- *Ondalıklar (Deciles),* 1967 yılında Gibs ve Maher, Avustralya Meteoroloji Ofisi ile çalışmaları sayesinde basit matematiksel bir yaklaşım geliştirmişlerdir (WMO, 2016). İlk ondalık, değerlerin en düşük %10'unu aşmayan yağış miktarından oluşmakta olup beşinci ondalık medyan olmaktadır. Sulak periyot da bu yöntemle incelenebilmektedir. Ondalıkların hesabında, sadece yağış verilerine gereksinim olmaktadır. Günlük, haftalık, aylık, mevsimsel ve yıllık yağış verileri bu yöntem kapsamında kullanılabilmektedir.

- *Normalin yüzdesi (PN),* kuraklığı belirlemede basit bir indistir ve bir mevsim için ya da tek bir bölge için kullanıldığında etkili olabilmektedir. Normalin yüzdesi indisi (I), Denklem 5.1'de de gösterildiği gibi, gerçek yağışın (P), 30 yıllık ortalama olarak göz önünde bulundurulan normal yağışa (P_{30}) bölünüp 100 ile çarpılmasıyla elde edilmektedir (Mocanelli ve diğer. 2005). İndis değerinin 100'den az olması kuraklık olduğunun göstergesi olmaktadır. PN, normalden sapan frekansları belirleyememekte fakat basit hesaplama tekniği sayesinde kullanımı kolay olmaktadır.

$$I = \frac{\langle P \rangle}{\langle p \rangle_{30}} 100 \tag{5.1}$$

- *İstatistiksel Z-değeri,* yağış miktarından toplum ortalamalarını çıkarıp toplum standart sapmasına bölerek elde edilen boyutsuz bir değerdir ve Denklem 5.2 ile hesaplanmaktadır. Z değeri, her adım için, hareketli eklenik yağış değerleri (x_i) ile yağış ortalaması ($\bar{x}$) farkının, standart sapmaya (σ) bölümü olarak ifade edilmektedir (Doğan ve diğer., 2012).

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \tag{5.2}$$

Bu dönüştürme işlemi standartlaştırma veya normalleştirme olarak adlandırılmaktadır. Z-değeri yağış miktarının standart sapmasının ortalamanın altında veya üstünde olduğunu gösterir, SPI ile aynı değildir. Çünkü Z-değeri için

Gamma dağılımına uyacak veri düzenlemesi gerekli değildir. Pearson Tip III dağılımı Z-değeri için sık kullanılmaktadır (Akhtari ve diğer., 2009).

- *Çin Z İndisi (CZI),* ülke genelinde nem koşullarını göstermek için Çin Ulusal İklim Merkezi tarafından 1995'ten beri kullanılmaktadır. CZI'nin, Pearson Tip III dağılımına uyduğunu varsayılmaktadır (Doğan ve diğer., 2012).

  CZI, Denklem 5.3'deki gibi hesaplanmaktadır (Doğan ve diğer., 2012). Buradaki Z değeri, istatistiksel Z değeri ile aynı olmaktadır.

$$CZI = \frac{6}{C_s}\left(\frac{C_s}{2}Z + 1\right)^{1/3} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \tag{5.3}$$

Burada C_s çarpıklık katsayısı olup, Denklem 5.4 ile gösterilmiştir.

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^3}{n\sigma^3} \tag{5.4}$$

Denklemde; n, gözlem sayısı; xi, yağış verileri; $\bar{x}$, yağış verilerinin ortalamasıdır. Yukarıdaki denklemde verilen σ, standart sapma olup, Denklem 5.5 ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2\right)} \tag{5.5}$$

- *Etkili Kuraklık İndisi (EDI)*, Byun ve Wilhite (1999) tarafından bir kuraklığın başlangıcı, sonu ve birikmiş gerilmesini belirlemek için geliştirilmiştir (Doğan ve diğer., 2012). EDI'nin verdiği diğer kavramlar zamana bağlı azalma fonksiyonu ile etkili yağış olmaktadır. EDI, orijinal haliyle 1 günlük zaman aralığı için hesaplanmaktadır (Akhtari ve diğer., 2009). EDI'nin aylık periyotta hesaplanabilmesi için algoritma geliştirilmiştir. EDI, Denklem 5.6 ile hesaplanmaktadır.

$$EDI = \frac{PRN}{\sigma_{PRN}} \tag{5.6}$$

Burada PRN, kuraklığın başlangıcından itibaren eksikliklerden kurtulmak için gereken yağış miktarıdır ve Denklem 5.7'deki gibi hesaplanmaktadır. σ_{PRN} ise ilgili ayların PRN değerlerinin standart sapmasıdır.

$$PRN = DEP / \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{i} \tag{5.7}$$

Her ay için ortalama EP değeri ($\overline{EP}$) ve EP değerlerinin standart sapması hesaplanmaktadır ve Denklem 5.8'de gösterildiği gibi, EP değerleri ortalamadan standart sapmaya dönüştürülmektedir.

$$DEP = EP - \overline{EP} \tag{5.8}$$

Denklem 5.9 ile hesaplanan EP, geçerli ayın yağışı ve yıl boyunca bu yağışın ağırlığının bir fonksiyonu olmaktadır. Denklemde yer alan N veri sayısı ve P_i yağış verileri olmaktadır.

$$EP = \sum_{m=1}^{N} \left(\frac{\sum_{i=1}^{m} P_i}{m} \right) \tag{5.9}$$

- *Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI),* Vicente-Serrano ve diğerleri tarafından geliştirilen bir indis olup SPI ile benzer temellere dayanmaktadır. SPEI hesabında, Denklem 5.10'da verilen, temel su dengesi hesabında yağışın dışında evapotranspirasyon da kullanılmaktadır. SPEI değerlerini elde etmek için aylık yağış ve sıcaklık verileri gerekmektedir. Sıcaklık değerleri, Thornthwaite denklemi kullanılarak potansiyel evapotranspirasyon değerlerine dönüştürülmektedir. En az 1 aydan 48 ay veya daha fazla zaman aralığında SPEI değerleri hesaplanabilmektedir (WMO, 2016).

$$D_i = P_i - PET_i \tag{5.10}$$

- *Aydeniz Metodu,* Akgün Aydeniz tarafından 1973 yılında geliştirilmiştir. Kurak dönemlerin ve indislerin belirlenmesinde, gerçeğe yakın değerlerin elde edilmesi açısından nem-yağış ilişkisi ile sıcaklık-güneşlenme süresi ilişkilerinin göz önünde bulundurulmuştur. Aydeniz formülünde yer alan parametreler ortalama sıcaklık, yağış, ortalama nem yüzdesi, ortalama güneşlenme yüzdesidir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, (MGM), 2016). Aylık ve yıllık olarak hesaplanabilmektedir.

  Aylık periyotta kuraklık indisi (K_{ks}), Denklem 5.11 ile hesaplanmaktadır. Burada, N_{ks}, nemlilik katsayısı olmaktadır.

$$K_{ks} = \frac{1}{N_{ks}} \tag{5.11}$$

  Nemlilik katsayısı (N_{ks}), Denklem 5.12 ile elde edilmektedir. Burada; Y, aylık toplam yağış (cm); S, aylık ortalama sıcaklık, G_s, güneşlenme süresi ve N, aylık ortalama nem (%) olmaktadır.

$$N_{ks} = \frac{Y\ N\ 12}{SG_S+15} \tag{5.12}$$

- *Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI),* 1965 yılında Wayne Palmer tarafından nem varlığından meydana gelen sapmayı bulmak için geliştirilmiştir. PDSI'yi elde etmek amacıyla, girdi olarak aylık yağış ve sıcaklık verileri ile toprağın su tutma kapasitesi kullanılmaktadır. Su dengesi eşitliğinin temel bileşenlerinden olan evapotranspirasyon, toprağa giren, yüzey akışı ve yüzeyden olan nem kaybı böylelikle belirlenebilmektedir. Genellikle aylık olarak hesaplanan indeks değerleri pozitif ise nemli, negatif ise kurak periyodu ifade etmektedir (MGM, 2016).

  Palmer Kuraklık Şiddeti Denklem 5.13 ile elde edilmektedir.

$$X_i = X_{i-1} + \frac{Z_i}{3} - 0{,}103\ X_{i-1} \tag{5.13}$$

Burada Xi, i'inci ay için hesaplanan PDSI değeri, Z ise nem anormallik indisi olmaktadır.

- *Kuraklık Arama İndisi (RDI),* Tsakiris ve Vangelis tarafından geliştirilmiştir. Potansiyel evapotranspirasyonu ele alan basit bir su dengesi denklemi içermektedir. RDI hesabında, yağış ve sıcaklık aylık bazda kullanılmaktadır. RDI hesabı sonucu, üç değer elde edilmekte olup bunlar yaklaşık değer, normalleştirilmiş değer ve standartlaştırılmış değerdir (Dünya Meteoroloji Örgütü, (WMO), 2016). Standartlaştırılmış değer, SPI ile benzer olduğundan karşılaştırma yapılabilmektedir.

  Yaklaşık değer (a_k), Denklem 5.14 ile hesaplanmaktadır. Burada; Pj, j'inci ayın yağış değeri, PETj ise j'inci ayın evapotranspirasyon değeri olmaktadır. Akdeniz Bölgesi için hidrolojik yıl ekim ayında başladığından, ekim için k=1 olmaktadır (Tsakiris ve Vangelis, 2005).

$$a_k = \frac{\sum_{j=1}^{j=k} P_j}{\sum_{j=1}^{j=k} PET_j} \tag{5.14}$$

  Normalleştirilmiş RDI değeri (RDI_n), Denklem 5.15 ile hesaplanmaktadır. Denklemde $\bar{a}_k$, yaklaşık değerlerin ortalaması olmaktadır.

$$RDI_n(k) = \frac{a_k}{\bar{a}_k} - 1 \tag{5.15}$$

  Standartlaştırılmış RDI değeri (RDI_{st}), Denklem 5.16 ile hesaplanmaktadır. Burada y_k =ln a_k olmaktadır. $\bar{y}_k$, y_k değerlerinin aritmetik ortalaması, $\hat{\sigma}_k$ ise standart sapmasıdır.

$$RDI_{st}(k) = \frac{y_k - \bar{y}_k}{\hat{\sigma}_k} \tag{5.16}$$

Tarımsal kuraklığı belirlemek için yağış, evaptranspirasyon, zemin nemi verileri kullanılmaktadır. Standartlaştırılmış Yağış İndisi'nde (SPI) aylık, Etkili Kuraklık İndisi'nde (EDI) günlük yağış verileri kullanılmaktadır. Ekin Nemi İndisi (CMI) evapotranspirasyon verilerini, Ekin Suyu Oluşum İndisi (CWDI) zemin suyu depolaması arasındaki ilişkiyi kullanmaktadır. Zemin nemini göz önünde bulunduran Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi'nin (PDSI) hesabında ise aylık yağış, sıcaklık verileri ile zeminin su içeriği gerekmektedir.

Hidrolojik kuraklığı belirlemek için genellikle yağış, akış, sıcaklık verileri kullanılmaktadır. Standartlaştırılmış Yağış İndisi'nde (SPI) aylık, Etkili Kuraklık İndisi'nde (EDI) günlük yağış verileri kullanılmaktadır. Akışa bağlı olarak kuraklık hesabı yapan Akış Kuraklık İndisi (SDI) ve Standartlaştırılmış Akış İndisi (SRI) aylık akış verilerini, Akış İndisi (FI) ise günlük akış verilerini kullanmaktadır. Yüzey Suyu Temini İndisi (SWSI) hesaplanırken aylık yağış verileri, akış debileri ve depolama hacimleri kullanılmaktadır. Zemin nemini göz önünde bulunduran Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi'nin (PDSI) hesabında ise aylık yağış, sıcaklık verileri ile zeminin su içeriği bilinmesi gerekmektedir. Düşük Akımlar Yöntemi günlük minimum akımlara göre hesaplanmaktadır.

BÖLÜM ALTI
ÇALIŞMA ALANI

6.1 Çalışma Alanının Yeri

Kuraklık analizi için seçilen çalışma alanı Türkiye'de, Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Seyhan Nehri Havzası olup 36º 30' ile 39º 15' kuzey enlemleri ve 34º 45' ile 37º 00' doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 6.1). Seyhan Havzası Master Plan Raporu (Aralık, 2012)'na göre Seyhan Havzası'nın yağış alanı yaklaşık olarak 22 035 km^2'dir. Kuzeyde Kızılırmak Havzası, batıda Konya Kapalı Havzası ve Doğu Akdeniz Havzası, doğuda Ceyhan Havzası ve Fırat Havzası ile çevrilmiştir (Şekil 6.2). Seyhan Havzası, Adana, Kayseri, Niğde, Mersin, Kahramanmaraş ve Sivas illerinin bazı ilçe, belde veya köylerini kapsamaktadır (Şekil 6.3).

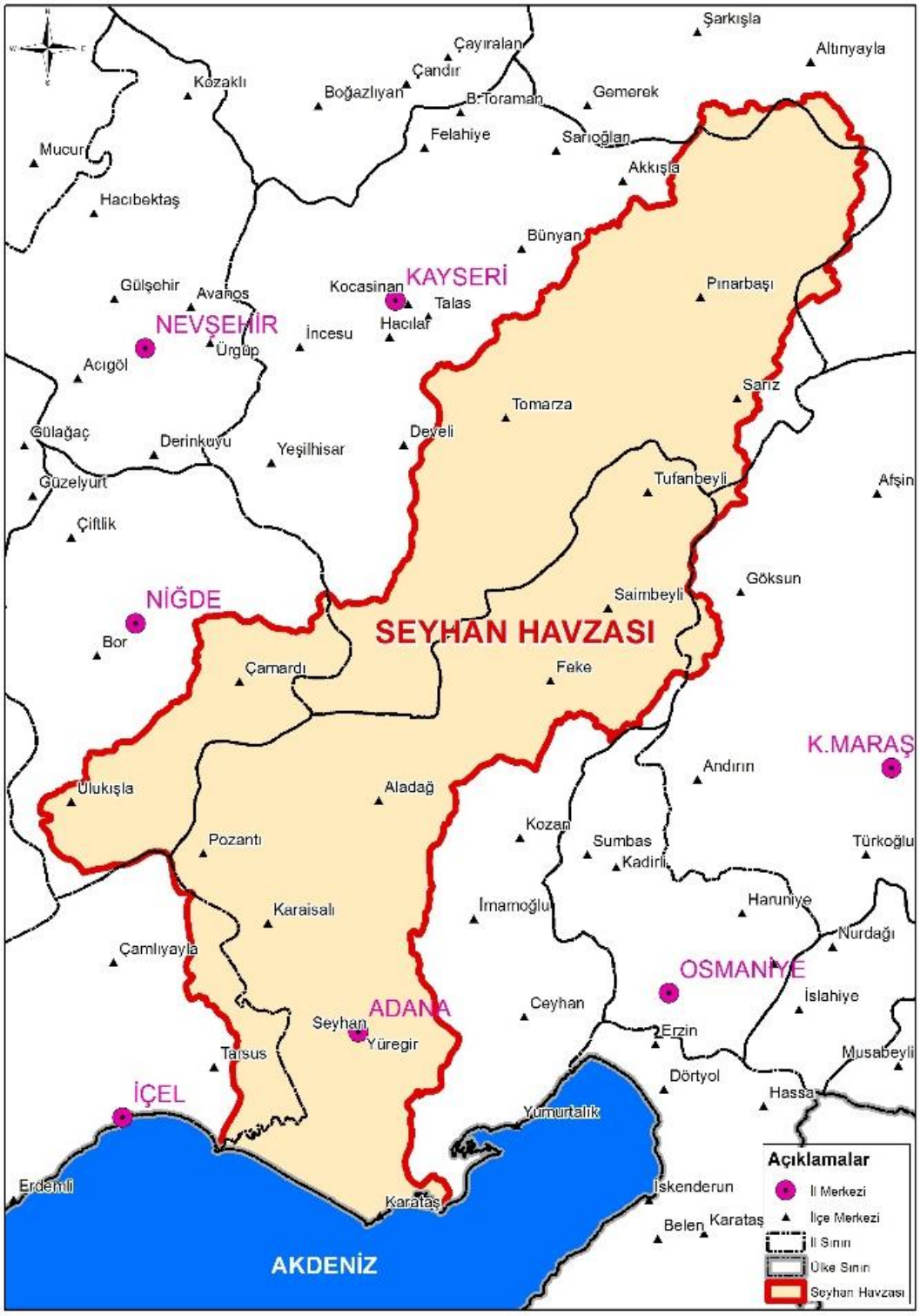


Şekil 6.1 Seyhan Havzası'nın Türkiye'deki konumu

Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC, 2007) tarafından, tüm dünyada meydana gelecek iklim değişikliğinden en çok etkilenecek alanlardan biri olarak dikkate alınmış olan Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Seyhan Havzası, Avrupa ve Türkiye'nin en verimli ve bereketli tarımsal alanlarını içermektedir. Seyhan Nehri Havzası arazisi yüksek bozkırlar, dağlık alanlar, geçiş bölgeleri, alçak bitkilerden ve Çukurova Deltası'ndan oluşmaktadır. Biyoçeşitlilik açısından dünyadaki en zengin alanlardan biri olan havza; kuru tarım, sulu tarım ve hayvancılık gibi bölgede çeşitli tarımsal olanakları sunmaktadır.



Şekil 6.2 Seyhan Havzası ve komşu havzaları



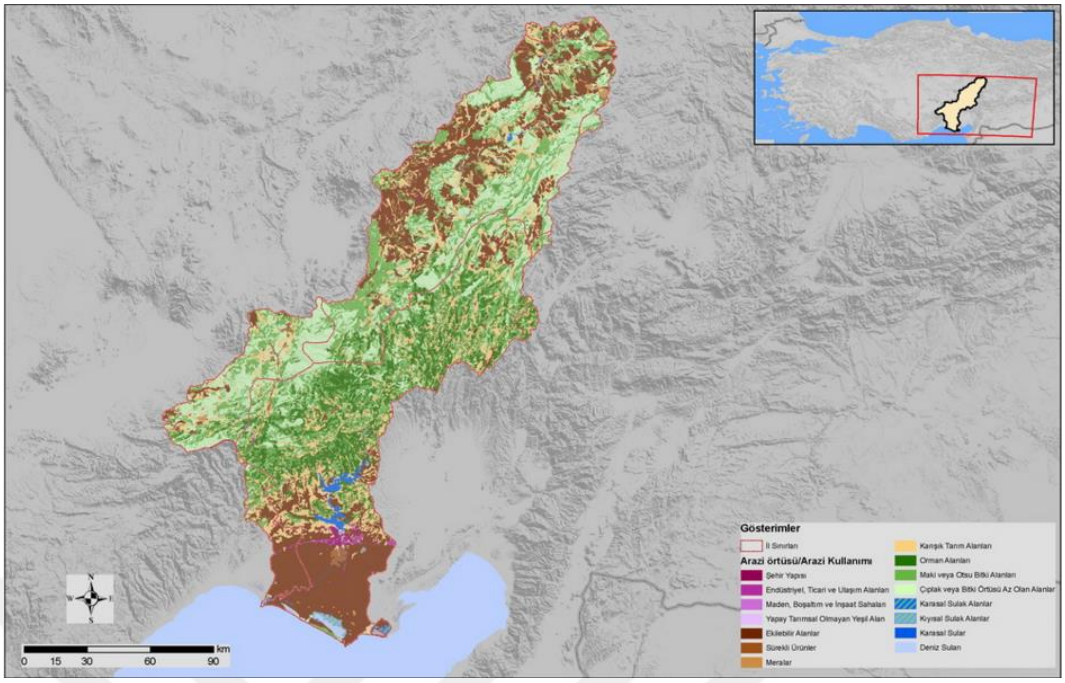
Şekil 6.3 Seyhan Havzası'nda yer alan il ve ilçeler

6.2 Yer Şekilleri ve Genel Arazi Dağılışı

Seyhan Havzası, yer şekilleri bakımından genel olarak dağlık görünüme sahiptir. Güneyde Akdeniz kıyılarında sıfır kotundan kuzey kısımlarında ise Toros dağlarının 3500 m kotlarına kadar uzanmaktadır. En büyük ova Seyhan Barajı'nın mansabı ile Akdeniz arasında bulunan Adana Ovası'dır. İç kısımlarda yer alan ovalar ortalama 1000-1500 m kotlarındadır. Havzanın kuzey kesiminde 1600 m kotlarında yer alan Uzunyayla önemli düzlüklerindendir.

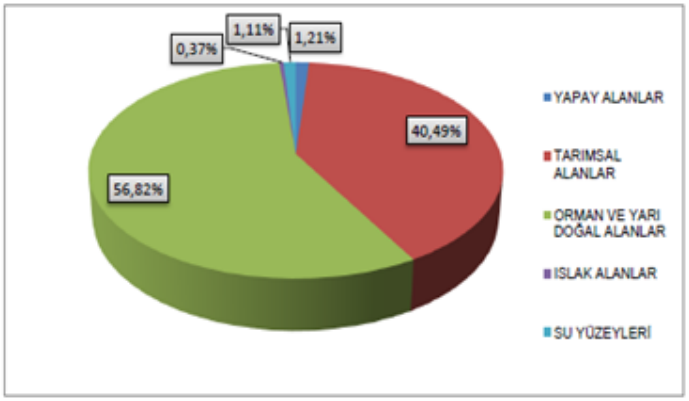
"CORINE", hava, su, toprak, arazi örtüsü gibi çevre ile ilgili öncelikli konularda bilgi toplamayı amaçlayan bir programdır. Temel amacı, arazideki çevresel değişimlerin belirlenmesi, doğal kaynakların rasyonel biçimde yönetilmesi ve çevre ile ilgili politikaların oluşturulması amaçlarına yönelik, aynı temel verilerin yönetilmesi ve standart bir veri tabanının oluşturulmasıdır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı CORINE, 2015).

CORINE ile belirlenen Seyhan Havzası'nın arazi örtüsü, Şekil 6.4'te gösterilmiştir. Buna göre, Seyhan Nehri'nin mansap kısmında daha çok ekilebilir alanların, orta kısmında orman, maki ve otsu bitki topluluklarının olduğu açıkça görülmektedir. Seyhan Nehri'nin memba kısımlarında ise ormanlar ile ekilebilir alanlar çoğunluktadır.



Şekil 6.4 Seyhan Havzası arazi örtüsü (TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Çevre Enstitüsü (MAM), 2010, s.133)

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Çevre Enstitüsü tarafından 2010 yılında hazırlanan Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi Seyhan Havzası Proje Nihai Raporu Cilt I'de yer alan bilgilere göre havzanın %56,8'ini orman ve yarı doğal alanların, %40,5'ini tarım arazilerinin kapladığı görülmektedir (Şekil 6.5).



Şekil 6.5 Seyhan Havzası arazi kullanımı oranları-dairesel grafikte gösterim (TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Çevre Enstitüsü (MAM), 2010, s.132)

6.3 Akarsular

Seyhan Havzası, Yukarı Seyhan Havzası ve Aşağı Seyhan Havzası olarak ikiye ayrılmıştır. Seyhan Barajı'nın üst kısmı Yukarı Seyhan, alt kısmı ise Aşağı Seyhan olarak adlandırılmaktadır.

Seyhan Havzası Master Plan Raporu (Aralık, 2012)'na göre, Yukarı Seyhan Havzası, Zamantı Nehri Alt Havzası (8770 km^2) ve Göksu Nehri Alt Havzası (4393 km^2) olarak iki alt havzaya ayrılmaktadır. Aşağı Seyhan Havzası ise, Seyhan Barajı-Zamantı-Göksu Nehirleri Birleşim Yeri Alt Havzası (6239 km^2) ve Aşağı Seyhan Ovası Alt Havzası (2633 km^2) olarak iki alt havzaya ayrılmaktadır.

Aşağı Seyhan Nehri Havzası olarak adlandırılan ve barajın nehir ağzındaki kalan kısmı olan bölge, Tarsus ve Yüreğir alanlarını içermektedir. Akarsu uzunluğu yaklaşık 560 km olan ve Güney Anadolu'nun en önemli nehirlerinden biri olan Seyhan Nehri iki önemli koldan meydana gelir. Bunlar; Zamantı Nehri ve Göksu Irmağı'dır.

Zamantı Nehri, Seyhan Havzası'nın kuzey kısmında Uzunyayla'da derelerin birleşmesiyle oluşup güneybatı yönünde akışına devam eder. Tahtalıdağ ve Alaylıdağ arasında kalan dağların batı yamaçlarında kalan arazilerin suları da Zamantı Nehri'nde toplanır.

Göksu Nehri ise Akinek ve Tahtalı arasındaki dağların doğusunda kalan arazilerin sularını toplar. Sarız civarındaki küçük dereler birleşerek Göksu Nehri'ni oluşturmaktadır. Akış yönü olarak Saimbeyli'nin doğusuna doğru ilerlemektedir.

Göksu ve Zamantı Akinek Dağları mevkiinde birleşerek Seyhan Nehri adını alır. İnce kıvrımlar çizerek Çukurova'ya inen Seyhan Nehri, Seyhan Barajı'ndan mansap kesimindeki Tuzla mevkiinden Akdenize ulaşır.

Seyhan Nehri'ne mansaplanan akarsular uzunluk bilgileri ile Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1 Seyhan Havzası'ndaki akarsular ve özellikleri (TÜBİTAK MAM, Seyhan Havzası Proje Nihai Raporu Cilt I, s.133)

AKARSU ADI	*TÜRÜ*	*UZUNLUĞU (km)*	*AKARSU ADI*	*TÜRÜ*	*UZUNLUĞU (km)*
Seyhan N.	Nehir	136,93	Mağara D. (Delialiuşağı D.)	Dere	18,08
Göksu N.	Nehir	24,54	Ortaca D.	Dere	16,75
Ceyhan N.	Nehir	2,41	Saçayak D.	Dere	16,07
Eski Ir.	Irmak	4,17	Sinekli D.	Dere	19,51
Zamanlı Ir.	Irmak	28,86	Sırçak D.	Dere	15,92
Zamantı Ir.	Irmak	348,70	Sıçanlısuyu D.	Dere	17,16
Zamantı Ir.	Irmak	12,89	Teke D.	Dere	18,68
Aksu D.	Dere	37,01	Tereli D.	Dere	20,90
Asmaca D. (Şuhul D.)	Dere	18,24	Ulupınar D. (Kapus D.)	Dere	22,17
Cödden D. (Hançerırmağı D., Durandarlı D.)	Dere	25,63	Yapraklı D.	Dere	21,81
Demircik D.	Dere	15,82	Çiftliközü D. (Postallı D.)	Dere	23,16
Değirmen D.	Dere	85,98	Özdere	Dere	20,18
Elmalı D.	Dere	16,28	Üçkapılı D.	Dere	17,72
Gıdıras D.	Dere	18,28	İkiz D.	Dere	19,19
Hamurlu D.	Dere	15,62	Şuğul D. (Meşelik D.,Karagöz D.)	Dere	19,58
Kamışlı D.	Dere	17,33	Asmaca Ç.	Çay	16,26
Karanlık D.	Dere	29,42	Bahçecik Ç. (Hıdır Ç.)	Çay	19,30
Karanlık D. (Alagöz D., Verimli D.)	Dere	17,41	Deli Ç.	Çay	22,84
Keben D.	Dere	15,94	Doğan Ç.	Çay	21,48
Koca D.	Dere	21,29	Ecemiş Ç. (Körkün Ç.)	Çay	20,04
Kuru D.	Dere	15,13	Eğlence Ç.	Çay	24,28
Kökez D.	Dere	19,04	Kafarlı Ç. (Sarız Ç.)	Çay	20,96
Küçük D.	Dere	17,46	Körkün Ç.	Çay	54,54
Kırkgeçit D.	Dere	40,63	Sarız Ç.	Çay	44,66
Mansurlu D. (Salam D.)	Dere	36,89	Çiftehan Ç.	Çay	24,51
Üçürge D.	Dere	8,36			

6.4 İklim Özellikleri

Seyhan Nehri yağış alanı Akdeniz ve İç Anadolu coğrafi bölgelerinde yer almaktadır. Orta kesiminden Toros Dağları ile ikiye bölünmüş görünümde olan havzada güneyde, Akdeniz Bölgesi'nde Akdeniz İklimi, kuzeyde, İç Anadolu Bölgesi'nde karasal iklim özelliklerine rastlanır. Akdeniz ikliminde kışlar ılık ve bol yağmurlu, yazlar sıcak ve kuraktır; karasal iklimde ise kışlar soğuk ve genellikle kar yağışlı, yazlar sıcak ve kuraktır.

Seyhan Havzası'nda 1970-2010 periyodunda gözlenmiş yıllık ortalama yağış miktarlarının incelendiğinde, 935,24 mm ile en yüksek ortalama yağış miktarının Dörtyol Meteoroloji Gözlem İstasyonu (MGİ)'na, 298,35 mm ile en düşük ortalama yağış miktarının Ereğli-Konya MGİ'ye ait olduğu görülmektedir.

Yükseklik değişkenliğine göre, çeşitli iklimler Seyhan Nehri Havzası'nda baskındır. Havzanın denize yakın olan daha alçak kesimlerinde kışlar ılık ve yağışlı, yazlar sıcak ve kurak iken, havzanın yüksek kesimlerinde yükseklikle değişen iklim değişikliği ve kıtasal iklim bu kısımlarda gözlemlenmiştir. Kıyıdan Anadolu'nun merkezine ulaşan havza iklim açısından üç farklı bölgeyi kaplamıştır.

Çukurova'nın kıyı kesimlerinde ve civardaki dağların eteklerinde, yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. Ulukışla'dan Pınarbaşı'na olan bölge ve daha kuzey kısımları, Orta Anadolu'nun karakteristiklerini gösterir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlıdır. Buna rağmen, karasal iklim Kayseri'de baskındır. IPCC tarafından yürütülmüş olan çalışmalara göre, Seyhan Nehri'nin yer aldığı Akdeniz bölgesi küresel iklim değişikliğine karşı en hassas ve savunmasız bölge olarak belirlenmiştir.

6.5 Tarım ve Hayvancılık

Türkiye'nin en verimli ve bereketli toprakları olan Çukurova'da yer aldığı için tarımsal faaliyetler yoğun olarak Aşağı Seyhan Nehri Havzası'nda uygulanmaktadır.

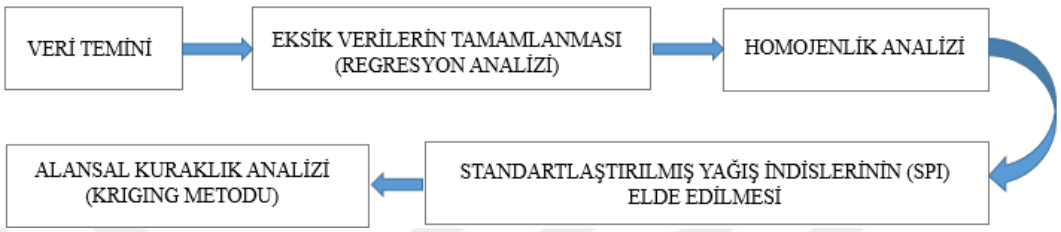
Ovada pamuk tarımı yaygın şekilde yapılmaktadır. Tahıllar ve baklagiller, pamuk ekim alanında zaman zaman ekilmektedir. Bunun yanında ovada ve eteklerde sebze ve meyve de yetiştirilmektedir.

Havzanın kuzeyinde bulunan dağlık kesimlerde kuru tarım ve otlak anlayışı yaygındır. En çok yetiştirilen bitkilerin başında tahıllar gelmektedir. Ayrıca sulanabilen arazilerde meyve, şeker pancarı, ayçiçeği, patates gibi ürünler yetiştirilmektedir.

Seyhan Havzası'nın orta kesimlerinde yer alan Torosların uzantısı olan yüksek dağlık arazi tarıma elverişli olmayıp çoğunlukla ormanla kaplıdır. Havzanın orta ve özellikle memba bölümünde otlaklar geniş yer kaplar. Bunun yanında bölgede çalılık bölgeden, ormanlık arazilerden ve kuru tarım arazisinden de otlatma amaçlı yararlanılmaktadır. Çukurova'nın tamamen tarıma ayrılması, dağlık kesimlerde yükseltinin fazla ve ormanla kaplı olması nedeniyle hayvancılık yaygın değildir. Büyükbaş hayvancılık güneyde, küçükbaş hayvancılık ise orta ve kuzey kesimlerde yapılmaktadır.

BÖLÜM YEDİ
ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Seyhan Havzası'nda kuraklığı, zamansal ve alansal analiz etmek için yapılan çalışmada izlenen adımlar Şekil 7.1'de verilen diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Kuraklık analizinde izlenen adımlar

Sakarya Havzası'nda ve çevresinde yer alan 30 adet MGİ'de ölçülmüş aylık yağış verileri kullanılmıştır. 1970-2010 dönemi içerisinde eksik değerleri olan seriler regresyon analizi ile tamamlanmıştır. Yağış serilerinin homojenliğine bakılmış ve serilerde trend olup olmadığı araştırılmıştır.

Kuraklığı analiz etmek amacıyla, 30 adet istasyonun aylık yağış verileri kullanılarak, 1970-2010 dönemi için, 1, 3, 6, 9, 12, 24, 36 ve 48 aylık SPI indisleri hesaplanmıştır. 1, 3, 6 ve 12 aylık SPI değerleri için en kurak tarihler tespit edilmiş olup, bu tarihler için Kriging yöntemi ile alansal kuraklık analizi yapılmıştır. Çalışmada yapılan işlemler alt başlıklar halinde detaylı şekilde sunulmuştur.

Çalışma kapsamındaki hesaplamalar ve analizler çeşitli bilgisayar yazılımları kullanılarak yapılmıştır. Genel olarak tablolar ve grafikler *"Microsoft Excel 2013*" kullanılarak oluşturulmuştur. İstatistiksel analizler için, istatistiksel hesaplama ve programlama dili olan *"R Studio"* ve "*Microsoft Excel*" in istatistik eklentisi olan *"XLSTAT"* kullanılmıştır. SPI değerlerinin hesabında NDMC tarafından geliştirilen ve WMO tarafından da kullanılması önerilen bir program kullanılmıştır. Alansal kuraklık analizinde Kriging yöntemi kullanılmış olup, işlemler *"ArcGIS"* içerisinde *"Geostatistical Wizard"* aracı ile gerçekleştirilmiştir (Tablo 7.1).

Tablo 7.1 Çalışmada kullanılan yazılımlar ve kullanıldığı işlemler

Kullanılan Yazılımlar	**Kullanıldığı Yerler**
Microsoft Excel 2013	Aylık toplam yağış verilerinin düzenlenmesi ve tabloların oluşturulması
XLSTAT	Regresyon analizleri, homojenlik testleri
SPI Hesaplama Yazılımı	1, 3, 6, 9, 12, 24, 36 ve 48 aylık SPI hesabı
ArcMAP 10.3.1	Tüm haritaların oluşturulması
Geostatistical Wizard	Kriging Metodu ile alansal kuraklık analizi
R Studio	Kriging Metodu sonucunda elde edilen alansal değerlerin çapraz geçerliliği, trend testleri

7.1 Veri Temini

Seyhan Nehri Havzası'na ait aylık toplam yağış verileri, Türkiye Cumhuriyeti Orman ve Su İşleri Bakanlığı'na bağlı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Seyhan Havzası'nda bulunan istasyonların aylık toplam yağış değerleri için, havzada ve çevresinde bulunan istasyonlara ait gözlenmiş verilerin ortak dönemini kapsayan 1970-2010 aralığındaki veriler esas alınmıştır. Kullanılan meteoroloji istasyonlarının gözlem periyodu Tablo 7.2'de, konumları Şekil 7.2'de verilmiştir.

Adana MGİ, Karaisalı MGİ, Karataş MGİ, Ulukışla MGİ, Tomarza MGİ, Sarız MGİ ve Pınarbaşı-Kayse MGİ, Seyhan Havzası sınırları içerisinde yer almaktadır. Diğer istasyonlar Seyhan Havzası civarında yer almaktadır.

Tablo 7.2 Çalışmada kullanılan meteoroloji gözlem istasyonları

Sıra No	MGİ No	MGİ Adı	Bulunduğu il	Kot (m)	İşleten Kurum	Açılış Yılı	Kapanış Yılı	Verisi Olan Yıl Sayısı
1	17090	Sivas	Sivas	1285	MGM	1929	2012	84
2	17162	Gemerek	Sivas	1171		1963	2012	50
3	17192	Aksaray	Aksaray	961		1929	2012	84
4	17193	Nevşehir	Nevşehir	1260		1960	2012	53
5	17196	Kayseri	Kayseri	1093		1929	2012	84
6	17248	Ereğli-Konya	Konya	1044		1964	2012	49
7	17250	Niğde	Niğde	1211		1935	2012	78
8	17255	Kahramanmaraş	Kahramanmaraş	572		1926	2012	87
9	17340	Mersin	Mersin	3		1929	2012	84
10	17351	Adana	Adana	27		1926	2012	87
11	17684	Suşehri	Sivas	1163		1970	2011	42
12	17716	Zara	Sivas	1347		1964	2011	48
13	17760	Boğazlıyan	Yozgat	1067		1963	2011	49
14	17762	Kangal	Sivas	1512		1964	2011	48
15	17802	Pınarbaşı Kayseri	Kayseri	1500		1963	2010	48
16	17835	Ürgüp	Nevşehir	1060		1970	2011	42
17	17836	Develi	Kayseri	1180		1965	2012	48
18	17837	Tomarza	Kayseri	1397		1965	2012	48
19	17840	Sarız	Kayseri	1500		1961	2012	52
20	17866	Göksun	Kahramanmaraş	1344		1963	2012	50
21	17868	Afşin	Kahramanmaraş	1180		1970	2012	43
22	17870	Elbistan	Kahramanmaraş	1137		1963	2012	50
23	17906	Ulukışla	Niğde	1453		1938	2012	75
24	17908	Kozan	Adana	109		1963	2012	50
25	17936	Karaısalı	Adana	241		1964	2012	49
26	17960	Ceyhan	Adana	30		1929	2012	84
27	17962	Dörtyol	Hatay	28		1929	2012	84
28	17964	Islahiye	Gaziantep	518		1938	2012	75
29	17979	Yumurtalık	Adana	27		1964	2012	49
30	17981	Karataş	Adana	22		1963	2012	50



Şekil 7.2 Çalışma kullanılan MGİ'ler

7.2 Regresyon Analizi

Seyhan Havzası'nın kuraklık analizinde kullanılacak olan meteoroloji istasyonlarının bazılarının eksik verisi olması nedeniyle eksik veriler regresyon ile tamamlanmıştır. 1970-2010 ortak periyodu içerisinde eksik verisi bulunan istasyonlar, en yakın meteoroloji gözlem istasyonlarının verilerinden faydalanarak tamamlanmışlardır. MGİ'lerin birbiri ile ilişkilendirilmesinde istasyonlar arası mesafenin yanı sıra, yükseklik, kayıt uzunluğu ve kayıtların eş zamanlı olması da dikkate alınmıştır.

Regresyon analizi, aralarında ilişki bulunan bir bağımlı değişken (y) ile bir yada birkaç bağımsız değişken (x_1, x_2, …x_m) arasındaki matematiksel ilişkiyi belirlemek amacıyla uygulanmaktır. Böylelikle bağımsız değişkenin (x) gözlenmiş değerleri ile bağımlı değişkenin (y) eksik olan değerleri tamamlanabilmektedir.

Basit Doğrusal Model, Denklem 7.1'deki gibi gösterilmektedir.

$$y = a + bx \tag{7.1}$$

Çoklu Doğrusal Model ise Denklem 7.2'deki gibi gösterilmektedir.

$$y = a + b_1x + b_2x \tag{7.2}$$

Basit doğrusal modelde; "a" y eksenini kesen noktayı, "b" ise doğrunun eğimini göstermektedir.

En uygun doğruyu bulmakta genellikle en küçük kareler metodu kullanılmaktadır. Farklar herhangi bir x değeri için gözlenen y değerleri ile bu x değeri için doğrunun üzerinden bulunan değer arasındaki dikey mesafedir (Usul, 2008).

İki değişken arasındaki ilişki, korelasyon katsayısına bakılarak değerlendirilir. Korelasyon katsayısı (r) 1'e ne kadar yakınsar ise ilişki o kadar kuvvetlidir. Denklem 7.3 ile elde edilmektedir.

Burada,

x_i : bağımsız değişken

y_i :bağımlı değişken

n : veri sayısını,

i : ise veri sırasını göstermektedir.

$$r = \frac{n\sum y_i x_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}\sqrt{n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (7.3)$$

Çalışma kapsamında, regresyon analizi *"Microsoft Office Excel"* in eklentisi olan *"XLSTAT"* programı kullanılarak yapılmıştır.

Suşehri, Kangal, Pınarbaşı Kayseri, Ürgüp, Afşin ve Elbistan MGİ'lerde basit doğrusal regresyon analizi yapılarak eksik veriler tamamlanırken; Aksaray, Tomarza, Sarız, Ulukışla ve Ceyhan MGİ'lerde çoklu doğrusal regresyon analizi tercih edilmiştir. Gülek ve Tufanbeyli MGİ sadece regresyon analizinde bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.

Korelasyon katsayıları kontrol edilerek ilişkilerin anlamlı olup olmadığı kontrol edilmiş, istasyonların eksik verileri elde edilen regresyon denklemi kullanılarak tamamlanmıştır. Yapılan hesaplamalarda korelasyon katsayıları en düşük 0,79, en yüksek 0,91 olarak bulunmuştur.

Yağış verilerinde eksiklik olan MGİ'lerin listesi, yağış verisi olmayan aylar, tamamlayıcı MGİ ve korelasyon katsayıları Tablo 7.3'de verilmiştir.

Eksik verilerin elde edilmesiyle 1970-2010 dönemi için aylık ortalama yağış miktarları (mm), yıl bazında toplanarak yıllık toplam yağış miktarları (mm) elde

edilmiştir. Uzun yılların ortalaması alınarak da yıllık ortalama yağış miktarı (mm) bulunmuş ve Tablo 7.4'de verilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan MGİ'lerin yerleri ve yıllık ortalama yağış miktarları (mm) Şekil 7.3'de gösterilmiştir.

Tablo 7.3 Regresyon analizi yapılan meteoroloji gözlem istasyonları

No	MGİ No	MGİ Adı	Başlangıç Yılı	Bitiş Yılı	Verisi Olan Yıl Sayısı	Eksik Veriler	Tamamlayıcı MGİ No	Tamamlayıcı MGİ Adı	Korelasyon Katsayısı (R)
1	17192	Aksaray	1929	2012	84	Nis97 / Ara11	17193	Nevşehir	0,84
							17250	Niğde	
2	17684	Suşehri	1970	2011	42	Eki70-Eyl71 / Eki74-Eyl75 / Ağu78 / Eki80-Kas80 / Eki10	17716	Zara	0,82
3	17762	Kangal	1964	2011	48	Tem79-Şub80 / Tem11	17090	Sivas	0,79
4	17802	Pınarbaşı Kayseri	1963	2010	48	May10-Ara10	17840	Sarız	0,81
5	17835	Ürgüp	1970	2011	42	Eki70-Eyl71 / Tem11	17193	Nevşehir	0,87
6	17837	Tomarza	1965	2012	48	Ağu80 / Nis10 - Eki10	17836	Develi	0,86
							17196	Kayseri	
7	17840	Sarız	1961	2012	52	Kas74-Ara74 / Şub75 / Mar75 / Ağu11 / Haz12	17802	Pınarbaşı Kayse	0,91
							6204	Tufanbeyli*	
							17868	Afşin	
8	17868	Afşin	1970	2012	43	Haz84-Eyl84 / Eyl85 / Tem11	17870	Elbistan	0,86
9	17870	Elbistan	1963	2012	50	Nis80 / Haz81-Ağu81 / Eki89 / Eki10 / Şub12	17868	Afşin	0,86
10	17906	Ulukışla	1938	2012	75	May10 - Eyl10 / Tem11	17248	Ereğli - Konya	0,79
							7929	Gülek*	
11	17960	Ceyhan	1929	2012	84	Ağu71-Eyl71 / May72-Haz72	17979	Yumurtalık	0,91
							17962	Dörtyol	
							17351	Adana	

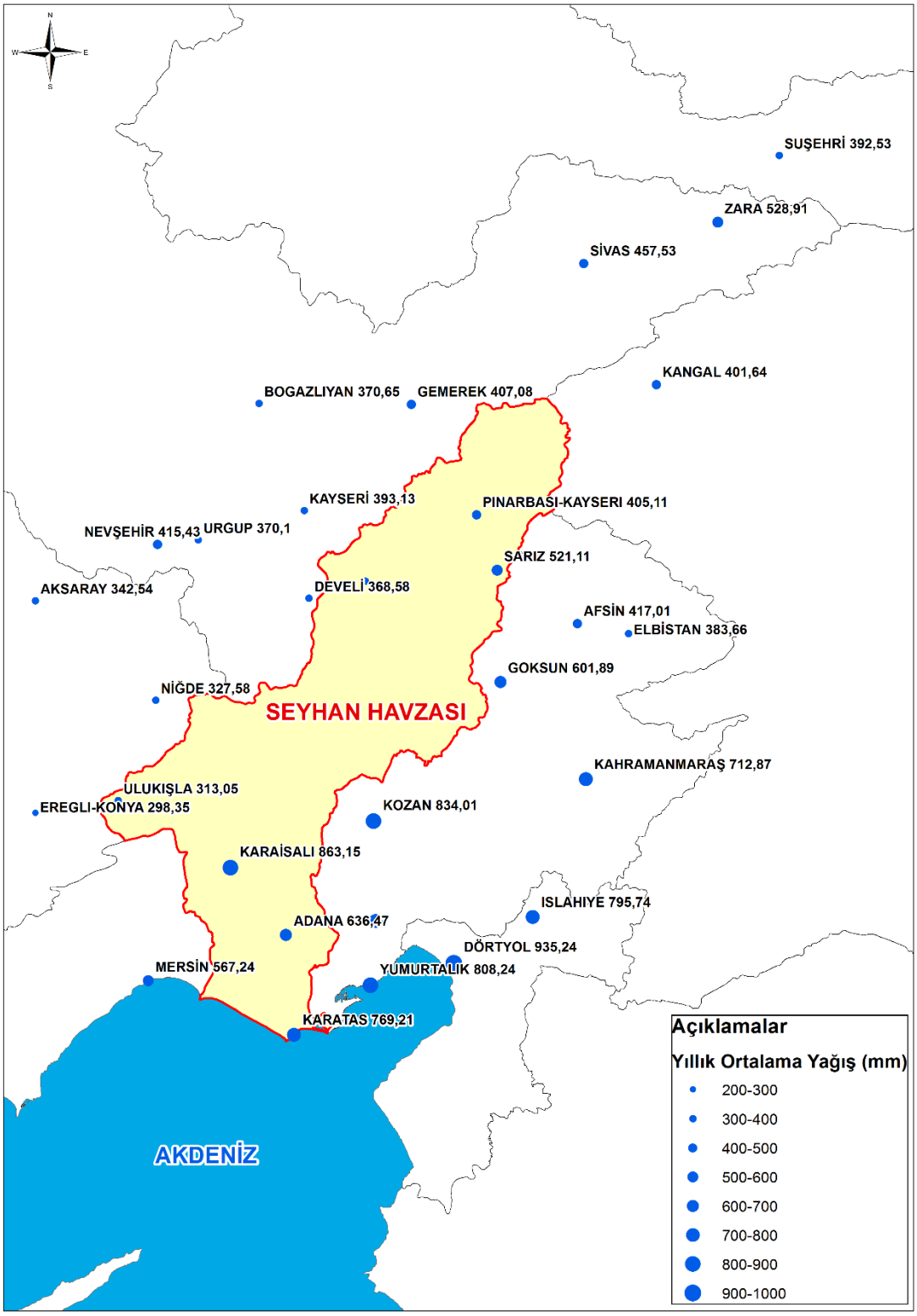
** Gülek ve Tufanbeyli Meteoroloji Gözlem İstasyonları sadece regresyon analizi için kullanılmışlardır.*

Tablo 7.4 Çalışmada kullanılan MGİ'lerin regresyonla tamamlanmış verileri ve yıllık yağış miktarlarının ortalaması

Sıra No	MGİ No	MGİ Adı	Bulunduğu il	Kot (m)	İşleten Kurum	Açılış Yılı	Kapanış Yılı	Verisi Olan Yıl Sayısı	Ortak Periyot	Ortak Periyotta Eksik Verisi Olan MGİ	Yıllık Ortalama Yağış Miktarı** (mm)
1	17090	Sivas	Sivas	1285	MGM	1929	2012	84	1970-2010		457,53
2	17162	Gemerek	Sivas	1171		1963	2012	50			407,08
3	***17192***	***Aksaray***	***Aksaray***	961		***1929***	***2012***	***84***		*	342,54
4	17193	Nevşehir	Nevşehir	1260		1960	2012	53			415,43
5	17196	Kayseri	Kayseri	1093		1929	2012	84			393,13
6	17248	Ereğli-Konya	Konya	1044		1964	2012	49			298,35
7	17250	Niğde	Niğde	1211		1935	2012	78			327,58
8	17255	Kahramanmaraş	Kahramanmaraş	572		1926	2012	87			712,87
9	17340	Mersin	Mersin	3		1929	2012	84			567,24
10	17351	Adana	Adana	27		1926	2012	87			636,47
11	***17684***	***Suşehri***	***Sivas***	1163		***1970***	***2011***	***42***		*	392,53
12	17716	Zara	Sivas	1347		1964	2011	48			528,91
13	17760	Boğazlıyan	Yozgat	1067		1963	2011	49			370,65
14	***17762***	***Kangal***	***Sivas***	1512		***1964***	***2011***	***48***		*	401,64
15	***17802***	***Pınarbaşı Kayse***	***Kayseri***	1500		***1963***	***2010***	***48***		*	405,11
16	***17835***	***Ürgüp***	***Nevşehir***	1060		***1970***	***2011***	***42***		*	370,10
17	17836	Develi	Kayseri	1180		1965	2012	48			368,58
18	***17837***	***Tomarza***	***Kayseri***	1397		***1965***	***2012***	***48***		*	391,06
19	***17840***	***Sarız***	***Kayseri***	1500		***1961***	***2012***	***52***		*	521,11
20	17866	Göksun	Kahramanmaraş	1344		1963	2012	50			601,89
21	***17868***	***Afşin***	***Kahramanmaraş***	1180		***1970***	***2012***	***43***		*	417,01
22	***17870***	***Elbistan***	***Kahramanmaraş***	1137		***1963***	***2012***	***50***		*	383,66
23	***17906***	***Ulukışla***	***Niğde***	1453		***1938***	***2012***	***75***		*	313,05
24	17908	Kozan	Adana	109		1963	2012	50			834,01
25	17936	Karaısalı	Adana	241		1964	2012	49			863,15
26	***17960***	***Ceyhan***	***Adana***	30		***1929***	***2012***	***84***		*	700,48
27	17962	Dörtyol	Hayat	28		1929	2012	84			935,24
28	17964	Islahiye	Gaziantep	518		1938	2012	75			795,74
29	17979	Yumurtalık	Adana	27		1964	2012	49			808,24
30	17981	Karataş	Adana	22		1963	2012	50			769,21

****Aylık toplam yağış verileri regresyon analizi ile eksikleri tamamlanan istasyonlar koyu ve italik yazılmıştır.*** Diğer istasyonların aylık toplam yağış verileri eksiksizdir.

** 1970-2010 dönemi için aylık ortalama yağış miktarları (mm), yıl bazında toplanarak yıllık toplam yağış miktarları (mm) elde edilmiştir. Uzun yılların ortalaması alınarak yıllık ortalama yağış miktarı (mm) bulunmuştur.



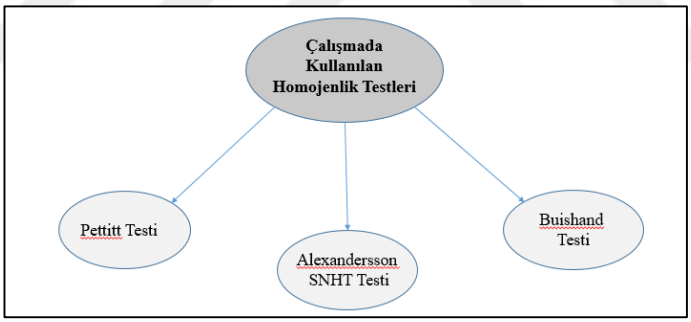
Şekil 7.3 Kullanılan MGİ'lerin yıllık ortalama yağış miktarları (mm)

7.3 Homojenlik Analizi

İklim serilerinin homojen olabilmesi için çevresindeki faktörlerin değişmeden kalabilmesi gerekmektedir. Zaman serisi homojen ise kayıtlarda gözlenen bütün davranışlar doğal olmakta ve esasta iklimsel sebeplere dayanmaktadır.

Çalışma kapsamında, tüm istasyonlar için elde edilen 1970-2010 dönemi aylık toplam yağış serilerinde oluşabilecek ani değişiklikleri analiz etmek için, Pettitt testi, Alexandersson Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT) ve Buishand Testi yapılmıştır (Şekil 7.4). Homojenlik testleri, *Microsoft Excel*'in istatistiksel eklentisi olan "*XLSTAT"* kullanılarak yapılmıştır.

Pettitt Testi ve Alexandersson SNHT Testi verilerin homojenliğinin bozulduğu zamanı elde etmektedir (Yerdelen, 2013). SNHT ve Buishand Testi serinin normal dağıldığını kabul ederken Pettitt Testi böyle bir kabul yapmamaktadır.



Şekil 7.4 Çalışmada kullanılan homojenlik testleri

Bazı rastgele değişkenlerin zaman serileri bir trend sergiler, öyle ki zamanla önemli bir değişim olur (Önöz ve Bayazıt, 2002).

Yerküresinin ikliminde atmosferdeki karbondioksit miktarının artışı nedeniyle ortaya çıkan ısınmanın yağışlara ve akışlara olan etkisi araştırılmaktadır. Yağış ve akışlarda anlamlı bir trendin var olup olmadığı ve eğer varsa da azalan ya da artan yönde olduğu bilgisi oldukça önemlidir. Dünyanın çeşitli yerlerinde yapılan

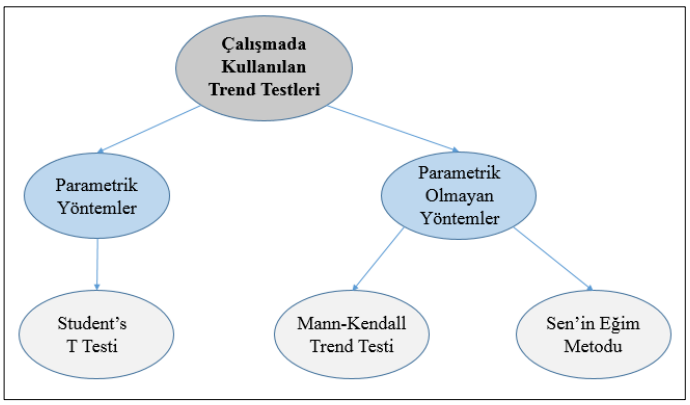
araştırmalar son yıllarda yağışlarda ve akarsuların akımlarında önemli değişmeler olduğunu göstermiştir (Bayazıt ve diğer, 2002).

Tüm istasyonlar için, aylık toplam yağış serilerinin trendi 1970-2010 ortak dönemi için araştırılmıştır.

Trend analizi için kullanılan yöntemlerden biri olan Lineer Regresyon Metodu, zaman serilerinde artan veya azalan bir trendin olup olmadığını belirlemektedir. Eğim serinin zamana bağlı değişimini vermektedir. Eğim pozitif değere sahipse artan trendin, negatif değere sahipse azalan trendin olduğunu göstermektedir (Tabari ve diğer.,2011).

Çalışmada kullanılan her bir istasyon için yağışın zaman ile ilişkisi incelenmiş ve sonuçlar, *Bölüm 8.1.1*'de Şekil 8.1 ile Şekil 8.7 arasında ve *Ek 2.A* bölümünde Şekil A.1 ile Şekil A.23 arasında sunulmuştur. Bu grafiklere göre; yağışlarda gözle görülür bir artış veya azalma söz konusu olmamaktadır.

Trend analizinde kullanılan yöntemler parametrik ve parametrik olmayan yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır (Şekil 7.5). Parametrik olmayan yöntemlerden Mann-Kendall Trend Testi ve Sen'in Eğim Metodu ile parametrik yöntemlerden t-Testi, "*R Studio* "programı içerisinde *"trend"* paketi (Pohlert, 2016) kullanılarak yapılmıştır. Tüm yöntemlerin sonuçları Tablo 7.6'da karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 7.5 Çalışmada kullanılan trend testleri

7.3.1. Pettitt Testi

Pettitt tarafından 1979 yılında, bir zaman serisindeki değişim noktasını belirlemek için parametrik olmayan bu yöntem geliştirilmiştir. Sıfır hipotezi (H_0) serinin homojen olduğunu, alternatif hipotez (H_1) ise ani bir değişim olma durumunu yani homojen olmadığını göstermektedir.

Pettitt Testi'nde, Y_i ile gösterilen aylık toplam yağış değerleri yerine bunlara karşılık gelen rankları (r_i) ve test istatistikleri hesaplanmaktadır. X_k istatistiği, Denklem 7.4 ile elde edilmektedir (Pettitt, 1979).

$$X_k = 2\sum_{i=1}^{k} r_i - k(n+1) \quad k = 1,..,n \tag{7.4}$$

"E" yılı civarında serinin ortalamasında bir kayma oluşması durumunda, X_k istatistiği k=E yılı civarında bir maksimum ya da bir minimumdan geçmektedir. X_k istatistiğinin mutlak değerlerinin minimumu olan X_E istatistiğinin örnek büyüklüğüne bağlı bir kritik değeri geçmesi durumunda seride homojenliğin bozulduğu sonucuna varılmaktadır (Tosunoğlu, 2014).

7.3.2 Alexandersson Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT)

Bir yağış serisinde değişikliği tespit etmek amacıyla, Alexandersson tarafından 1986 yılında Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT) geliştirilmiştir. Bu test, birçok istasyonun ortalaması ile ölçülen bir istasyonun gözlemlerini karşılaştıran oranların bir serisine uygulanmaktadır. Sonrasında bu oranlar standartlaştırılmaktadır. ϑ_i serisi burada standartlaştırılmış oranlara karşılık gelmektedir. Alexandersson tarafından 1986 yılında geliştirilen SNHT test istatistiği Denklem 7.5 ile hesaplanmaktadır.

$$T_{max}^{s} = \max_{1\le\alpha<n-1}\{T_{\alpha}^{s}\} = \max_{1\le\alpha<n-1}\{\alpha\bar{z}_1^2 + (n-\alpha)\bar{z}_2^2\} \tag{7.5}$$

Burada,

z_i : gözlenmiş seri

$\bar{z}_1$ve $\bar{z}_2$: değişim öncesi ve sonrası z_i serisinin aritmetik ortalaması

α : kırılma için en olası yıl, α=1,….,n

T_α^s : sıralanmış seri

$\bar{\vartheta}$: referans değerleri ortalaması olmaktadır.

Eğer SNHT test istatistiği (T_{max}^s) belli bir kritik seviyenin üzerinde ise uygun anlamlılık düzeyinde sıfır hipotezi (H_0) reddedilebilir denilebilmektedir (Alexandersson ve Moberg, 1997).

H_0 hipotezi altında, z_i aynı ortalamaya sahip olmaktadır. H_1 hipotezi ise SNHT testi sonucunda seride değişimi göstermektedir. H_0 hipotezi kabulü serinin homojen olduğunu, H_1 hipotezinin kabulü ise bilinmeyen bir anda ansızın ortalama değerin değiştiğini yani homojen olmadığını göstermektedir. Bu noktada standart sapmanın değişmediği varsayılmaktadır.

7.3.3 Buishand Testi

Buishand tarafından 1982 yılında geliştirilen bu test, zaman serisi verilerinden homojenliği bozan veriyi bir pik kırılma ile bulmaktadır. Verilerin normal dağılıma uyduğu kabul edilmektedir.

$$S_k^* = \sum_{i=1}^{k}(Y_i - \bar{Y}) \qquad k = 1, \ldots, n \tag{7.6}$$

Burada $\bar{Y}$, Y_i'lerin ortalama değeridir ve S_0^* değeri sıfırdır. Seçilen seri homojense, S_k^*'nın beklenen değeri sıfır etrafında dalgalanmaktadır. Denklem 7.6'da verilen S_k^* değeri bir yıl içinde bir maksimuma veya bir minimuma ulaştığında, k yılında muhtemel bir değişim oluşabileceği anlamına gelmektedir. Değişimin anlamlılığı, Denklem 7.7'de verilen düzenlenen yeni seri (R) ölçeği kullanılarak test edilebilmektedir (De Carvalho ve Dos Santos, 2003). Genellikle R'nin büyük değerleri değişimi göstermektedir.

$$R = \left(\max_{0\le k\le n} S_k^* - \min_{0\le k\le n} S_k^*\right)/s \tag{7.7}$$

$$Q = R/\sqrt{n} \tag{7.8}$$

R katsayısı elde edildikten sonra Buishand test istatistiği Denklem 7.8 ile elde edilmektedir ve bu değer kritik tablo değeriyle karşılaştırılmaktadır. Hesaplanan test istatistiği değeri tablo değerinden büyük ise test edilen serinin homojen olmadığı sonucuna varılmaktadır (Tosunoğlu, 2014).

7.3.4 Mann-Kendall Trend Analizi

Mann, 1945 yılında, trendi test etmek için bir zaman serisinin verilen n adet ardışık gözlemini, t (t=1,n) ile Z_t'nin Kendall korelasyon rankını kullanarak ortaya koymuştur. Testin uygulanacağı zaman serisinde (x_1, x_2,...,x_n) rastgele değişkenleri, x_i, x_j çiftleri olarak iki gruba ayrılmaktadır. $x_i > x_j$ olan çiftlerin sayısı P, $x_i < x_j$ olan çiftlerin sayısı M ile gösterilirse test istatistiği S=P-M şeklinde tanımlanmaktadır.

n>10 için örnekleme dağılımı aşağıdaki gibi olmaktadır (Önöz ve Bayazıt, 2003). Z değeri normal dağılımdan elde edilmektedir.

$$Z = \begin{cases} (S-1)/\sigma_S & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ (S+1)/\sigma_S & S < 0 \end{cases} \tag{7.9}$$

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{n\,(n-1)(2n+5)}{18}} \tag{7.10}$$

Yukarıda açıklandığı şekilde hesaplanan Z'nin mutlak değeri, seçilen α anlamlılık düzeyine karşı gelen normal dağılımın $Z_{\alpha/2}$ değerinden küçük ise sıfır hipotezi kabul edilmektedir. Başka bir deyişle, Z değerine karşılık gelen olasılık değeri de α anlamlılık düzeyinden büyük ise H_0 hipotezi kabul edilir. Böylelikle incelenen zaman serisinde trend olmadığı sonucuna varılmaktadır. Z'nin mutlak değeri $Z_{\alpha/2}$ değerinden büyükse H_1 hipotezi kabul edilmekte ve S değeri pozitif olması durumunda artan yönde, negatif olması durumunda ise azalan yönde eğilim olduğu sonucuna varılmaktadır.

7.3.5 Sen'in Eğim Metodu

Bir zaman serisinde lineer bir trend söz konusu ise Sen tarafından geliştirilen parametrik olmayan basit bir işlemle eğim hesabı yapılabilmektedir (Tabari ve diğer.,2011).

Öncelikle j ve k sırasındaki değerler olan x_j ve x_k değerleri kullanılarak ϑ_i Denklem 7.11'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\vartheta_i = \frac{x_j - x_k}{j-k} \qquad i = 1, \dots, N \tag{7.11}$$

ϑ_i'nin medyanı Sen'in eğimini verir. N çift tek sayı ise Sen'in eğimi, Denklem 7.12'de verildiği gibi olmaktadır.

$$\vartheta_{med} = \vartheta[(N+1)/2] \tag{7.12}$$

N çift sayı olması durumunda ise Sen'in eğimi Denklem 7.13'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\vartheta_{med} = \frac{1}{2}\{\vartheta(N/2) + \vartheta[(N+2)/2]\} \tag{7.13}$$

ϑ_{med}, 100(1-α)% güven aralığında iki uçlu test ile test edilir ve doğru eğim parametrik olmayan test ile elde edilmiş olur (Partal ve Kahya, 2006). $Z_{1\ -\alpha/2}$ değeri standart normal dağılımdan elde edilmektedir.

$$C_\alpha = Z_1 - {}^{\alpha}/_{2}\sqrt{Var(S)} \tag{7.14}$$

$$Var\ (S) = \left[\frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5)}{18}\right] \tag{7.15}$$

C_α katsayısı Denklem 7.14 ile hesaplanmaktadır. Denklem 7.9'da verilen S'nin varyasyonu $Var\ (S)$ ile gösterilmekte olup Denklem 7.15 ile hesaplanmaktadır.

Güven aralığının alt sınır değeri olan Q_{min}, Q_i'nin M_1'inci, üst sınır değeri olan Q_{max} ise M_2'nci en büyük değeri olmaktadır. M_1 değeri tamsayı değil ise alt limit interpole edilmektedir M_2 tamsayı değil ise üst limit interpole edilir (Salmi ve diğer.,2002). M_1 değeri Denklem 7.16, M_2 değeri ise Denklem 7.17 ile hesaplanmaktadır.

$$M_1 = (N - C_\alpha)/2 \tag{7.16}$$

$$M_2 = (N + C_\alpha)/2 \tag{7.17}$$

7.3.6 t Testi

Aylık toplam yağış verilerinde trendi araştırmak için parametrik yöntemlerden t testi kullanılmıştır.

Tek örnekli t testi toplumun ortalaması ile örnek ortalaması arasındaki farkı değerlendirmek için kullanılmaktadır. Toplumdan rastgele bir örnek alınıp toplum ortalaması ile örnek ortalaması karşılaştırılmaktadır. Örneğin ortalamasının toplum ortalamasından farklı olup olmadığına dair istatistiksel karar verilmektedir Örnek ortalaması ile toplum ortalaması arasında fark yoksa H_0 (trend yok), varsa H_1 (trend var) hipotezi kabul edilmektedir (Statistics Solutions, 2013).

Örneğin standart sapması Denklem 7.18 ile hesaplanmaktadır. Burada; S, standart sapma; n, gözlem sayısı; $\bar{X}$, örnek ortalamasını temsil etmektedir.

$$S = \sqrt{\frac{(X-\bar{X})^2}{n-1}} \tag{7.18}$$

Tek örnekli t testi değeri Denklem 7.19 ile elde edilmektedir. Denklemde; t, tek örnekli t testi değeri; μ, toplum ortalaması; V, serbestlik derecesini temsil etmektedir. Serbestlik derecesi, tek örnekli dağılım olduğundan veri sayısının bir eksiği olup Denklem 7.20'de verilmiştir.

$$t = \frac{\bar{X}-\mu}{s}\sqrt{n} \quad (7.19)$$

$$V = n - 1 \quad (7.20)$$

Hipotez testinde, hesaplanan t değeri ile t tablosunda seçilen α anlamlılık değerine karşılık gelen tablo değeri karşılaştırılmaktadır. Hesaplanan değer, tablo değerinden büyükse H_0 hipotezi reddedilmekte ve H_1 alternatif hipotezi kabul edilmektedir. Bunun yanında, elde edilen olasılık (p) değeri ile α anlamlılık değeri de karşılaştırılabilmektedir. P değeri, α'dan büyükse H_0 hipotezi, aksi durumda H_1 alternatif hipotezi kabul edilmektedir.

7.3.7 Homojenlik Analizi Sonuçları

Seyhan Havzası'nda kuraklık analizi için kullanılacak 30 adet MGİ'nin aylık toplam yağış serileri için serideki ani değişimi analiz eden Pettitt Testi, Alexandersson SNHT Testi ve Buishand Testi yapılmış ve sonuçları Tablo 7.5'de verilmiştir. Bunun yanında, seri boyunca değişimi analiz eden Mann-Kendall Trend Testi, Sen'in Eğim Metodu ve t Testi yapılmış ve sonuçları ise Tablo 7.6'da verilmiştir.

Tüm testler için elde edilen olasılık (p) değerlerinin 0,05 seçilen α anlamlılık düzeyinden daha büyük olması durumunda H_0 hipotezi, küçük olması durumunda H_1 alternatif hipotezi kabul edilmektedir. H_0 hipotezi serinin homojen olduğunu, H_1 alternatif hipotezi ise homojen olmadığını göstermektedir.

Homojenlik testlerinin sonuçları aşağıdaki gibidir:

1. Pettitt Testi'ne göre, tüm istasyonlar için aylık toplam yağış serilerinin homojen olduğu gözlenmiştir.

2. Alexandersson SNHT Testi'ne göre, sadece Niğde MGİ'nin aylık toplam yağış serisinde p değeri, α anlamlılık düzeyinden küçük çıkmaktadır. Bu sebeple Niğde MGİ verileri için H_1 alternatif hipotez kabul edilmiş olup, homojen

olmadığı belirtilmiştir. Diğer tüm istasyonların aylık toplam yağış serileri için H_0 hipotezi kabul edilmiş olup homojen oldukları belirtilmiştir.

3. Buishand Testi sonucunda da tüm istasyonlar için aylık toplam yağış serilerinin homojen olduğu gözlenmiştir.

4. Mann-Kendall trend testinde; elde edilen p değerlerinin 0,05 seçilen α anlamlılık düzeyinden daha büyük olması durumunda H_0 hipotezi kabul edilmektedir. Mann-Kendall trend testine göre, sadece Niğde MGİ'nin aylık toplam yağış serisinde pozitif trend gözlenmiş, diğer istasyon verilerinde trendin olmadığı bilgisine ulaşılmıştır.

5. Sen'in Eğim Metodunda; hesaplanan eğim değerleri güven aralığında yer alması durumunda H_0 hipotezi kabul edilmektedir. Bu teste göre, tüm istasyonlar için aylık toplam yağış serilerinde trendin olmadığı gözlenmiştir

6. Tek örnekli t testinde; elde edilen p değerlerinin 0,05 seçilen α anlamlılık düzeyinden daha büyük olması durumunda H_0 hipotezi kabul edilmektedir. Buna göre, yağış serilerinin tümünde trendin olmadığı belirtilmiştir.

Tablo 7.5 1970-2010 dönemi aylık toplam yağış verilerinin homojenlik analizi sonuçları

Homojenlik Analizi Sonuçları											
MGİ		Sivas	Gemerek	Aksaray	Nevşehir	Kayseri	Ereğli-Konya	Niğde	Kahramanmaraş	Mersin	Adana
		17090	17162	17192	17193	17196	17248	17250	17255	17340	17351
Pettitt Testi	p Değeri	0,524	0,529	0,562	0,776	0,667	0,930	0,312	0,884	0,973	0,735
	Homojenlik	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
Alexsandersson SNHT Testi	p Değeri	0,723	0,059	0,221	0,993	0,683	0,517	0,048	0,553	0,377	0,278
	Homojenlik	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_1	H_0	H_0	H_0
Buishand Testi	p Değeri	0,578	0,386	0,713	0,908	0,471	0,571	0,280	0,583	0,741	0,444
	Homojenlik	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
MGİ		Suşehri	Zara	Boğazlıyan	Kangal	Pınarbaşı Kayse	Ürgüp	Develi	Tomarza	Sarız	Göksun
		17684	17716	17760	17762	17802	17835	17836	17837	17840	17866
Pettitt Testi	p Değeri	0,483	0,783	0,816	0,979	0,493	0,703	0,539	0,815	0,802	0,813
	Homojenlik	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
Alexsandersson SNHT Testi	p Değeri	0,706	0,990	0,174	0,861	0,255	0,501	0,636	0,928	0,366	0,180
	Homojenlik	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
Buishand Testi	p Değeri	0,387	0,904	0,640	0,432	0,109	0,877	0,432	0,983	0,876	0,911
	Homojenlik	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
MGİ		Afşin	Elbistan	Ulukışla	Kozan	Karaisalı	Ceyhan	Dörtyol	Islahiye	Yumurtalık	Karataş
		17868	17870	17906	17908	17936	17960	17962	17964	17979	17981
Pettitt Testi	p Değeri	0,882	0,996	0,513	0,929	0,675	0,785	0,528	0,967	0,962	0,919
	Homojenlik	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_1	H_0	H_0	H_0
Alexsandersson SNHT Testi	p Değeri	0,067	0,985	0,678	0,062	0,275	0,062	0,578	0,738	0,066	0,278
	Homojenlik	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_1	H_0	H_0	H_0
Buishand Testi	p Değeri	0,581	0,964	0,779	0,870	0.478	0,545	0,636	0,870	0,591	0,699
	Homojenlik	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0

H_0: homojen

H_1:homojen değil

α anlamlılık düzeyi 0,05 alınmıştır.

Tablo 7.6 1970-2010 dönemi aylık toplam yağış verilerinin trend analizi sonuçları

Trend Analizi Sonuçları											
MGİ		Sivas	Gemerek	Aksaray	Nevşehir	Kayseri	Ereğli-Konya	Niğde	Kahramanmaraş	Mersin	Adana
		17090	17162	17192	17193	17196	17248	17250	17255	17340	17351
Mann-Kendall	p Değeri	0,152	0,345	0,643	0,802	0,415	0,762	0,047	0,584	0,917	0,716
	Trend	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_1	H_0	H_0	H_0
Sen'in Eğimi	Eğim	0,011	0,006	-0,002	-0,001	0,005	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000
	Güven aralığı	0,028 -0,0034	0,0215 -0,0067	0,0083 -0,0144	0,012 -0,0165	0,02 -0,008	0,0115 -0,008	0,024 0	0,0153 -0,0048	0,0078 -0,0078	0,0109 -0,0196
	Trend	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
Student t Testi	p Değeri	0,999	0,999	1,000	0,997	0,999	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000
	trend	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
MGİ		Suşehri	Zara	Boğazlıyan	Kangal	Pınarbaşı Kayse	Ürgüp	Develi	Tomarza	Sarız	Göksun
		17684	17716	17760	17762	17802	17835	17836	17837	17840	17866
Mann-Kendall	p Değeri	0,200	0,473	0,549	0,693	0,850	0,589	0,248	0,594	0,793	0,570
	Trend	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
Sen'in Eğimi	Eğim	0,009	0,006	0,003	0,002	-0,001	0,002	0,007	0,003	-0,002	-0,005
	Güven aralığı	0,0244 -0,0042	0,0253 -0,0109	0,017 -0,0078	0,0173 -0,011	0,0132 -0,0163	0,0164 -0,0092	0,0212 -0,0042	0,0185 -0,01	0,0148 -0,0205	0,0137 -0,0257
	Trend	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
Student t Testi	p Değeri	0,997	1,000	0,998	0,997	0,998	0,997	1,000	0,998	0,999	0,999
	trend	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
MGİ		Afşin	Elbistan	Ulukışla	Kozan	Karaisalı	Ceyhan	Dörtyol	Islahiye	Yumurtalık	Karataş
		17868	17870	17906	17908	17936	17960	17962	17964	17979	17981
Mann-Kendall	p Değeri	0,842	0,933	0,194	0,957	0,557	0,683	0,262	0,695	0,852	0,778
	Trend	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
Sen'in Eğimi	Eğim	0,000	0,000	0,007	0,001	-0,006	0,001	0,019	0,000	0,000	0,000
	Güven aralığı	0,014 -0,0118	0,0135 -0,0116	0,0189 -0,0028	0,0291 -0,0285	0,0174 -0,0364	0,0256 -0,0149	0,055 -0,0135	0,0083 -0,0132	0,0263 -0,0175	0,0094 -0,0134
	Trend	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
Student t Testi	p Değeri	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	1,000
	trend	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0

H_0: trend yok

H_1: trend var

α anlamlılık düzeyi 0,05 alınmıştır.

7.4 Standartlaştırılmış Yağış İndislerinin Elde Edilmesi

Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) esas olarak belirlenen zaman dilimi içinde yağışın ortalamadan olan farkının standart sapmaya bölünmesi ile elde edilmektedir (McKee ve diğer. 1993).

SPI kuraklığı belirleme ve görüntüleme amacıyla geliştirilmiş olup, kuraklık tahmini için kullanılmamaktadır. Verilen zaman ölçeğinde, ilgili yağış istasyonunun verileri ile kuraklığın sıklığını belirlemeye yarayan bir analizdir. Aynı zamanda anormal derecede sulaklık olayını da belirlemek amacıyla kullanılabilmektedir.

İklimsel yağış zaman serisine en iyi gamma dağılımı uymaktadır (Thom, 1966). Gamma dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu Denklem 7.21 ile ifade edilmektedir.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \text{ , } \alpha>0, \beta>0, x>0 \quad (7.21)$$

Burada α şekil parametresi, β ölçek parametresi, x ise yağış miktarıdır. Γ(α) gamma fonksiyondur ve Denklem 7.22'de verilmiştir.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (7.22)$$

SPI hesabı, her bir istasyon için yağış toplamının frekans dağılımına uyan gamma olasılık yoğunluk fonksiyonunu içermektedir. Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonunun α ve β parametreleri, her istasyon ve ilgili her zaman ölçeği (3 aylık, 6 aylık vb.) için hesaplanmaktadır. α ve β parametrelerinin hesabı en ideal şekilde maksimum olabilirlik çözümü kullanarak yapılmaktadır (Denklem 7.23 ve Denklem 7.24).

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}\right) \quad (7.23)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \tag{7.24}$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \tag{7.25}$$

Burada n, yağış gözlemlerinin sayısı olmaktadır. Her istasyon için verilen zaman ölçeğinde, gözlenmiş yağış olayının eklenik olasılığını bulmak için yukarıdaki denklemlerle sonuçları elde edilen parametreler kullanılmaktadır. Eklenik olasılık fonksiyonu Denklem 7.26'da ve Denklem 7.28'de gösterilmiştir.

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}}\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \tag{7.26}$$

$$t = x/\hat{\beta} \tag{7.27}$$

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \tag{7.28}$$

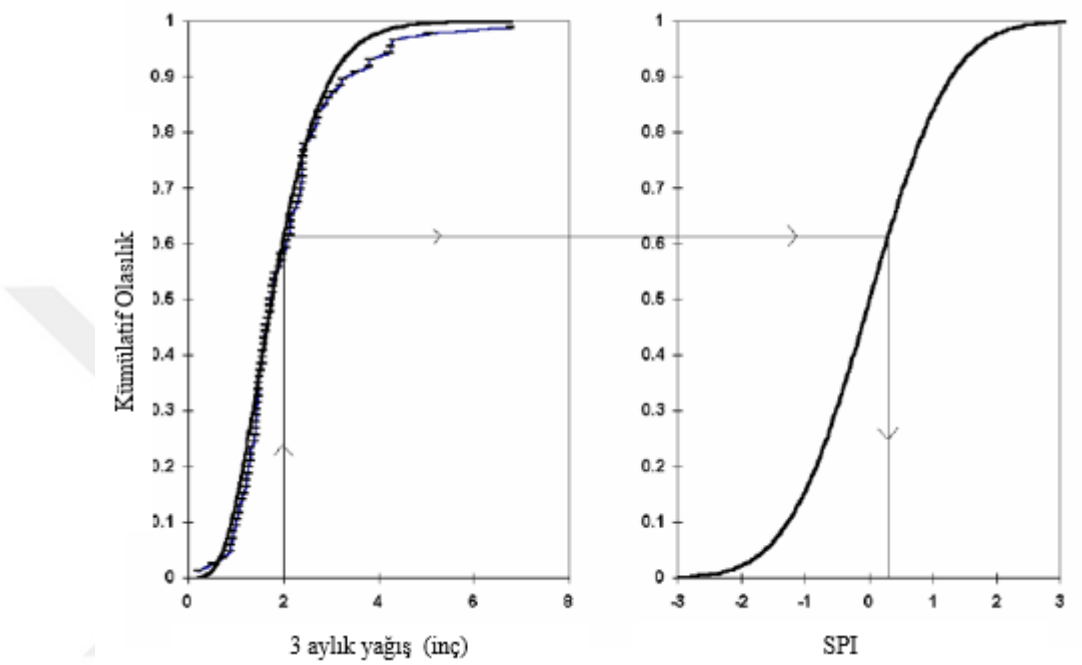
Gamma fonksiyonu x=0 için tanımsız olduğundan ve yağış değerleri olabileceğinden, eklenik olasılık fonksiyonu Denklem 7.29'daki haliyle verilmektedir.

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \tag{7.29}$$

Burada "q", sıfırın olasılığıdır. Bir zaman serisinde sıfır değerlerinin sayısını "m" olarak atamış, "q" olasılık değeri "m/n" olarak hesaplamıştır. McKee ve diğer. (1993) eklenik olasılığı belirlemek için analitik bir metotla birlikte 1988 yılında Press ve arkadaşları tarafından geliştirilen yazılım kodunu kullanmışlardır.

H(x) ile gösterilen eklenik olasılık, SPI değeri olan, ortalaması "0" ve varyansı "1" olan standart normal rastgele değişken Z'ye dönüştürülmektedir. Panofsky ve Brier, 1958 yılında, önerilen bir dağılımın (örn. normal dağılım) değişkeninin başka bir dağılımın (örneğin. gamma) değişkenine dönüşümünün temel özelliğini ifade etmişlerdir. Öyle ki değişkenin verilen değerinden daha az olma olasılığı dönüşen değişkene karşılık gelen değerden daha az olma olasılığı ile aynı olacaktır.

Şekil 7.6'da, 3 aylık yağış miktarları ortalama ve varyansı sıfır olan SPI değerlerine dönüştürülme işlemi gösterilmektedir. Soldaki şekilde kırıklı çizgi ile istasyon 3 aylık yağış miktarlarının gerçek değerlerini gösteren (x ekseni) işaretler görülmektedir. Kırıklı çizgi ayrıca ampirik eklenik olasılık dağılımını (y ekseni) göstermektedir.



Şekil 7.6 Yağışların kümülatif olasılıkları ve SPI değerlerinin elde edilmesi (SPI Defined, b.t.,s.5)

Ampirik eklenik olasılıklar en ideal biçimde, Panofsky ve Brier (1958)'in önerdikleri gibi bulunmuştur. Buna göre yağış verileri küçükten büyüğe sıralanıp, "*k'*"ıncı değer en düşükten "*k-1*" değeri ve n örnek sayısı olmaktadır.

$$Amprik\ k\ddot{u}m\ddot{u}latif\ olasılık = \frac{k}{n+1} \qquad (7.30)$$

Şekil 7.6'daki iki grafikten sol tarafta yer alan düzgünleştirilmiş eğri, yağış verilerine uygun gamma dağılımının eklenik olasılık dağılımını gösterir. Sağdaki grafikte yer alan düzgünleştirilmiş eğri ise sol şekildeki uygun gamma dağılımını kullanarak elde edilen standart normal rastgele değişkeni (z) yani standart normal değişkeni (SPI değerleri) göstermektedir. Bunun sonucu olarak bu şekil gözlenmiş 3 aylık yağış verilerini SPI değerlerine dönüştürmekte kullanılabilmektedir.

Bu işlem oldukça uzun ve zahmetli olduğundan 1965 yılında Abramowitz ve Stegun'un geliştirdiği, eklenik olasılıkları standart normal değişken (z)'ye dönüştüren bir yaklaşım kullanılmıştır:

$0 < H(x) \leq 0{,}5$ için;

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \tag{7.31}$$

$$t = \sqrt{ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \tag{7.32}$$

$0{,}5 < H(x) < 1{,}0$ için;

$$Z = SPI = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \tag{7.33}$$

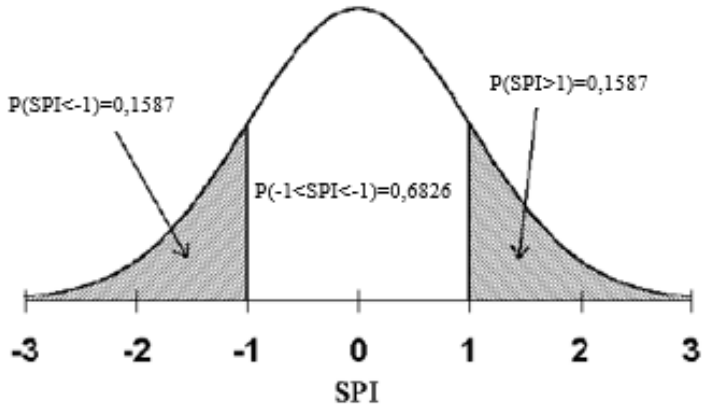
$$t = \sqrt{ln\left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2}\right)} \tag{7.34}$$

Burada, c ve d katsayılar olup değerleri;

c_0 =2,515517, c_1 =0,802853, c_2 =0,010328

d_1 =1,432788, d_2 =0,189269, d_3 =0,001308 olmaktadır.

SPI değerleri z değerlerini göstermektedir ve ortalamadan aşağıda veya yukarıdaki standart sapmaların sayısı olmaktadır. Bu durum kısa zaman ölçekleri için orijinal yağış dağılımının çarpık olmasından dolayı tamamen doğru değildir. Yine de hesaplanan gamma parametreleri için belirlenen dönem boyunca SPI, varyansı "1" ve beklenen değeri "0" olan standart normal dağılıma sahip olacaktır (Şekil 7.7).



Şekil 7.7 Ortalaması sıfır ve varyansı bir olan standart normal dağılımlı SPI

Kısaca, SPI bir istasyonda oluşan yağışın eklenik olasılığına dayanmaktadır. Gamma dağılımının yağış dağılımına oldukça iyi uyduğu bilinmektedir. Gamma dağılımı parametreleri (α ve β), maksimum olabilirlik yöntemi ile elde edilmektedir. Belirli bir yağış olayı eklenik olasılık fonksiyonunda düşük bir olasılık veriyorsa, olası bir kuraklık olayının göstergesi olarak kabul edilmektedir.

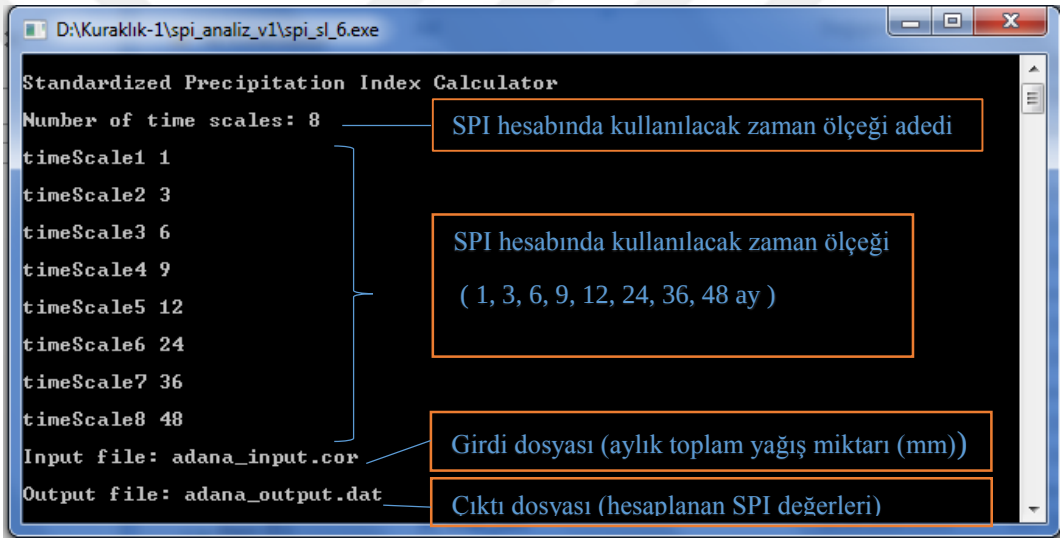
Yukarıda açıklandığı gibi, yağış gamma dağılımı fonksiyonunun değişkenidir. Fonksiyon, o bölgenin yağış karakteristiklerine bağlı olan ortalama ve standart sapmasına sahip olacaktır. Eğer başka bir bölge için olasılık fonksiyonu hesaplanırsa, büyük ihtimalle farklı bir ortalama ve standart sapmaya sahip olacaktır. Bu nedenle, kuraklık "normalin altı" yağış olayı olduğundan, kuraklık açısından iki ya da daha fazla istasyon için yağış olaylarını karşılaştırmak oldukça zor olacaktır. Yağış miktarı açısından, bir bölgedeki "normal yağış" bir başka bölge için fazlalık yağış olabilmektedir.

SPI verilen zaman ölçeğinde yağış fazlalığı miktarını etkili olarak ölçebilmektedir. Bu indisin avantajı sadece yağış miktarı ile ilgili bilgi vermekle kalmayıp aynı zamanda bu miktarın normal ile ilişkili olup olmadığı ile ilgili bulgu vermektedir. Böylelikle bir istasyonda kuraklık görülüp görülmediğinin izahına öncülük etmektedir.

Dağılım parametrelerini hesaplamak ve SPI değerlerini bulmak için çok uzun bir dönemin kullanılması önerilmektedir. Çalışmada, SPI değerlerini hesaplamak için 1970-2010 dönemi (41 yıl) aylık toplam yağış verileri kullanılmıştır.

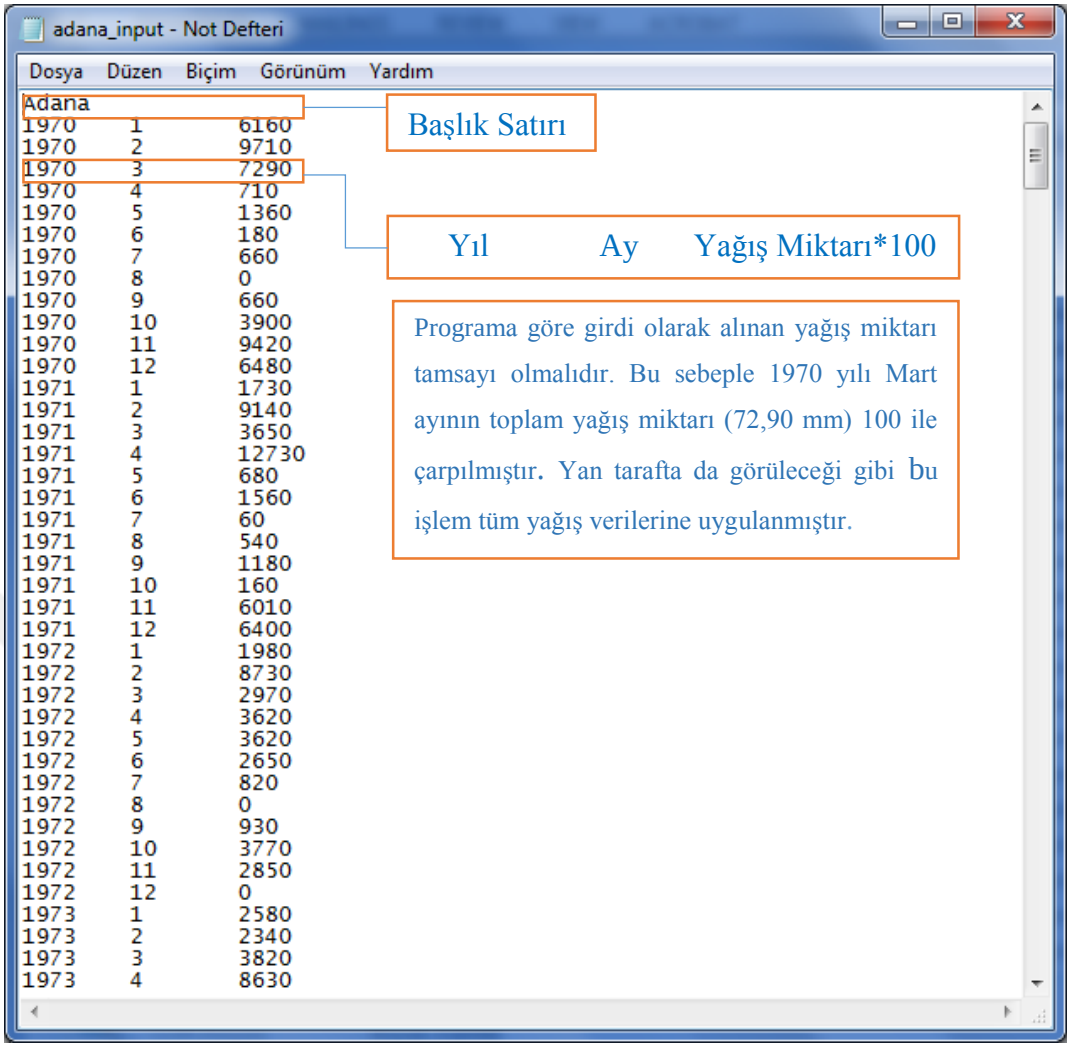
SPI yaklaşımı kuraklık için daha yaygın şekilde kullanılmaktadır. SPI'da yağış zaten normalleştirilmiştir ve ortalamayla kullanılan yağışı karşılaştırmaktadır.

SPI değerlerinin elde edilmesi amacıyla, Amerika Ulusal Kuraklık Önleme Merkezi (NDMC) tarafından kuraklık izleme ve görüntüleme için geliştirilen program kullanılmıştır.



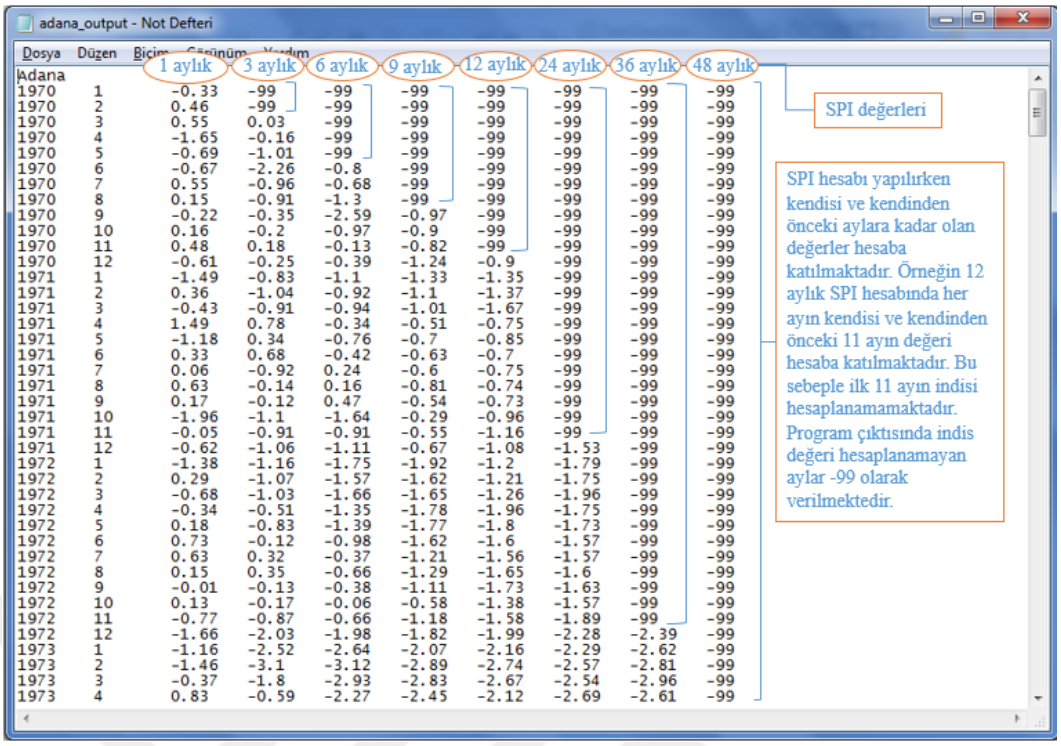
Şekil 7.8 SPI hesaplama yazılımı

SPI değerlerinin hesabında kullanılan bu program için hazırlanan WMO SPI Kullanım Kılavuzu (2012) incelenmiştir. WMO tarafından önerilmesi, kullanım kolaylığı ve yaygınlığı gibi nedenlerle bu programın çalışmada kullanılması uygun görülmüştür. Şekil 7.8'de açıklamalarıyla birlikte programın ara yüzü görülmektedir. Şekil 7.9'da bu program için hazırlanması gereken girdi dosyasının formatı ve Şekil 7.10'da çıktı dosyası gerekli açıklamalarla gösterilmektedir.



Şekil 7.9 SPI hesaplama yazılımı girdi dosyası

Seyhan Havzası'nda bulunan MGİ'lerin aylık toplam yağış verilerinin, SPI hesaplama programına girilmesi sonucu 1, 3, 6, 9, 12, 24, 36 ve 48 aylık periyotlar için SPI değerleri hesaplanmıştır. Genellikle, 1, 3 ve 6 aylık analiz meteorolojik kuraklığı, 9 ve 12 aylık analizler tarımsal kuraklığı, 12 üzeri aylık analizler ise hidrolojik kuraklığı görmek için kullanılmaktadır.



Adana

1970	1	-0.33	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1970	2	0.46	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1970	3	0.55	0.03	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1970	4	-1.65	-0.16	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1970	5	-0.69	-1.01	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1970	6	-0.67	-2.26	-0.8	-99	-99	-99	-99	-99
1970	7	0.55	-0.96	-0.68	-99	-99	-99	-99	-99
1970	8	0.15	-0.91	-1.3	-99	-99	-99	-99	-99
1970	9	-0.22	-0.35	-2.59	-0.97	-99	-99	-99	-99
1970	10	0.16	-0.2	-0.97	-0.9	-99	-99	-99	-99
1970	11	0.48	0.18	-0.13	-0.82	-99	-99	-99	-99
1970	12	-0.61	-0.25	-0.39	-1.24	-0.9	-99	-99	-99
1971	1	-1.49	-0.83	-1.1	-1.33	-1.35	-99	-99	-99
1971	2	0.36	-1.04	-0.92	-1.1	-1.37	-99	-99	-99
1971	3	-0.43	-0.91	-0.94	-1.01	-1.67	-99	-99	-99
1971	4	1.49	0.78	-0.34	-0.51	-0.75	-99	-99	-99
1971	5	-1.18	0.34	-0.76	-0.7	-0.85	-99	-99	-99
1971	6	0.33	0.68	-0.42	-0.63	-0.7	-99	-99	-99
1971	7	0.06	-0.92	0.24	-0.6	-0.75	-99	-99	-99
1971	8	0.63	-0.14	0.16	-0.81	-0.74	-99	-99	-99
1971	9	0.17	-0.12	0.47	-0.54	-0.73	-99	-99	-99
1971	10	-1.96	-1.1	-1.64	-0.29	-0.96	-99	-99	-99
1971	11	-0.05	-0.91	-0.91	-0.55	-1.16	-99	-99	-99
1971	12	-0.62	-1.06	-1.11	-0.67	-1.08	-1.53	-99	-99
1972	1	-1.38	-1.16	-1.75	-1.92	-1.2	-1.79	-99	-99
1972	2	0.29	-1.07	-1.57	-1.62	-1.21	-1.75	-99	-99
1972	3	-0.68	-1.03	-1.66	-1.65	-1.26	-1.96	-99	-99
1972	4	-0.34	-0.51	-1.35	-1.78	-1.96	-1.75	-99	-99
1972	5	0.18	-0.83	-1.39	-1.77	-1.8	-1.73	-99	-99
1972	6	0.73	-0.12	-0.98	-1.62	-1.6	-1.57	-99	-99
1972	7	0.63	0.32	-0.37	-1.21	-1.56	-1.57	-99	-99
1972	8	0.15	0.35	-0.66	-1.29	-1.65	-1.6	-99	-99
1972	9	-0.01	-0.13	-0.38	-1.11	-1.73	-1.63	-99	-99
1972	10	0.13	-0.17	-0.06	-0.58	-1.38	-1.57	-99	-99
1972	11	-0.77	-0.87	-0.66	-1.18	-1.58	-1.89	-99	-99
1972	12	-1.66	-2.03	-1.98	-1.82	-1.99	-2.28	-2.39	-99
1973	1	-1.16	-2.52	-2.64	-2.07	-2.16	-2.29	-2.62	-99
1973	2	-1.46	-3.1	-3.12	-2.89	-2.74	-2.57	-2.81	-99
1973	3	-0.37	-1.8	-2.93	-2.83	-2.67	-2.54	-2.96	-99
1973	4	0.83	-0.59	-2.27	-2.45	-2.12	-2.69	-2.61	-99

Şekil 7.10 SPI hesaplama yazılımı çıktı dosyası

SPI değerleri dikkate alınarak yapılan bir kuraklık değerlendirmesinde, indisin sürekli olarak negatif olduğu zaman periyodu kurak dönem olarak adlandırılmaktadır. İndisin sıfırın altına ilk düştüğü dönem kuraklığın başlangıcı olarak kabul edilirken, indisin pozitif değere yükseldiği ay kuraklığın bitimi olarak değerlendirilmektedir (McKee ve diğer., 1994).

SPI değerleri Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi (NOAA) tarafından sınıflandırılarak nemli olma ve kuraklık dereceleri belirlenmiş ve Tablo 7.7'de gösterilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) de aynı sınıflandırmayı kullanmaktadır.

Tablo 7.7 SPI sınıflandırması (NOAA)

SPI Değerleri	Sınıflandırma
2,0 ve üstü	Olağanüstü Nemli
1,60 ile 1,99	Aşırı Nemli
1,3 ile 1,59	Çok Nemli
0,8 ile 1,29	Orta Nemli
0,51 ile 0,79	Hafif Nemli
0,5 ile -0,5	Normal Civarı
-0,51 ile -0,79	Hafif Kurak
-0,80 ile -1,29	Orta Kurak
-1,30 ile -1,59	Şiddetli Kurak
-1,60 ile -1,99	Çok Şiddetli Kurak
-2,00 ve altı	Olağanüstü Kurak

Buna göre "0"a yaklaşık değerler normal, pozitif değerler sulak/nemli, negatif değerler ise kurak zamanları göstermektedir. Tabloda sulak sınıflar mavi tonlarında, kurak zamanlar ise kırmızı tonlarında gösterilmiştir. Şiddetli kurak ve olağanüstü kurak olma durumları çalışmada dikkate alınan kritik durumlardır.

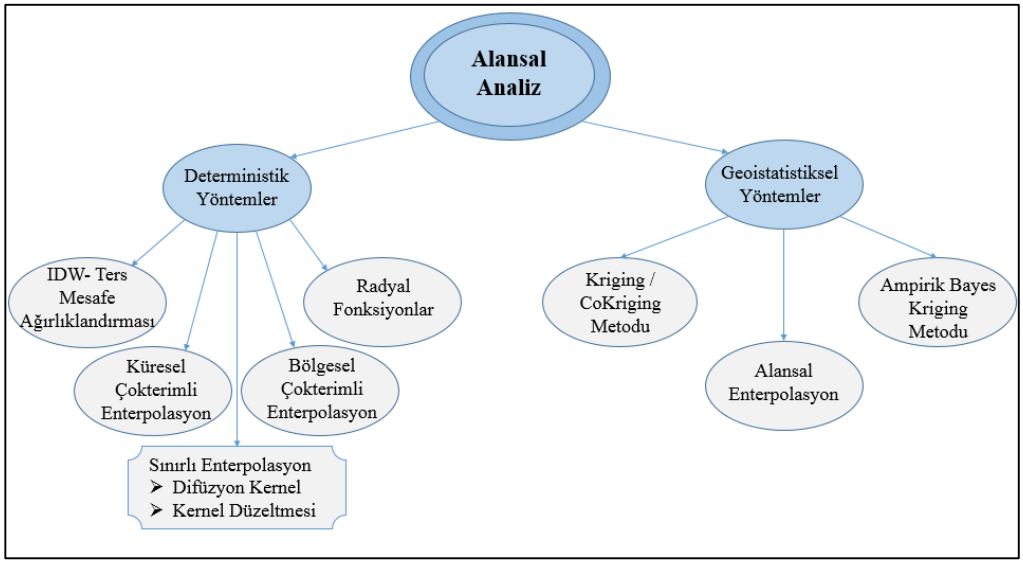
Seyhan Havzası'nda geçmiş gözlem verileri kullanılarak hesaplanmış SPI değerlerinin zaman serileri çizdirilmiştir. Seyhan Havzası içerisinde yer alan MGİ'lerin 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık SPI değerlerinin zaman serileri *Bölüm 8.1.2*'de Şekil 8.8 ile Şekil 8.14 arasında, havza dışındaki MGİ'lerin 1, 3, 6 ve 12 aylık SPI değerlerinin zaman serileri *Ek 2.B* bölümünde Şekil B1 ile Şekil B23 arasında sunulmuştur. Kuraklık sınıflandırmasına göre şiddetli kurak olma eşiği (-1,30) ve olağanüstü kurak olma eşiği (-2,00) gösterilmiştir.

7.5 Alansal Kuraklık Analizi

Alansal kuraklık analizinde kullanılan enterpolasyon yöntemleri ile bilinmeyen değerler, bilinen komşu değerler kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Enterpolasyon ile raster yüzeyler oluşturma açısından IDW, Kriging, Spline gibi çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler değerleri bilinmeyen noktaları doğru bir şekilde tahmin etmeye çalışmaktadır. Fazla sayıda veri olması, modelin güvenilir olması açısından önem taşımaktadır.

Enterpolasyon teknikleri, deterministik ve geoistatistiksel olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Deterministik enterpolasyon teknikleri ölçülmüş noktalardan yüzey yaratmaktadır. Geoistatistiksel enterpolasyon teknikleri ise ölçülmüş noktaların istatistiksel özelliklerini değerlendirmektedir. Ayrıca ölçülmüş noktalar arasında alansal otokorelasyonu ölçmekte ve tahmin yeri etrafındaki örnek noktalarının alansal dağılımını açıklamaktadır.

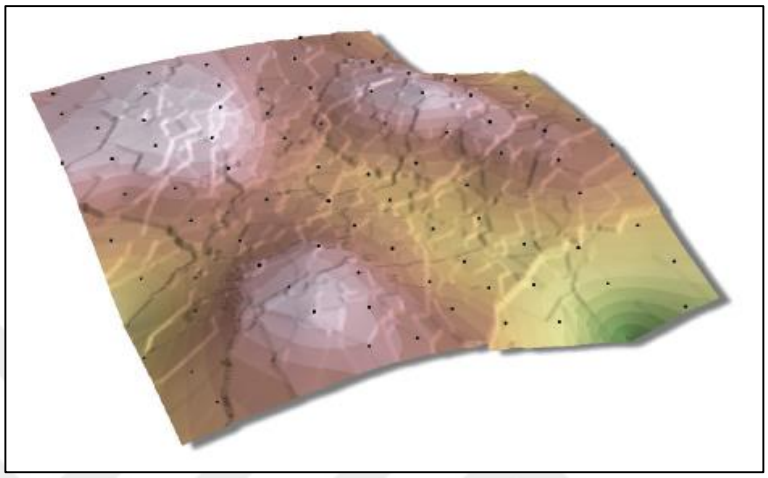
Deterministik ve geoistatistiksel enterpolasyon teknikleri çeşitleri Şekil 7.11'de gösterilmiştir. Çalışma kapsamında, kuraklığın alansal analizini yapmak için geoistatistiksel tekniklerden "Kriging" yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 7.11 Alansal analiz yöntemleri

7.5.1 Kriging Metodu

Kriging, ölçüm yapılmamış alanlarda değer tahmini yapan ve bu tahmini değerlerin yüzeyini üreten/oluşturan yöntemlerdir (Şekil 7.12).



Şekil 7.12 Kriging ile oluşturulan yüzey (Childs, 2004, s. 34)

Kriging, belirli bir lokasyonda bilinmeyen değeri tahmin etmek için variogramdan en uygun modeli, alansal veri dağılımını ve tahmin bölgesi etrafındaki örnek noktaların ölçülmüş değerlerini kullanmaktadır. En iyi doğrusal yansız tahmin edici olarak bilinen Kriging yöntemi en küçük kareler hata ortalaması metoduna dayanmaktadır. Kriging yöntemi ile belirlenen ağırlıklar yarıvariograma ve verinin mekânsal konumuna bağlı olmaktadır. Tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ortalama fark sıfıra eşit ve tahmin hata varyansı en düşük seviyede olacak şekilde hesaplanmaktadır.

Kriging yönteminde temel eşitlik Denklem 7.35 ile gösterilmektedir.

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^{n} W_i \, Z(s_i) \tag{7.35}$$

Bu eşitlikte;

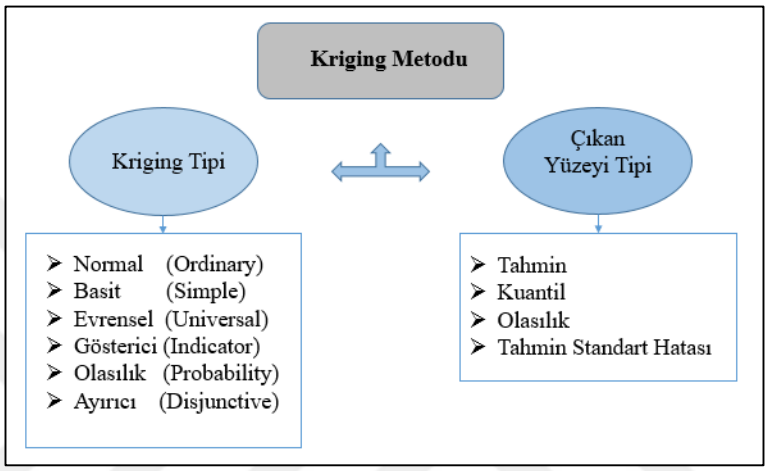
$\hat{Z}(s_0)$: s_0 noktasına ilişkin Kriging değerini,

$Z(s_i)$: değişkenlerin her bir s_i noktasında gözlenen değerleri,

W_i : her bir $Z(s_i)$'ye karşılık gelen değerleri,

n : $Z(s_0)$'ın Kriging tahmininde kullanılacak nokta sayısını ifade etmektedir.

Normal (ordinary), basit (simple), evrensel (universal), olasılık (probability), gösterici (indicator) ve ayırıcı (disjunctive) kriging ve bunların cokriging yöntemindeki karşıtları "*ArcGIS Geostatistical Wizard"* aracında mevcuttur. Kriging metotları sadece tahmin ve hata yüzeyleri oluşturmakla kalmayıp aynı zamanda olasılık ve kuantil haritaları üretmektedir (Şekil 7.13). Harita yüzey çıktılarına göre Kriging metotları Tablo 7.8'de verilmiştir.



Şekil 7.13 Kriging metodu çeşitleri

Geoistatistiksel analiz için verilerin normal dağılıma uygun olması gerekmektedir. Normal dağılımlı verilerin kullanılmaması durumunda tahmin hataları yüksek olmaktadır. Bu sebeple normal dağılıma uymayan verilere "Log", "Box-Cox", ve "Arcsin" dönüşümleri uygulanabilmektedir.

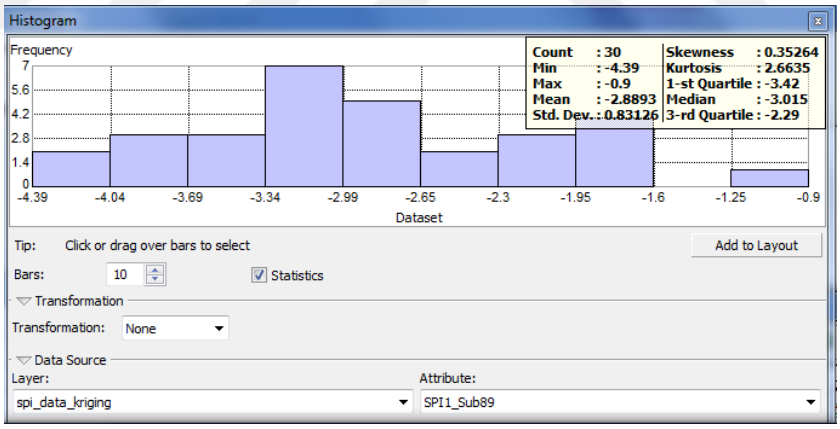
Tablo 7.8 Kriging metodları ve harita yüzey çıktıları (ESRI, 2009, s. 135)

Kriging ve CoKriging	**Tahminler**	**Tahmini Standart Hatalar**	**Kuantil Haritalar**	**Olasılık Haritaları**	**Göstergelerin Standart Hataları**
Normal (Ordinary)	+	+	+	+	
Evrensel (Universal)	+	+	+	+	
Basit (Simple)	+	+	+	+	
Gösterici (Indicator)				+	+
Olasılık (Probability)				+	+
Ayırıcı (Disjunctive)	+	+		+	+

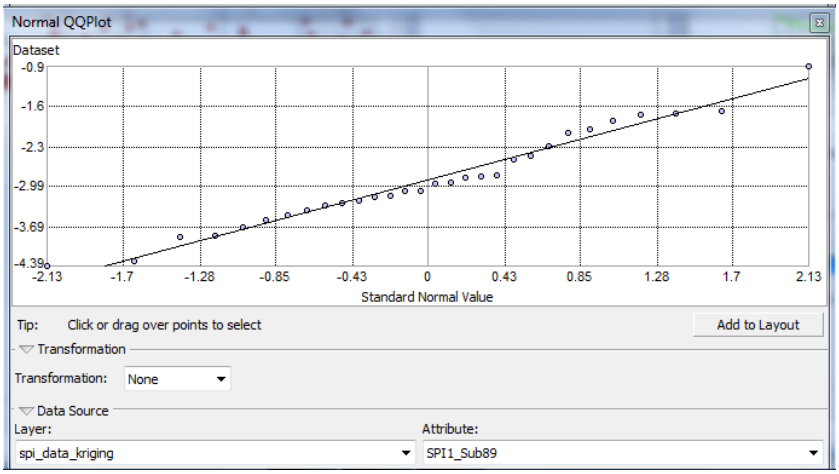
Çok değişkenli normal dağılımın kabulünü gerektirir.

Çiftli iki değişkenli normalliğin kabulünü gerektirir.

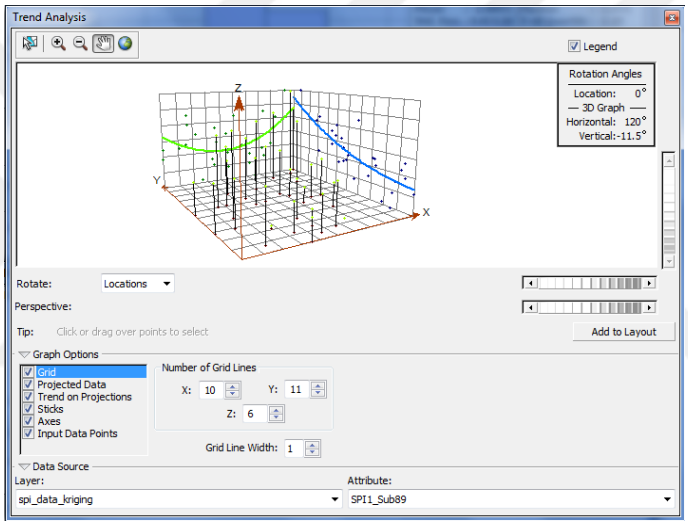
Verilerin değerlendirilmesinde histogram (Şekil 7.14), normal QQ çizimi (Şekil 7.15), alansal trend analizi (Şekil 7.16) ve yarıvariogram/kovaryans bulutu grafikleri (Şekil 7.17) kullanılabilmektedir.



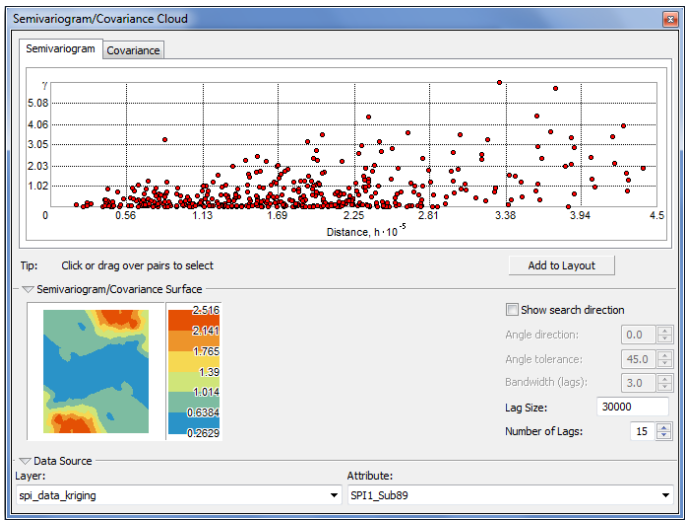
Şekil 7.14 1989 yılı Şubat ayı 1 aylık SPI değerlerinin histogramı



Şekil 7.15 1989 yılı Şubat ayı 1 aylık SPI değerlerinin normal QQ-çizimi



Şekil 7.16 1989 yılı 1 aylık Şubat ayı SPI değerlerinin alansal trendi

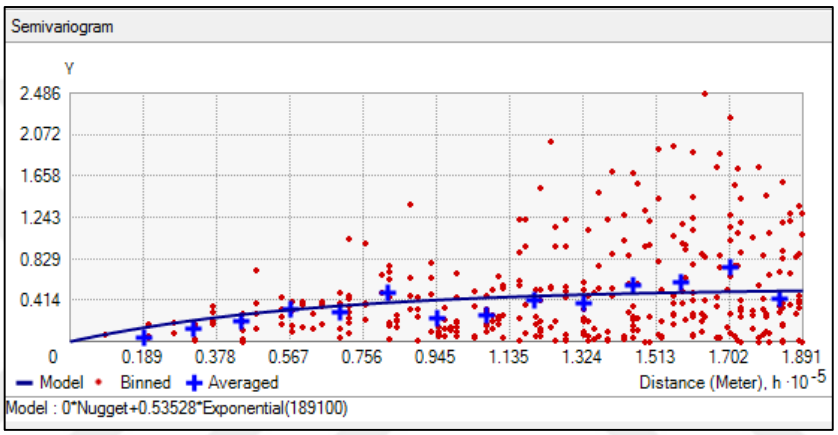


Şekil 7.17 1989 yılı Şubat ayı 1 aylık SPI değerlerinin yarıvariogram bulutu

7.5.2 Yarıvariogram

Yarıvariogram, veri noktalarının onları ayıran uzaklıklarına yarı varyansı ile ilişkili olan bir fonksiyondur. Yarıvariogramın oluşturulmasının amacı, yarıvariogramdaki noktalardan geçecek en uygun modeli belirlemektir.

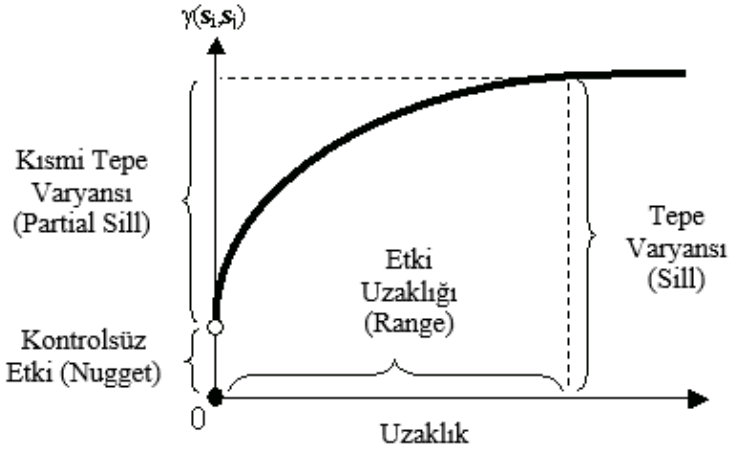
Bir yarıvariogramın x ekseninde, noktalar arasındaki mesafe; y ekseninde ise değerlerin karesinin değişimi yer almaktadır (Şekil 7.18).



Şekil 7.18 Yarıvariograma en uygun modelin seçilmesi

Yarıvariogramda örnekler arasındaki sınıf aralığı arttıkça yarıvariogram değerleri de artmaktadır. Yarıvariogramın maksimuma ulaştığı değer yarıvariogramın *tepe varyansını (sill)* vermektedir. Gözlem noktaları bu değer etrafında değişim göstermektedir. Yarıvariogramın tepe varyansa ulaştığı mesafe ise, *etki uzaklığı (range)* olarak adlandırılmaktadır. Etki uzaklığı, gözlem değerlerinin birbirinden bağımsız olduğu kabul edilen mesafeyi göstermektedir. Bu mesafenin sonrasında herhangi iki verinin mekânsal ilişkisi olmadığı kabul edilir. Birbirine en yakın gözlem çifti arasındaki uzaklıktan daha küçük uzaklıklarda değerler arasındaki fark belirlenememektedir. Bu durum, yarıvariogramın farklı pozitif bir değer almasına yol açmaktadır. Başlangıç değerinin sıfır olması gereken yarıvariogramın sıfırdan farklı pozitif değer ile başlaması *"kontrolsüz etki (nugget)"* olarak bilinmektedir (Aydın ve diğer.,2013).

Bir yarıvariogram modelinde, tepe varyansı, kontrolsüz etki ve etki uzaklığı Şekil 7.19'da gösterilmiştir.



Şekil 7.19 Tepe varyans noktası, etki uzaklığı ve kontrolsüz etki

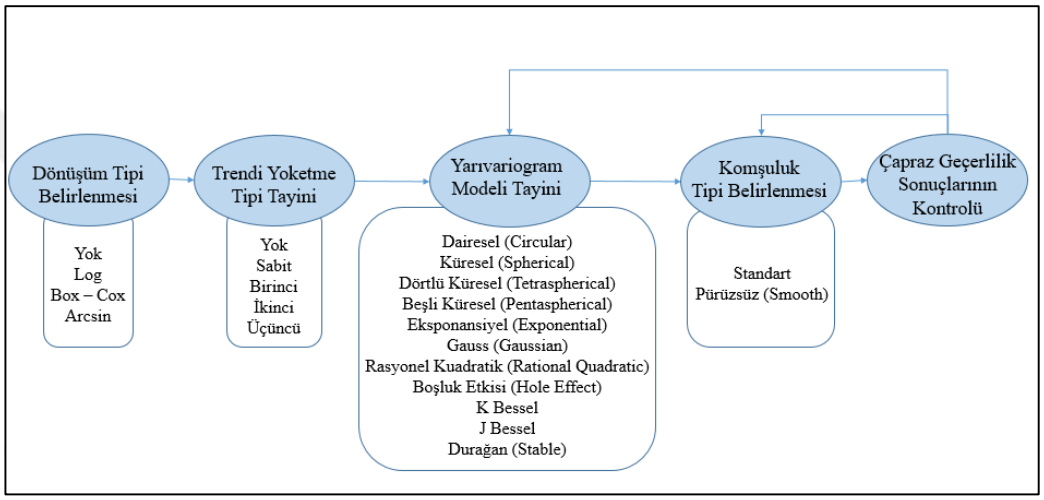
7.5.3 Normal (Ordinary) Kriging

Normal (Ordinary) Kriging yönteminde bilinmeyen değerlerin tahmini, değişkenlerin durağan ve ortalamanın sabit olduğu varsayımına göre gerçekleştirilmektedir. Tahmin ağırlıkları yarıvariogram modellerine dayanmaktadır. Bu yöntem yansız olup tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ortalama farkın sıfıra eşit olmasını amaçlamaktadır. Aynı zamanda tahmin hatalarının varyansını en düşük seviyede tutmaya çalışarak işlemi gerçekleştirip sonuçta en iyi tahmini oluşturmaktadır (Çiçek ve Aydın, 2014).

Normal (Ordinary) Kriging, tahmin hata varyansının minimum seviyede olmasını sağlamaktadır. Noktalar ne kadar uzaksa, o kadar az ağırlık vermektedir. Bunun yanında, kümelenmiş gözlem noktaları için daha az ağırlık vermektedir. Tahminlerinin doğruluğu, yarıvariogram modelinin deneysel yarıvariogramı ne kadar iyi açıkladığına bağlı olmaktadır. Orijine yakın yerde yarıvariogramın şekli, Kriging'in en yakın gözlem noktasını kullanması nedeniyle önemli olmaktadır. Artan bir kontrolsüz etki, tahminleri daha çok gözlem verilerinin basit bir ortalaması haline getirebilmektedir. Ordinary Kriging yönteminde, diğer enterpolasyon yöntemlerinde olduğu gibi

yumuşatma özelliği bulunmaktadır. Yumuşatma etkisi, birçok gözlem verisinin bir araya gelmesinin sonucudur ve tahmin değerlerinin varyasyonunu azaltmaktadır.

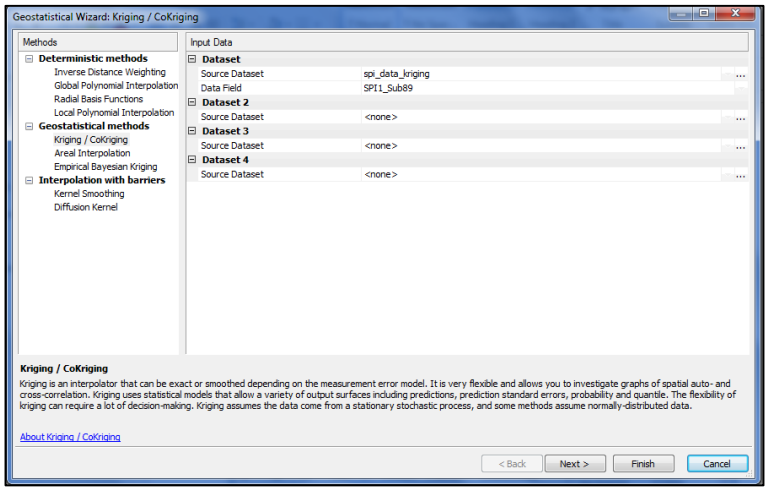
Çalışma kapsamında kuraklığı alansal olarak analiz etmek için kriging yöntemlerinden biri olan "Normal (Ordinary) Kriging" kullanılmış, çıktı yüzeyi tipi olarak "tahmini" yöntem seçilmiştir. Normal (Ordinary) Kriging yönteminde uygulanan işlem adımları Şekil 7.20'de gösterilmiştir. Kriging için "*ArcMap 10.3.1"* yazılımı "*Geostatistical Wizard"* aracı kullanılmıştır.



Şekil 7.20 Ordinary Kriging adımları ve tipleri

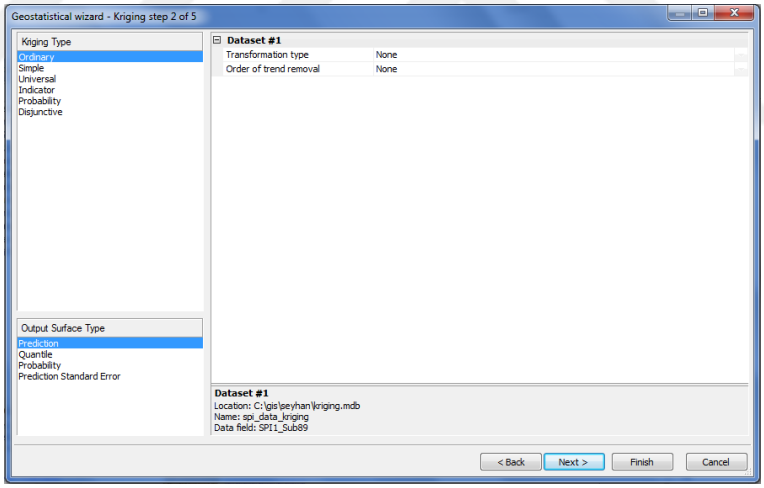
Kriging işlem basamakları sırasıyla aşağıda verilmiştir (Şekil 7.21-Şekil 7.25).

1. *"ArcMap"* yazılımı içerisindeki "*Geostatistical Wizard"* aracından *Kriging* yöntemi seçilmiştir. Tablo 8.2'de verilen veri seti ve içerisinden kullanılacak veri bu aşamada seçilmektedir (Şekil 7.21).



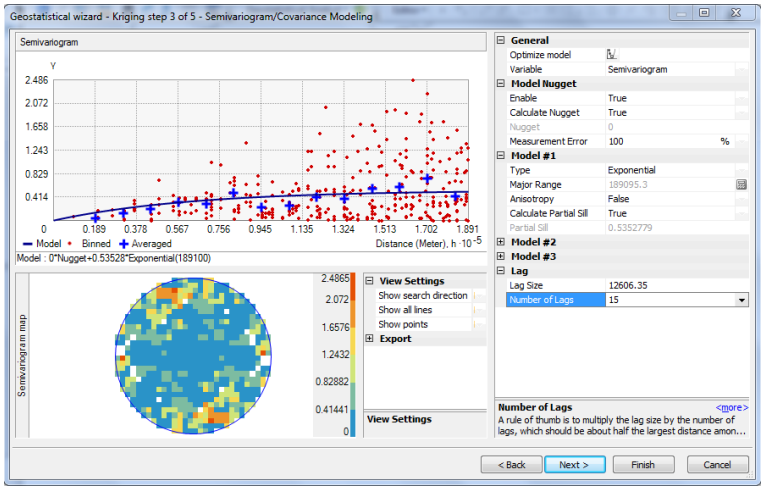
Şekil 7.21 Geoistatistiksel analiz tipinin seçilmesi

2. Kriging tipi olarak Normal (Ordinary) Kriging'e ve tahmini çıktı yüzey tipine karar verilmiştir. Bu aşamada dönüşüm yapılmamış ve trendi yok etmeye ihtiyaç duyulmamıştır (Şekil 7.22).



Şekil 7.22 Kriging tipinin seçilmesi

3. Yarıvariogram modeli oluşturulmuştur. Şekil 7.23'de yer alan yarıvariogramda kırmızı renkli noktalar gruplanmış veri (binned) değerlerini, mavi renkli artı işaretleri ortalanmış değerleri (averaged), mavi renkli çizgi variogram modelini göstermektedir. Bu aşamada, Şekil 7.19'da gösterilen, etki uzaklığı (range), tepe varyansı (sill) ve kontrolsüz etki (nugget) parametreleri otomatik hesaplanabilmektedir.

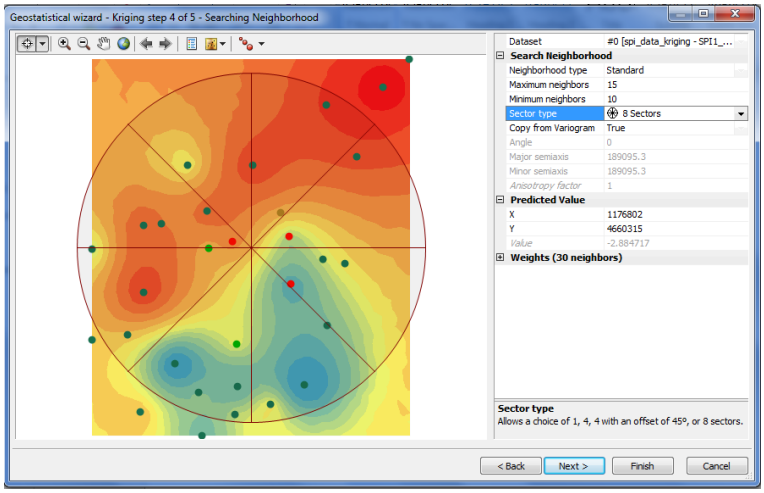


Şekil 7.23 Yarıvariogram modelinin seçilmesi

Adım mesafesi (lag) değişikçe ortalama değerler de değişmekte buna dayanarak da uygun olan model eğrisi değişebilmektedir. Adım mesafesini seçmenin ampirik yarıvariogramlar için önemli bir etkisi vardır. Adım mesafesi çok büyükse kısa ölçekli otokorelasyon gizlenmiş olabilmekte, çok küçükse çok fazla gruplanmış veri (binned) oluşabilmektedir. Bir örnekleme ızgarası (grid) üzerine örnekler yerleştirildiğinde, adım mesafesi için ızgara boşluğu iyi bir gösterge olmaktadır. Düzensiz veya rastgele bir örnekleme şeması kullanarak veriler oluşturulmasına rağmen, uygun adım mesafesini seçmek basit değildir. Uygun yarıvariogram modelinin etki uzaklığı çok küçükse adım mesafesi düşürülebilir. Tersi olarak da uygun yarıvariogram modelinin etki uzaklığı çok büyükse adım mesafesi büyütülebilir.

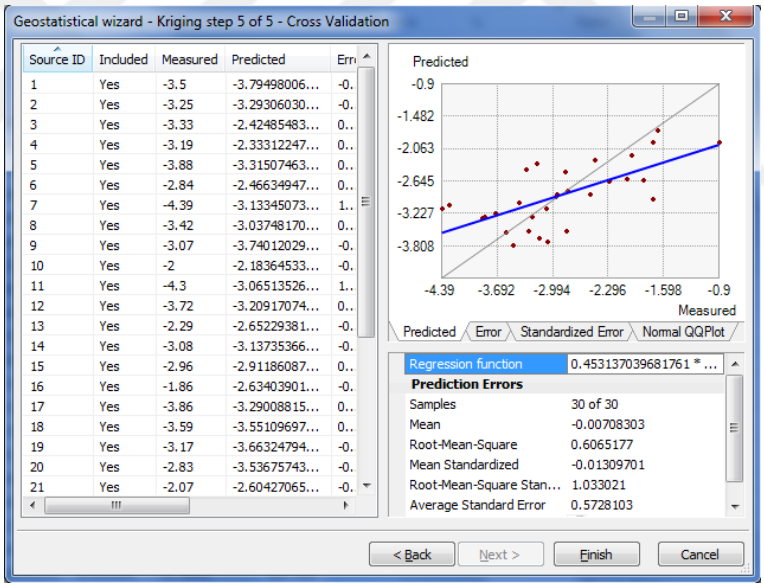
Adım mesafesinin belirlenmesinin ardından, yarıvariogram için genelde ortalanmış değerlerden geçen en uygun model eğrisi seçilir. Bunun yanında, tüm variyogram modelleri ayrı ayrı seçilip, işlemin sonundaki çapraz geçerlilik sonuçları karşılaştırılabilmektedir.

4. Komşuluğun araştırılmasında, standart ve yumuşatma (smooth) olmak üzere iki yöntem söz konusu olmaktadır. Burada standart yöntem ele alınmış olup, komşuluk için maksimum 15, minimum 10 komşu nokta verileri kullanılmıştır (Şekil 7.24).



Şekil 7.24 Komşuluğun araştırılması

5. Çapraz geçerlilik aşamasında, gerçek değerler ile kriging işlemi sonucu tahmin edilen değerler karşılaştırılmaktadır (Şekil 7.25).



Şekil 7.25 Seçilen kriging tipinin çapraz geçerlilik sonuçları

Çapraz geçerlilik yöntemi, teorik yarıvariogramın çalışma alanını tespit edip etmediğini göstermektedir Kriging yönteminde çapraz geçerlilik aşamasında ölçülmüş (gerçek) değerler ile kriging işlemi sonucu tahmin edilen değerler karşılaştırılmaktadır. Çapraz geçerliliğe göre telde edilen tahmin hataları tüm modeller için kıyaslanmıştır.

Ortalama tahmin hataları (mean prediction errors, ME) Denklem 7.36'daki gibi hesaplanmaktadır. Burada,

n : veri sayısı

$\hat{Z}(s_i)$: gözlenmiş değerleri,

$Z(s_i)$: tahmin edilmiş değerleri

$\hat{\sigma}(s_i)$: s_i yeri için tahmin edilen standart hatayı ifade etmektedir.

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{Z}(s_i)-Z(s_i)\right)^2}{n} \tag{7.36}$$

Ortalama tahmin hatalarının karekökü (root-mean-square prediction errors, RMS), Denklem 7.37'den elde edilmektedir.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{Z}(s_i)-Z(s_i)\right)^2}{n}} \tag{7.37}$$

Ortalama standart hata (average standard error, ASE), Denklem7.38 ile elde edilmektedir.

$$ASE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\hat{\sigma}(s_i)}{n}} \tag{7.38}$$

Standartlaştırılmış ortalama tahmin hataları (mean standardized prediction errors, MS), Denklem 7.39 ile elde edilmektedir.

$$MS = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{Z}(s_i)-Z(s_i)\right)/\hat{\sigma}(s_i)}{n} \tag{7.39}$$

Standartlaştırılmış ortalama tahmin hatalarının karekökü (root-mean-square standardized prediction errors, RMSS), Denklem 7.40 ile ifade edilmektedir.

$$RMSS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{Z}(s_i)-Z(s_i)\right)/\hat{\sigma}(s_i)}{n}} \tag{7.40}$$

Yaprak (2007), ortalama tahmin hatalarının karekökü (RMS) değerleri en az, ortalama standart hata (ASE) ile standartlaştırılmış ortalama tahmin hataları (MS) değerleri birbirine en yakın, standartlaştırılmış ortalama tahmin hatalarının karekökü (RMSS) değerleri 1'e en yakın olan modelin, en iyi olduğunu belirtmiştir.

Gerçek değerler ile tahmin edilen arasında oluşan hatalar, modelin doğruluğu ile ilgili bilgi vermektedir. Modelde iyileştirme yapılması gerekiyorsa, deneysel yarıvariogram basamağına geri dönülerek çift sayısı, adım mesafesi gibi değerler değiştirilerek işlemler tekrar yapılmaktadır.

BÖLÜM SEKİZ
SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1 Sonuçlar

Çalışmada, Seyhan Havzası'nda kuraklığın zamansal ve alansal değişimi incelenmiştir.

8.1.1 Yağış Verilerinin Değerlendirilmesi

1. Seyhan Havzası'nda kuraklığı analiz etmek için, kayıt uzunluğu göz önünde bulundurularak seçilen 30 adet MGİ'nin aylık toplam yağış miktarı (mm) verileri kullanılmıştır. Veriler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çalışmada yer alan bu istasyonlardan Adana MGİ, Karaisalı MGİ, Karataş MGİ, Ulukışla MGİ, Tomarza MGİ, Sarız MGİ ve Pınarbaşı-Kayse MGİ, Seyhan Havzası sınırları içerisinde yer almaktadır. Diğer MGİ'ler ise Seyhan Havzası'nın çevresinde konumlanmıştır. Bunun haricinde, Gülek MGİ ve Tufanbeyli MGİ sadece regresyon analizinde kullanılmıştır.

2. Çalışmada kullanılan tüm MGİ'ler için aylık toplam yağış (mm) verilerinin uzunluğu kontrol edilerek ortak periyot, 1970-2010 yılları arası olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan istasyonlardan Aksaray MGİ, Suşehri MGİ, Kangal MGİ, Pınarbaşı Kayse MGİ, Ürgüp MGİ, Tomarza MGİ, Sarız MGİ, Afşin MGİ, Elbistan MGİ, Ulukışla MGİ, Ceyhan MGİ'nin ortak periyot içerisinde yer alan eksik yağış verileri regresyon analizi ile doğrusal denklemleri elde edilerek tamamlanmıştır. Yapılan hesaplamalarda korelasyon katsayıları en düşük 0,79 ve en yüksek 0,91 olarak bulunmuştur.

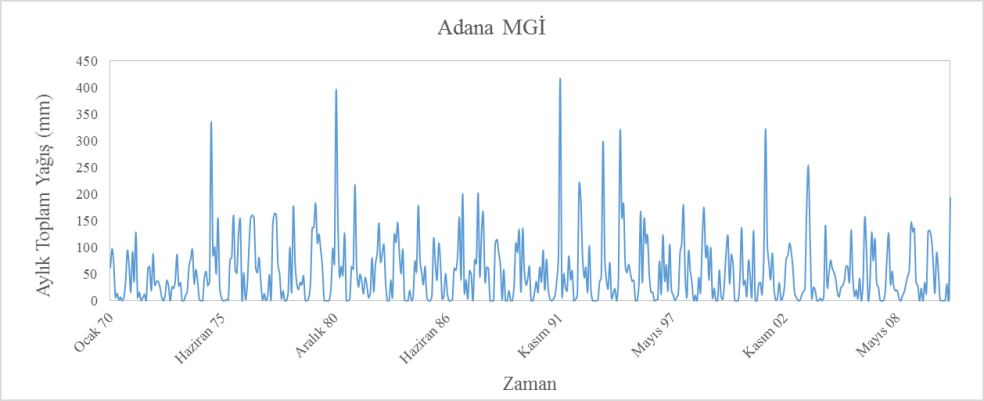
3. MGİ'lerin eksik verilerinin tamamlanmasının ardından, 1970-2010 dönemi için aylık ortalama yağış miktarları (mm) yıl bazında toplanarak yıllık toplam yağış miktarları (mm) elde edilmiştir. Uzun yılların ortalaması alınarak da yıllık ortalama yağış miktarı (mm) bulunmuştur. Buna göre, yıllık ortalama yağış miktarı en düşük

istasyon Ereğli-Konya MGİ (298,35 mm) olurken, en yüksek istasyon ise Dörtyol MGİ (935,24 mm)'dir.

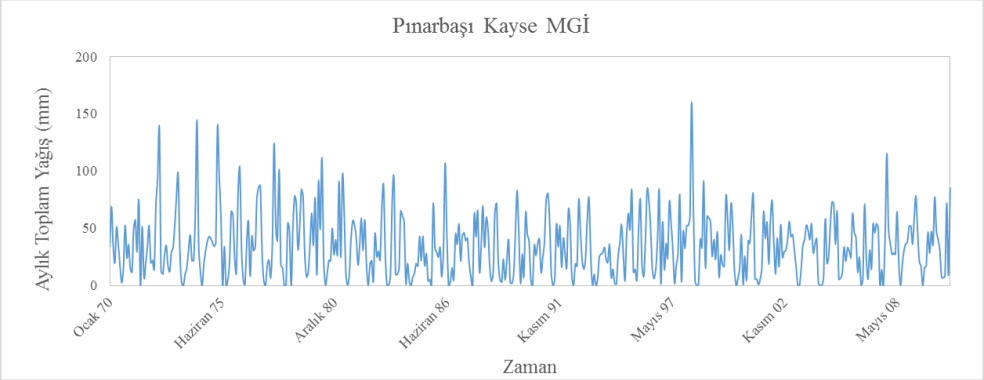
4. Tüm istasyonların aylık toplam yağış (mm) serilerinde oluşabilecek ani değişiklikler analiz edilmiştir. Bu sebeple, Pettitt Testi, Alexandersson SNHT Testi ve Buishand Testi uygulanmıştır. Niğde MGİ'nin aylık toplam yağış verilerinin, Pettitt Testi ve Buishand Testi'ne göre homojen olduğu, SNHT Testi'ne göre ise homojen olmadığı görülmüştür. Diğer istasyonların yağış serilerinin, bu üç teste göre de homojen olduğu sonucuna varılmıştır.

5. Tüm istasyonların aylık toplam yağış (mm) serileri için trend analizleri yapılmıştır. Trend için parametrik yöntemlerden t-Testi ile parametrik olmayan yöntemlerden Mann-Kendall Trend Testi ve Sen'in Eğim Metodu uygulanmıştır. Niğde MGİ'nin aylık toplam yağış verilerinde Mann-Kendall trend testine göre artan bir trendin olduğu gözlemlenirken, Sen'in Eğim Metodu ve t testine göre trendin olmadığı sonucuna varılmıştır. Yukarıda verilen trend testlerinin sonuçlarına göre diğer istasyonların yağış serilerinde trendin olmadığı görülmüştür.

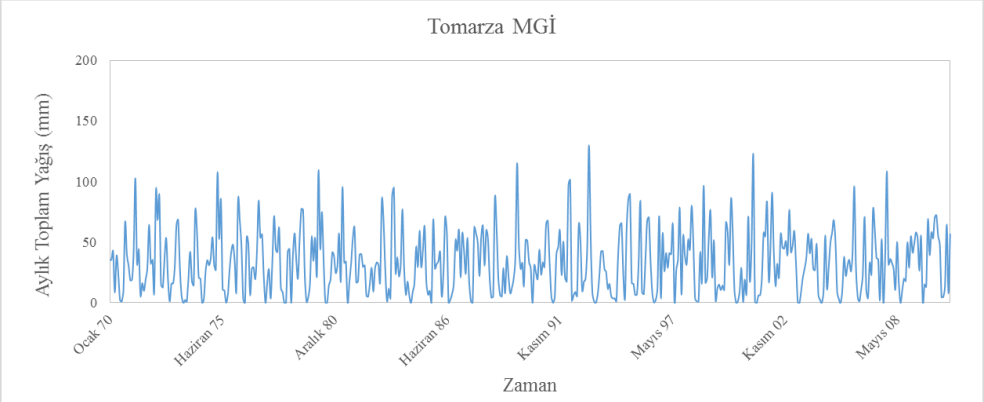
6. Çalışmada kullanılan her bir istasyonun 1970-2010 periyodu için, aylık toplam yağış miktarlarının zamana bağlı değişim grafikleri çizilmiştir. Seyhan Havzası içerisindeki MGİ'lerin aylık toplam yağış miktarlarının zamana bağlı değişim grafikleri Şekil 8.1 İle Şekil 8.7 arasında sunulmuştur. Seyhan Havzası'nın çevresinde yer alan MGİ'lerin aylık toplam yağış miktarlarının zamana bağlı değişim grafikleri ise *Ek 2.A* bölümünde Şekil A.1 ile Şekil A.23 arasında verilmiştir. Bu grafiklere göre; yağışlarda gözle görülür bir artış veya azalma söz konusu olmamaktadır.



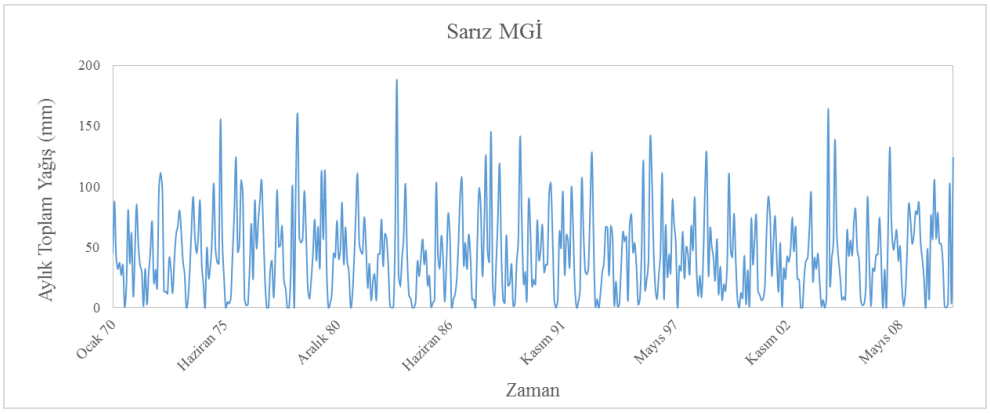
Şekil 8.1 Adana MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



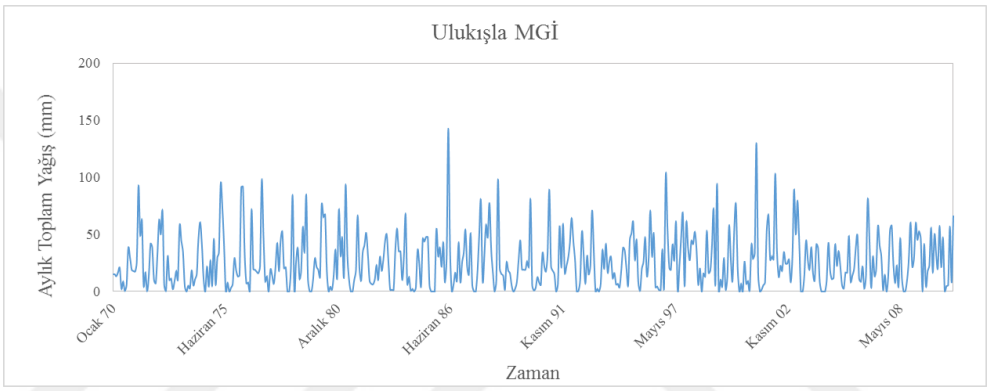
Şekil 8.2 Pınarbaşı-Kayseri MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



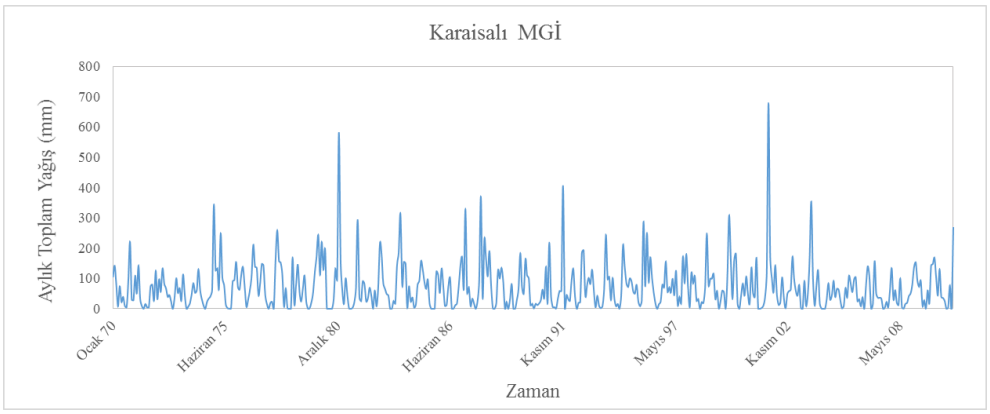
Şekil 8.3 Tomarza MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



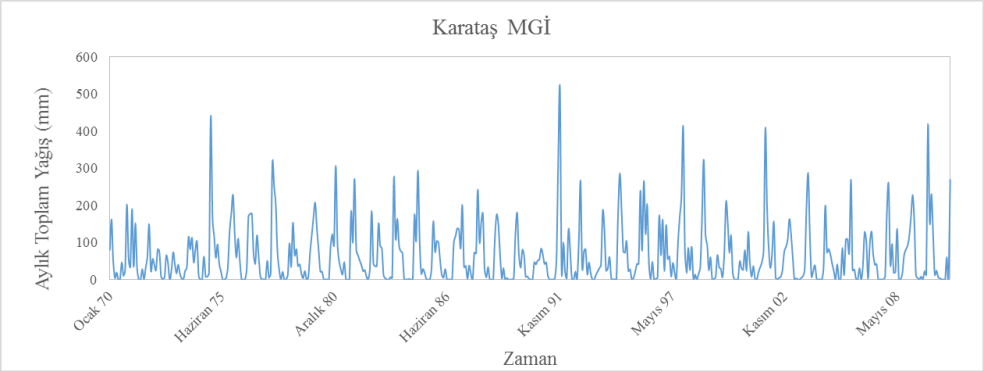
Şekil 8.4 Sarız MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



Şekil 8.5 Ulukışla MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



Şekil 8.6 Karaisalı MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



Şekil 8.7 Karataş MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi

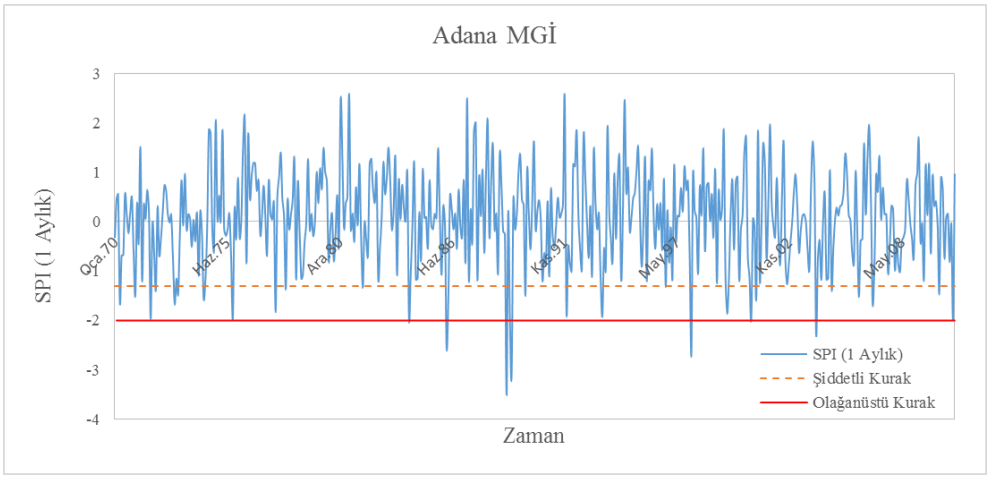
Yukarıdaki grafiklere göre havzanın mansap kesiminde bulunan Karaisalı MGİ, Karataş MGİ, Adana MGİ ve Sarız MGİ'de ölçülen aylık yağış miktarları (mm) daha fazla olmaktadır. Buradan, Seyhan Havzası'nın mansap kesiminin daha çok yağış aldığı, memba kesimine doğru gidildikçe yağışların azaldığı görülmektedir.

8.1.2 Seyhan Havzası'nda Kuraklığın Zamansal Analizi

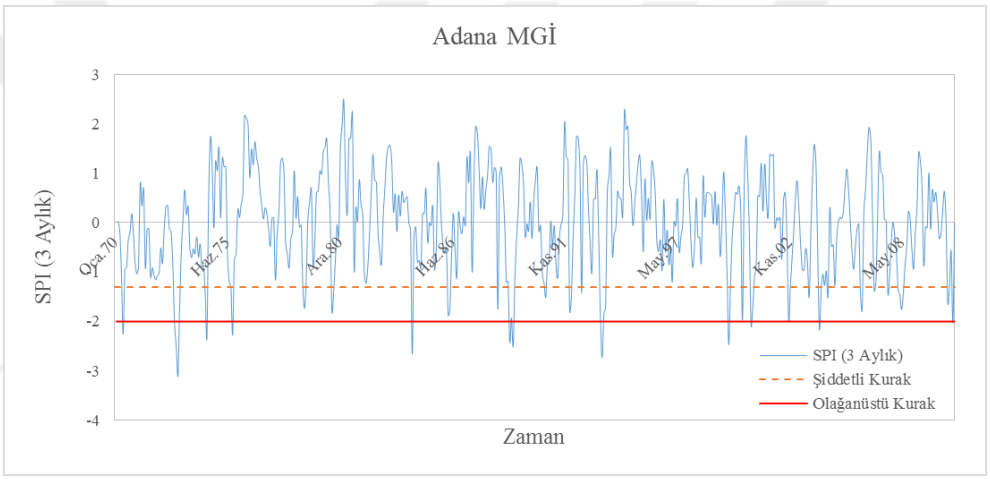
1. Çalışmada kullanılan tüm MGİ'lerin, 1970-2010 dönemi aylık toplam yağış değerleri kullanılarak 1, 3, 6, 9, 12, 24, 36 ve 48 aylık SPI değerleri hesaplanmıştır.

2. Seyhan Havzası içerisinde yer alan her bir istasyon için hesaplanan 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık SPI değerlerinin zamana bağlı değişimi Şekil 8.8 ile Şekil 8.14 arasında sunulmuştur. Havza dışındaki istasyonlar için hesaplanan 1, 3, 6 ve 12 aylık SPI değerlerinin zamana bağlı değişimi ise *Ek 2.B* bölümünde Şekil B.1 ile Şekil B.23 arasında sunulmuştur. Bu grafiklerde, kuraklık sınıflandırmasına göre şiddetli kurak olma eşiği (-1,30) ve olağanüstü kurak olma eşiği (-2,00) gösterilmiştir. Buna göre SPI değerleri, 1,30 ile -1,99 arasında ise şiddetli kuraklığın, -2,00'den küçük ise olağanüstü kuraklığın oluştuğu anlaşılmaktadır.

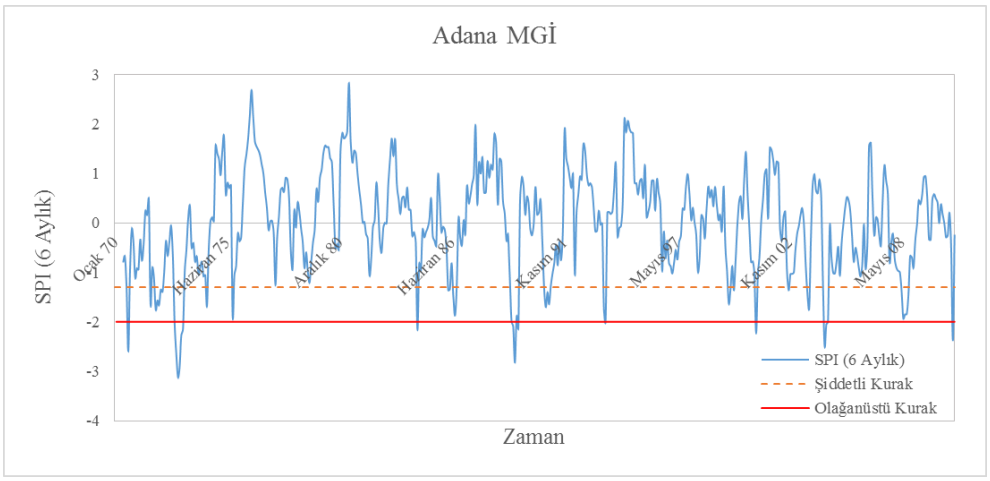
3. Hesaplanan 1, 3, 6 ve 12 aylık SPI değerleri kullanılarak, en kritik yani SPI değerlerinin minimuma en sık düştüğü tarihler tespit edilmiş olup Tablo 8.1'de verilmiştir.



(a)

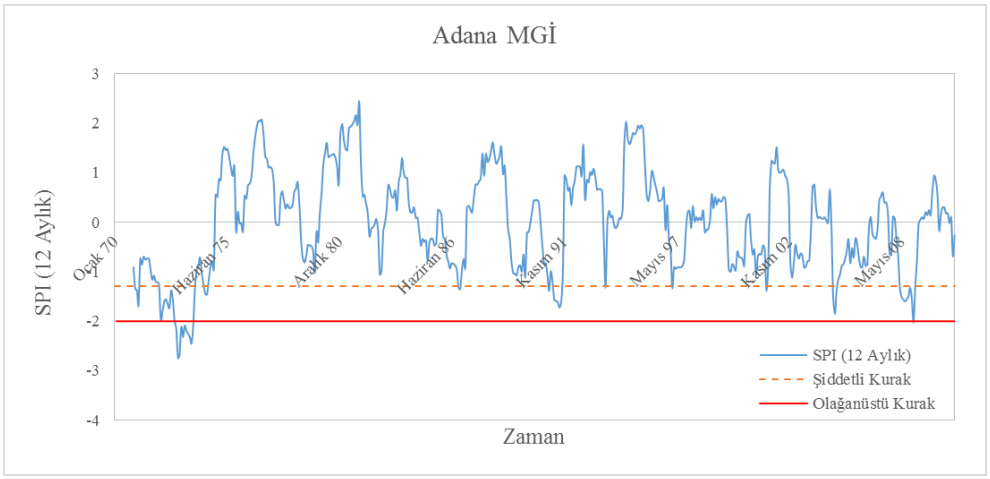


(b)

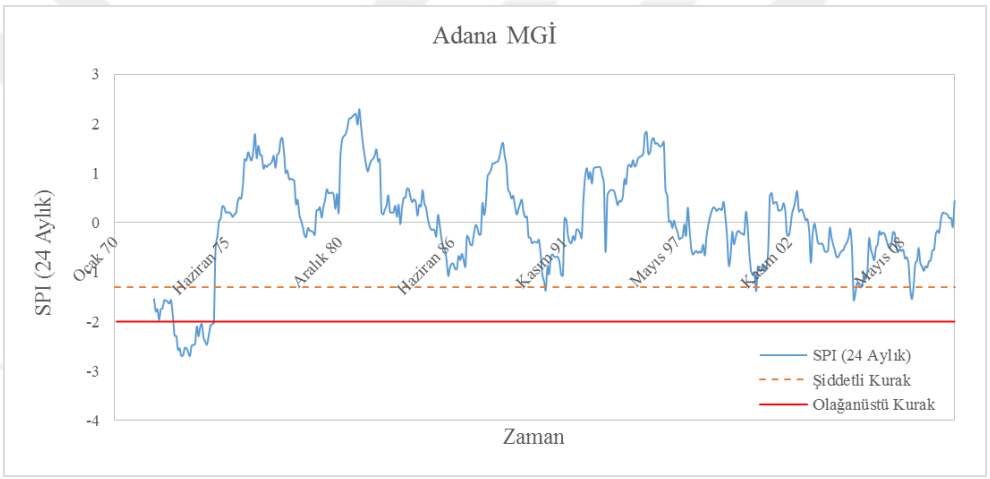


(c)

Şekil 8.8 Adana MGİ'nin a)1 aylık, b) 3 aylık, c)6 aylık SPI değerleri

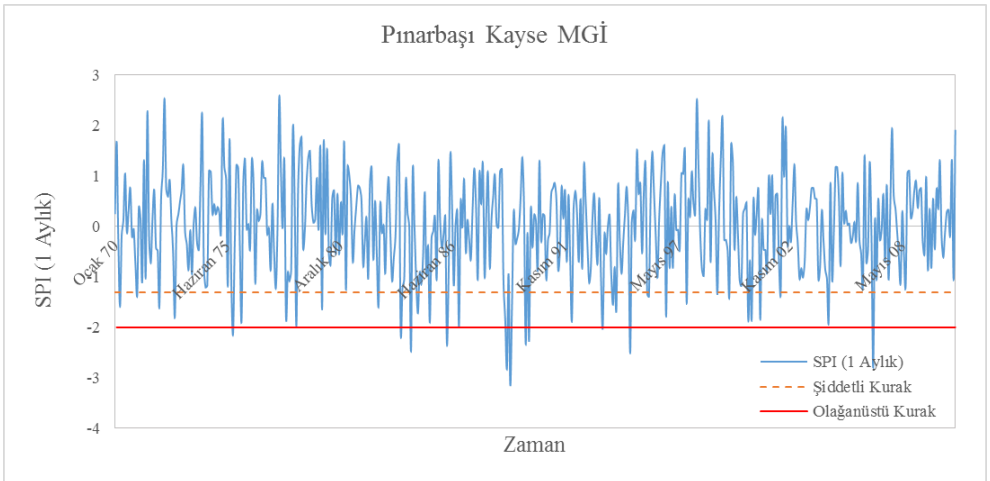


(d)



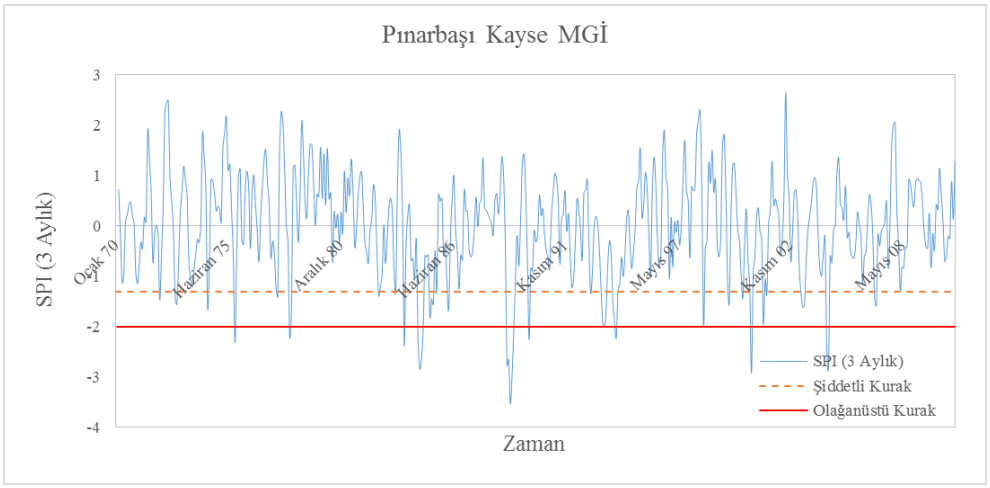
(e)

Şekil 8.8 Adana MGİ'nin d) 12 aylık, e) 24 aylık SPI değerleri (devamı)

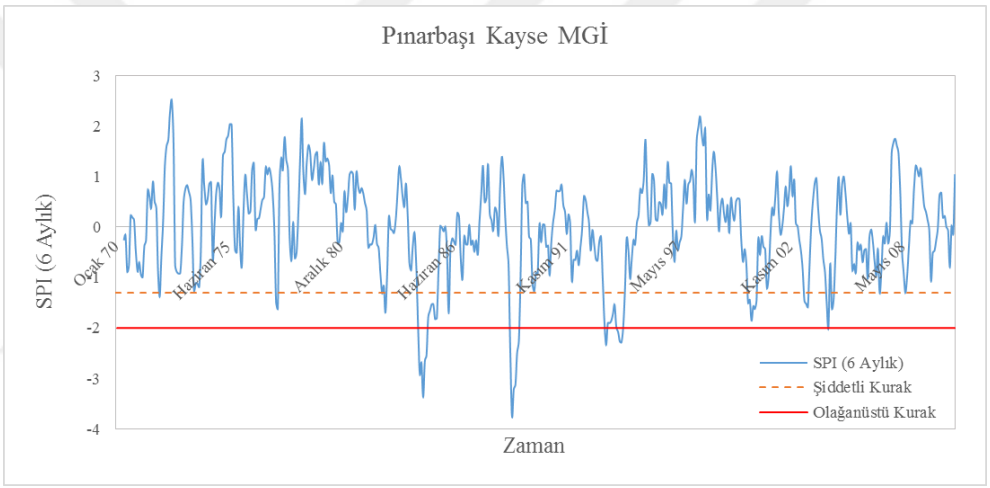


(a)

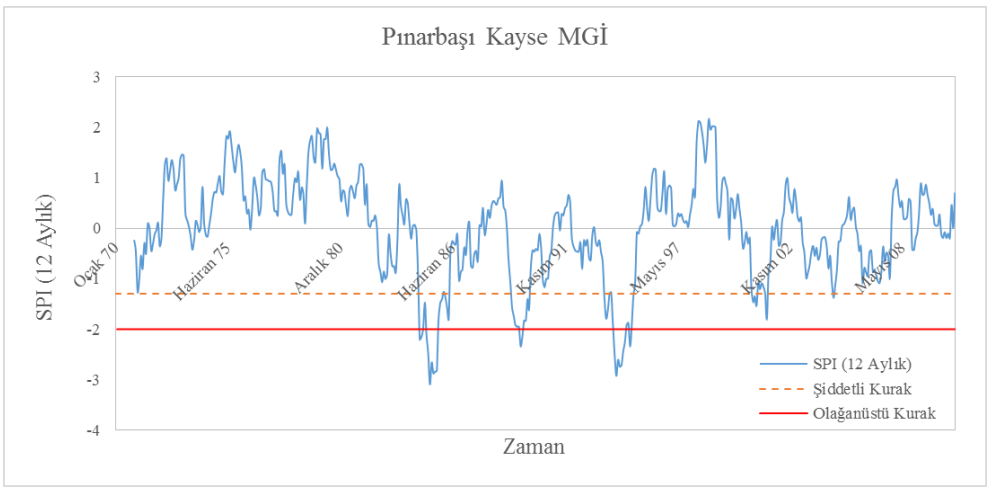
Şekil 8.9 Pınarbaşı-Kayseri MGİ'nin a)1 aylık SPI değerleri



(b)

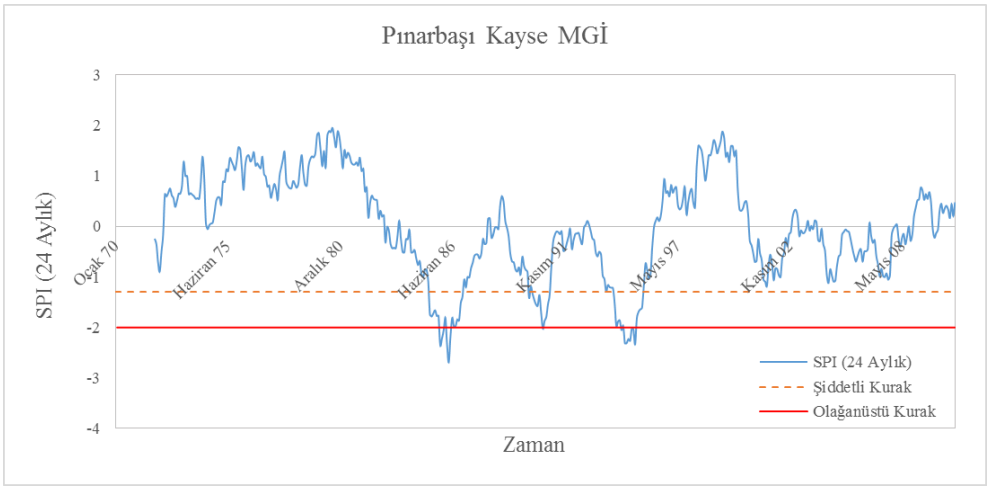


(c)



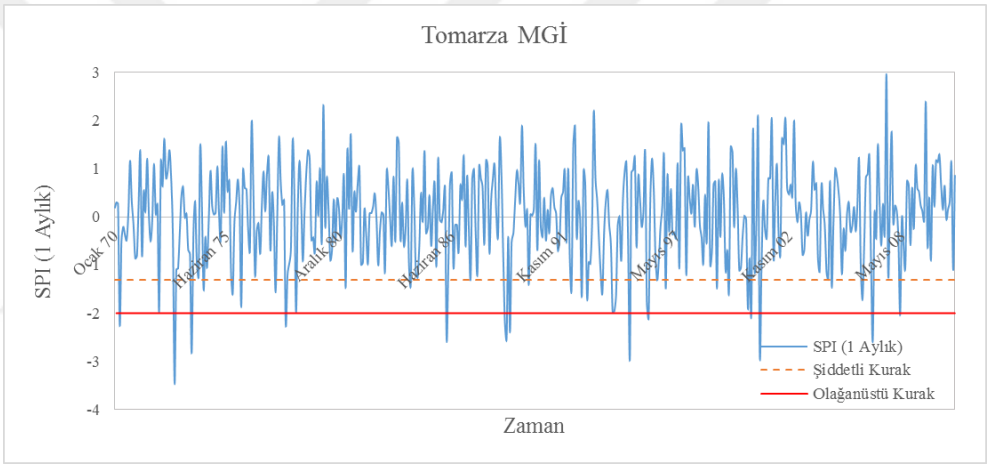
(d)

Şekil 8.9 Pınarbaşı-Kayseri MGİ'nin b) 3 aylık, c)6 aylık, d) 12 aylık SPI değerleri (devamı)

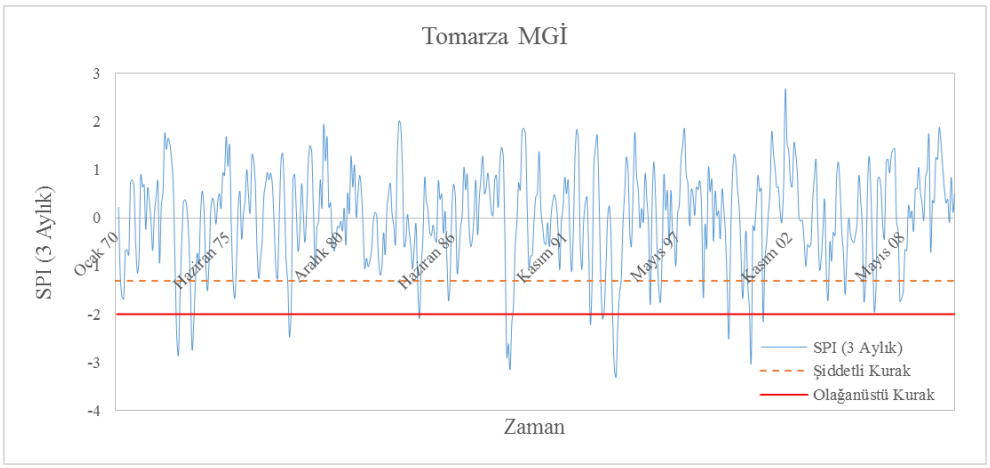


(e)

Şekil 8.9 Pınarbaşı-Kayseri MGİ'nin e) 24 aylık SPI değerleri (devamı)

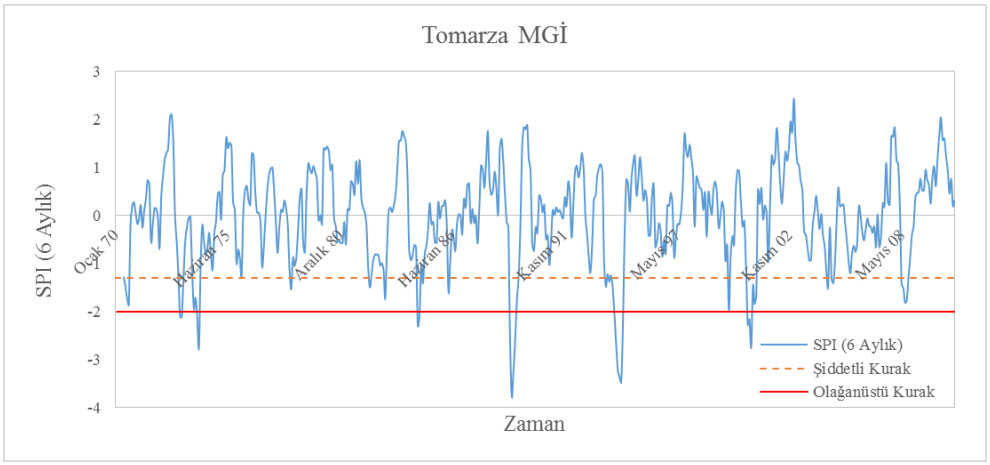


(a)

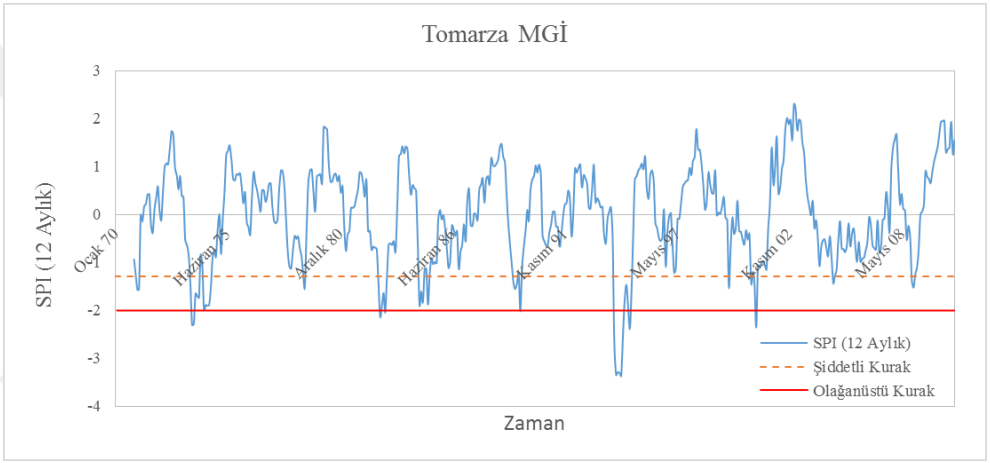


(b)

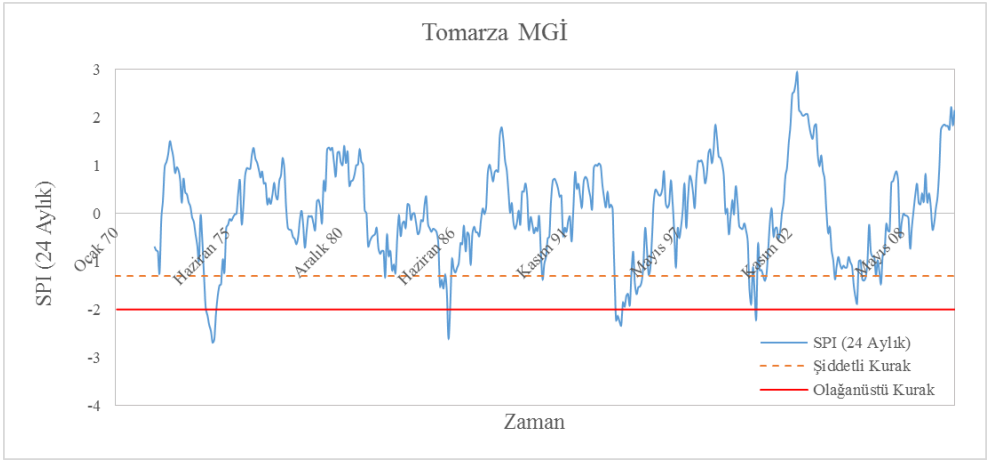
Şekil 8.10 Tomarza MGİ'nin a)1 aylık, b) 3 aylık SPI değerleri



(c)

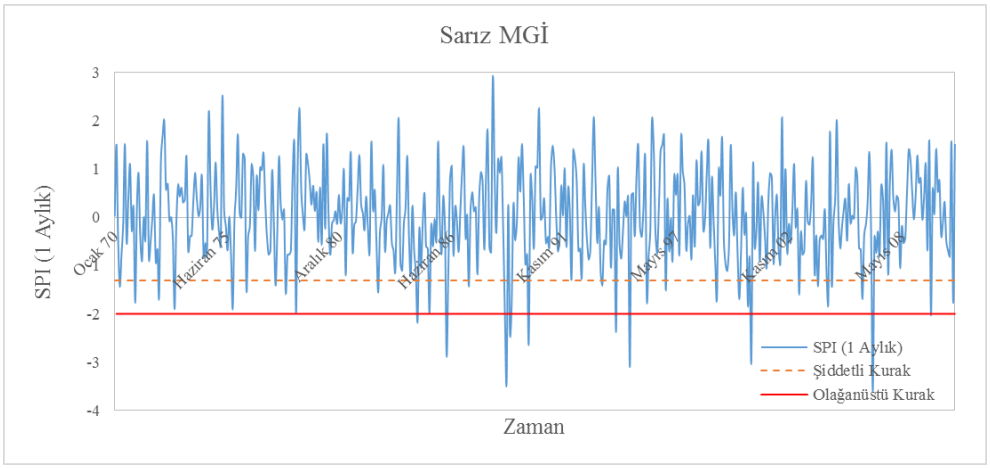


(d)

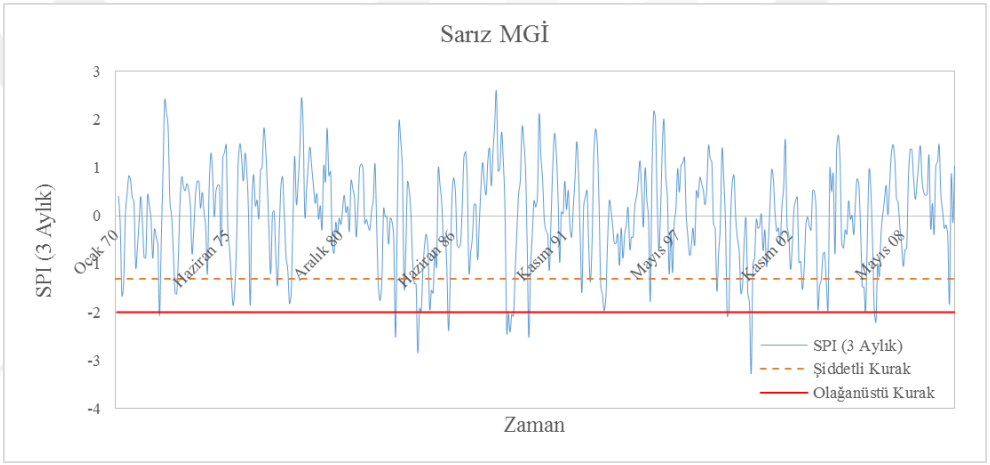


(e)

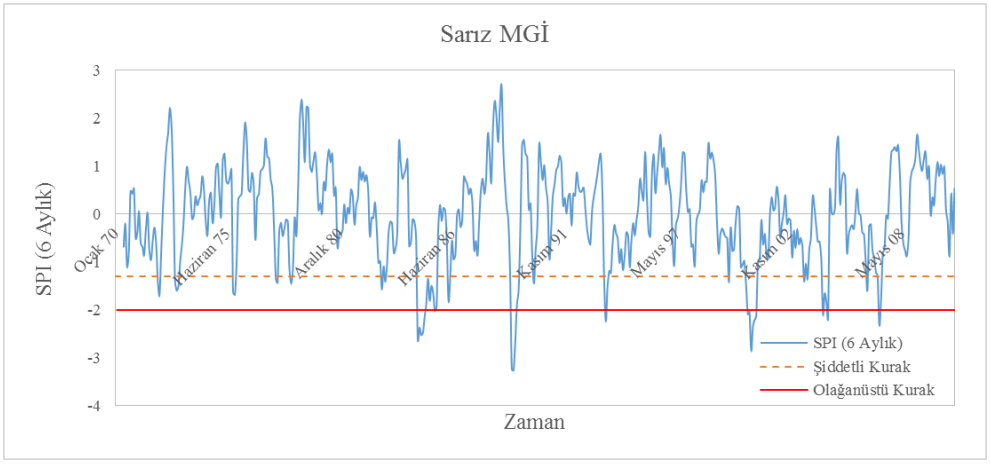
Şekil 8.10 Tomarza MGİ'nin c)6 aylık, d) 12 aylık, e) 24 aylık SPI değerleri (devamı)



(a)

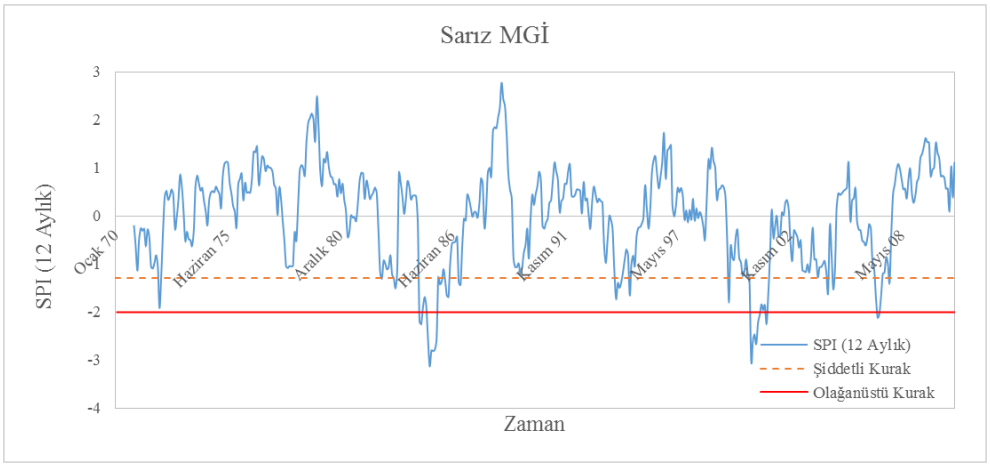


(b)

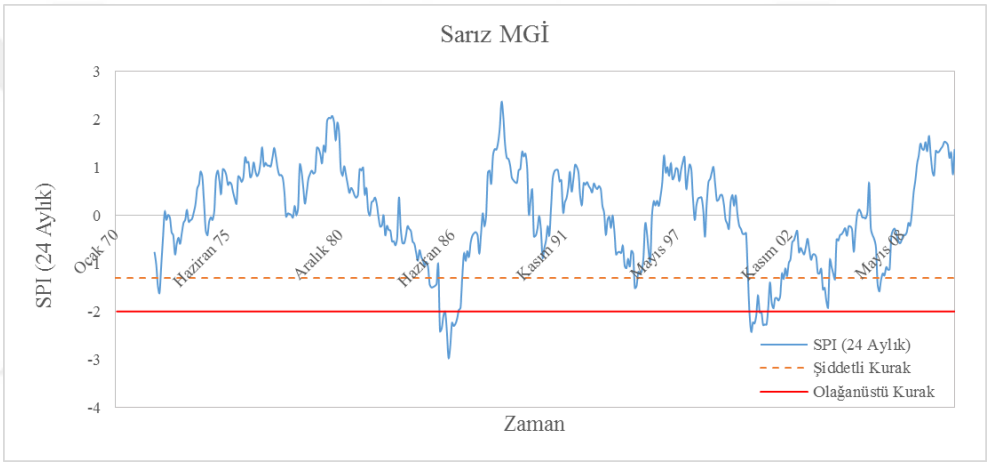


(c)

Şekil 8.11 Sarız MGİ'nin a)1 aylık, b)3 aylık, c)6 aylık SPI değerleri

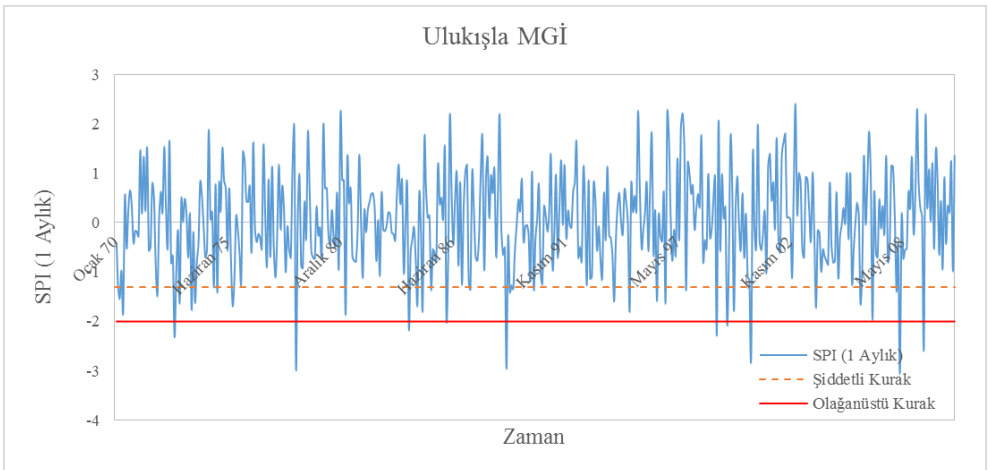


(d)



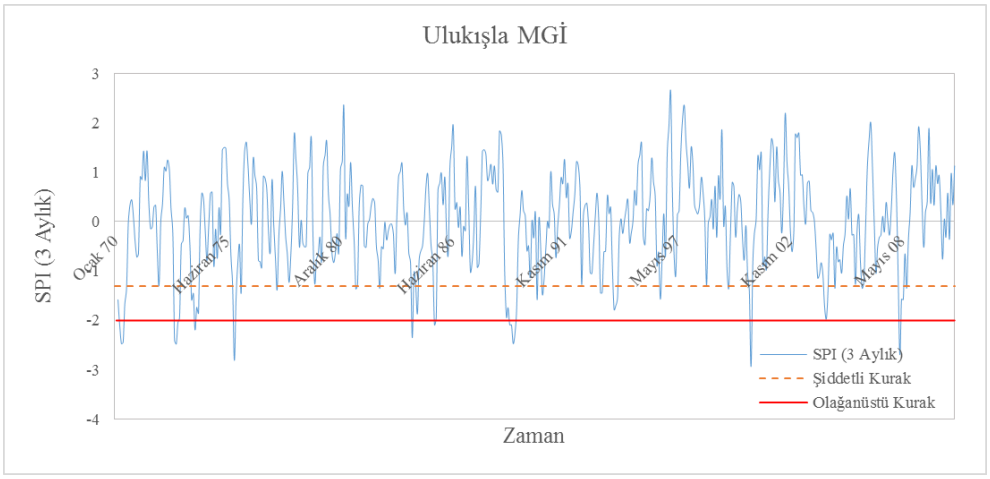
(e)

Şekil 8.11 Sarız MGİ'nin d) 12 aylık, e) 24 aylık SPI değerleri (devamı)

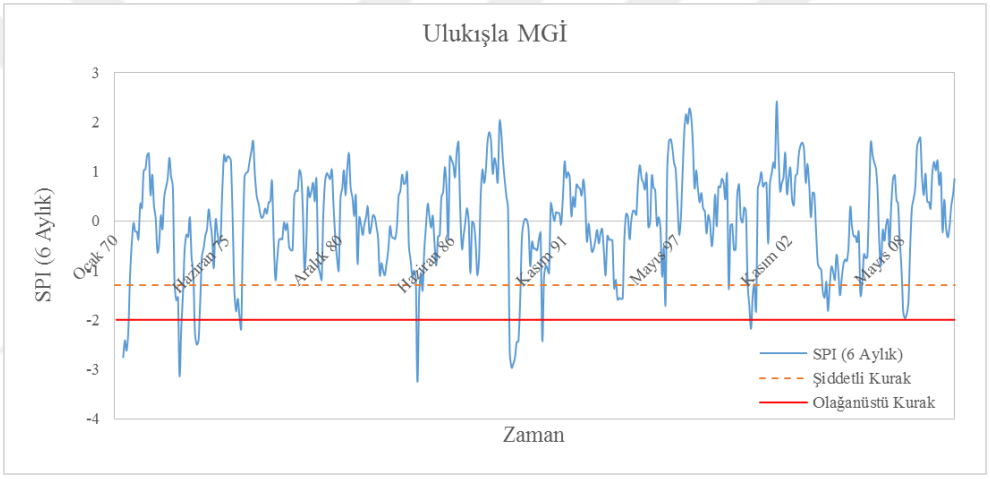


(a)

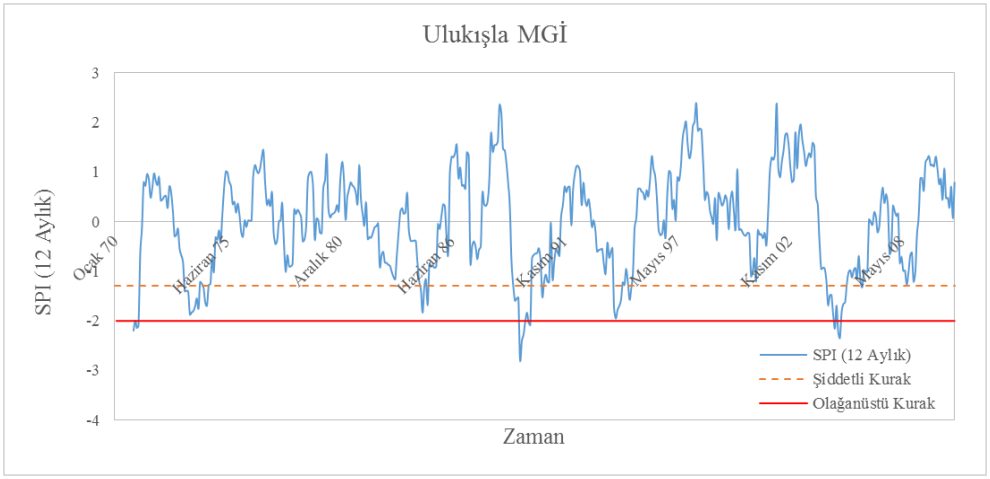
Şekil 8.12 Ulukışla MGİ'nin a)1 aylık SPI değerleri



(b)

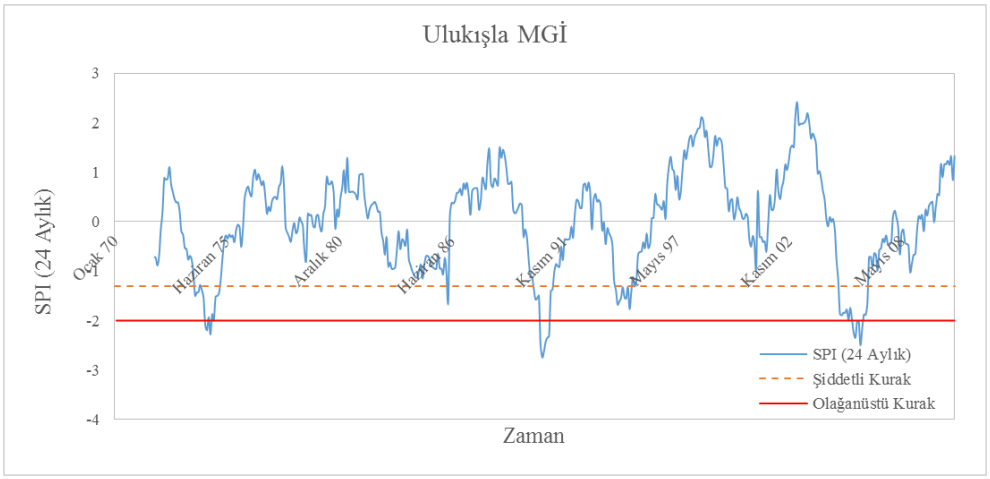


(c)



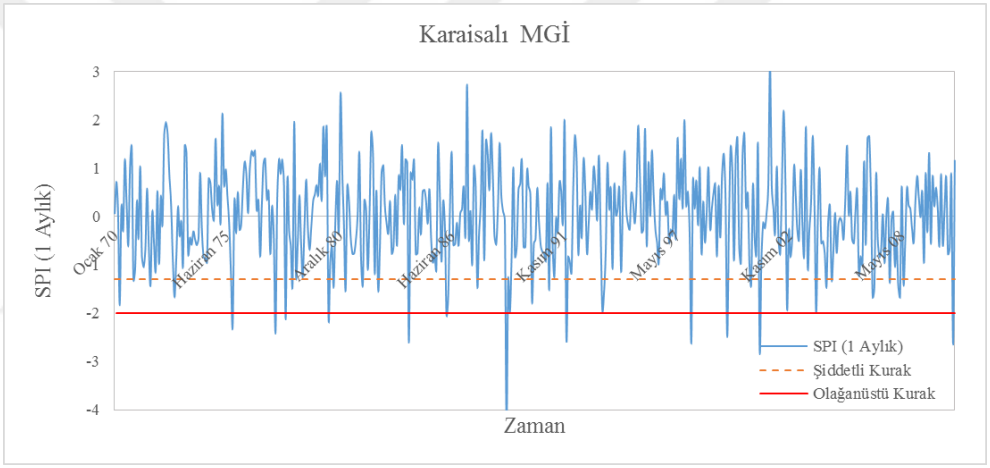
(d)

Şekil 8.12 Ulukışla MGİ'nin b)3 aylık, c)6 aylık, d) 12 aylık SPI değerleri (devamı)

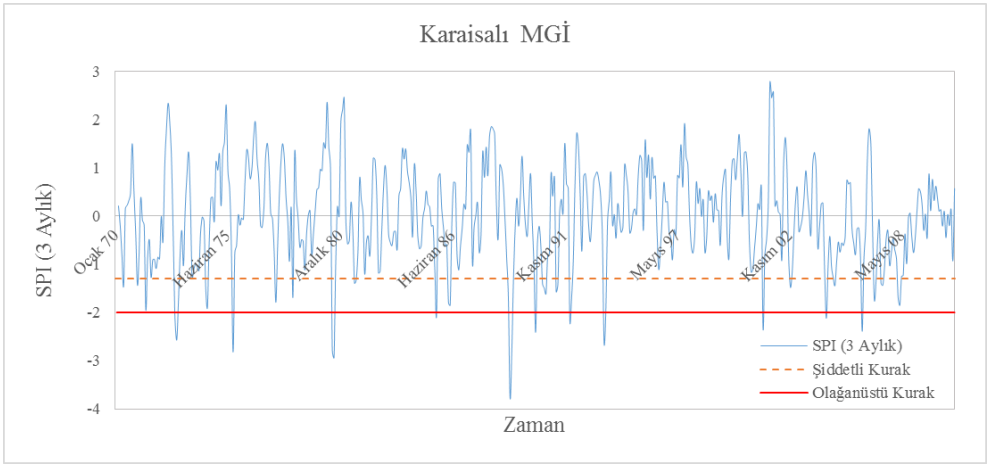


(e)

Şekil 8.12 Ulukışla MGİ'nin e) 24 aylık SPI değerleri (devamı)

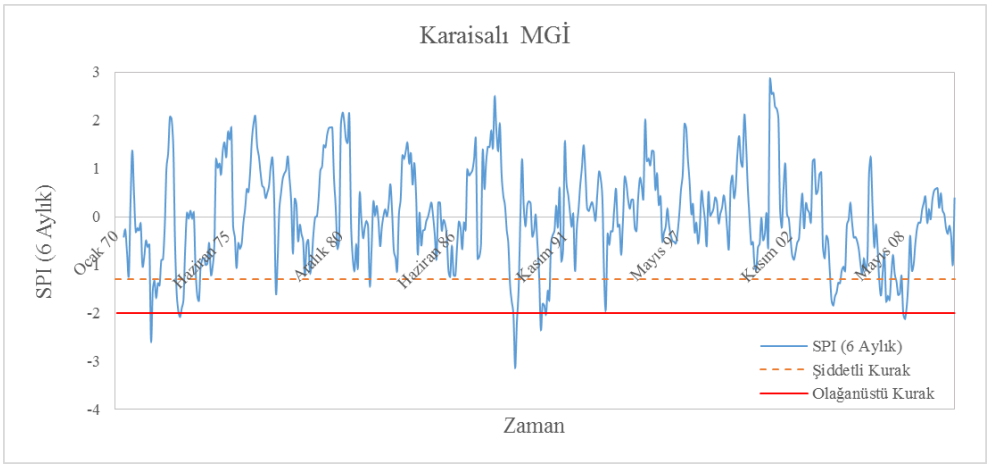


(a)

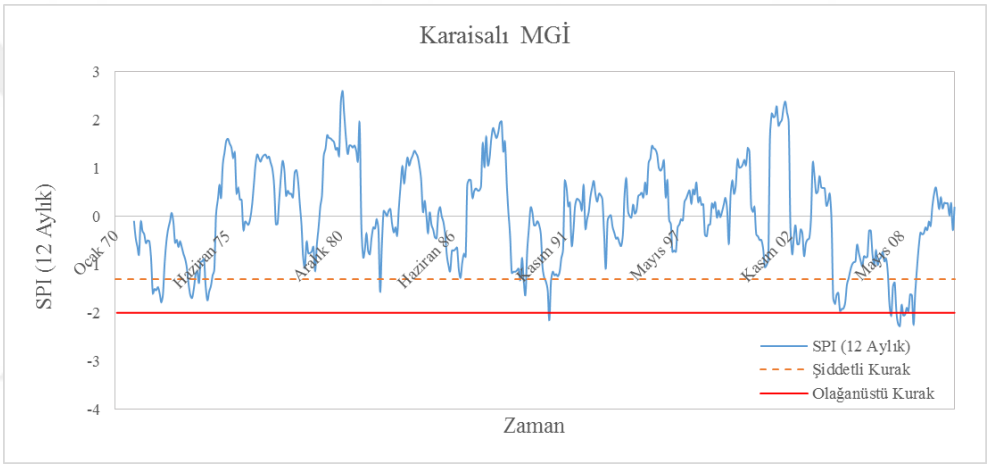


(b)

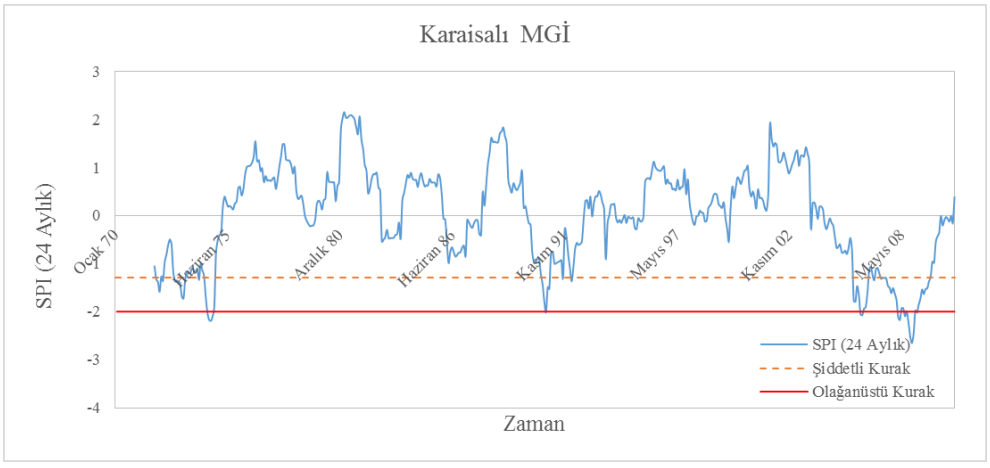
Şekil 8.13 Karaisalı MGİ'nin a)1 aylık, b)3 aylık SPI değerleri



(c)

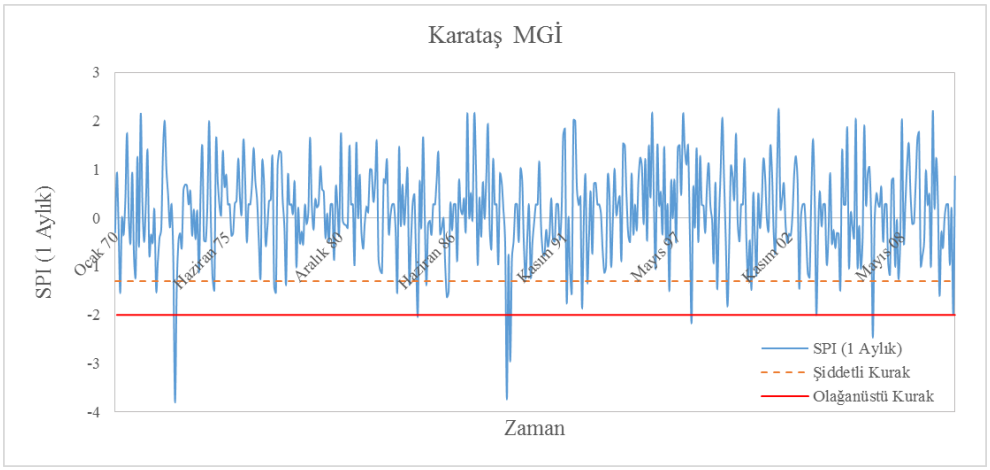


(d)

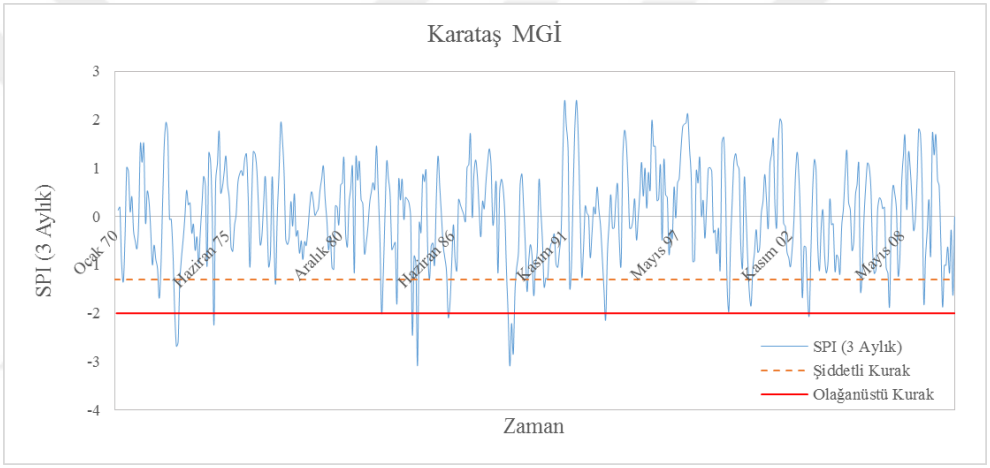


(e)

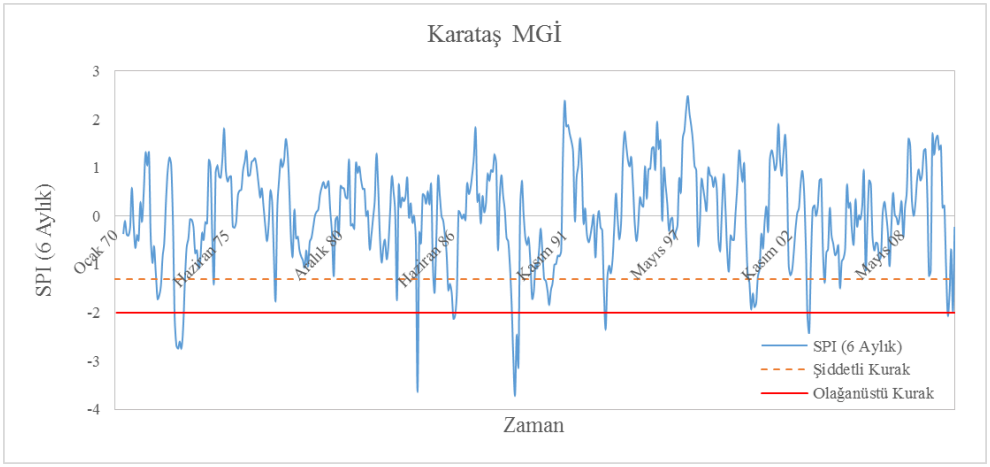
Şekil 8.13 Karaisalı MGİ'nin c)6 aylık, d) 12 aylık, e) 24 aylık SPI değerleri (devamı)



(a)

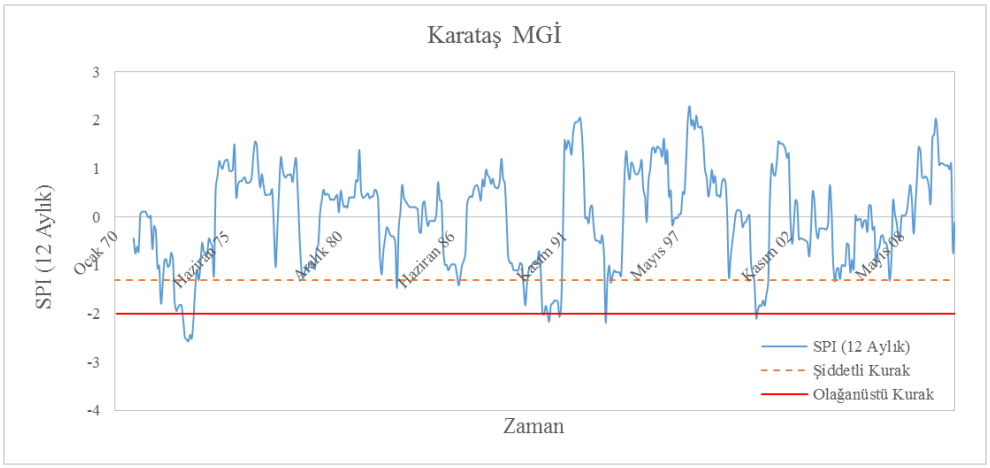


(b)

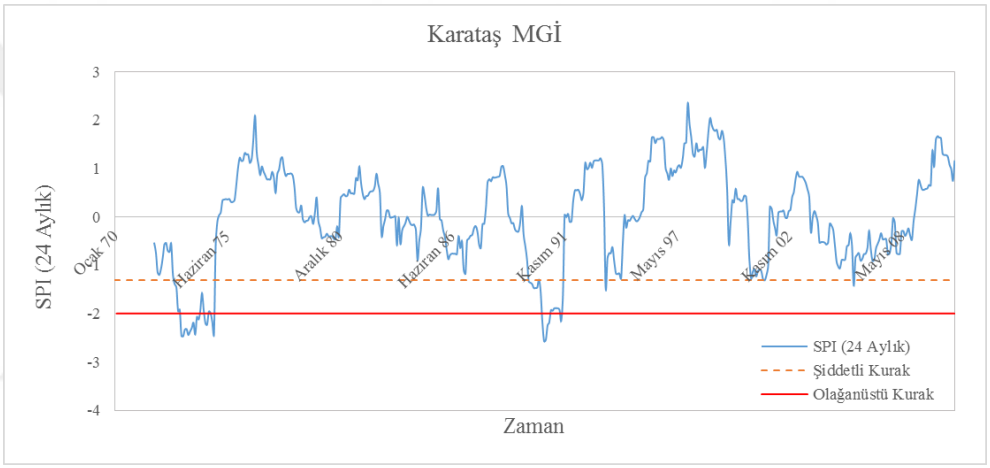


(c)

Şekil 8.14 Karataş MGİ'nin a)1 aylık, b)3 aylık, c)6 aylık SPI değerleri



(d)



(e)

Şekil 8.14 Karataş MGİ'nin d) 12 aylık, e) 24 aylık SPI değerleri (devamı)

Tablo 8.1 SPI değerlerine göre 1970-2010 periyodundaki en kurak tarihler

	1970 - 2010 Periyodunda En Kurak Geçen Aylar									
SPI	**Adana**	**Afşin**	**Aksaray**	**Boğazlıyan**	**Ceyhan**	**Develi**	**Dörtyol**	**Elbistan**	**Ereğli-Konya**	**Gemerek**
1 aylık	Şubat 89	Şubat 89	Ocak 01	Şubat 89	Şubat 89	Nisan 89	Aralık 72	Nisan 70	Ocak 01	Ocak 01
3 aylık	Şubat 73	Kasım 94	Ocak 01	Ocak 01	Nisan 89	Nisan 89	Ağustos 04	Ekim 75	Ağustos 80	Ocak 01
6 aylık	Şubat 73	Haziran 89	Kasım 84	Ocak 01	Temmuz 89	Mayıs 89	Ekim 04	Mayıs 89	Ekim 84	Eylül 94
12 aylık	Şubat 73	Kasım 73	Ocak 85	Nisan 01	Ekim 89	Kasım 89	Mayıs 05	Ocak 85	Aralık 89	Mart 95
SPI	**Göksun**	**Islahiye**	**Kahramanmaraş**	**Kangal**	**Karaısalı**	**Karataş**	**Kayseri**	**Kozan**	**Mersin**	**Nevşehir**
1 aylık	Şubat 89	Şubat 89	Şubat 89	Haziran 94	Şubat 89	Aralık 72	Şubat 95	Nisan 89	Şubat 98	Ocak 01
3 aylık	Mart 89	Nisan 89	Ekim 75	Ocak 01	Nisan 89	Nisan 89	Ağustos 01	Ağustos 80	Nisan 89	Şubat 73
6 aylık	Haziran 89	Haziran 89	Haziran 89	Mayıs 89	Temmuz 89	Temmuz 89	Ağustos 01	Haziran 89	Nisan 73	Nisan 01
12 aylık	Ekim 01	Ekim 73	Kasım 73	Nisan 01	Nisan 08	Ağustos 73	Temmuz 94	Şubat 05	Ekim 73	Haziran 01
SPI	**Niğde**	**Pınarbaşı Kayse**	**Sarız**	**Sivas**	**Suşehri**	**Tomarza**	**Ulukışla**	**Ürgüp**	**Yumurtalık**	**Zara**
1 aylık	Aralık 06	Nisan 89	Aralık 06	Aralık 72	Ekim 84	Aralık 72	Nisan 08	Aralık 72	Şubat 89	Mart 86
3 aylık	Ocak 01	Nisan 89	Ocak 01	Ocak 73	Eylül 73	Haziran 94	Ocak 01	Mayıs 70	Nisan 89	Kasım 82
6 aylık	Mayıs 89	Mayıs 89	Haziran 89	Mart 73	Eylül 94	Mayıs 89	Ekim 84	Ağustos 70	Haziran 89	Aralık 84
12 aylık	Haziran 74	Mayıs 85	Mayıs 85	Eylül 73	Ekim 73	Eylül 94	Ekim 89	Haziran 74	Nisan 72	Ekim 07

Yukarıdaki tabloda yinelenme sıklığına bağlı olarak göre en kurak tarihler;

- 1 aylık SPI değerlerine göre; 1989 yılı Şubat ayı (%30) ve 1972 yılı Aralık ayı (%17),
- 3 aylık SPI değerlerine göre; 1989 yılı Nisan ayı (%27) ve 2001 yılı Ocak ayı (%23),
- 6 aylık SPI değerlerine göre; 1989 yılı Haziran ayı (%23) ve 1989 yılı Mayıs ayı (%20),
- 12 aylık SPI değerlerine göre; 1973 yılı Ekim ayı (%10) olarak görülmektedir.

8.1.3 Seyhan Havzası'nda Kuraklığın Alansal Analizi

1. Tablo 8.1'de elde edilen en kurak tarihler için alansal kuraklık analizi yapılmıştır. Alansal kuraklık analizinde Normal (Ordinary) Kriging yöntemi uygulanmıştır. Kriging yöntemi için kullanılacak veri seti olarak Tablo 8.2'de verilen, en kurak tarihlerin 1, 3, 6 ve 12 aylık SPI değerleri kullanılmıştır.

Tablo 8.2 Tüm istasyonların en kurak tarihlerdeki SPI değerleri

Sıra No	MGİ No	MGİ Adı	SPI1_Sub89	SPI1_Ara72	SPI3_Oca01	SPI3_Nis89	SPI6_Haz89	SPI6_May89	SPI12_Eki73
1	17090	Sivas	-1,73	-3,18	-2,78	-1,28	-2,56	-2,03	-2,73
2	17162	Gemerek	-1,86	-2,70	-3,14	-2,72	-2,36	-2,78	-1,36
3	17192	Aksaray	-3,33	-1,76	-2,98	-1,94	-1,83	-1,22	-1,20
4	17193	Nevşehir	-2,07	-3,02	-2,73	-2,62	-1,92	-2,18	-2,34
5	17196	Kayseri	-2,29	-2,77	-2,95	-2,22	-2,27	-2,53	-0,98
6	17248	Ereğli-Konya	-2,96	-2,00	-3,03	-2,20	-3,14	-3,12	-1,34
7	17250	Niğde	-1,74	-2,59	-3,53	-2,90	-3,34	-3,35	-2,52
8	17255	Kahramanmaraş	-3,59	-3,46	-1,45	-2,64	-3,00	-2,62	-2,73
9	17340	Mersin	-2,83	-1,97	-0,91	-2,91	-1,48	-0,77	-3,15
10	17351	Adana	-3,50	-1,66	-2,07	-2,42	-2,10	-1,98	-2,44
11	17684	Suşehri	-1,68	-2,02	-2,40	-2,09	-1,93	-2,24	-2,77
12	17716	Zara	-0,90	-2,20	-2,37	-1,74	-2,33	-2,32	-1,66
13	17760	Boğazlıyan	-3,19	-2,76	-2,99	-2,11	-2,05	-1,40	-1,57
14	17762	Kangal	-2,00	-2,95	-2,76	-2,50	-2,92	-3,03	-1,78
15	17802	Pınarbaşı Kayseri	-2,81	-1,80	-2,92	-3,53	-3,21	-3,75	-0,42
16	17835	Ürgüp	-2,46	-3,49	-2,46	-2,98	-2,24	-2,40	-1,30
17	17836	Develi	-2,84	-2,09	-2,95	-3,45	-3,56	-3,62	-1,78
18	17837	Tomarza	-2,52	-3,45	-2,99	-3,15	-3,23	-3,76	-2,30
19	17840	Sarız	-3,42	-1,89	-3,27	-2,41	-3,26	-3,23	-0,62
20	17866	Göksun	-3,86	-1,97	-2,55	-2,74	-3,30	-2,93	-1,46
21	17868	Afşin	-3,25	-1,97	-1,62	-1,77	-2,88	-2,60	-2,61
22	17870	Elbistan	-3,08	-2,89	-2,41	-2,24	-3,13	-3,31	-1,45
23	17906	Ulukışla	-2,94	-2,31	-2,93	-2,09	-2,89	-2,96	-1,83
24	17908	Kozan	-3,17	-1,97	-2,61	-3,61	-3,61	-3,48	-1,84
25	17936	Karaısalı	-4,30	-1,66	-1,16	-3,76	-2,04	-1,76	-1,69
26	17960	Ceyhan	-3,88	-1,66	-2,56	-3,47	-3,86	-3,23	-1,74
27	17962	Dörtyol	-3,07	-3,52	-2,77	-2,68	-2,72	-1,62	-1,95
28	17964	Islahiye	-4,39	-3,86	-2,25	-3,57	-3,82	-2,96	-2,55
29	17979	Yumurtalık	-3,30	-1,97	-1,97	-3,12	-3,72	-3,28	-2,26
30	17981	Karataş	-3,72	-3,78	-1,84	-3,09	-2,91	-1,79	-2,51

2. Çapraz geçerlilik sonuçlarına göre Kriging metodu içerisindeki tüm modeller karşılaştırılmış ve en uygun model belirlenip uygulanmıştır. Buna göre her model için, RMS, RMSS ve ASE hata değerleri elde edilmiş ve sonuçları Tablo 8.3'de sunulmuştur. Burada, seçilen modeller ve tahmin hata sonuçları koyu gösterilmiştir.

3. Gerçek değerler ile Kriging işlemi sonucu nihai olarak tahmin edilen değerlerin, *"R Studio"* yazılımı içerisinde *"hydroGOF"* paketi (Bigiarini, 2014) kullanılarak ilişkileri incelenmiş ve Tablo 8.4'de verilmiştir. Yıllık ortalama yağışların gerçek

değerleri ile tahmini değerleri kullanılarak elde edilen determinasyon katsayıları (R^2) yüksek olurken (0,71), SPI verilerinin determinasyon katsayıları yağışlara göre düşük olmaktadır (Tablo 8.4).

4. Yıllık ortalama yağış verileri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging işlem basamakları Şekil 8.15'de ve Şekil 8.16'da gösterilmektedir.

5. Bu verileri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging işlem basamakları Şekil 8.17 ile Şekil 8.22 arasında sunulmuştur. 1989 yılı Şubat ayı için 1 aylık SPI değerleri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging yönteminin işlem basamakları *Bölüm 7.5*'de Şekil 7.23 ile Şekil 7.25 arasında gösterilmiştir.

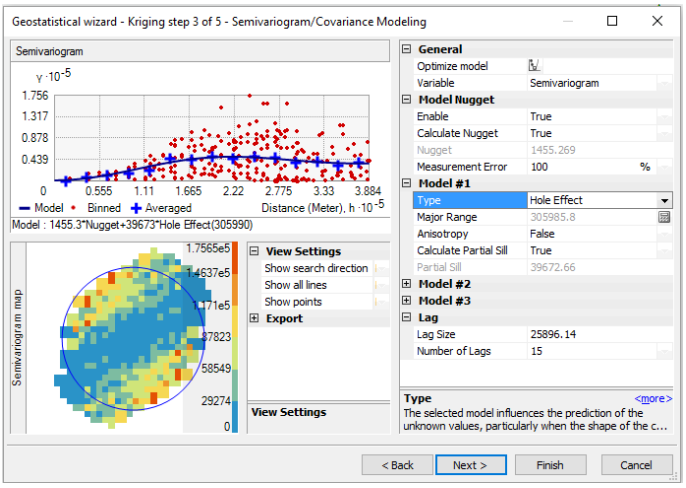
Tablo 8.3 Yarıvariogram modellerinin çapraz-geçerlilik sonuçları

Yarıvariogram	SPI1_Şub89			SPI1_Ara72			SPI3_Oca01			SPI3_Nis89			SPI6_Haz 89		
Modeli	RMS	RMSS	ASE	RMS	RMSS	ASE	RMS	RMSS	ASE	RMS	RMSS	ASE	RMS	RMSS	ASE
Circular	0,631	1,185	0,519	0,680	0,942	0,724	**0,469**	**1,083**	**0,467**	**0,542**	**0,991**	**0,551**	**0,537**	**0,925**	**0,583**
Spherical	0,626	1,196	0,512	0,671	0,944	0,714	0,482	1,075	0,478	0,548	0,999	0,553	0,539	0,926	0,853
Tetraspherical	0,643	1,248	0,556	0,668	0,943	0,712	0,487	1,071	0,483	0,557	1,012	0,554	0,538	0,921	0,585
Pentaspherical	0,636	1,212	0,479	0,667	0,943	0,810	0,490	1,069	0,486	0,556	1,025	0,555	0,540	0,923	0,584
Exponantial	**0,606**	**1,033**	**0,573**	0,670	0,942	0,715	0,498	0,999	0,511	0,557	1,012	0,555	0,538	0,904	0,591
Gaussian	0,671	1,424	0,441	0,674	0,943	0,718	0,498	1,161	0,469	0,545	0,990	0,555	0,546	0,928	0,590
Radial Quadratic	0,619	1,087	0,489	0,671	0,942	0,715	0,521	1,156	0,487	0,572	1,026	0,557	0,538	0,912	0,582
Hole Effect	0,709	1,575	0,476	**0,668**	**0,957**	**0,695**	0,477	0,959	0,503	0,623	1,124	0,553	0,609	1,350	0,481
K Bessel	0,657	1,341	0,489	0,672	0,941	0,717	0,505	1,173	0,471	0,549	0,996	0,556	0,542	0,903	0,597
J Bessel	0,675	1,456	0,476	0,667	0,954	0,699	0,493	1,162	0,465	0,592	1,061	0,560	0,627	1,384	0,472
Stable	0,673	1,422	0,480	0,672	0,941	0,717	0,498	1,161	0,469	0,545	0,990	0,555	0,542	0,902	0,597

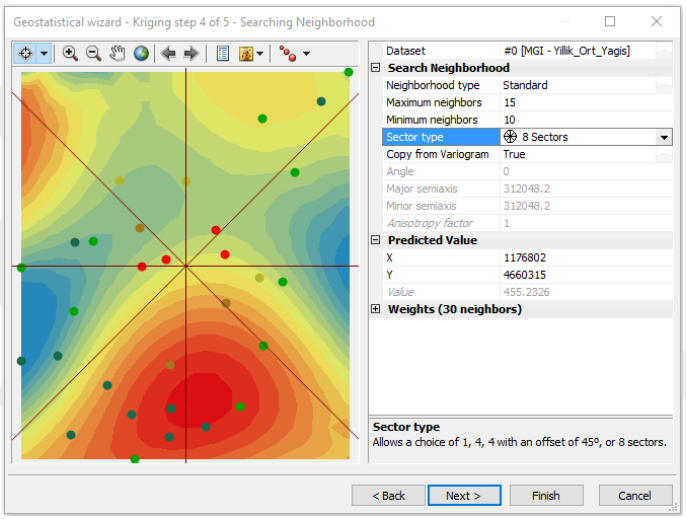
Yarıvariogram	SPI6_May89			SPI12_Eki73			Yıllık Ortalama Yağış (mm)			Yıllık Ort. Yağış (mm) (Log Dönüşümlü)		
Modeli	RMS	RMSS	ASE	RMS	RMSS	ASE	RMS	RMSS	ASE	RMS	RMSS	ASE
Circular	0,733	1,099	0,665	0,666	1,038	0,640	94,920	0,921	109,169	97,768	0,918	108,309
Spherical	0,726	1,066	0,673	0,661	1,030	0,641	98,056	0,926	112,860	100,035	0,925	111,498
Tetraspherical	0,723	1,041	0,683	0,661	1,028	0,641	98,590	0,924	113,371	100,279	0,925	112,475
Pentaspherical	0,721	1,029	0,689	0,661	1,028	0,642	98,728	0,923	113,674	100,276	0,926	112,790
Exponantial	0,718	0,971	0,726	0,660	1,020	0,646	99,261	0,780	132,689	100,552	0,774	133,500
Gaussian	0,714	1,047	0,675	0,660	1,025	0,642	122,308	2,395	62,474	122,990	2,680	56,511
Radial Quadratic	0,706	0,976	0,706	**0,655**	**1,012**	**0,646**	106,947	1,376	92,704	103,760	1,351	94,212
Hole Effect	0,815	1,590	0,544	0,673	1,067	0,629	102,811	2,179	54,312	108,510	2,398	49,622
K Bessel	0,709	1,020	0,679	0,659	1,023	0,643	122,939	2,379	64,170	121,770	2,651	58,159
J Bessel	0,812	1,508	0,554	0,679	1,087	0,623	103,044	2,124	54,626	104,815	2,300	49,100
Stable	**0,708**	**1,019**	**0,681**	0,660	1,025	0,642	122,308	2,395	62,474	122,990	2,680	56,511

Tablo 8.4 Kriging ile oluşturulan SPI dağılımları için çapraz geçerliliğin R Studio'da yapılması

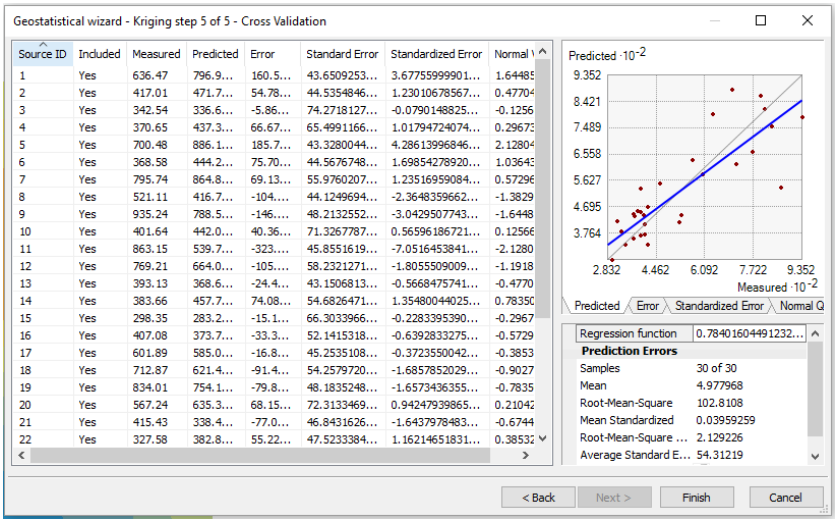
			SPI							Yıllık Ortalama Yağış (mm)	
Parametre	Legend	Açıklama	1 aylık		3 aylık		6 aylık		12 aylık	Orijinal	Log Dönüşümlü
			Şub.89	Ara.72	Oca.01	Nis.89	Haz.89	May.89	Eki.73		
ME	Mean Error	Ortalama Hata	-0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,02	-0,06	0,01	4,98	1,99
MAE	Mean Absolute Error	Ortalama Mutlak Hata	0,47	0,60	0,35	0,44	0,44	0,57	0,56	79,62	76,68
MSE	Mean Standart Error	Ortalama Standart Hata	0,37	0,45	0,22	0,29	0,29	0,50	0,43	10570,06	10986,20
RMSE	Root Mean Square Error	Kök Ortalama Kare Hatası	0,61	0,67	0,47	0,54	0,54	0,71	0,66	102,81	104,82
NRMSE %	Normalized Root Mean Square Error	Normalleştirilmiş Kök Ortalama Kare Hatası	73,00	95,20	75,10	85,80	81,70	90,40	98,00	53,70	54,70
PBIAS %	Percent Bias	Yanlılık Yüzdesi	0,20	0,00	0,10	0,40	0,90	2,20	-0,60	0,90	0,40
RSR	r.Spearman	r.Spearman	0,73	0,95	0,75	0,86	0,82	0,90	0,98	0,54	0,55
rSD	Ratio of Standard Deviations	Standart Sapmanın Oranı	0,68	0,27	0,65	0,46	0,47	0,42	0,32	0,91	0,92
NSE	Nash-Sutcliffe efficiency	Nash-Sutcliffe Etkisi	0,45	0,06	0,42	0,24	0,31	0,15	0,01	0,70	0,69
mNSE	Modified Nash-Sutcliffe efficiency	Düzeltilmiş Nash-Sutcliffe Etkisi	0,28	0,03	0,27	0,14	0,21	0,11	-0,03	0,51	0,53
rNSE	Relative Nash-Sutcliffe efficiency	Göreceli Nash-Sutcliffe Etkisi	-0,13	-0,03	-0,77	-0,19	0,04	-2,01	-2,89	0,75	0,77
d	Index of Agreement	Uyum İndisi	0,78	0,33	0,75	0,59	0,63	0,52	0,36	0,91	0,91
md	Modified Index of Agreement	Düzeltilmiş Uyum Etkisi	0,57	0,20	0,55	0,41	0,44	0,36	0,23	0,74	0,75
rd	Relative Index of Agreemen	Göreceli Uyum Etkisi	0,54	0,27	0,23	0,35	0,48	-0,69	-1,51	0,93	0,93
cp	Coefficient of Persistence	Süreklilik Katsayısı	0,64	0,67	0,69	0,58	0,67	0,56	0,55	0,84	0,83
r	Pearson product-moment correlation coefficient	Pearson Çarpım Momenti Korelasyonu Katsayısı	0,67	0,25	0,65	0,49	0,57	0,40	0,17	0,84	0,84
R^2	Coefficient of Determination	Determinasyon Katsayısı	0,45	0,06	0,42	0,24	0,32	0,16	0,03	0,71	0,70
bR^2	the coef. of determination multiplied by the slope of the linear regression between 'sim' and 'obs'	Gözlenen ile oluşturulan dağılım arasında doğrusal regresyon eğimi ile determinasyon katsayısının çarpımı	0,43	0,06	0,40	0,23	0,31	0,15	0,03	0,69	0,68
KGE	Kling-Gupta efficiency	Kling-Gupta Etkisi	0,54	-0,05	0,50	0,26	0,31	0,16	-0,07	0,81	0,82
VE	volumetric efficiency	Hacimsel Etki	1,16	1,24	1,14	1,17	1,16	1,22	1,30	0,85	0,85



(a)

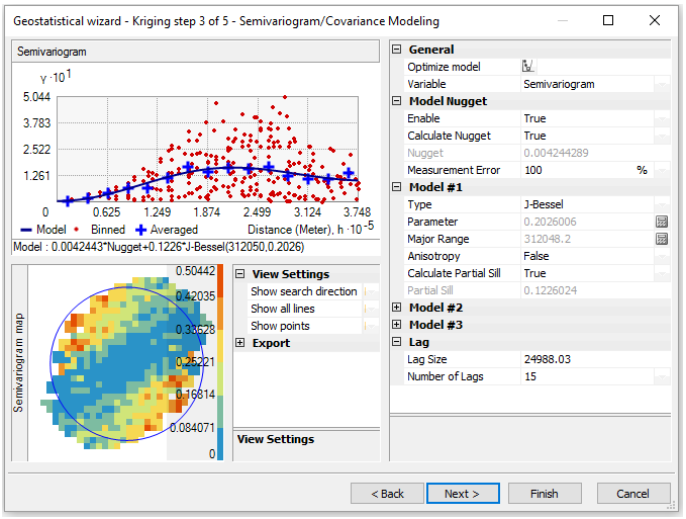


(b)

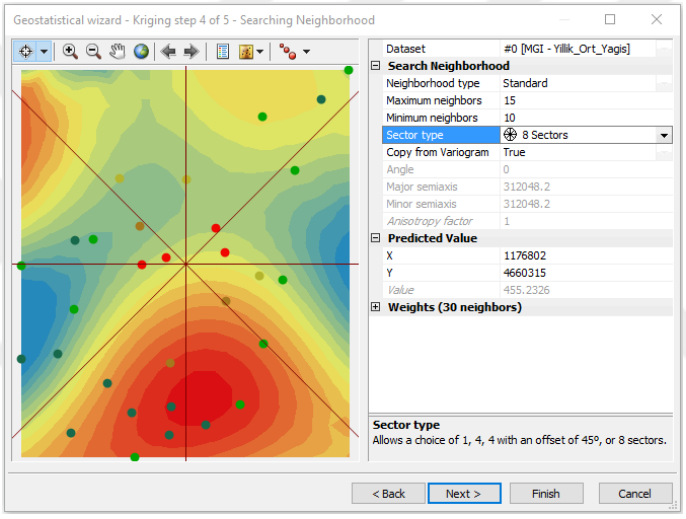


(c)

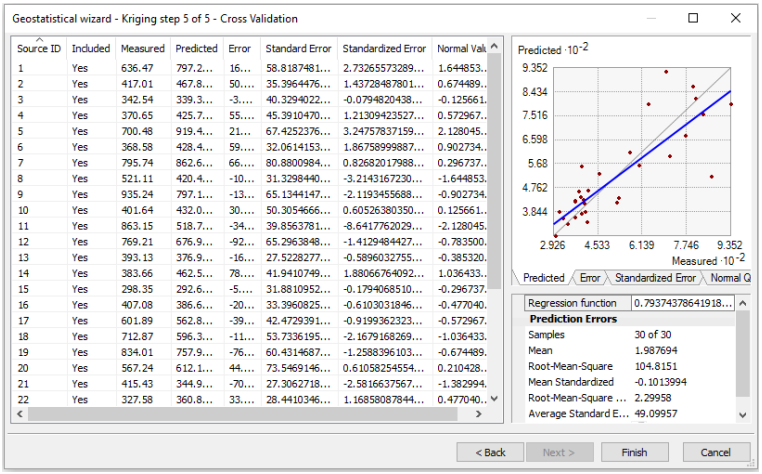
Şekil 8.15 Yıllık ortalama yağış verileri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging işlem adımları: (a) Yarıvariogram modeli, (b) Komşuluk, (c) Çapraz geçerlilik sonuçları



(a)

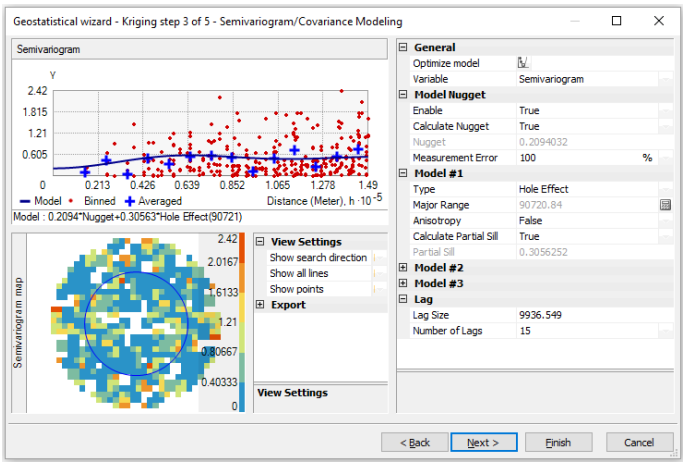


(b)

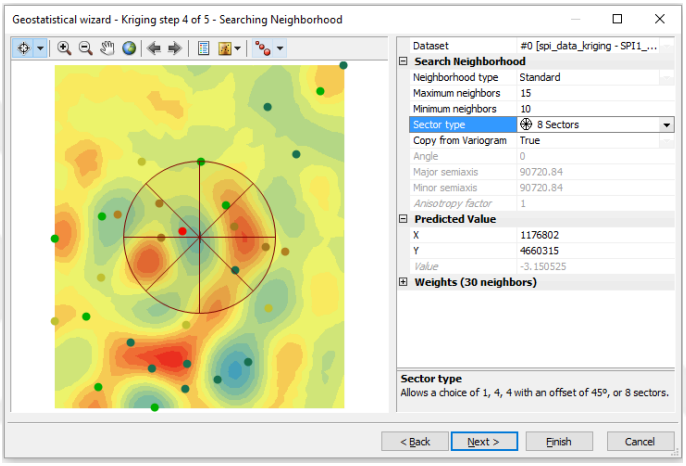


(c)

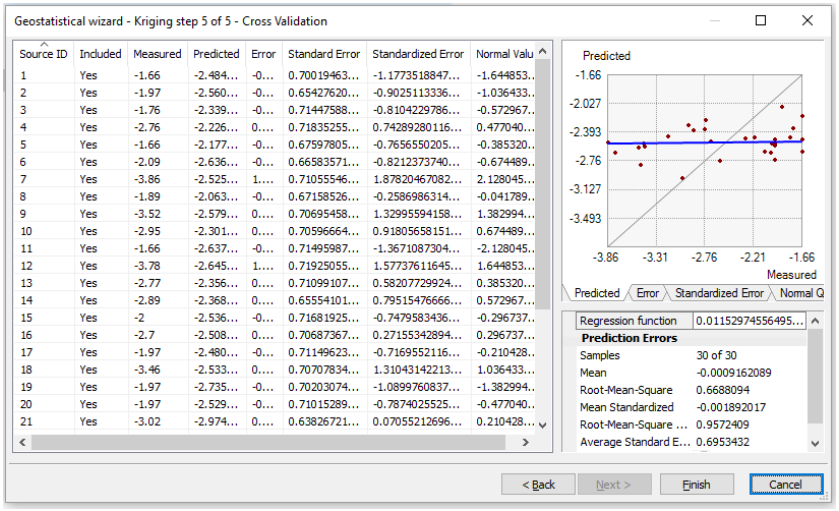
Şekil 8.16 Yıllık ortalama yağış verileri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging (log dönüşümlü) işlem adımları (a) Yarıvariogram modeli, (b) Komşuluk, (c) Çapraz geçerlilik sonuçları



(a)

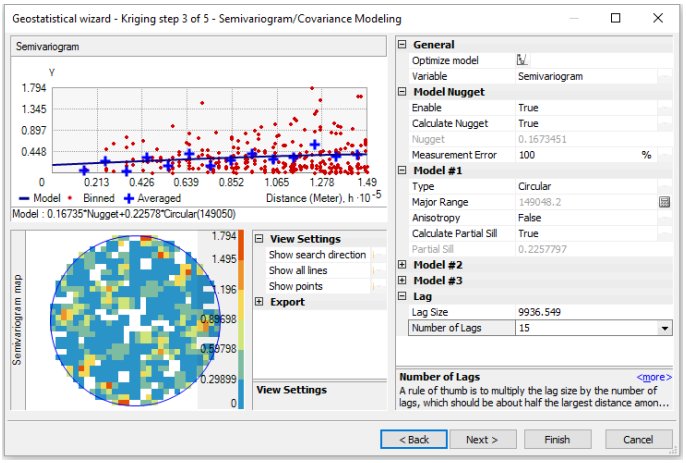


(b)

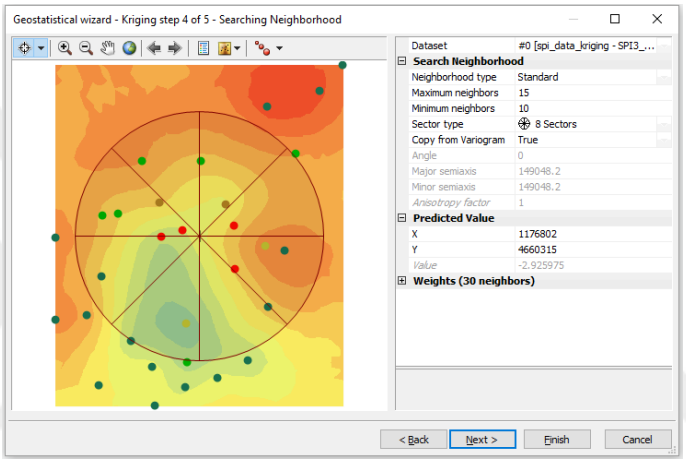


(c)

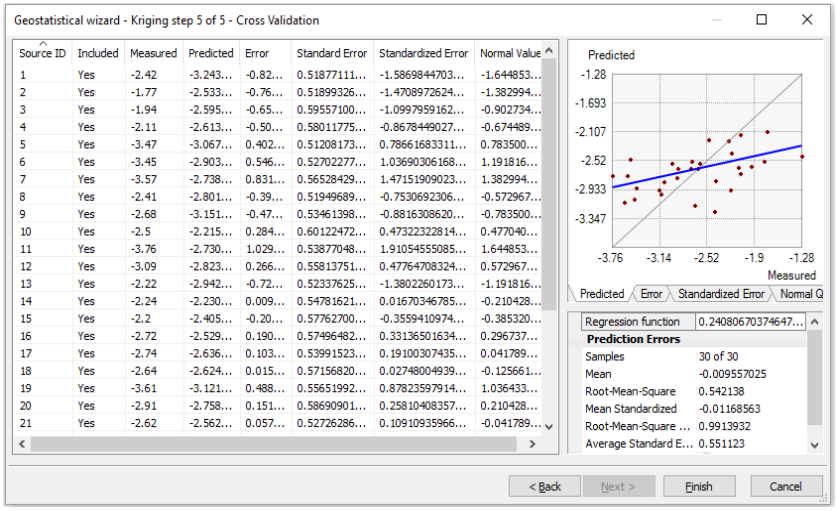
Şekil 8.17 1972 Aralık ayı için 1 Aylık SPI değerleri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging işlem adımları: (a) Yarıvariogram modeli, (b) Komşuluk, (c) Çapraz geçerlilik sonuçları



(a)

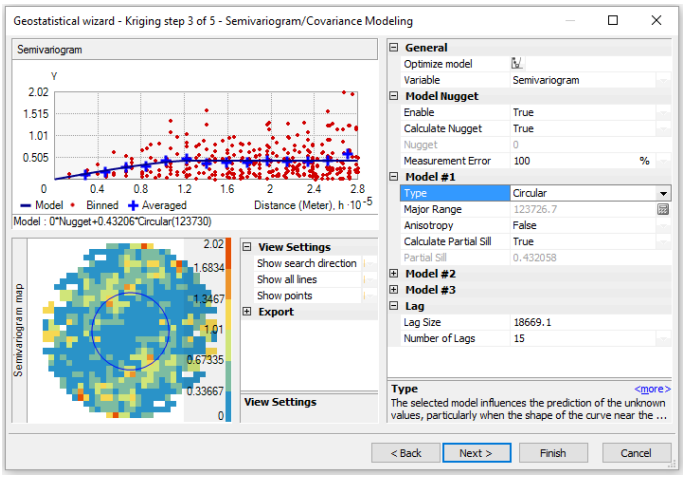


(b)

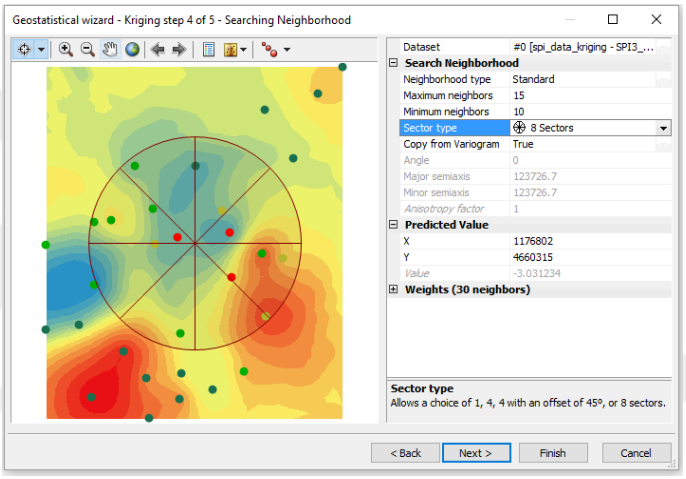


(c)

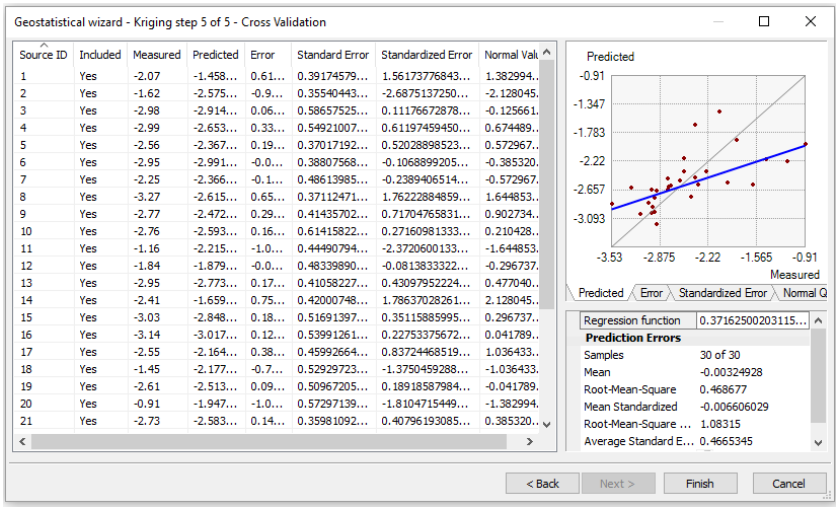
Şekil 8.18 1989 yılı Nisan ayı 3 Aylık SPI değerleri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging işlem adımları: (a) Yarıvariogram modeli, (b) Komşuluk, (c) Çapraz geçerlilik sonuçları



(a)

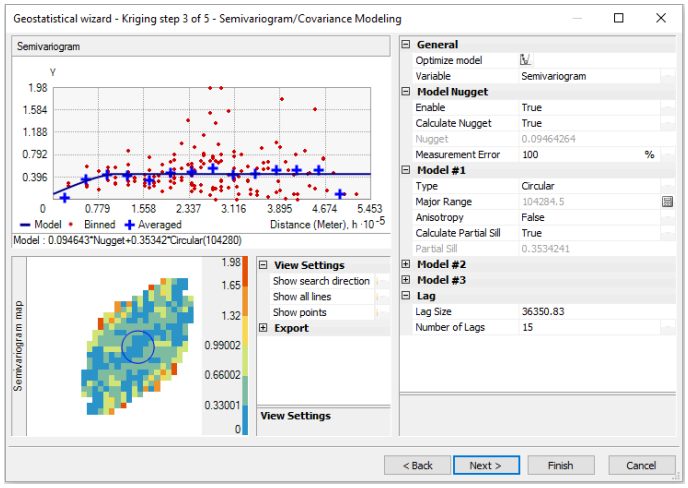


(b)

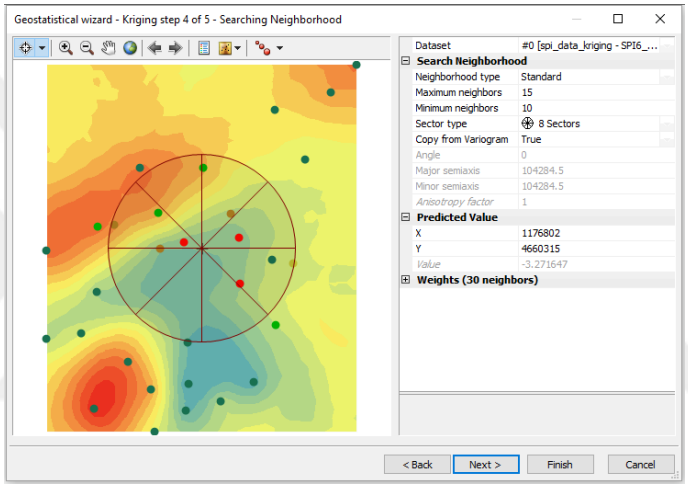


(c)

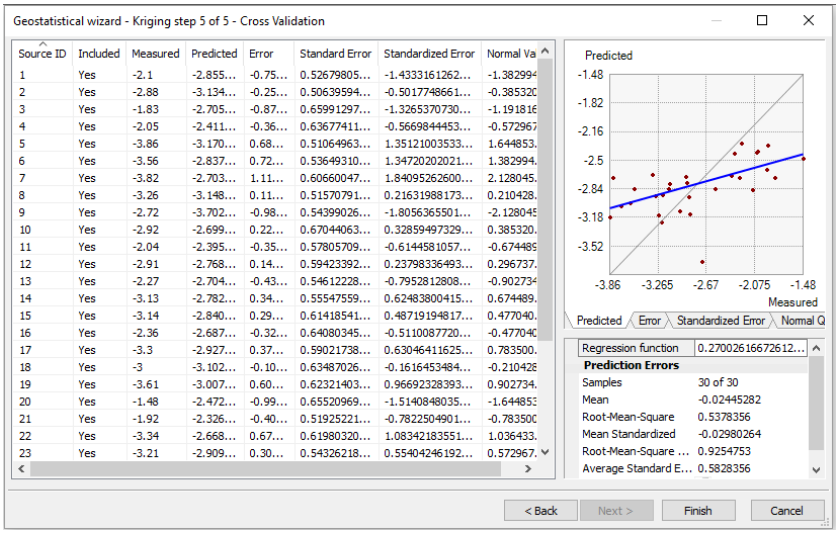
Şekil 8.19 2001 yılı Ocak ayı için 3 Aylık SPI değerleri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging işlem adımları: (a) Yarıvariogram modeli, (b) Komşuluk, (c) Çapraz geçerlilik sonuçları



(a)

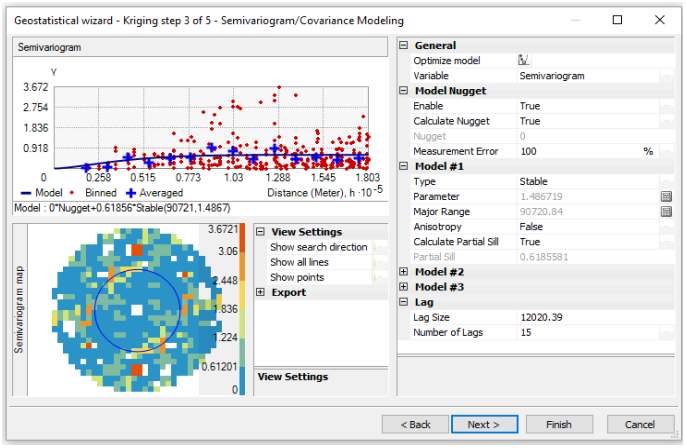


(b)

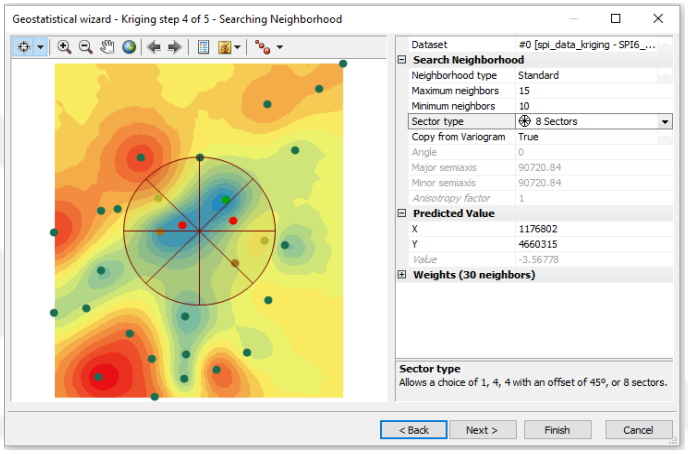


(c)

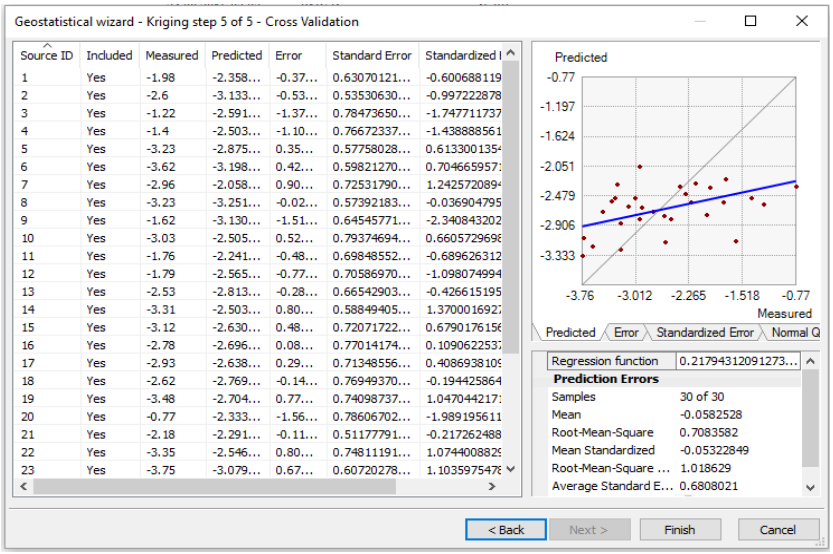
Şekil 8.20 1989 yılı Haziran ayı için 6 Aylık SPI değerleri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging işlem adımları: (a) Yarıvariogram modeli, (b) Komşuluk, (c) Çapraz geçerlilik sonuçları



(a)

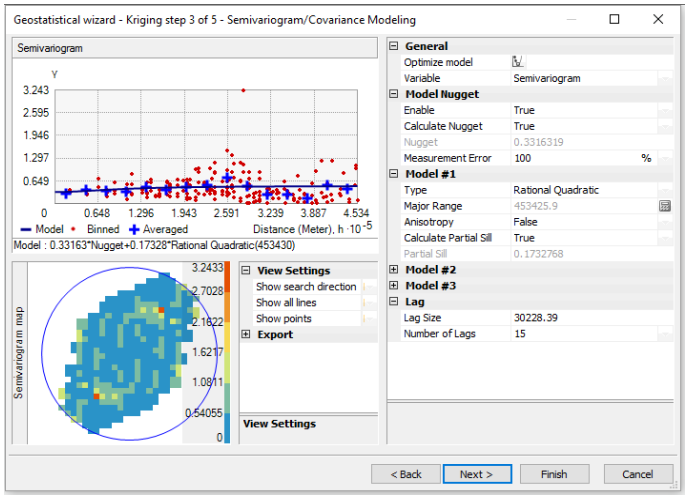


(b)

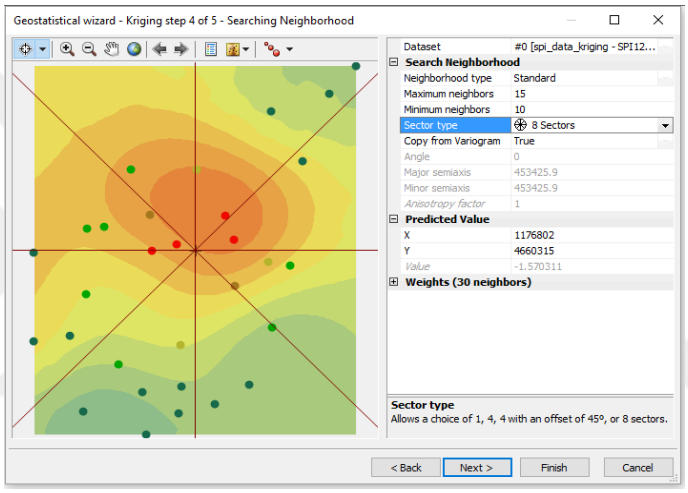


(c)

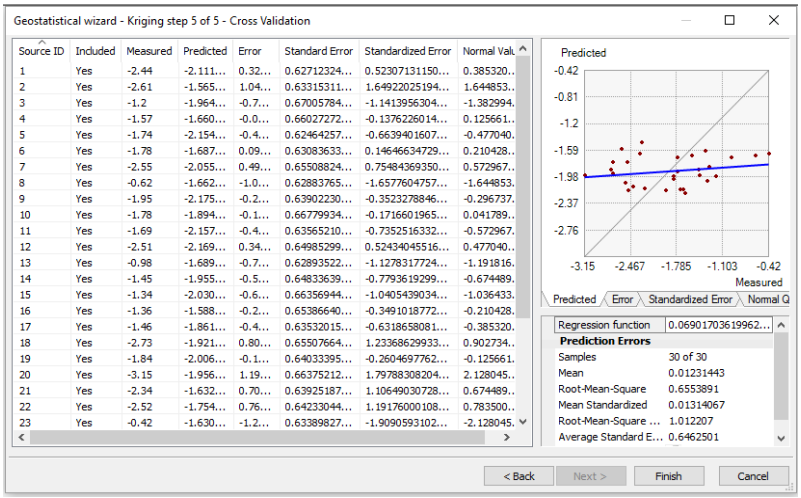
Şekil 8.21 1989 yılı Mayıs ayı için 6 Aylık SPI değerleri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging işlem adımları: (a) Yarıvariogram modeli, (b) Komşuluk, (c) Çapraz geçerlilik sonuçları



(a)



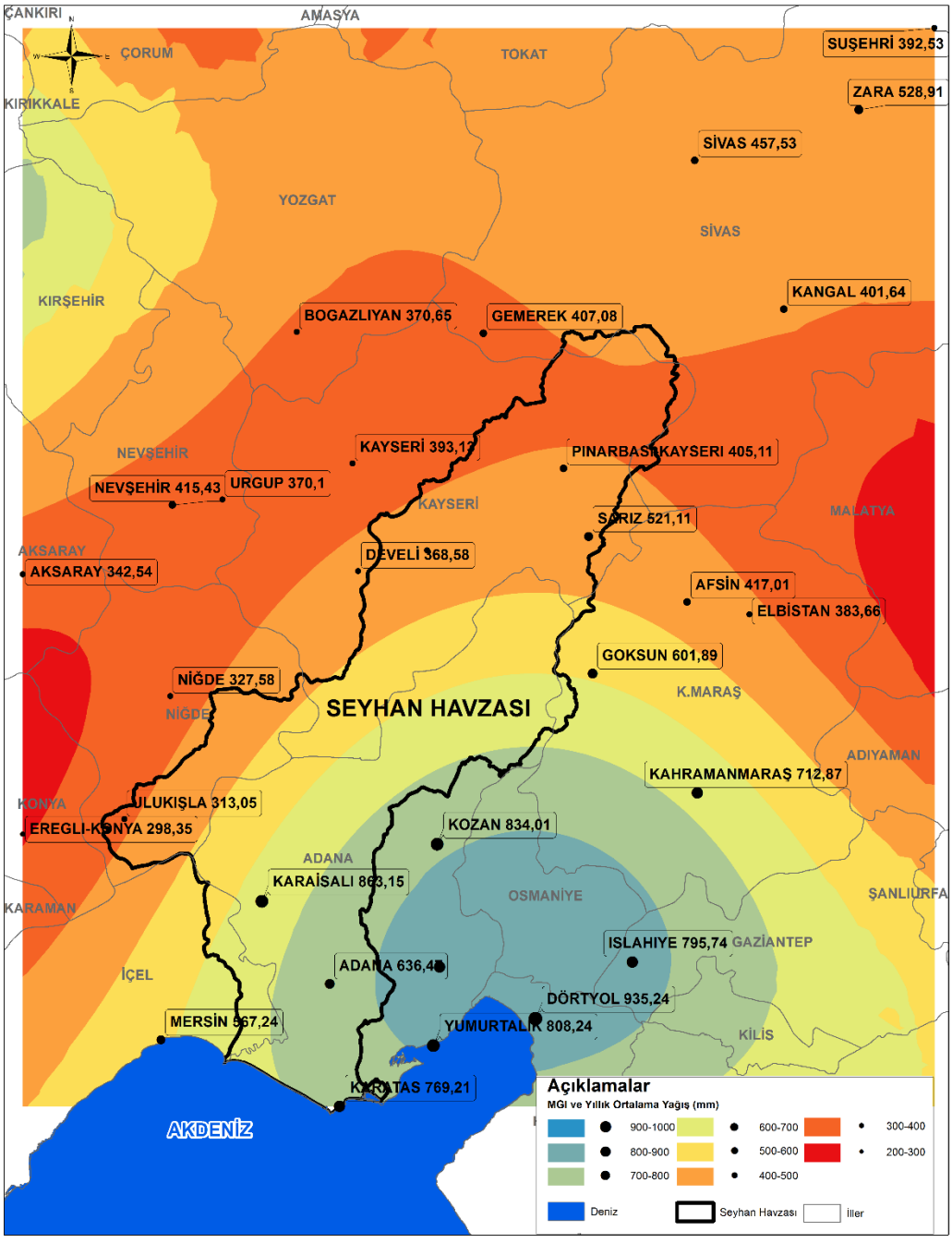
(b)



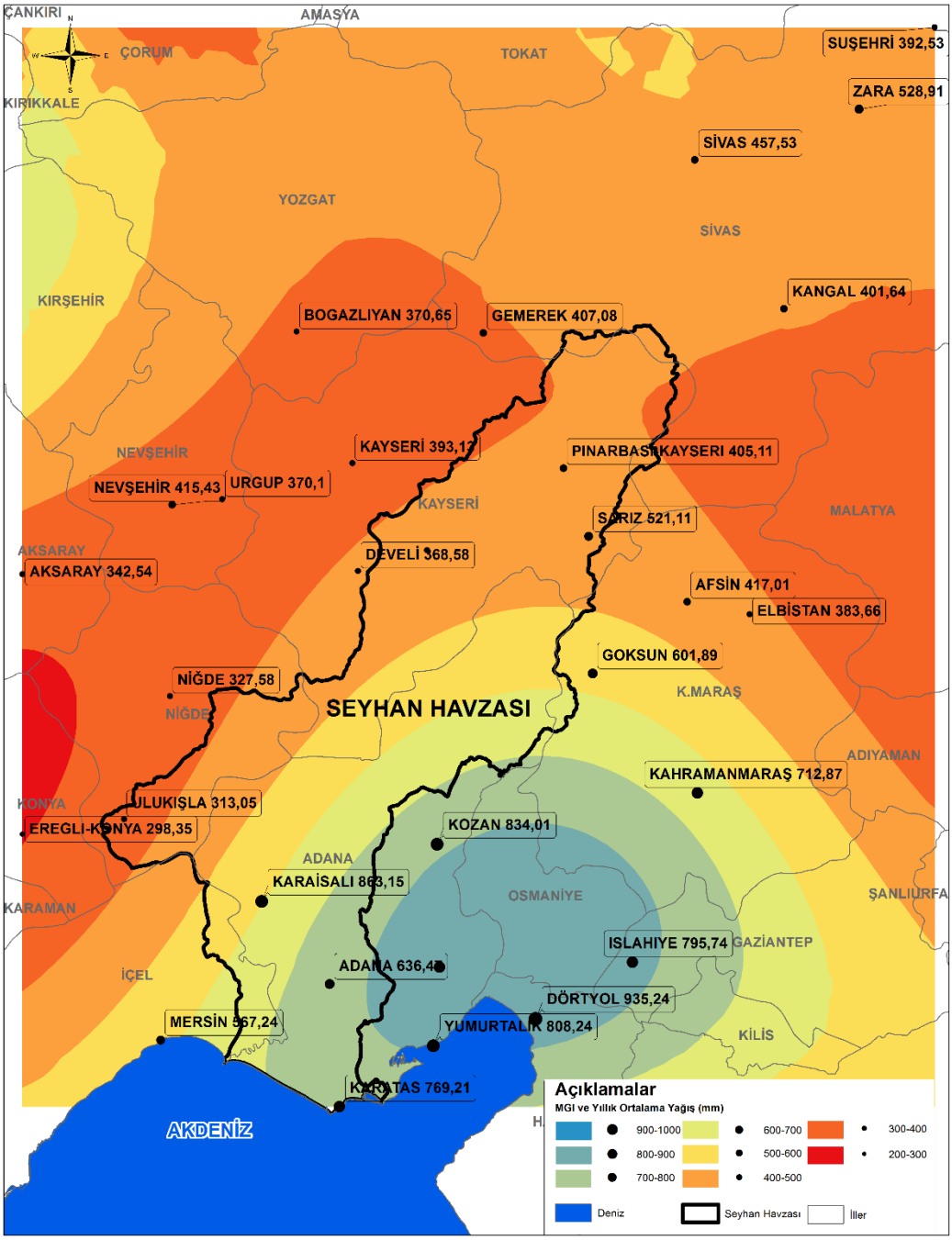
(c)

Şekil 8.22 1973 yılı Ekim ayı için 12 Aylık SPI değerleri kullanılarak yapılan Normal (Ordinary) Kriging işlem adımları: (a) Yarıvariogram modeli, (b) Komşuluk, (c) Çapraz geçerlilik sonuçları

6. Yıllık ortalama yağış verileri (mm) kullanılarak *Seyhan Havzası yağış haritası* oluşturulmuştur. Buna haritadan, Seyhan Havzası'nın mansap kesiminin daha çok yağış aldığı, memba kesimine doğru gidildikçe yağışların azaldığı görülmektedir (Şekil 8.23). Yıllık ortalama yağış verilerine logaritmik dönüşüm uygulanarak bir yağış haritası daha oluşturulmuştur (Şekil 8.24). Elde edilen iki harita da birbirine benzer sonuçlar vermektedir.



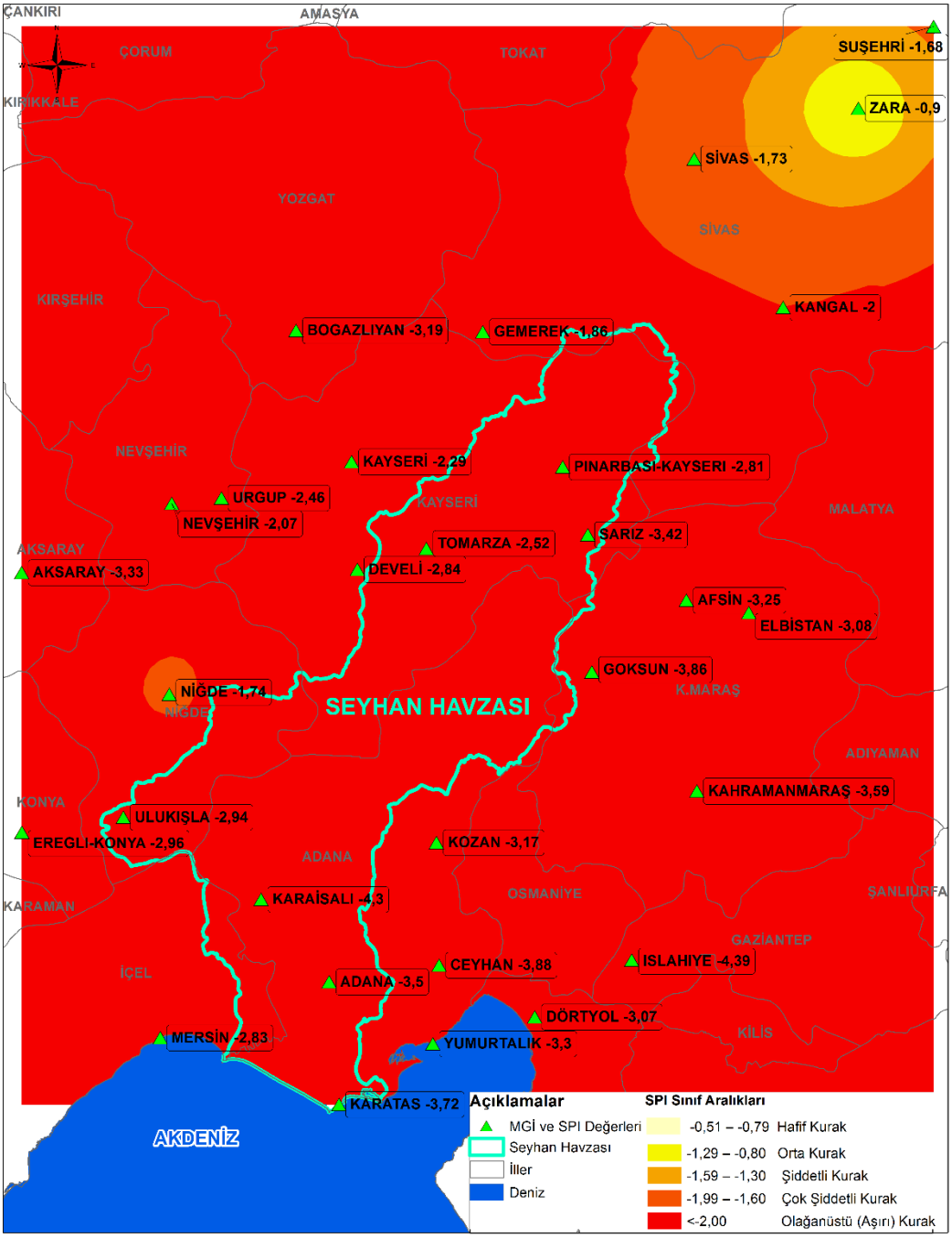
Şekil 8.23 Yıllık ortalama yağış miktarının (mm) alansal değişimi



Şekil 8.24 Yıllık ortalama yağış miktarının (mm) alansal değişimi (Log dönüşümlü)

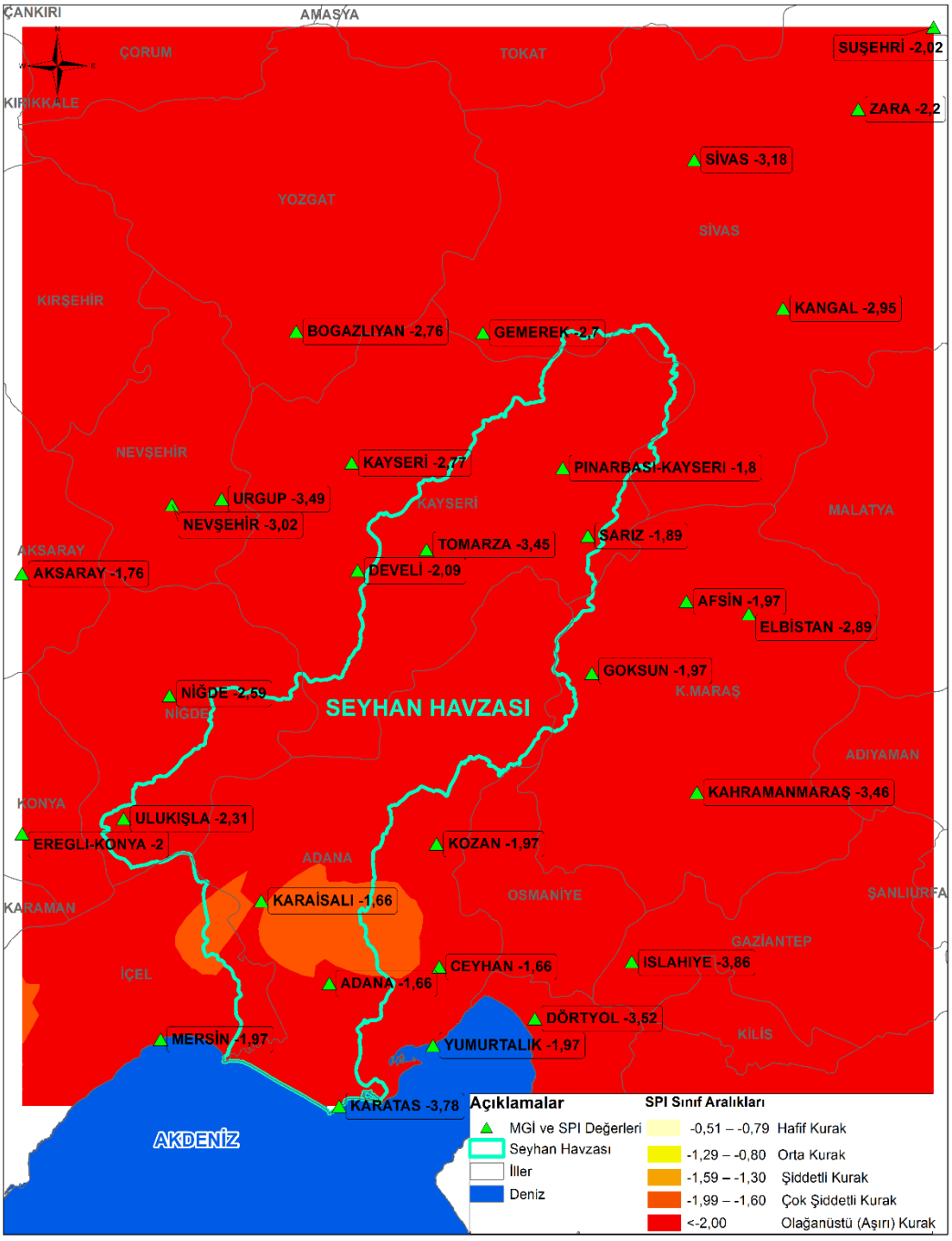
7. Hesaplanan SPI değerlerine göre elde edilen en kritik ya da başka bir deyişle en kurak tarihler için *Seyhan Havzası kuraklık haritaları* oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki bölgelerin kuraklıktan ne kadar etkilendiği, Tablo 7.7'de verilen kuraklık sınıflandırmasına göre renklendirilen haritalarda gösterilmiştir (Şekil 8.25- Şekil 8.31).

8. 1989 yılı Şubat ayı için 1 aylık SPI değerleri kullanılarak elde edilen kuraklık haritası incelendiğinde, Seyhan Havzası'nın tamamında olağanüstü kuraklığın hakim olduğu gözlenmiştir (Şekil 8.25).



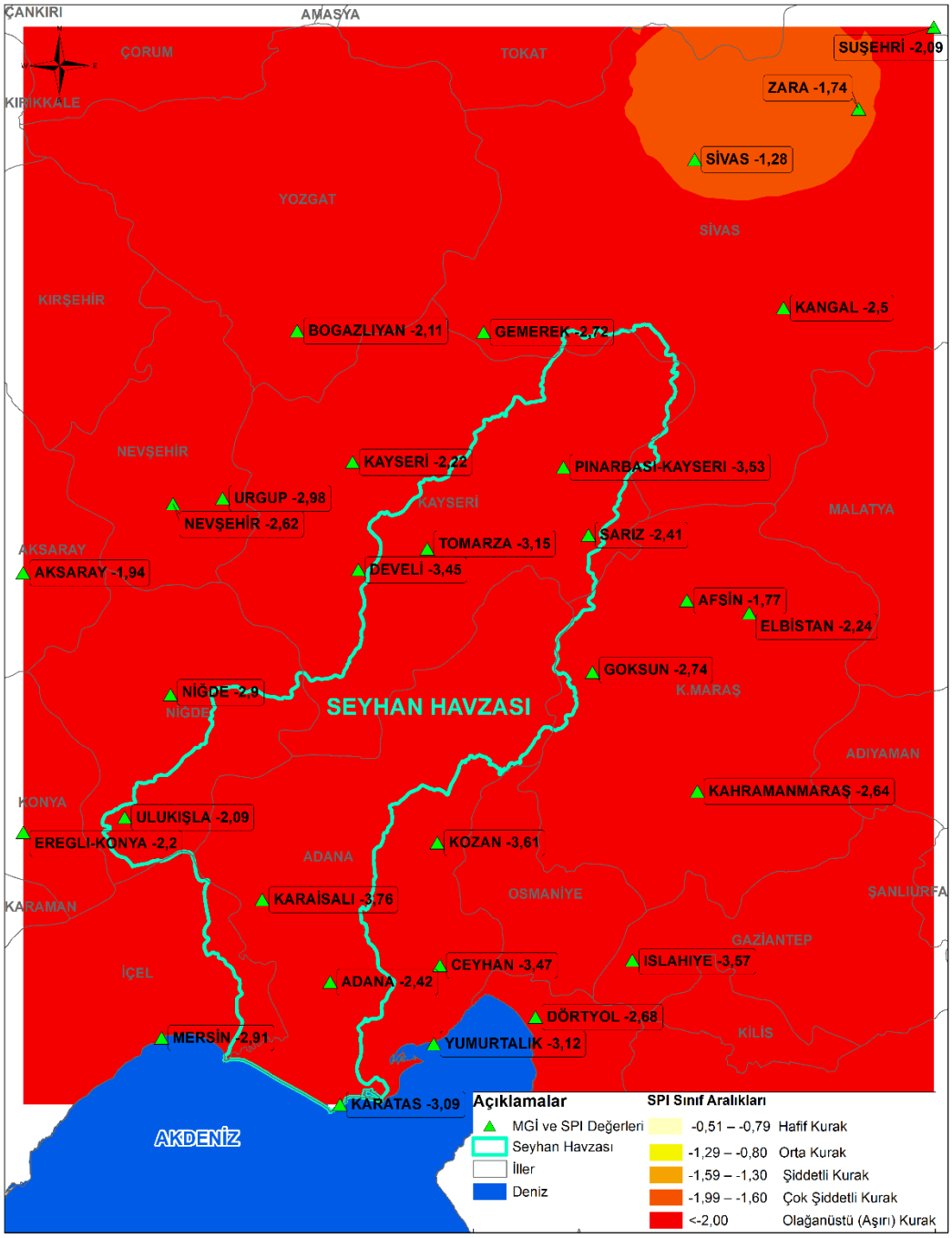
Şekil 8.25 1989 Şubat ayı 1 aylık SPI değerlerine göre alansal kuraklık analizi

9. 1972 yılı Aralık ayı için 1 aylık SPI değerleri kullanılarak elde edilen kuraklık haritası incelendiğinde, Seyhan Havzası'nın genelinde olağanüstü kuraklığın hakim olduğu gözlenmiştir. Karaisalı MGİ çevresinde ise çok şiddetli kuraklık gözlenmiştir (Şekil 8.26).



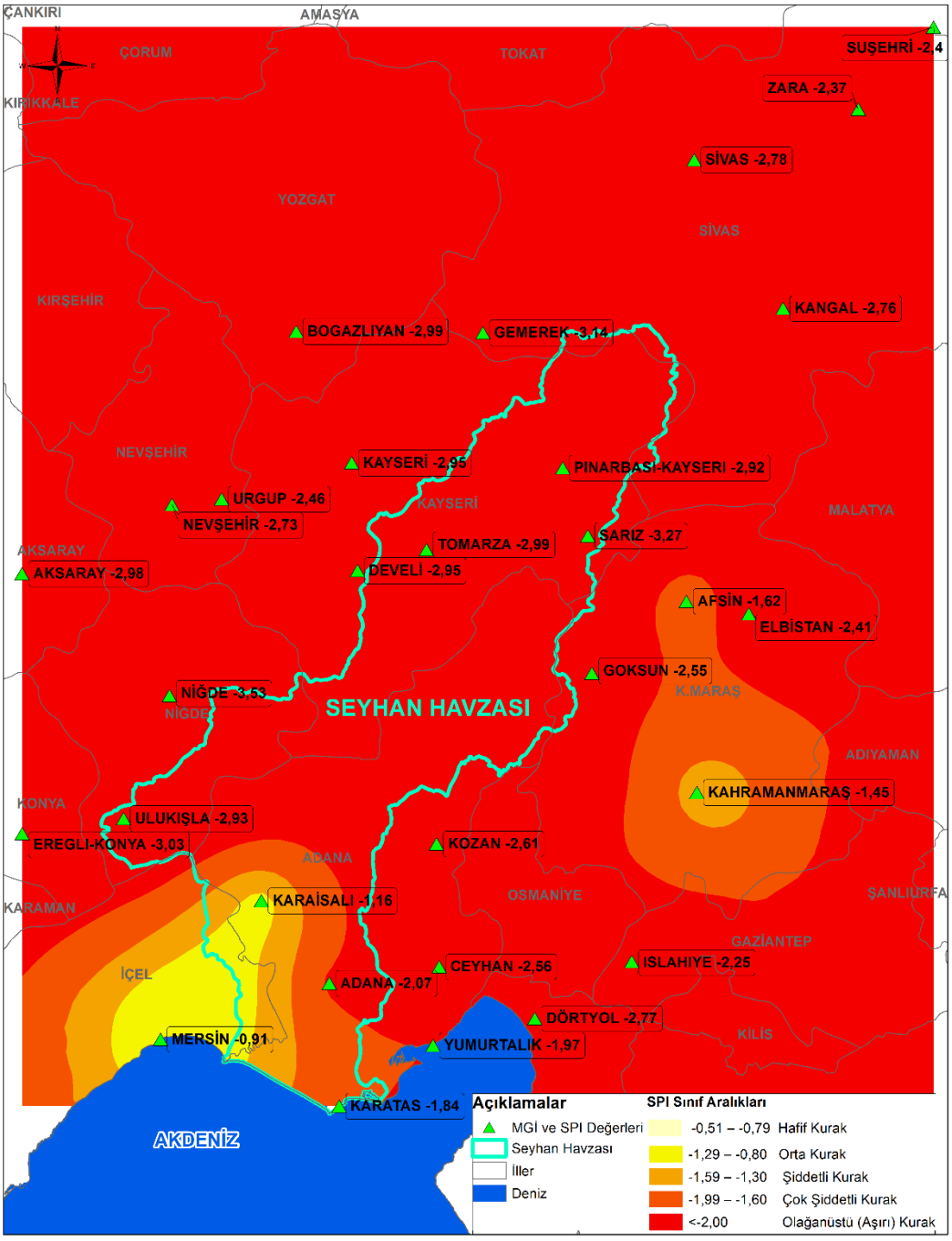
Şekil 8.26 1972 Aralık ayı 1 aylık SPI değerlerine göre alansal kuraklık analizi

10. 1989 yılı Nisan ayı için 3 aylık SPI değerleri kullanılarak elde edilen kuraklık haritası incelendiğinde, Seyhan Havzası'nın tamamında olağanüstü kuraklığın hakim olduğu gözlenmiştir (Şekil 8.27).



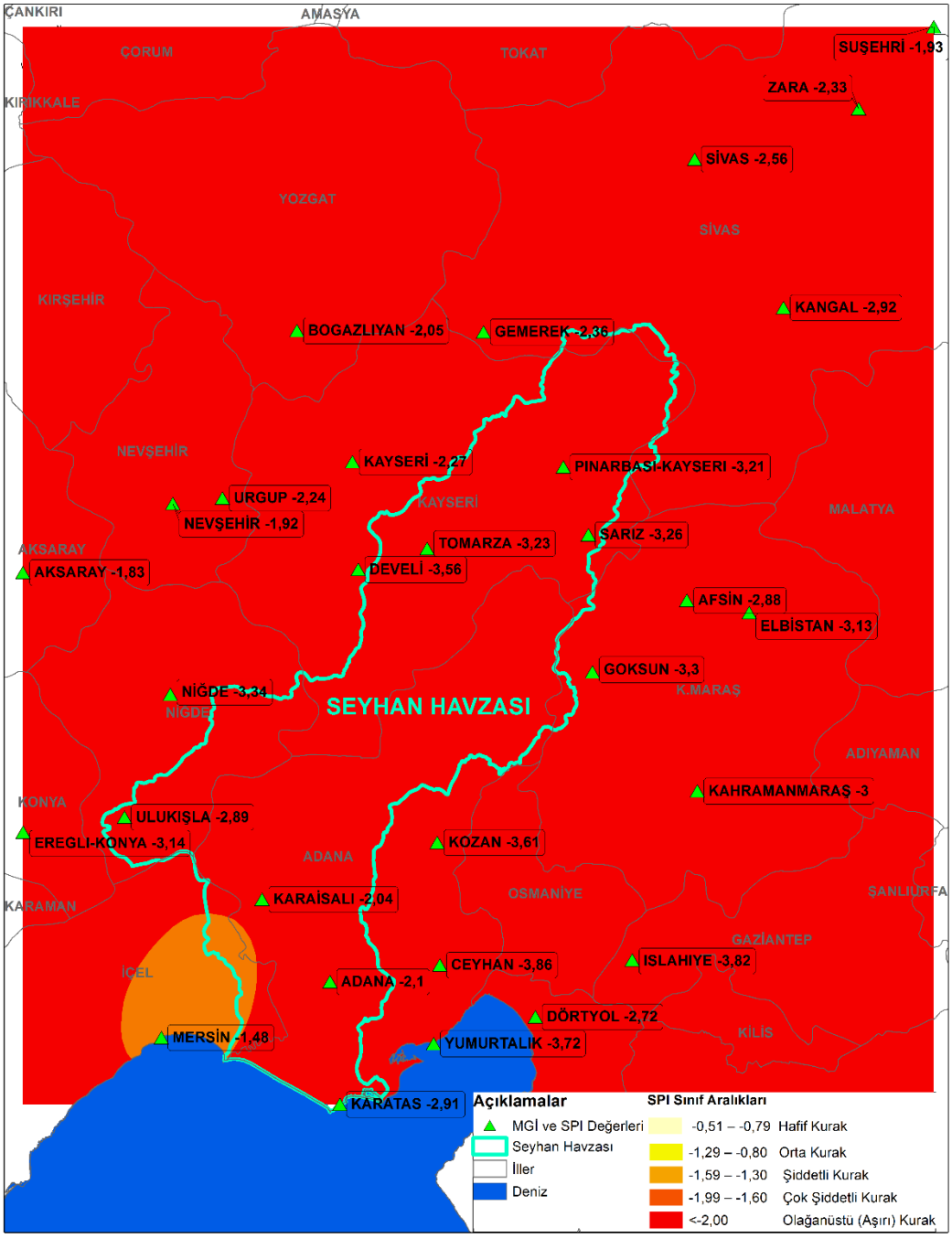
Şekil 8.27 1989 Nisan ayı için 3 aylık SPI değerlerine göre alansal kuraklık analizi

11. 2001 yılı Ocak ayı için 3 aylık SPI değerleri kullanılarak elde edilen kuraklık haritası incelendiğinde, Seyhan Havzası'nın genelinde olağanüstü kuraklığın hakim olduğu gözlenmiştir. Karaisalı ve Mersin MGİ çevresinde ise şiddetli kuraklık gözlenmiştir (Şekil 8.28).



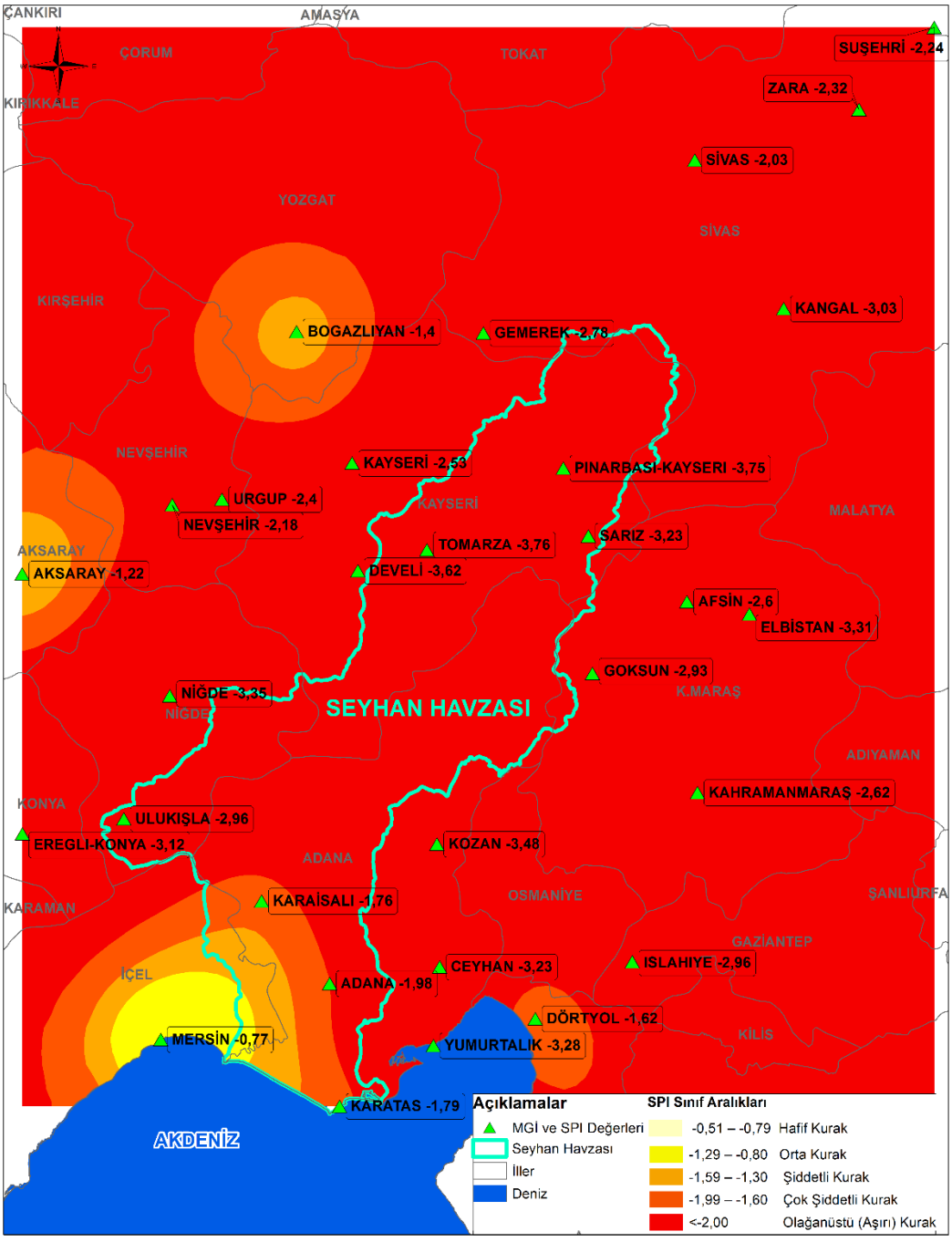
Şekil 8.28 2001 Ocak ayı için 3 aylık SPI değerlerine göre alansal kuraklık analizi

12. 1989 yılı Haziran ayı için 6 aylık SPI değerleri kullanılarak elde edilen kuraklık haritası incelendiğinde, Seyhan Havzası'nın genelinde olağanüstü kuraklığın hakim olduğu gözlenmiştir. Mersin MGİ çevresinde ise çok şiddetli kuraklık gözlenmiştir (Şekil 8.29).



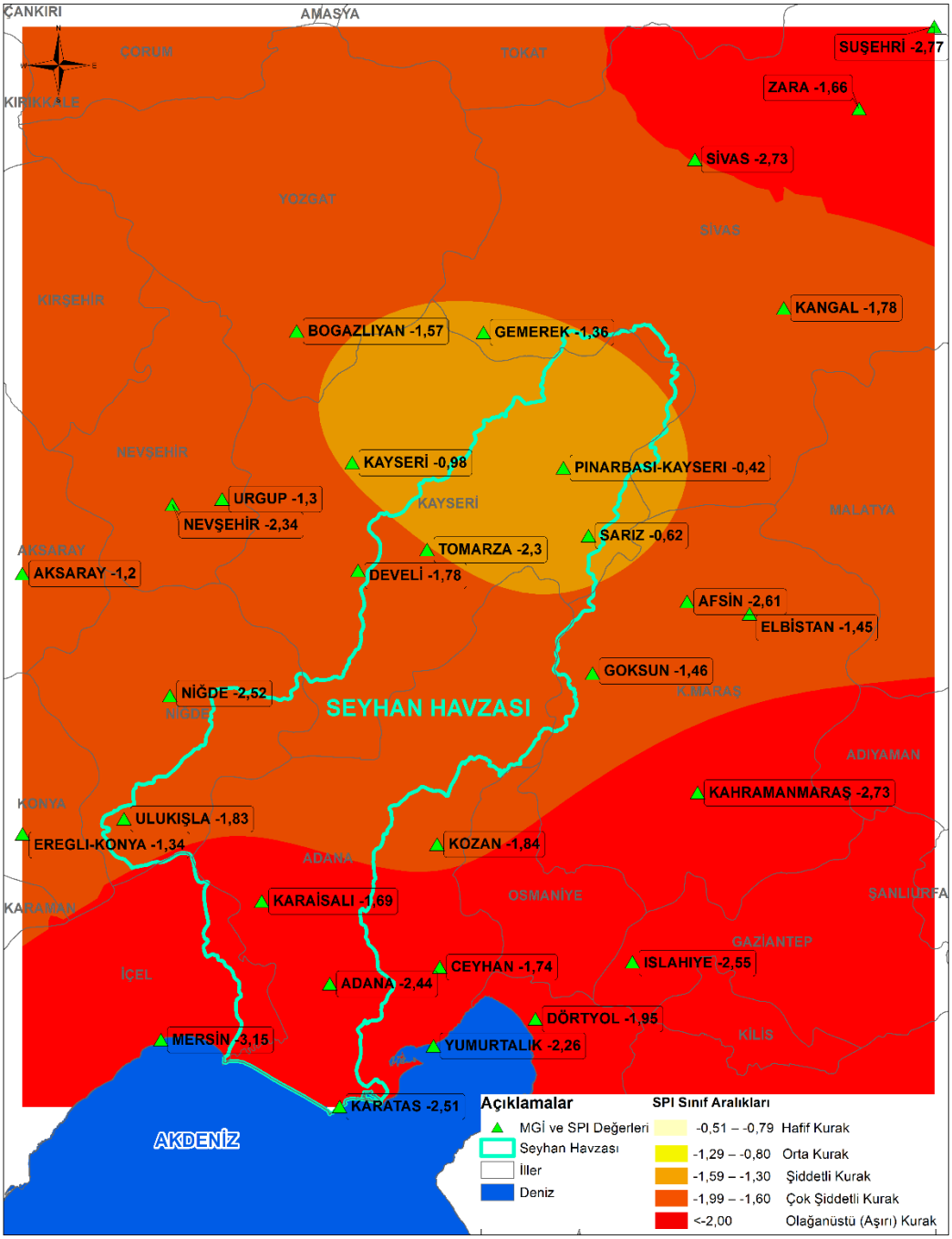
Şekil 8.29 1989 Haziran ayı için 6 aylık SPI değerlerine göre alansal kuraklık analizi

13. 1989 yılı Mayıs ayı için 6 aylık SPI değerleri kullanılarak elde edilen kuraklık haritası incelendiğinde, Seyhan Havzası'nın genelinde olağanüstü kuraklığın hakim olduğu gözlenmiştir. Mersin MGİ çevresinde ise şiddetli kuraklık gözlenmiştir (Şekil 8.30).



Şekil 8.30 1989 Mayıs ayı için 6 aylık SPI değerlerine göre alansal kuraklık analizi

14. 1973 yılı Ekim ayı için 12 aylık SPI değerleri kullanılarak elde edilen kuraklık haritası incelendiğinde, Seyhan Havzası'nın mansap kısmında olağanüstü kuraklık, orta kesiminde çok şiddetli kuraklık, memba kesiminde ise şiddetli kuraklık gözlenmiştir (Şekil 8.31).



Şekil 8.31 1973 Ekim ayı için 12 aylık SPI değerlerine göre alansal kuraklık analizi

8.2 Öneriler

1. Kuraklık çalışmalarında güvenilir sonuçların elde edilebilmesi açısından kullanılan veri uzunluğu çok önemli olmaktadır. Özellikle su kaynaklarını ilgilendiren, meteorolojik ve hidrolojik çalışmalarda kullanılacak kayıtların tutulması, kolay erişimin sağlanması ve analiz sonuçlarının paylaşılması için bir altyapı oluşturulması gerekmektedir.

2. Diğer kuraklık indislerinin de hesaplanabilmesi için MGİ'lerde ölçülen diğer rasatların da düzenli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Böylelikle SPI ile diğer kuraklık indislerinin sonuçları karşılaştırılabilecek ve hangi indisin çalışma alanında daha iyi sonuç verdiği tespit edilebilecektir.

3. Kuraklıklarla ilgili yönetim planlarının hazırlanması ve su kaynaklarına olumsuz etkilerinin azaltılması için kuraklıkların bir merkez tarafından sürekli izlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, kuraklık izleme sistemi geliştirilmeli ve erken uyarı sistemi oluşturulmalıdır.

4. Kuraklık indisleri kullanılarak geçmişe yönelik yapılan kuraklık analizleri, kuraklık karakteristikleri olan şiddet, süre ve frekans bilgilerini elde etmemize olanak sağladığından önem arz etmektedir.

5. Türkiye'nin en verimli tarım arazilerine sahip Seyhan Havzası'nda, meteorolojik kuraklığın ardından gerçekleşecek olan ve toprak neminde azalmadan dolayı oluşan tarımsal kuraklığın etkileri fazla hissedilecektir. Seyhan Havzası için yapılacak tarımsal kuraklık analizi önem arz etmektedir.

6. IPCC, Seyhan Havzası'nın da içinde yer aldığı Akdeniz Bölgesi'ni küresel ısınmaya karşı en hassas ve savunmasız bölge olarak tespit etmiştir. Bu sebeple Seyhan Havzası'nda, küresel ısınma sonucu ortaya çıkabilecek iklim değişikliği ile ilgili çalışmalara önem verilmelidir.

KAYNAKLAR

Alexandersson, H. ve Moberg, A. (1997). Homogenization of Swedish temperature data. part I: Homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology*, 25-34.

Akhtari, R., Morid, S., Mahdian, M.H. ve Smakhtin, V. (2009). Assesment of real interpolation methods for spatial analysis of SPI and EDI drought indices. *International Journal of Climatology, 29*, 135-145.

Aydın, O. ve Çiçek, İ. (2013). Ege Bölgesi'nde yağışın mekânsal dağılımı. *Coğrafi Bilimler Dergisi CBD, 11 (2)*, 101-120.

Bayazıt, M., Cığızoğlu, H.K. ve Önöz, B. (2002). Türkiye akarsularında trend analizi. *TMH - Su Kaynaklarının Geliştirilmesi ve Yönetimi Mühendislik Haberleri, 420-421-422 /4-5-6*, 8-10

Bayazıt, M. ve Önöz, B. (2008). *Taşkın ve kuraklık hidrolojisi* (1. Baskı). İstanbul: Nobel.

Bigiarini, M.Z. (2014). Goodness-of-fit functions for comparison of simulated and observed hydrological time series. *Package 'hydroGOF' R Studio, CRAN*

Bryant, E.A. (1993). *Natural hazards*, Cambridge, Cambridge University Press.

Buttafuoco, G., Caloiero, T. ve Coscarelli, R. (2015). Analyses of drought events in Calabria (Southern Italy) using Standardized Precipitation Index. *Water Resources Management*, 557-573.

Childs, C. (2004). Interpolating surfaces in ArcGIS Spatial Analyst. *ESRI Education Services*, 32-35.

Colorado Climate Center. (b.t). *SPI defined.* 2 Ekim 2015, climate.colostate.edu/pub/spi.pdf

Çaldağ, B., Şaylan, L., Toros, H., Sırdaş, S. ve Bakanoğulları, F. (2004). Drought analysis in northwest Turkey. *Role of Multi-Purpose Agriculture In Sustaining Global Environment Udine, Italy*, 175-180.

Çiçek, İ. ve Aydın, O. (2014). Türkiye'de yıllık ortalama yağışın mekânsal dağılımının farklı jeoistatistik teknikleri kullanılarak belirlenmesi. *Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Sonuç Raporu*.

Dahal, P., Shrestha, N.S., Shrestha, M.L., Krakauer, N.Y., Panthi, J., Pradhanang, S.M. ve diğer. (2016). Drought risk assessment in central Nepal: temporal and spatial analysis. *Natural Hazards*, 1913–1932.

De Carvalho, A.J. ve Dos Santos, A.S. (2003). Homogeneity analysisof portuguese SST time series, *The Second Joint Commission for Oceanography and Marine Meteorology.* CLIMAR-II Presentation

Doğan, S., Berktay, A. ve Singh, V.P. (2012). Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, 470–471, 255–268.

Drought Management Centre for Southeastern Europe (DMCSEE). (2007). *Drought bulletins and maps*. 15 Aralık 2015, www.dmcsee.org/en/drought_monitor/

ESRI (2009). *ArcGIS 9 Using ArcGIS geostatistical analyst.* 3 Mayıs 2016, dusk2.geo.orst.edu/gis/geostat_analyst.pdf

ESRI (2010). *ArcGIS 10 Geostatistical analyst tutorial.* 3 Mayıs 2016, help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/pdf/geostatistical-analyst-tutorial.pdf

Europan Drought Observatory (EDO) (b.t.). *Drought monitoring*. 15 Aralık 2015, do.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1111

Food and Agriculture Organization of United Nations.(FAO) (1983). *The State of Food and Agriculture (FAO) World review: the situation in Sub-Saharan Africa Women in developing agriculture.* 22 Ekim 2015, www.fao.org/docrep/017/ap663e/ap663e.pdf

Gumbel, E.J. (1963). Statistical forecast of droughts. *Bulletin of the International Assocation of Science Hydrology, 8 (1), 5-23.*

Huang, J., Sun, S., Xue ,Y., Li, J. ve Zhang, J. (2014a). Spatial and temporal variability of precipitation indices during 1961–2010 in Hunan Province, central south China. *Theoretical and Applied Climatology*, 581-595.

Huang, J., Sun, S., Xue, Y., Li, J. ve Zhang, J. (2014b). Spatial and temporal variability of precipitation and dryness/wetness during 1961–2008 in Sichuan Province, west China. *Water Resource Management*, 1655-1670

International Research Institute for Climate and Society (IRI) (b.t). *Drought mapping*, 10 Aralık 2015, iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.IRI/.Analyses/.SPI/

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2007). 10 Ekim 2015, www.ipcc.ch/

Jaewon, K., Yeon, S. K., Jong, S.L. ve Hung Soo, K. (2012). Drought severity-duration-frequency analysis of hydrological drought based on copula theory. *Hydrology Days, Colarado State University* ,82-89.

Karavitis, C.A., Alexandris S., Tsesmelis, D. E. ve Athanasopoulos G. (2011). Application of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Greece. *Water Journal, 3*, 787-805

Keskin, M.E., Terzi, Ö., Taylan, E.D. ve Küçükyaman, D. (2009). Meteorological drought analysis using data-driven models for the Lakes District, Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 1114-1124.

Kim, C.J., Park, M. J. Ve Lee, J.H. (2013). Analysis of climate change impacts on the spatial and frequency patterns of drought using a potential drought hazard mapping approach. *Internatıonal Journal of Clımatology, Wiley Online Library*

Lee, J.H. ve Kim, C.J. (2013). A multimodel assessment of the climate change effect on the drought severity–duration–frequency relationship. *Hydrological Processes*, *27*, 2800–2813.

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*, 247-255.

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,* 179-183.

McKee, T. B., Doesken, N. J. ve Kleist, J. (1994). Drought monitoring with multiple time scales. *9th Conference on Applied Climatology,* 233-236.

Mishra, A.K., Singh, V.P., (2009). Analysis of drought severity–area–frequency curves using a general circulation model and scenario uncertainty. *Journal of Geophysical Research*, 114

Mishra, A.K. ve Singh, V.P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology , (391),* 202–216.

Monacelli, G., Galluccio, M.C., Abbafati, M.(2005). Drought within the context of the region Vı. *Working Group On Hydrology Regional Association Vı (Europe) Tenth Sessıon.*

National Drought Mitigation Center (NDMC). (b.t). *Program to calculate Standardized Precipitation Index.* 2 Ekim 2015, drought.unl.edu/monitoringtools/downloadablespiprogram.aspx drought.unl.edu/portals/0/docs/spi-program-alternative-method.pdf

National Integrated Drought Information System (NIDIS). (b.t.). 15 Aralık 2015, www.drought.gov/drought/

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (b.t.). 15 Aralık 2015, www.noaa.gov/

Önöz, B. ve Bayazıt, M. (2003). The power of statistical tests for trend detection. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 27*, 247-251.

Palmer W.C. (1965). *Meteorological drought, U.S. Weather Bureau, Research Paper,45, 58.* 13 Mayıs 2016, https://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/docs/palmer.pdf

Panofsky, H. ve Brier, G. (1958). *Some applications of statistics to meteorology*. Pennsylvania: The Pennsylvania State University Press.

Partal, T., ve Kahya, E. (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes, 20,* 2001-2006

Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics, 2*, 126-135.

Pohlert, T. (2016). Non-parametric trend tests and change-point detection. *Package 'trend', R Studio, CRAN*

Ramazanipour, M., Roshani, M. ve Aveily, J.G. (2011). The relationship of drought ıntensity, duration and frequency in the southern coast of Caspian Sea. *World Applied Sciences Journal, 15 (8),* 1176-1180.

Reddy, M.J. ve Ganguli, P. (2012). Application of Copulas for derivation of drought severity–duration–frequency curves. *Hydrological Processes, 26,* 1672–1685.

Salmi, T., Maata, A., Antilla, P., Ruoho-Airola, T. ve Amnell, T. (2002.) Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the MannKendall Test and Sen's Slope estimates - the Excel template application Makesens. *Finnish Meteorological Institute.*

Saravi, M.M., Safdari, A.A. ve Malekian, A. (2009). Intensity-duration-frequency and spatial analysis of droughts using the Standardized Precipitation Index. *Hydrology and Earth System Science, 6,* 1347–1383.

Schneider, S. H. (1996). *Encyclopaedia of cimate and weather.* New York: Oxford University Press

Shamsuddin, S. ve Behrawan, H. (2008). Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. *Nataral Hazards, 46,* 391-413.

Sırdaş, S. ve Şen, Z. (2003). Spatio-temporal drought analysis in the Trakya region, Turkey. *Hydrological Sciences–Journal*, 809-820.

Sönmez, F.K., Kömüscü, A.Ü., Erkan, A. ve Turgu, E. (2005). An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the Standardized Precipitation Index. *Natural Hazard*s, 35, 243–264.

Statistics Solutions. (2003). *One simple t-test.* 10 Mayıs 2016, www.statisticssolutions.com/manova-analysis-one-sample-t-test/

Svoboda, M.D., Fuchs, B.A., Poulsen, C.C. ve Nothwehr, J.R.(2015). The drought risk atlas: Enhancing decision support for drought risk management in the United States. *Journal of Hydrology, 526,* 274-286.

Şen, Z. (2009). *Kuraklık afet ve modern hesaplama yöntemleri*. İstanbul: Su Vakfı

Şimşek, O. ve Çakmak, B. (2010). Drought analysis for 2007-2008 agricultural year of Turkey. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 99-109.

T.C. Afet ve Acil Durum Yönetim Merkezi (AFAD) (b.t.). *Kuraklık.* 09 Haziran 2016, http://www.icisleriafad.gov.tr/kuraklik

T.C. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) ve Temelsu A.Ş. (Aralık 2012). *Seyhan Havzası master plan ara raporu*. 10 Ekim 2015. http://bolge06.dsi.gov.tr/

T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) (b.t.). *Kuraklık izleme sistemi 2.1*. 09 Aralık 2015, 212.175.180.197/bitkidon/kuraklikizleme.aspx

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı (2015). *Corine projesi*. 12 Nisan 2016, corine.ormansu.gov.tr/corineportal/index.html

T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı (2008). *Türkiye tarımsal kuraklıkla mücadele stratejisi ve eylem planı (2008-2012).* 22 Mayıs 2016, http://iklim.cob.gov.tr/iklim/Files/Stratejiler/Tarimsal%20kuraklik%20stratejisi%20eylem%20eylem%20plan%C4%B1%2031mart%202008.pdf

Tabari, H., Abghari, H. ve Talaee, P.H. (2012). Temporal trends and spatial characteristics of drought and rainfall in arid and semiarid regions of Iran. *Hydrological Processes*, 3351–3361.

Tabari, H., Marofi, S., Aeini, A., Talaee, P.H. ve Mohammadi, K. (2011). Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology, 151*, 128–136.

Tatlı, H. ve Türkeş, M. (2011a). Palmer kuraklık şiddeti ve Standartlaştırılmış Yağış İndislerinin Türkiye üzerinde karşılaştırılması. *5. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu Bildiri Kitabı*, 231-239.

Tatlı, H. ve Türkeş, M. (2011b). Türkiye'nin kurak ve nemli koşullarının model çıktı istatistiği (MOS) ile incelenmesi. *5. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu Bildiri Kitabı*, 219-229.

Thom, H.C.S. (1966). *Some methods of climatological analysis*. Secretariat of the World Meteorological Organization.

Topçu, S., Sen, B. ve Türkes, M. (2010). Observed and projected changes in drought conditions of Turkey. *The International Conference on Economics of Drought and Drought Preparedness in the Mediterranean, CIHEAM*, 123-127.

Tosunoğlu, F. (2014). *Türkiye'deki meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların atmosferik salınımlarla olan ilişkilerinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.

Tsakiris, G. ve Vangelis, V. (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *Europan Water, 9 (10),* 3-11.

Tsakiris, G., Nalbantis, I., Pangalou, D., Tigkas, D.ve Vangelis, H. (2008). Drought meteorological monitoring network design for the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Research Gate*. 12 Nisan 2016, https://www.researchgate.net/publication/238622031

Türkiye Bilimsel Ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Çevre Enstitüsü (ÇE). (2010). *Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi - Seyhan Havzası 5098115 Proje Nihai Raporu*, *Cilt I,* 459. www.cygm.gov.tr/CYGM/AnaSayfa/SuToprakYonetimi/HavzaKoruma.aspx?sflang=tr

UN Secreteriat. (1994). *United Nations convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa (UNCCD). 22 Ekim 2015,* www.unccd.int/convention/text/pdf/conv-eng.pdf

Usul, N. (2008). *Mühendislik hidrolojisi* (1. Baskı). Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı.

Wilhite, D.A. ve Glantz, M.H. (1987). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. in: planning for drought: Toward a reduction of societal vulnerability. *Westview Press, Boulder, Colorado*, 11-30.

World Meteorological Organization (WMO). (1996). *WMO drought inıtıatıves: High-Level Meeting on National Drought Policy (HMNDP) and Integrated Drought Management Programme (IDMP). 22 Ekim 2015,* www.wmo.int/pages/prog/wcp/drought/index_en.php

World Meteorological Organization (WMO). (2012). *Standardized Precipitation Index User Guide, 1090.* 15 Şubat 2015, http://www.wamis.org/agm/pubs/SPI/WMO_1090_EN.pdf

World Meteorological Organization (WMO) Integrated Drought Management Programme (IDMP) (2016). *Handbook of drought indicators and indices. No 1173*, 45.

Xu, K., Yang, D., Yang H., Li, Z., Qin, Y. ve Shen, Y. (2015). Spatio-temporal variation of drought in China during 1961–2012: A climatic perspective. *Journal of Hydrology, 526,* 253–264

Yerdelen, C. (2013). Susurluk Havzası yıllık akımlarının trend analizi ve değişim noktasının araştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, (44)*, 77-87.

Yevjevich, V. (1967). An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. *Hydrology Papers 23, Colorado State University Forth Collins.*

Yevjevich, V., Cunha, L.D. ve Vlachos, E. (1983). Coping with droughts. *Water Resources Publications, Littleton, CO, 417.*

Yıldız, O. (2009). Assessing temporal and spatial characteristics of droughts in the Hirfanlı Dam basin, Turkey. *Scientific Research and Essay*, 249-255.

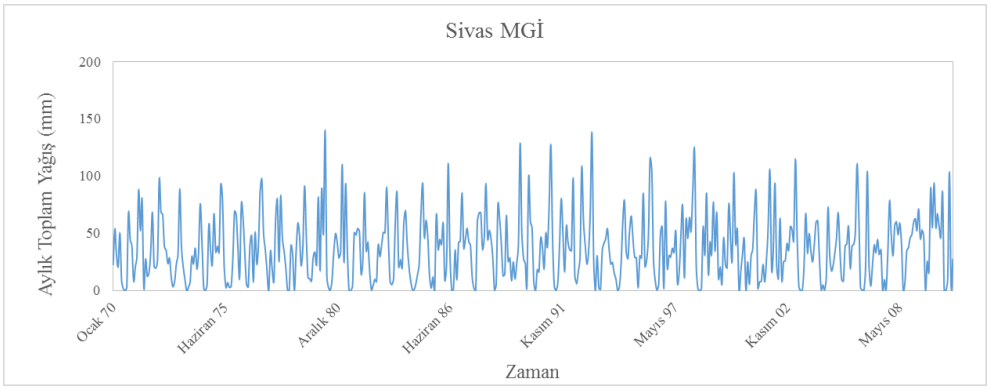
EKLER

Ek 1 Kısaltmalar

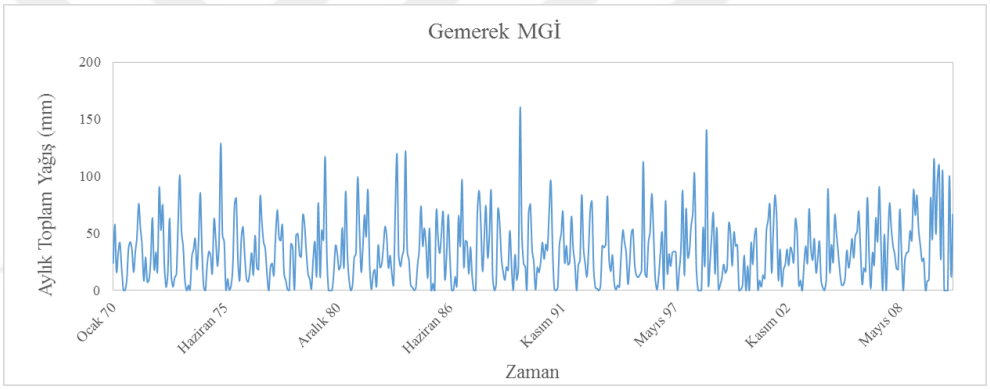
SPI	Standartlaştırılmış Yağış İndisi
EDI	Etkili Kuraklık İndisi
CZI	Çin Z İndisi
SDI	Akış Kuraklık İndisi
SRI	Standartlaştırılmış Akış İndis
FI	Akış İndisi
PN	Normalin yüzdesi
RDI	Kuraklık Arama İndisi
SPEI	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi
PDSI	Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi
SWSI	Yüzey Suyu Temini İndisi
CMI	Ekin Nemi İndisi
CWDI	Ekin Suyu Oluşum İndisi
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü
IPCC	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
UNCCD	Birleşmiş Milletler Kuraklık ve Çölleşme ile Mücadele Kongresi
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MGİ	Meteoroloji Gözlem İstasyonu
DSİ	Devlet Su İşleri
ÇEM	Çölleşme ve Erozyonla Mücadele
TRGM	Tarım Reformu Genel Müdürlüğü
TAGEM	Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü
EDO	Avrupa Kuraklık Gözlemevi
EDC	Avrupa Kuraklık Merkezi
DMCSEE	Güneydoğu Avrupa Kuraklık Yönetimi Merkezi
NDMC	Ulusal Kuraklık Önleme Merkezi - Lincoln, ABD
NOAA	Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi
NIDIS	Ulusal Entegre Kuraklık Bilgilendirme Sistemi
IRI	Uluslararası İklim ve Çevre Araştırma Enstitüsü

Ek 2 Yağışların ve SPI Değerlerinin Zamana Bağlı Değişim Grafikleri

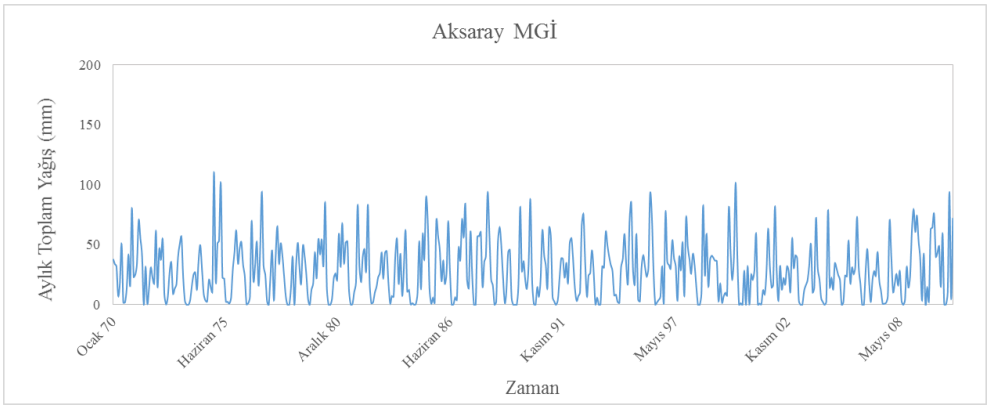
Ek 2.A Aylık Toplam Yağışların Zamana Bağlı Değişimi



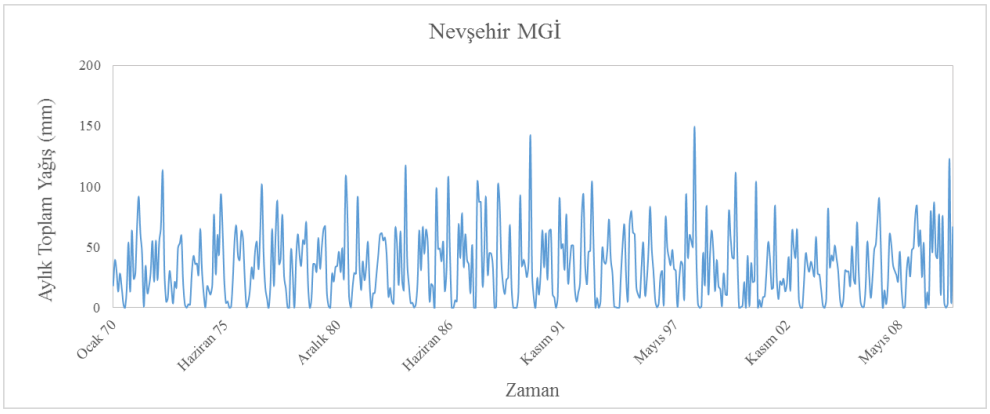
Şekil A.1 Sivas MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



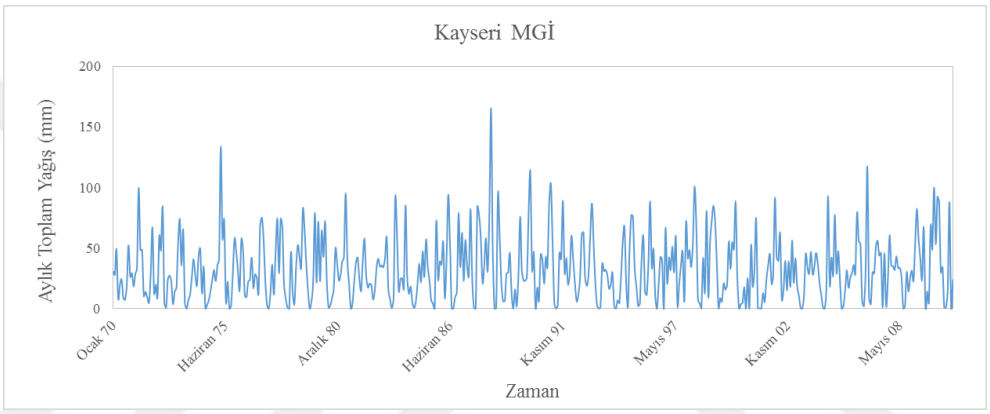
Şekil A.2 Gemerek MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



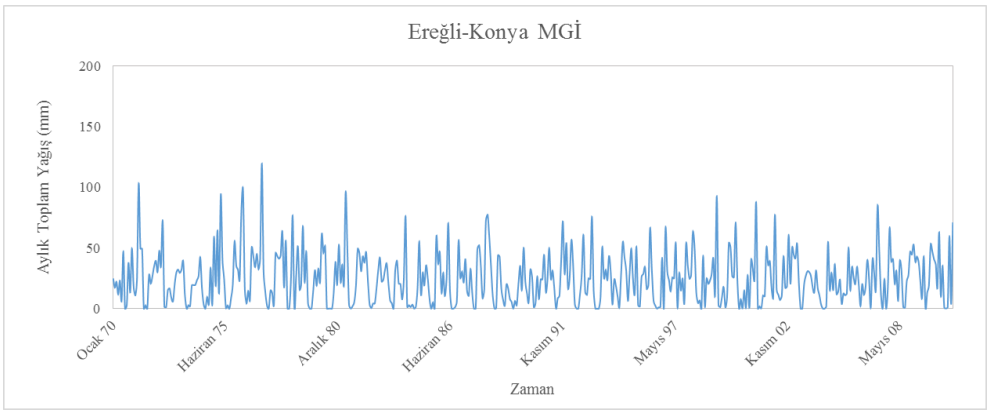
Şekil A.3 Aksaray MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



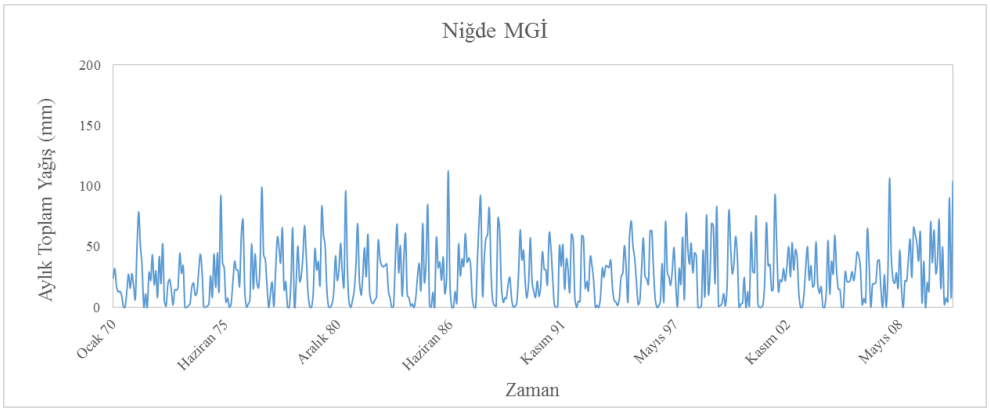
Şekil A.4 Nevşehir MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



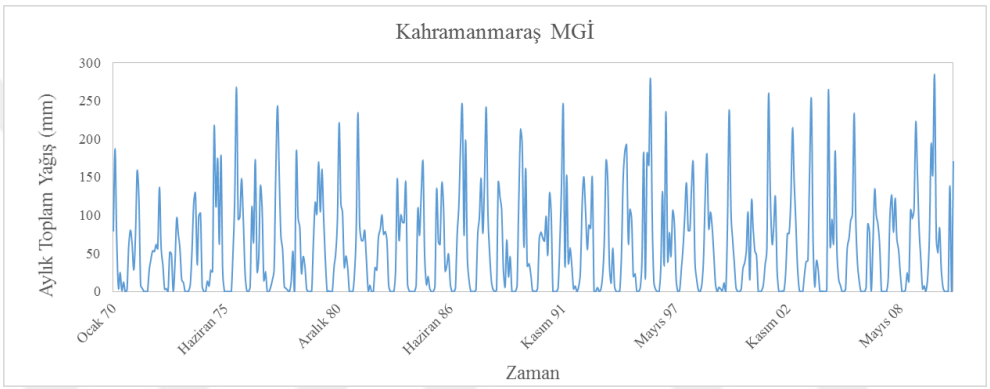
Şekil A.5 Kayseri MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



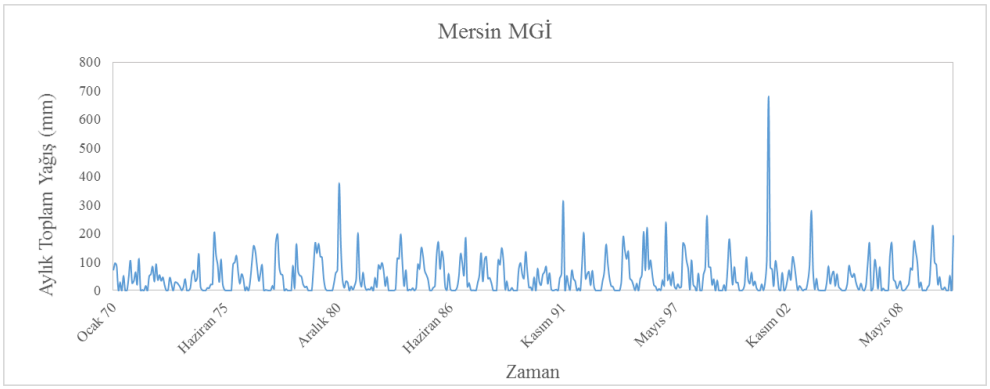
Şekil A.6 Ereğli-Konya MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



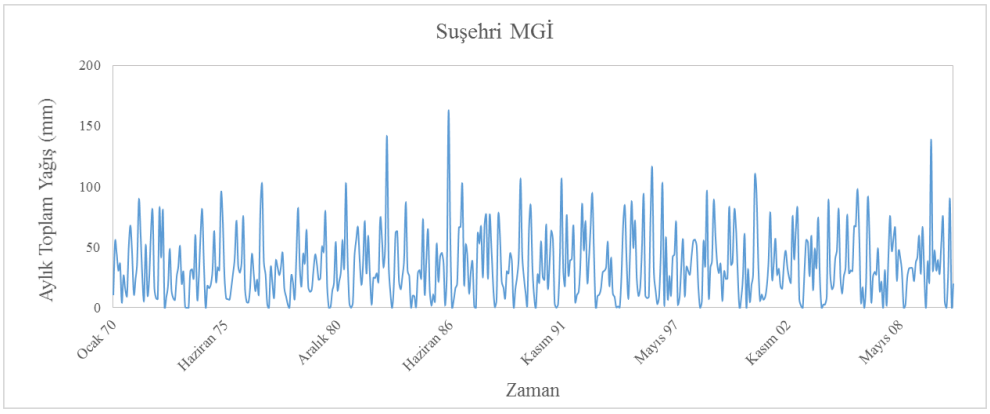
Şekil A.7 Niğde MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



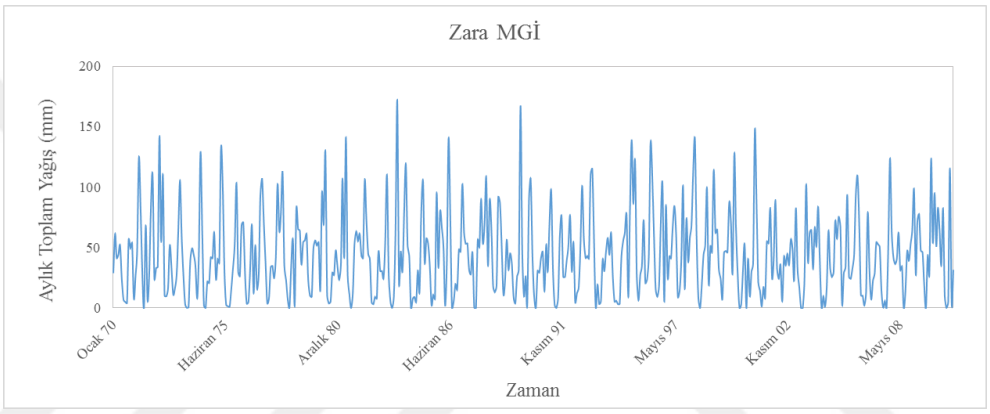
Şekil A.8 Kahramanmaraş MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı Değişimi



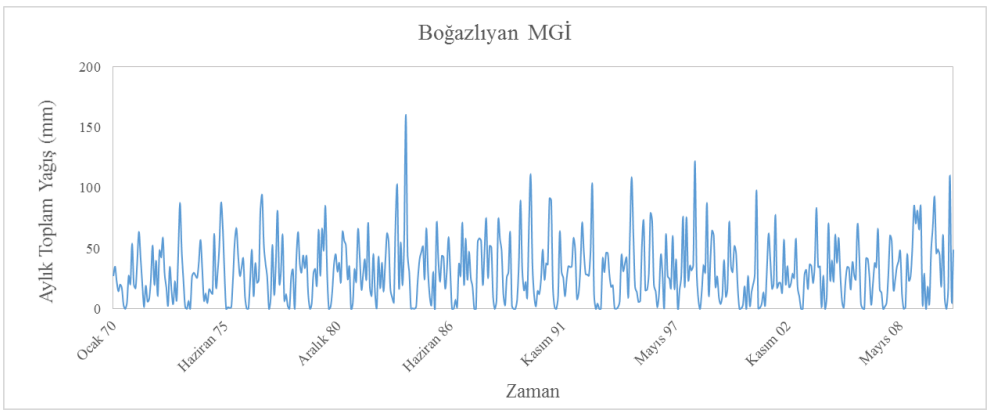
Şekil A.9 Mersin MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



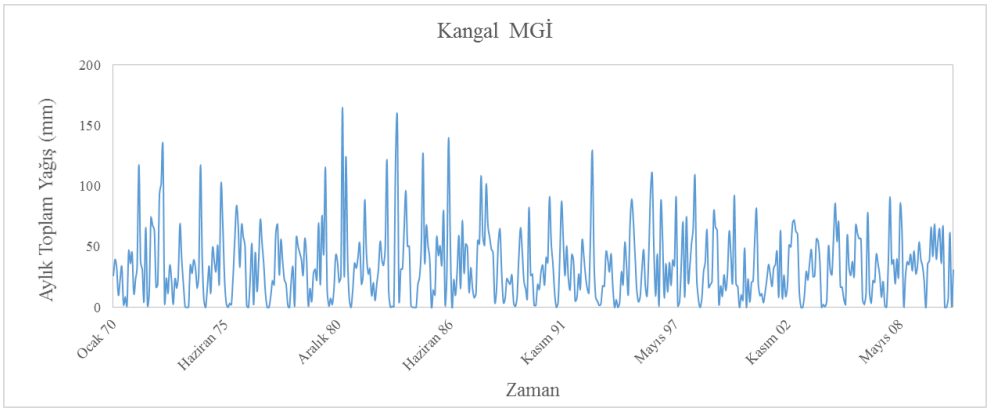
Şekil A.10 Suşehri MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



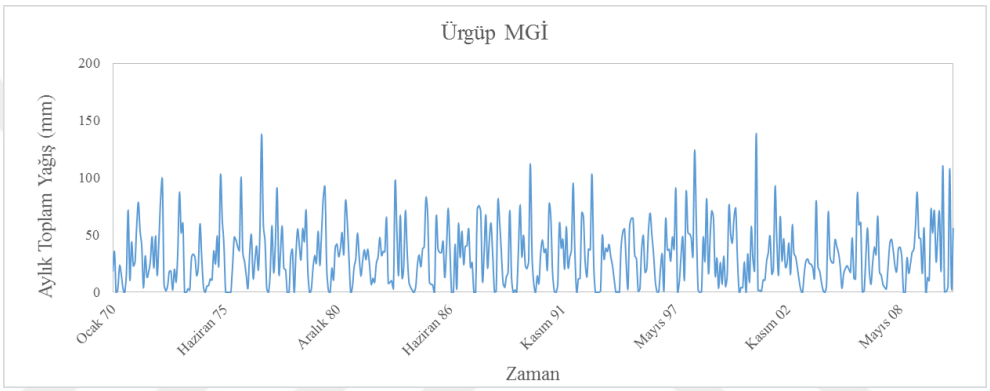
Şekil A.11 Zara MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



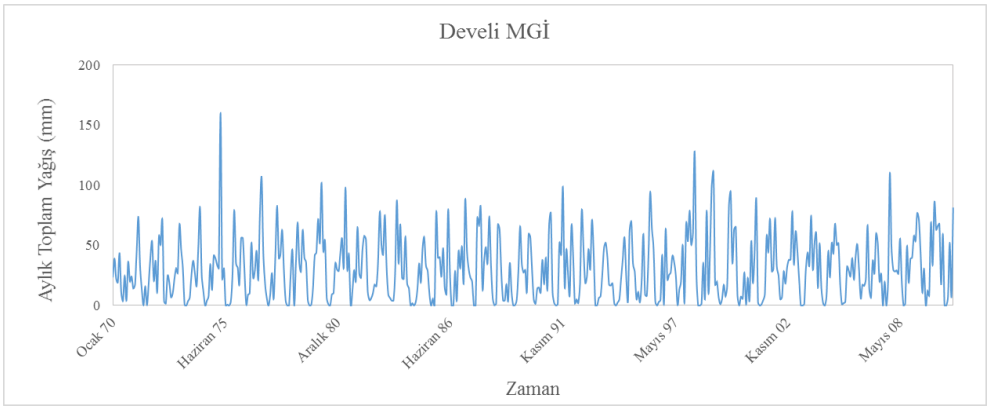
Şekil A.12 Boğazlıyan MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



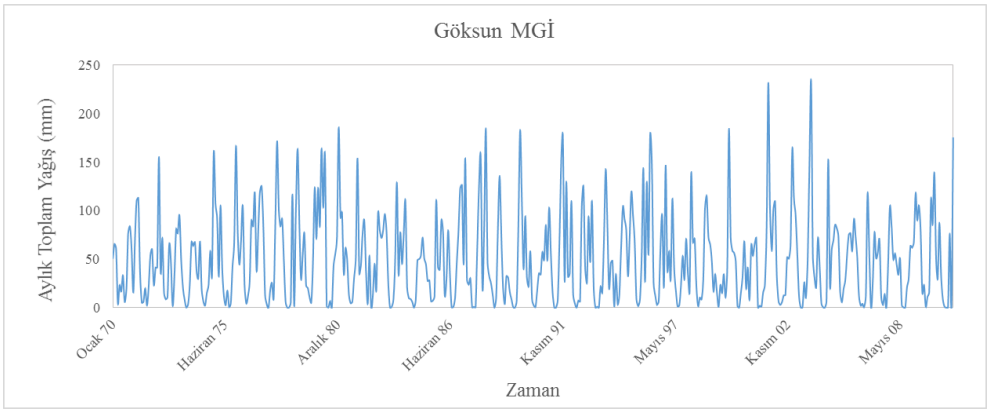
Şekil A.13 Kangal MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



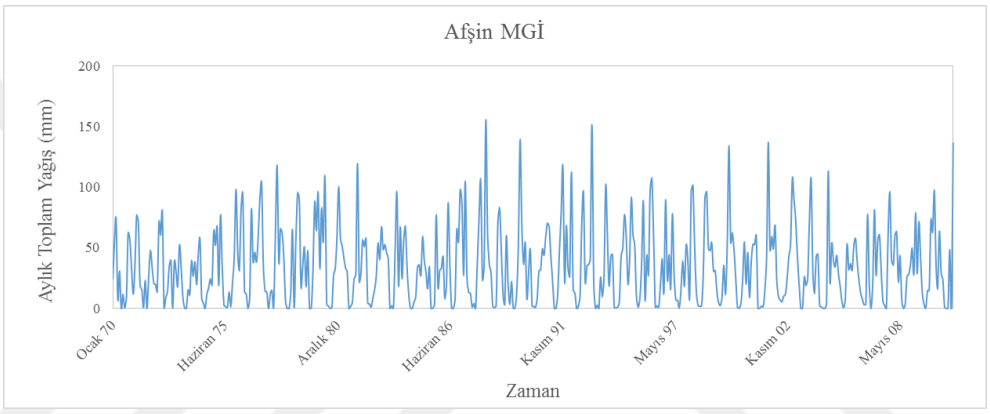
Şekil A.14 Ürgüp MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



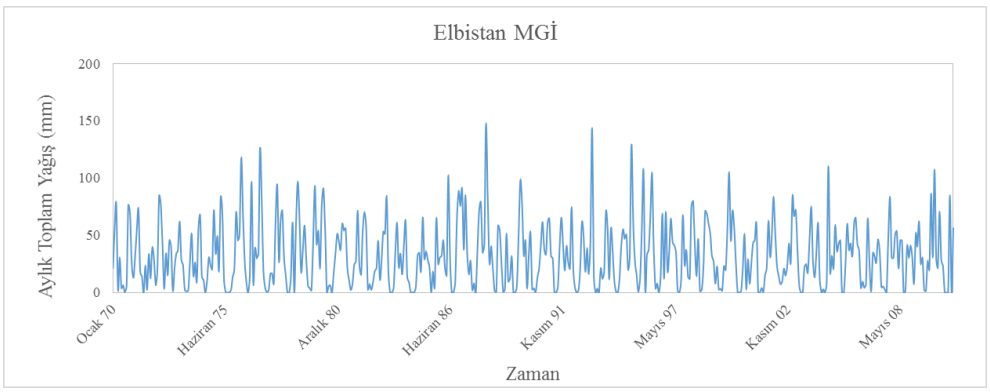
Şekil A.15 Develi MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



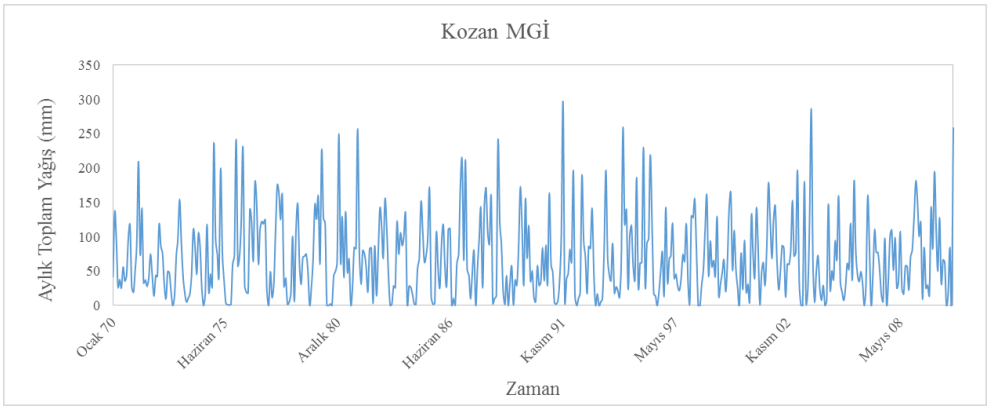
Şekil A.16 Göksun MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



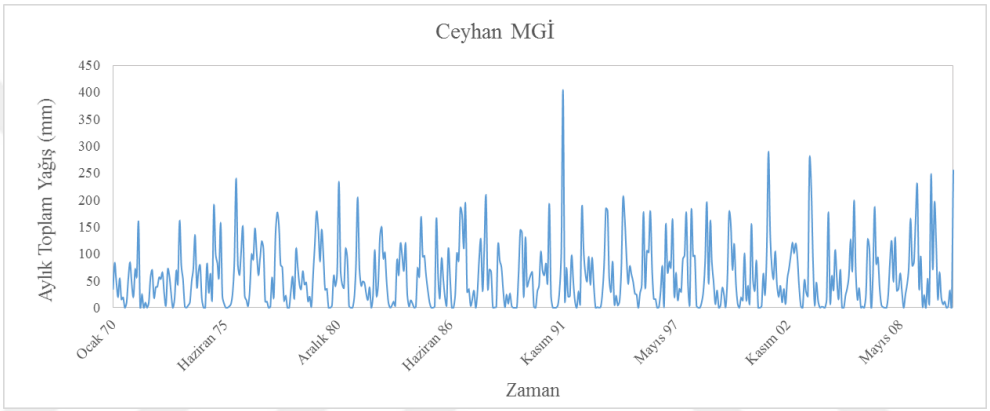
Şekil A.17 Afşin MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



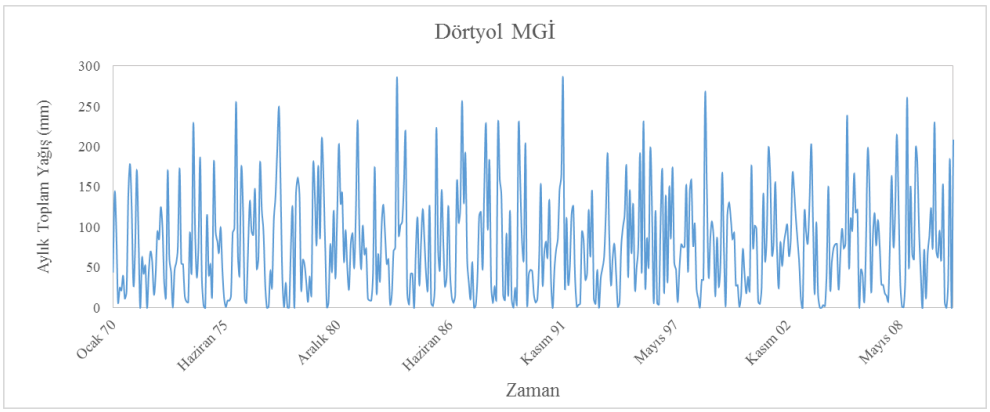
Şekil A.18 Elbistan MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



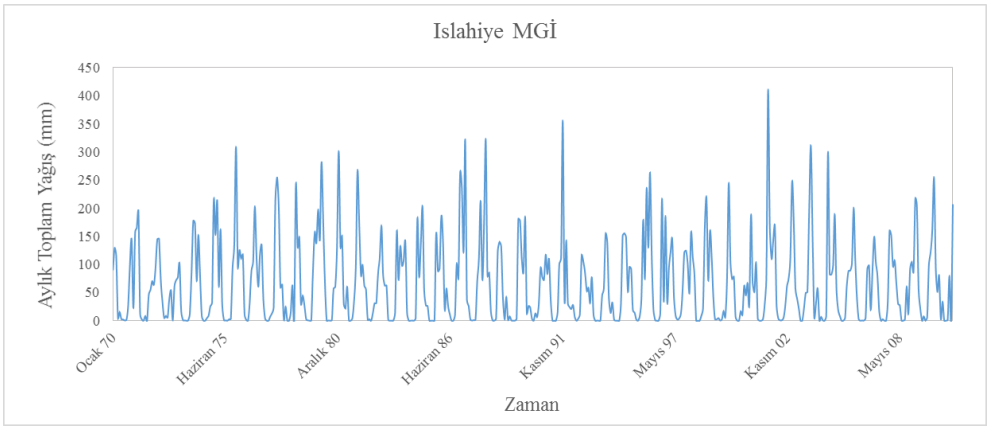
Şekil A.19 Kozan MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



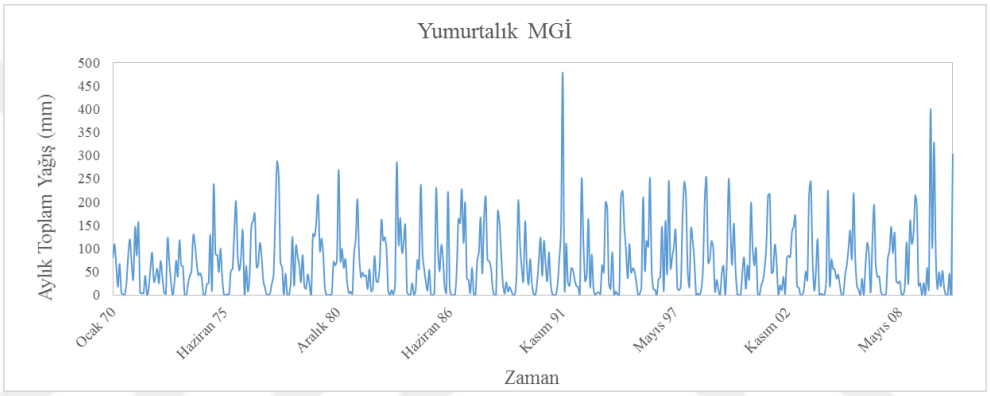
Şekil A.20 Ceyhan MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



Şekil A.21 Dörtyol MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi

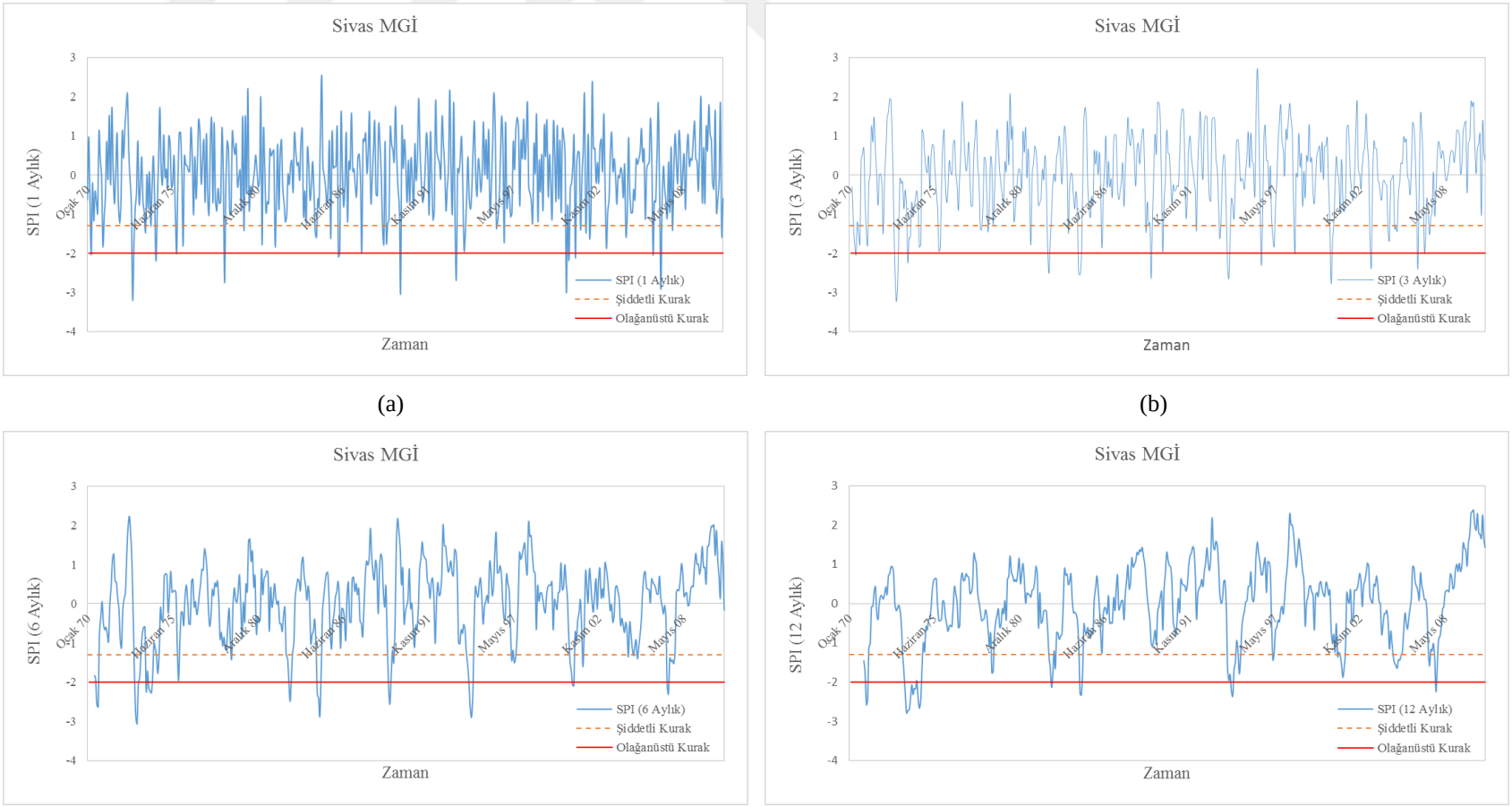


Şekil A.22 Islahiye MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi



Şekil A.23 Yumurtalık MGİ'de gözlemlenmiş aylık toplam yağış miktarının (mm) zamana bağlı değişimi

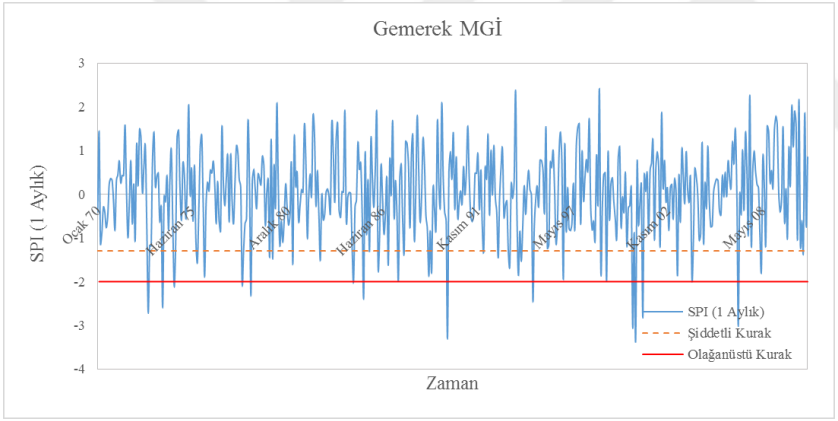
Ek 2.B 1, 3, 6 ve 12 Aylık SPI Değerlerinin Zamana Bağlı Değişimi



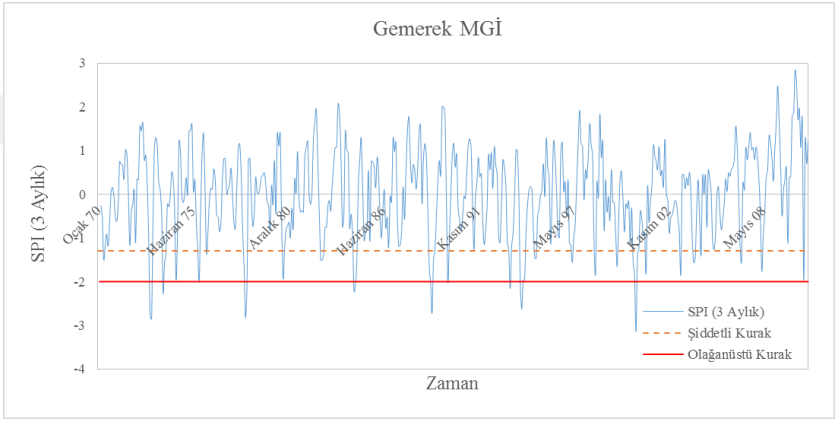
(a) (b)

(c) (d)

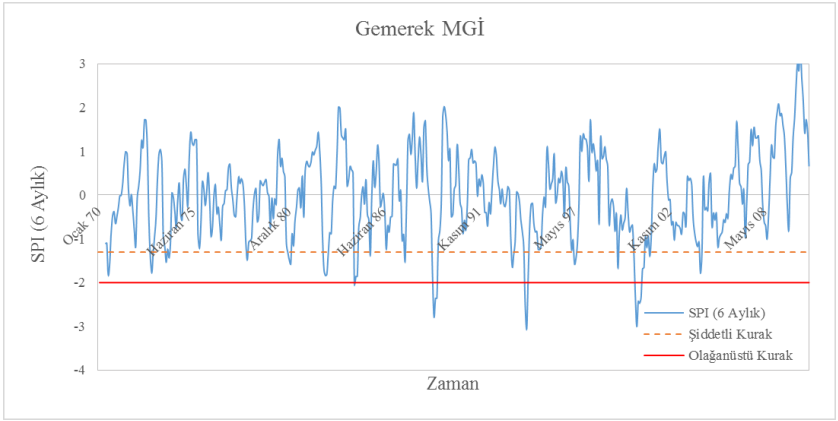
Şekil B.1 Sivas MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



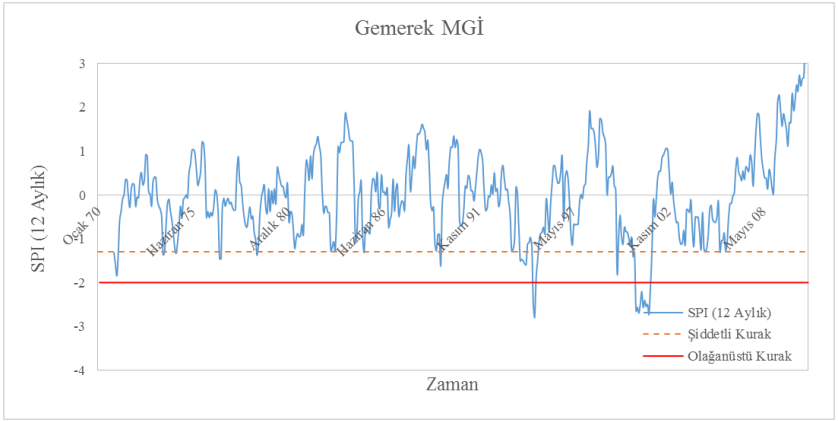
(a)



(b)

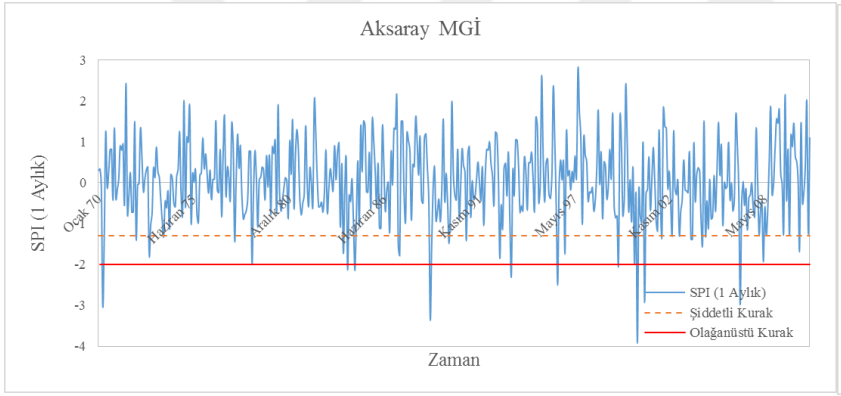


(c)

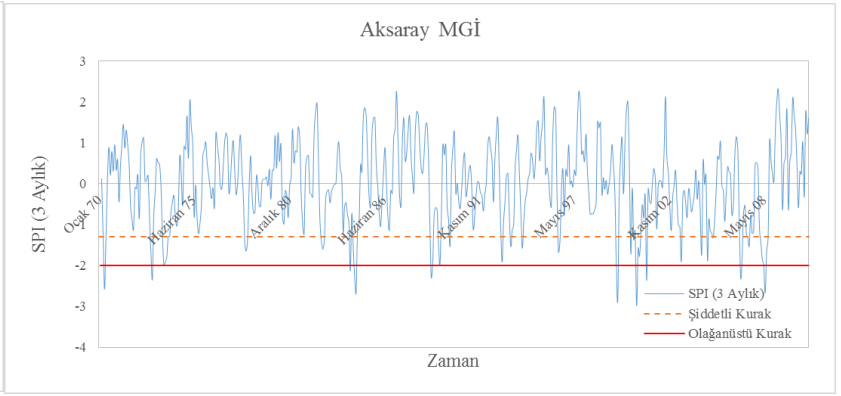


(d)

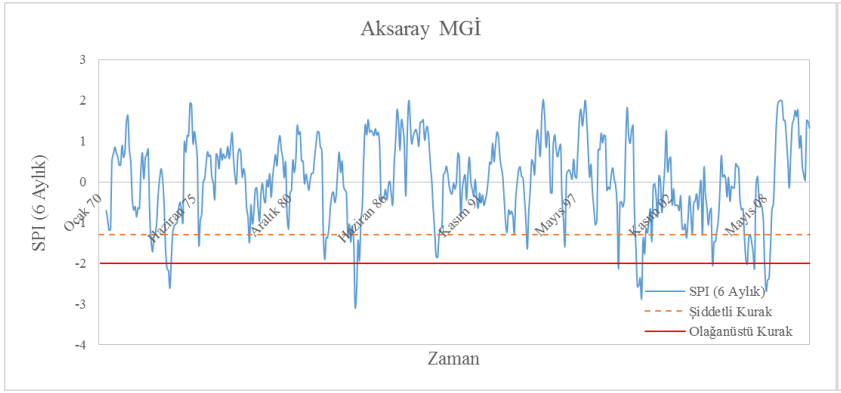
Şekil B.2 Gemerek MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



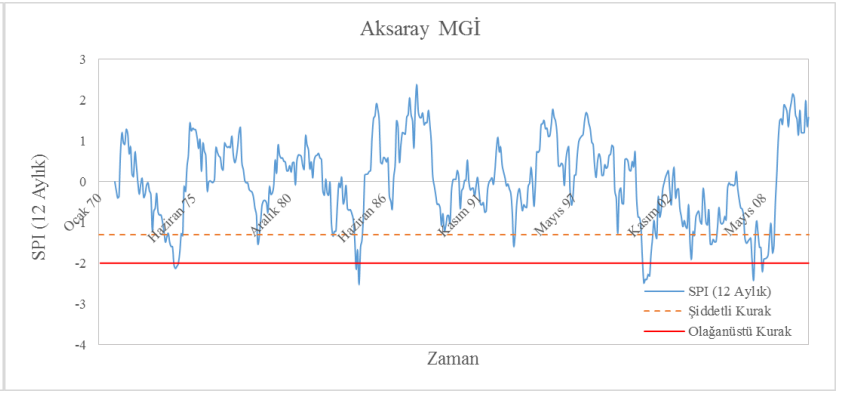
(a)



(b)

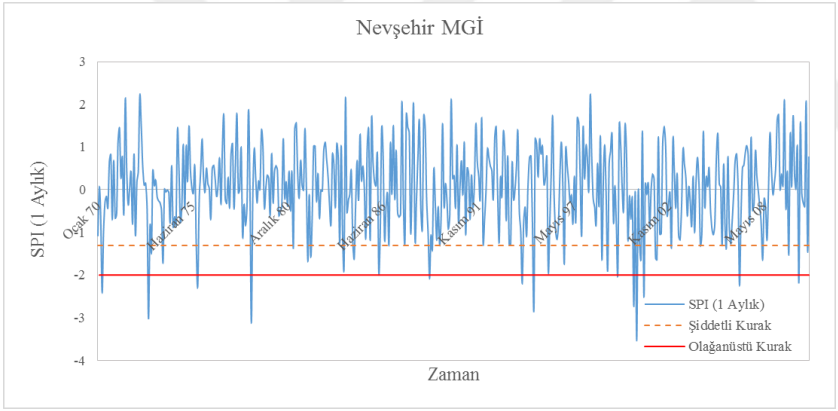


(c)

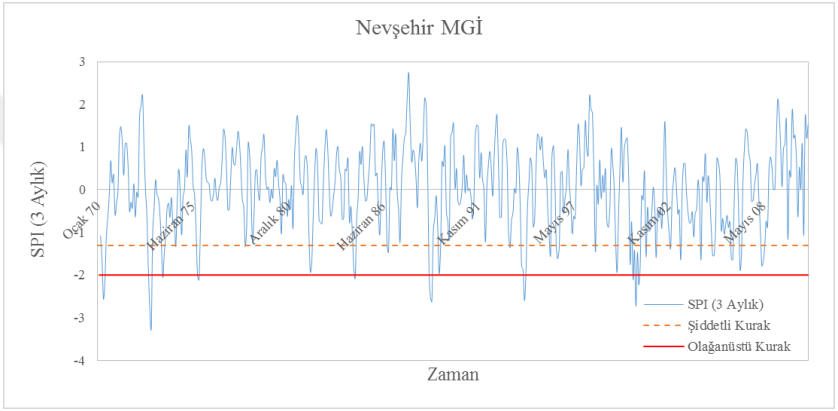


(d)

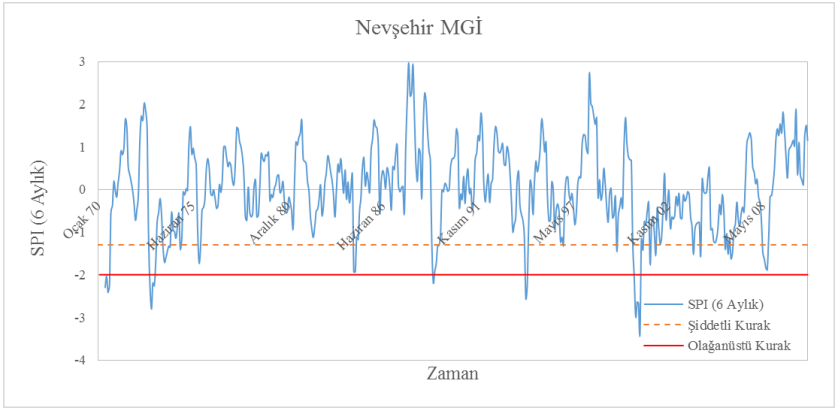
Şekil B.3 Aksaray MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



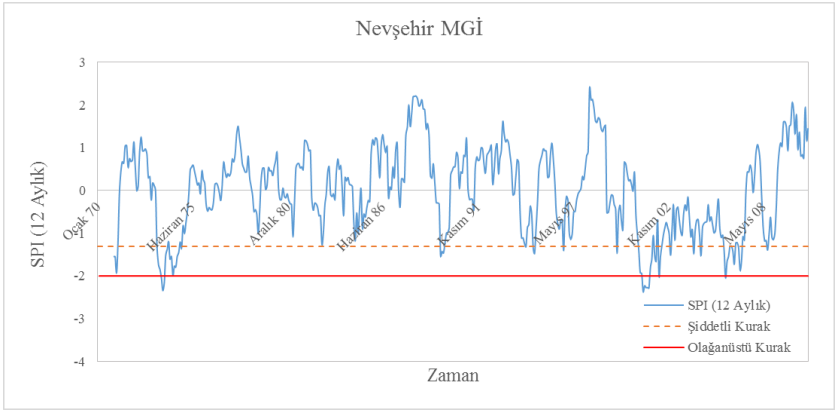
(a)



(b)

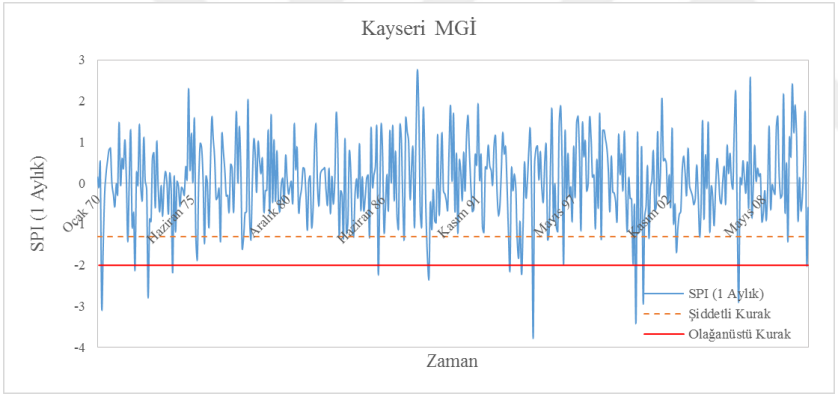


(c)

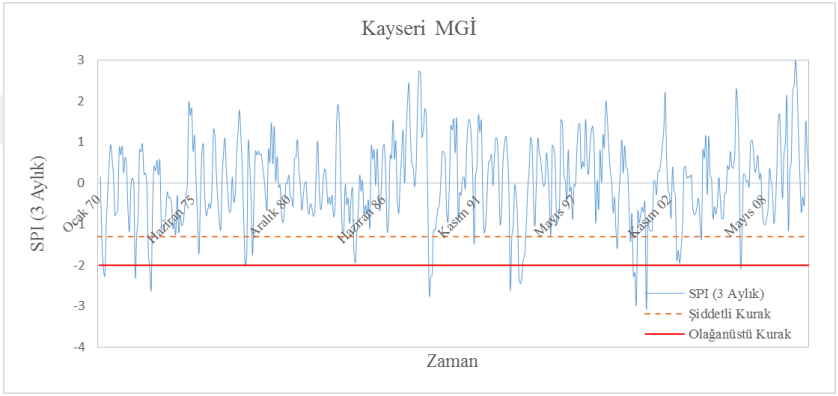


(d)

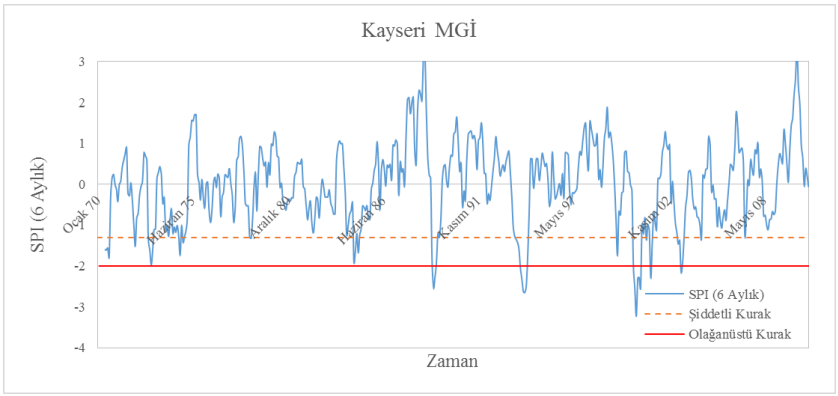
Şekil B.4 Nevşehir MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



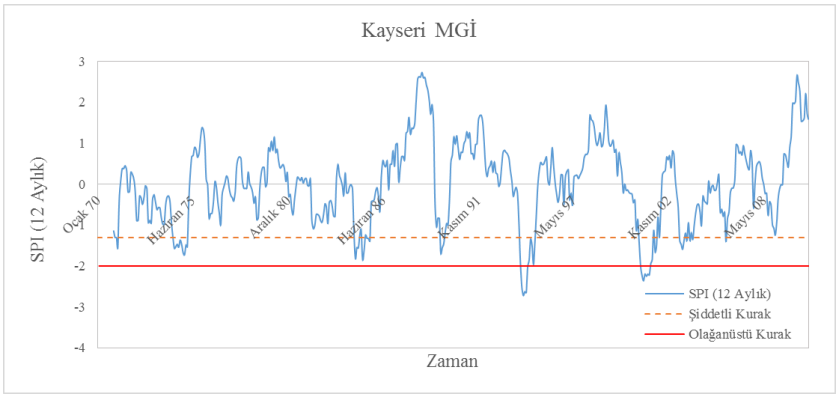
(a)



(b)

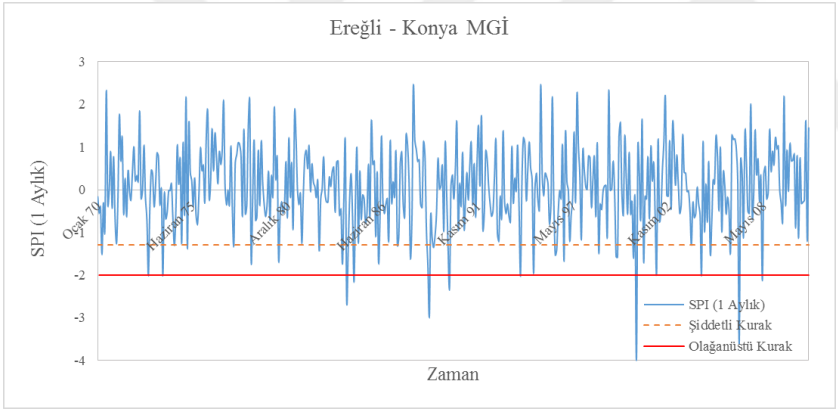


(c)

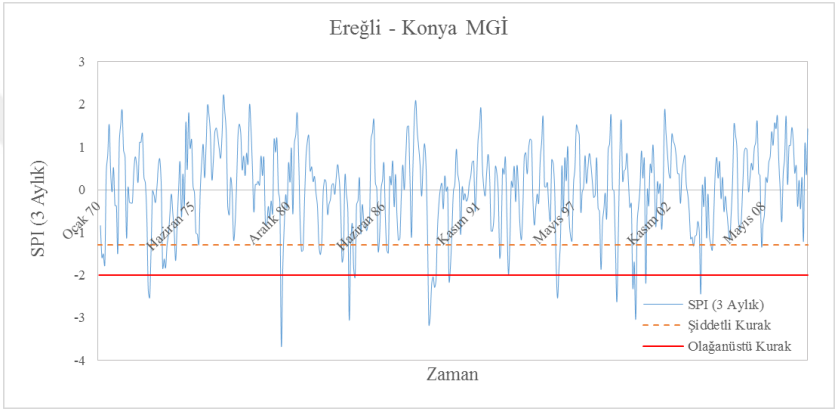


(d)

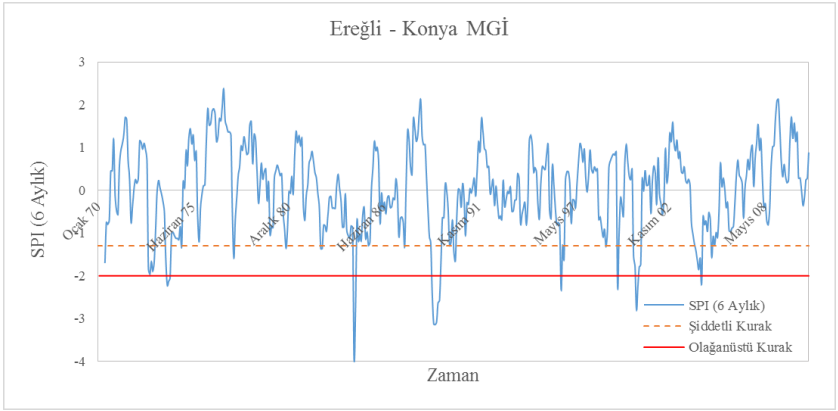
Şekil B.5 Kayseri MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



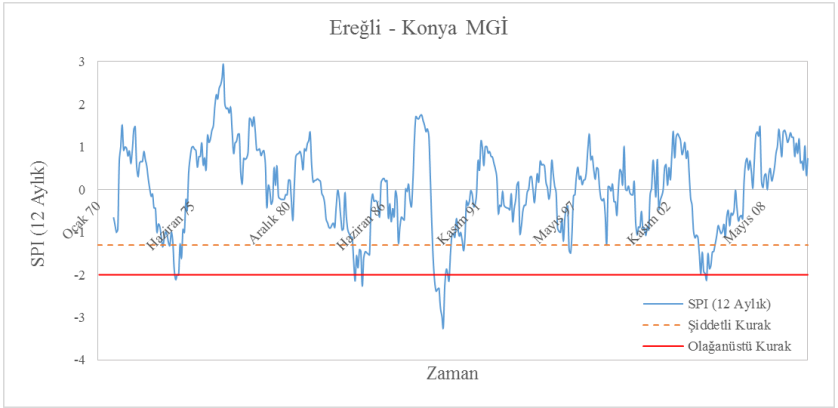
(a)



(b)

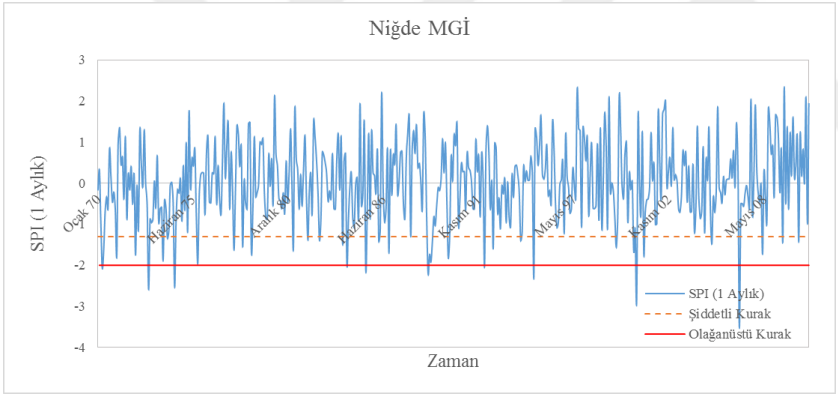


(c)

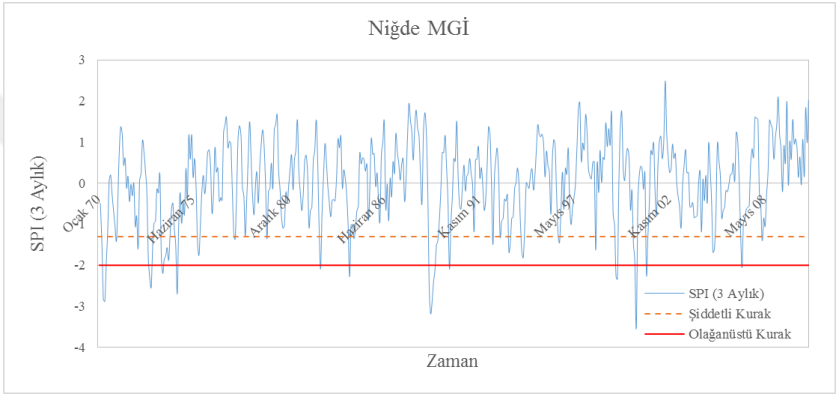


(d)

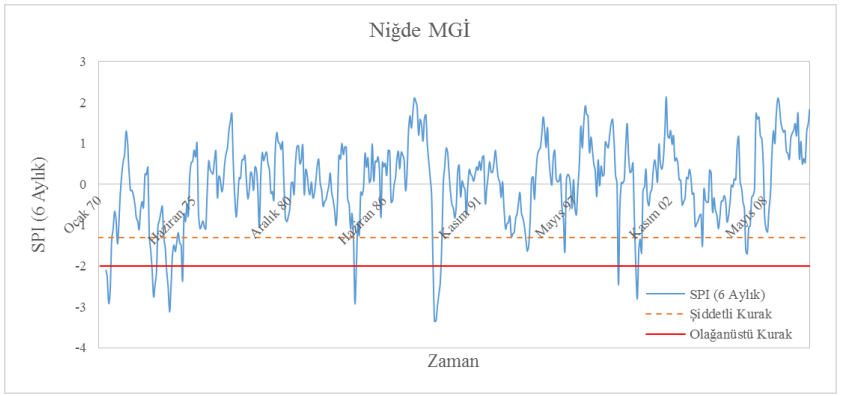
Şekil B.6 Ereğli-Konya MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



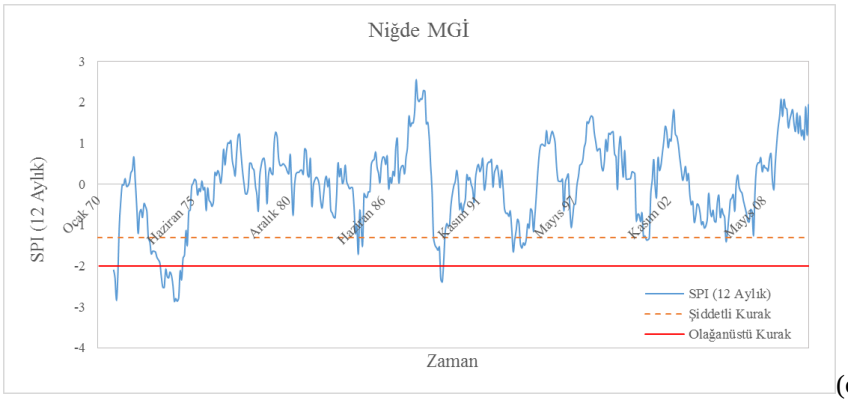
(a)



(b)

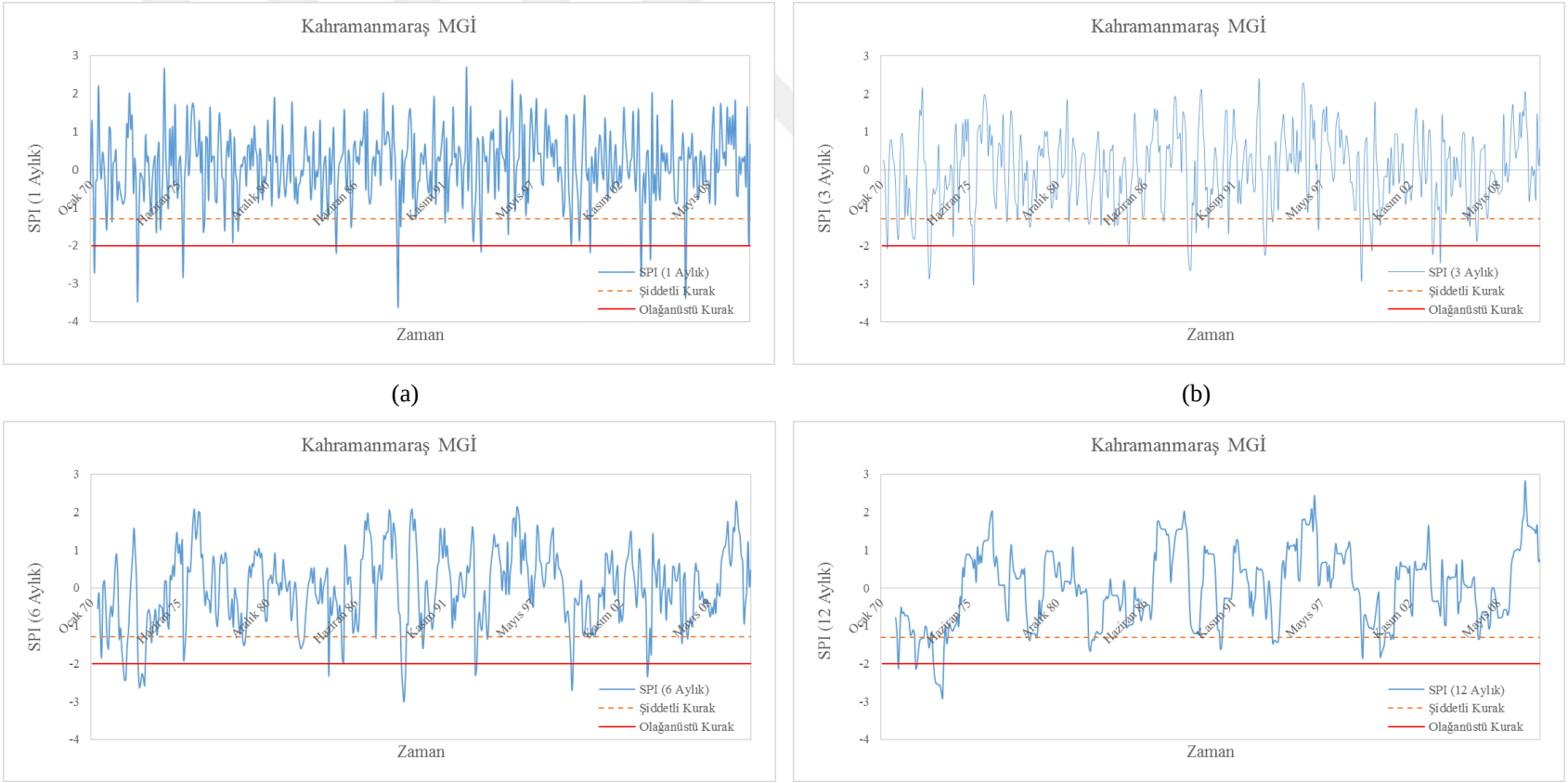


(c)



(d)

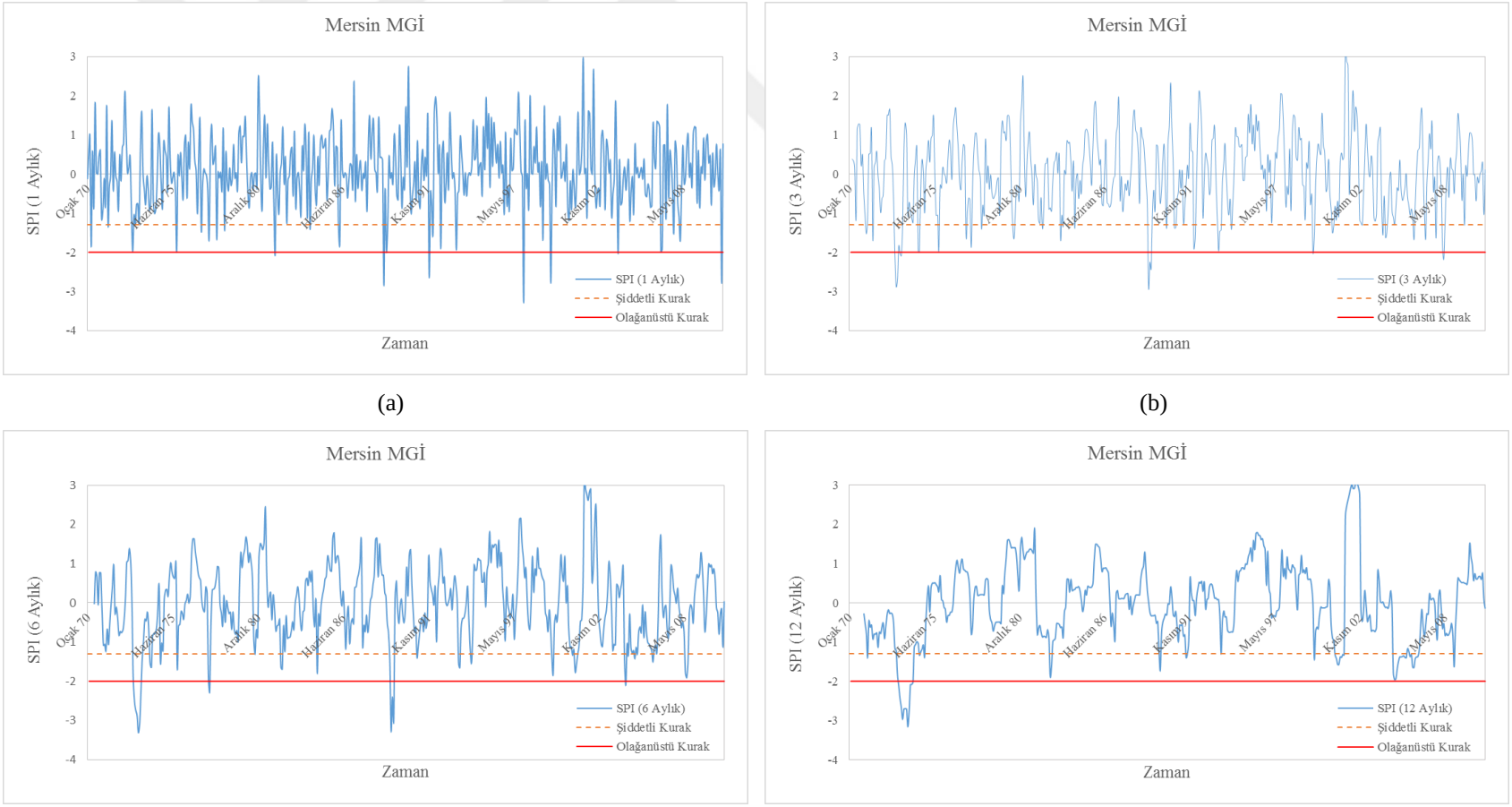
Şekil B.7 Niğde MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



(a) (b)

(c) (d)

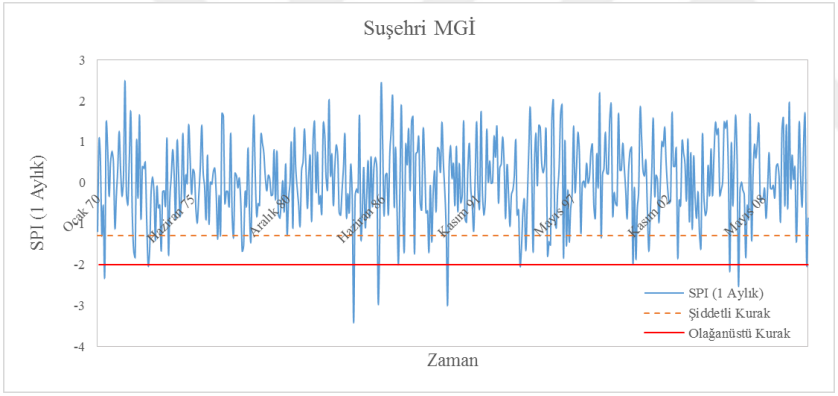
Şekil B.8 Kahramanmaraş MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



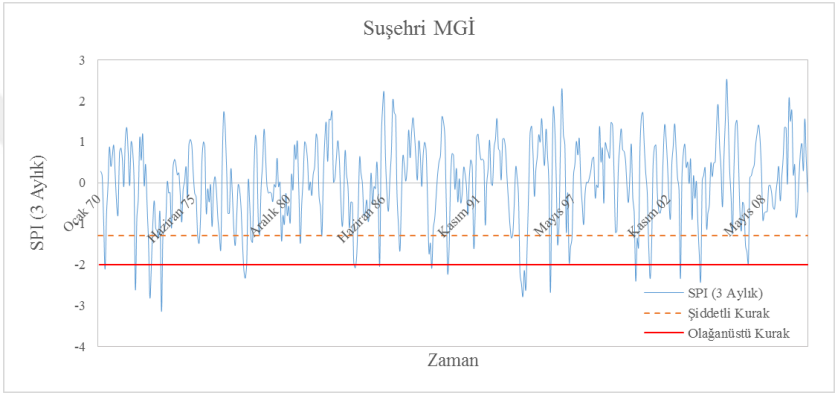
(a) (b)

(c) (d)

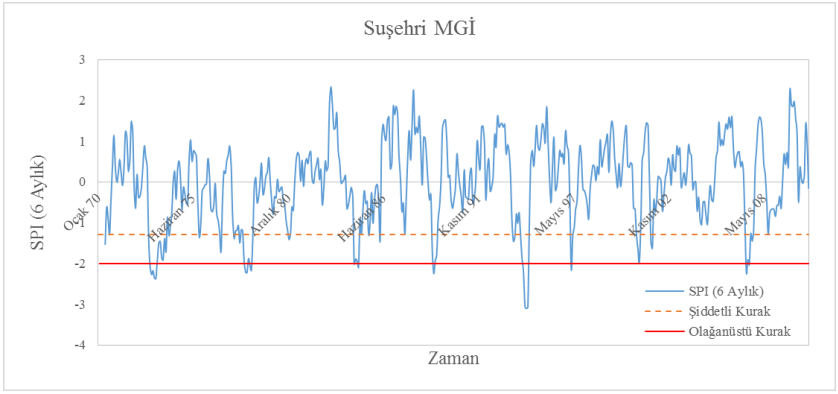
Şekil B.9 Mersin MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



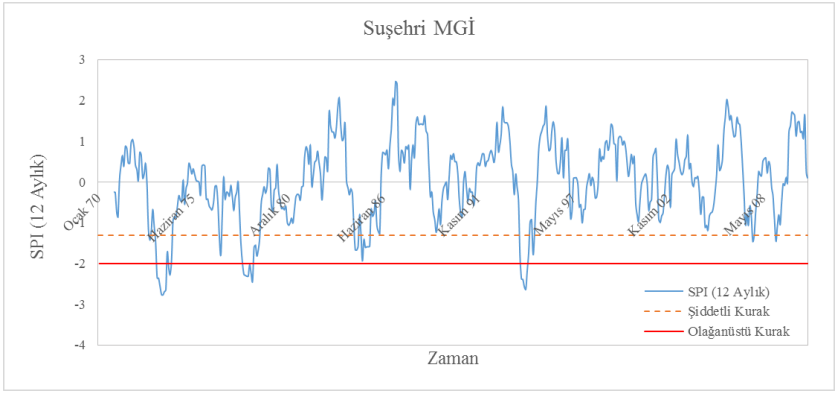
(a)



(b)

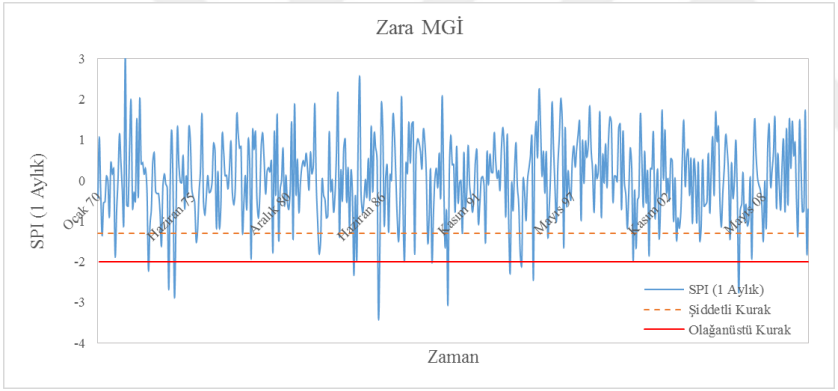


(c)

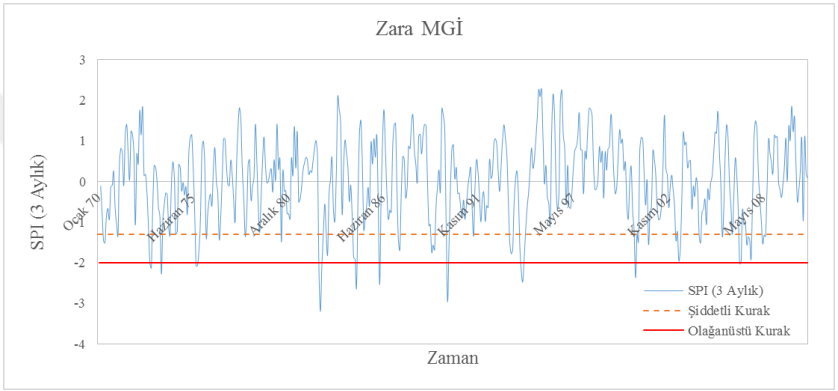


(d)

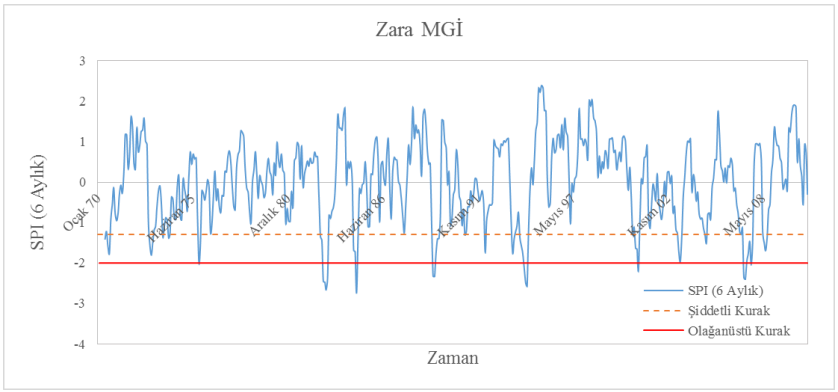
Şekil B.10 Suşehri MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



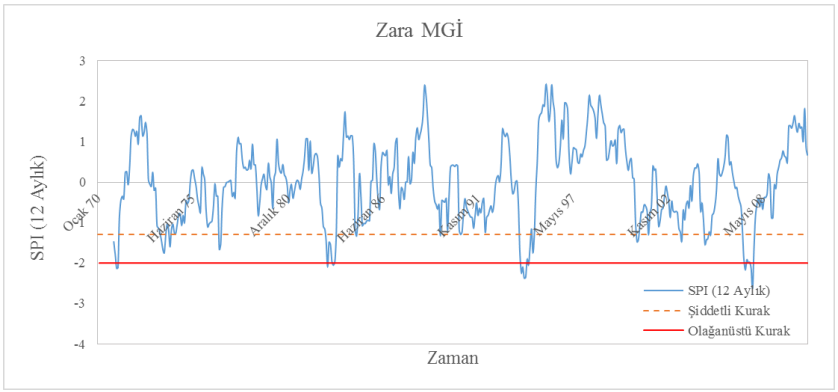
(a)



(b)

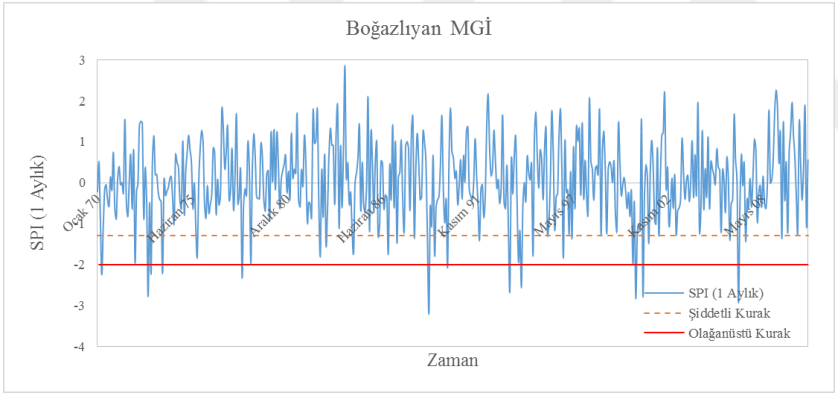


(c)

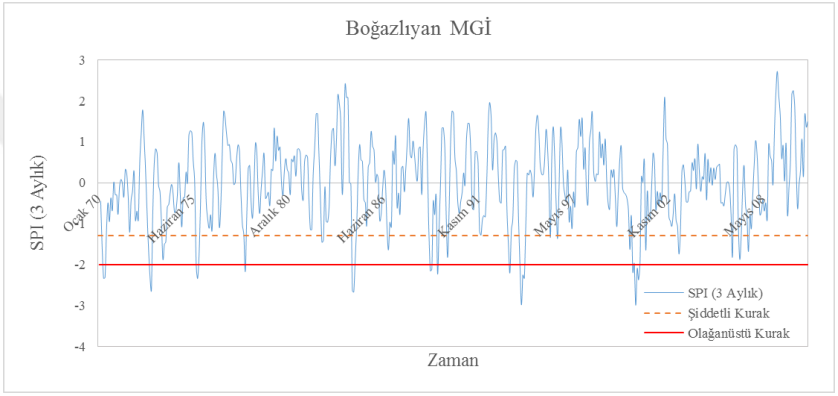


(d)

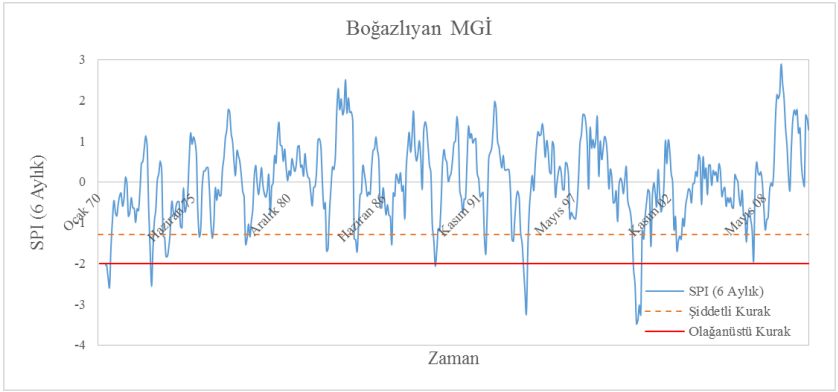
Şekil B.11 Zara MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



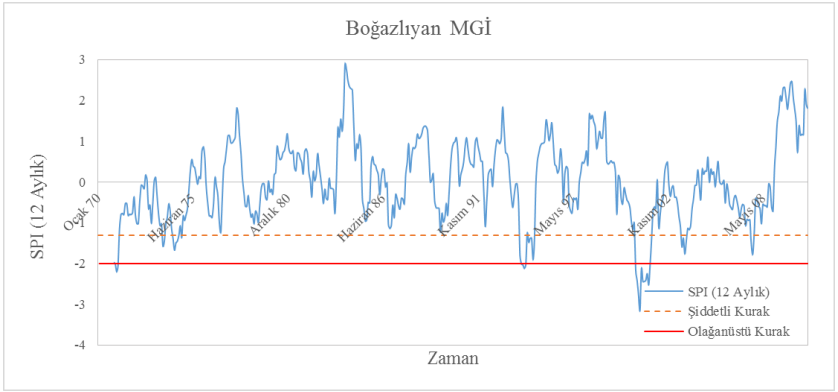
(a)



(b)

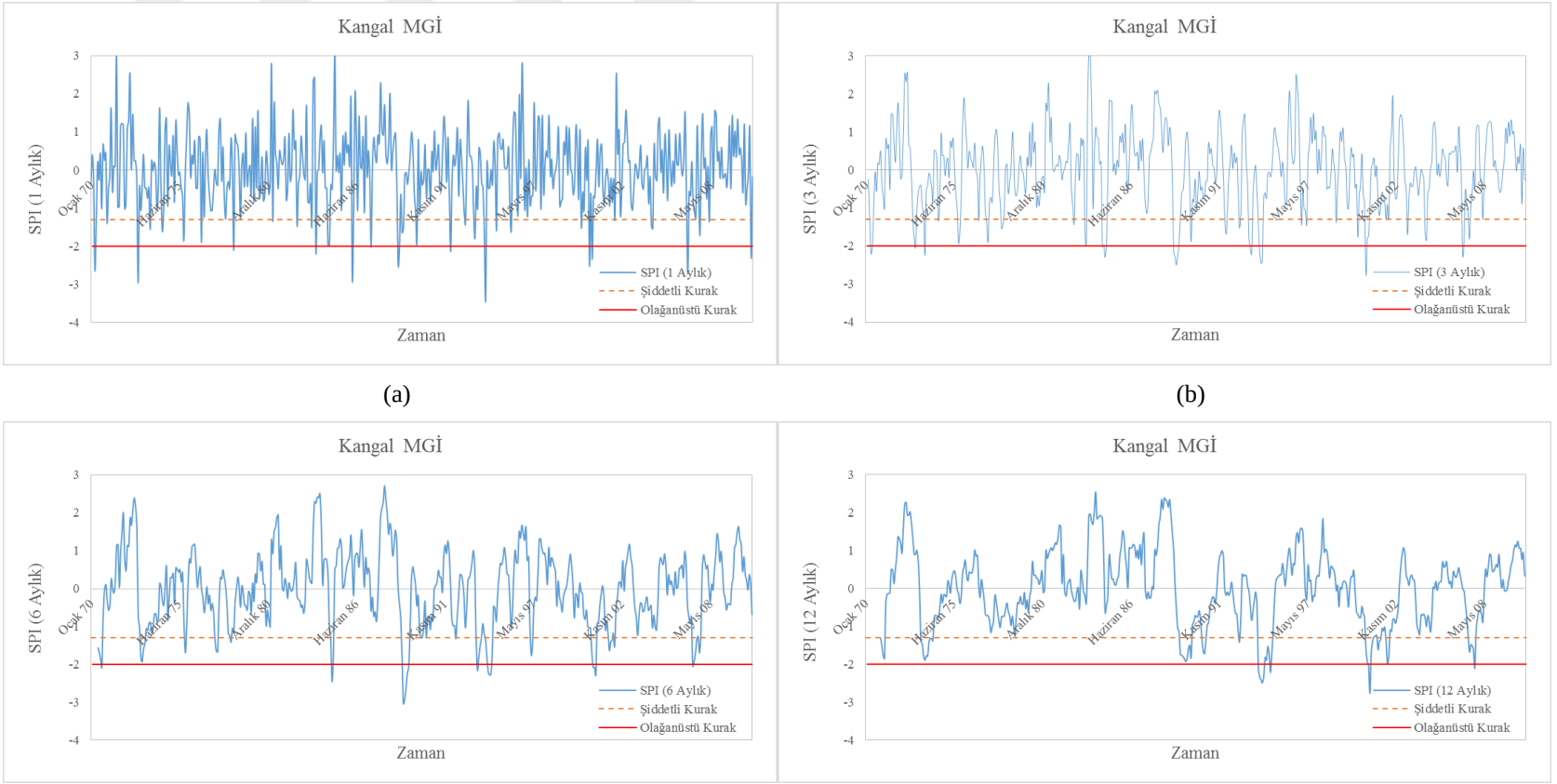


(c)



(d)

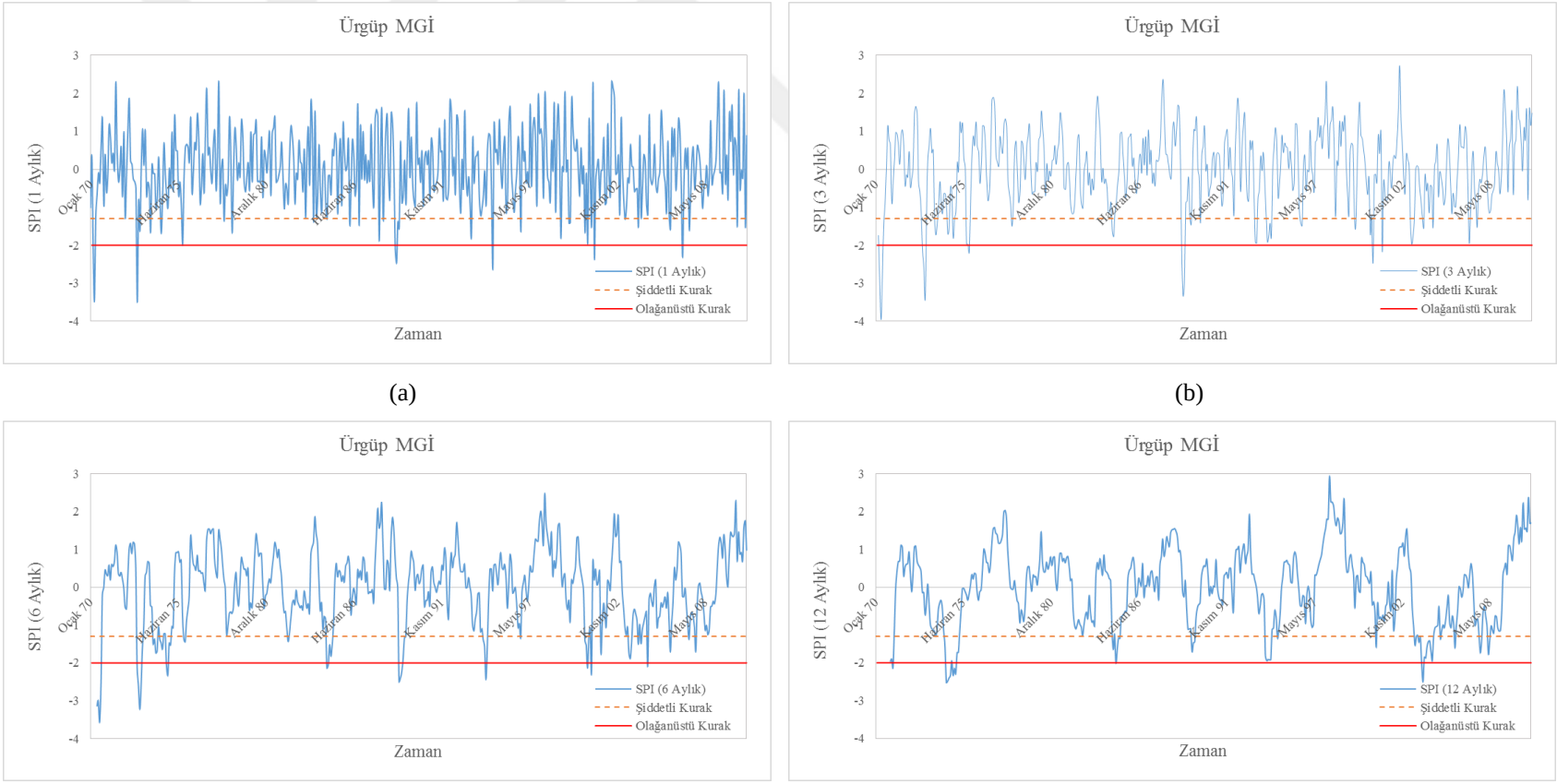
Şekil B.12 Boğazlıyan MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



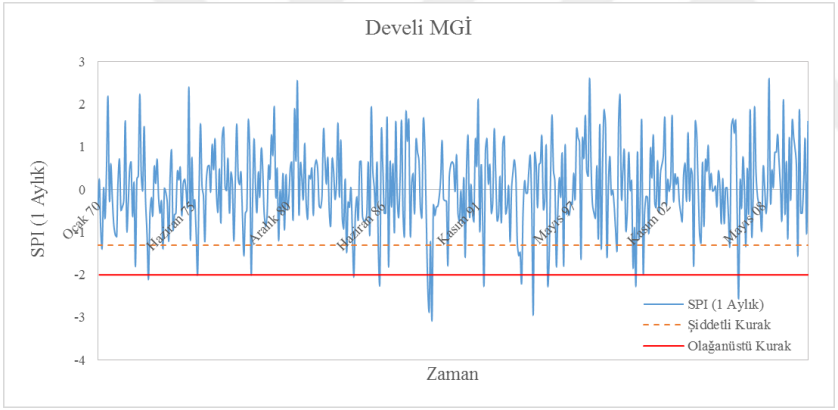
(a) (b)

(c) (d)

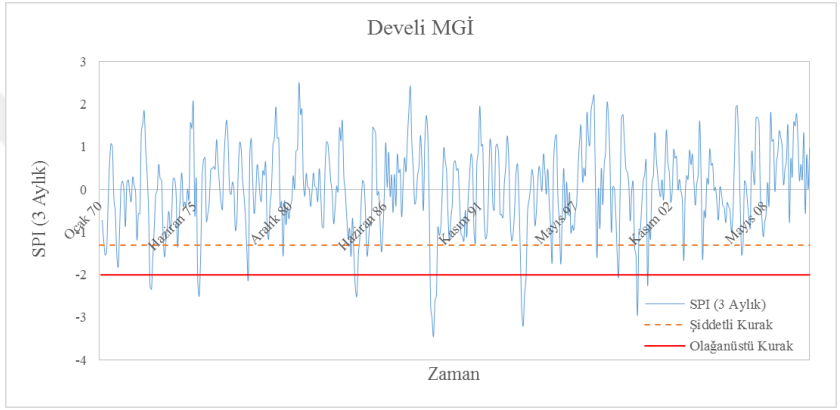
Şekil B.13 Kangal MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



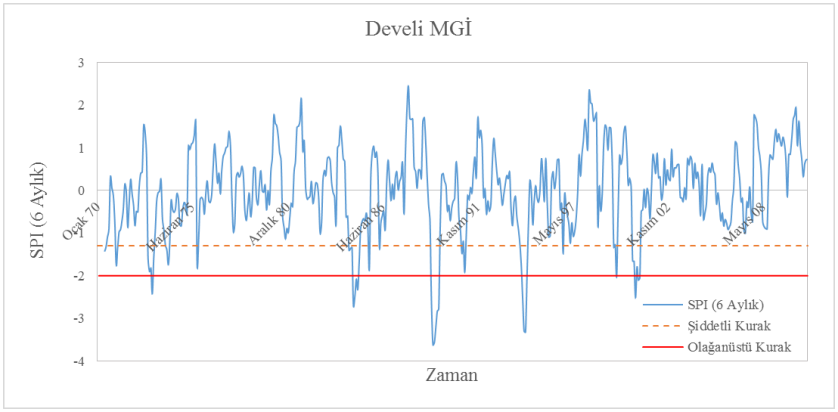
Şekil B.14 Ürgüp MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



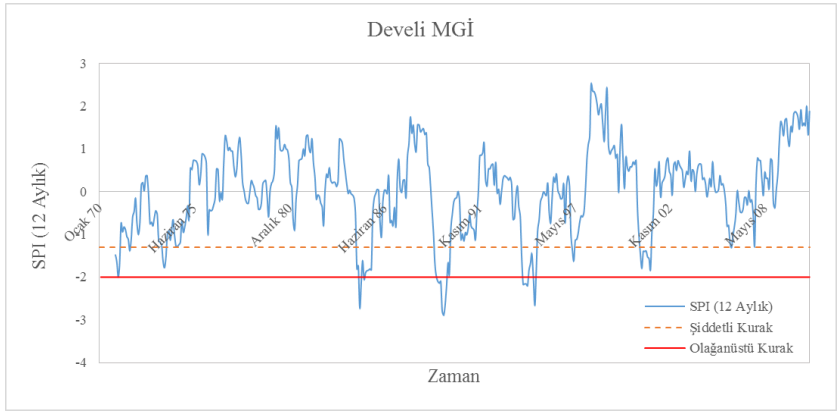
(a)



(b)

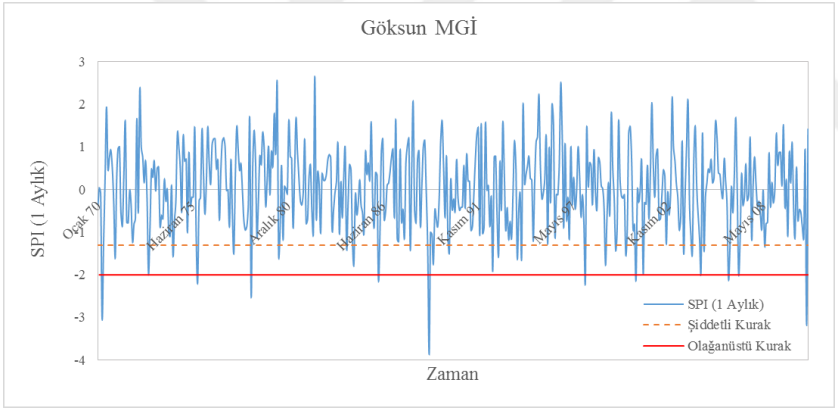


(c)

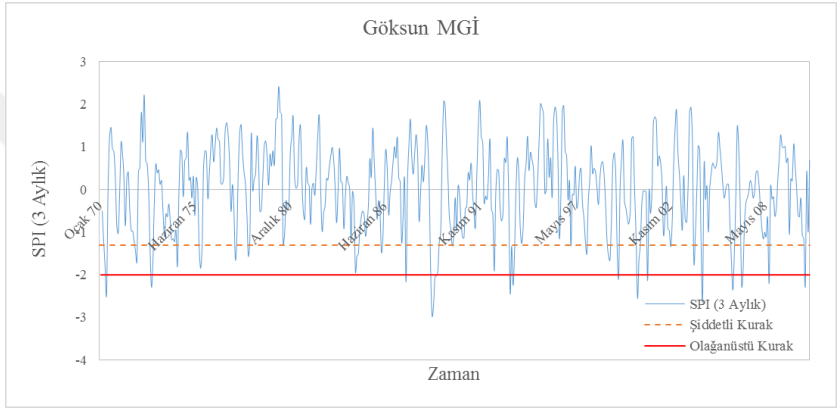


(d)

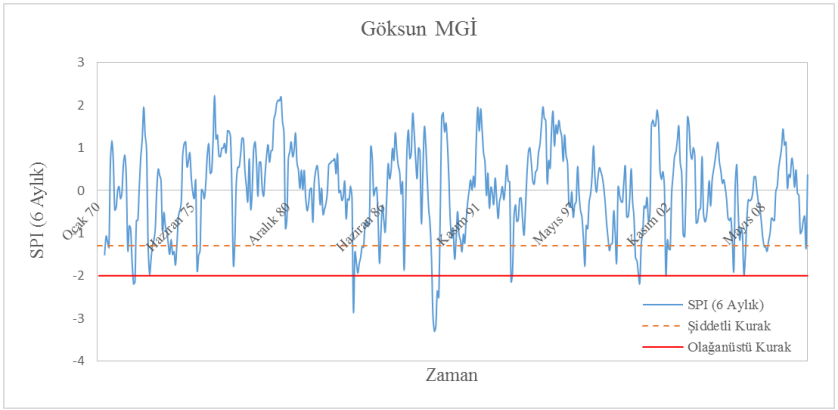
Şekil B.15 Develi MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



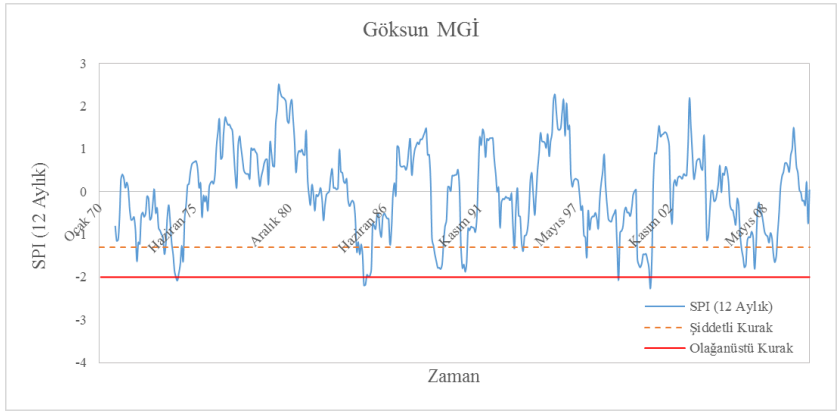
(a)



(b)

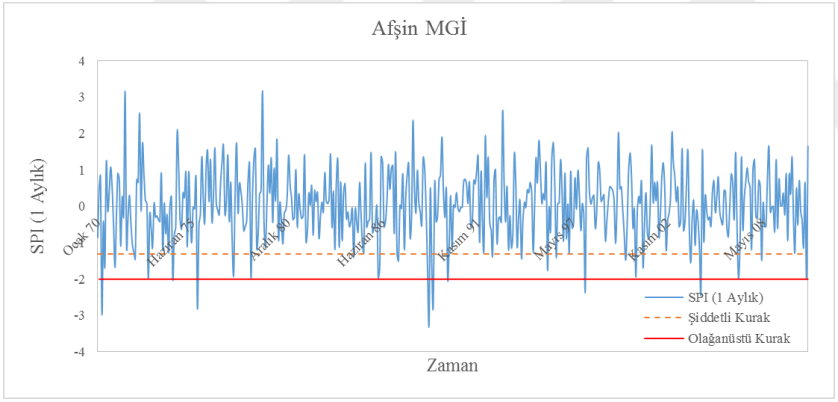


(c)

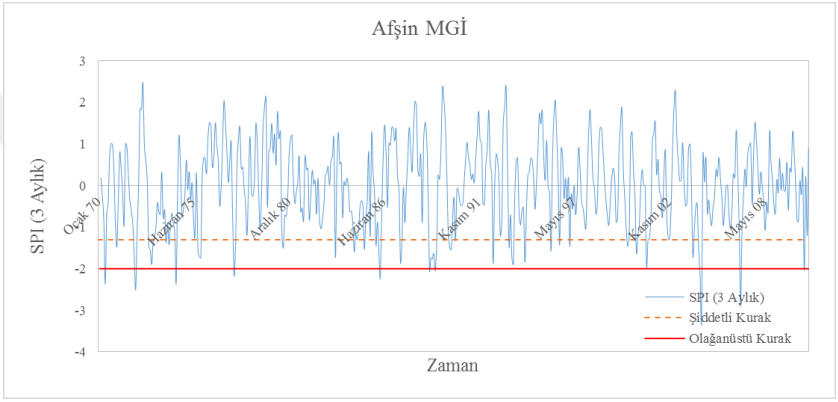


(d)

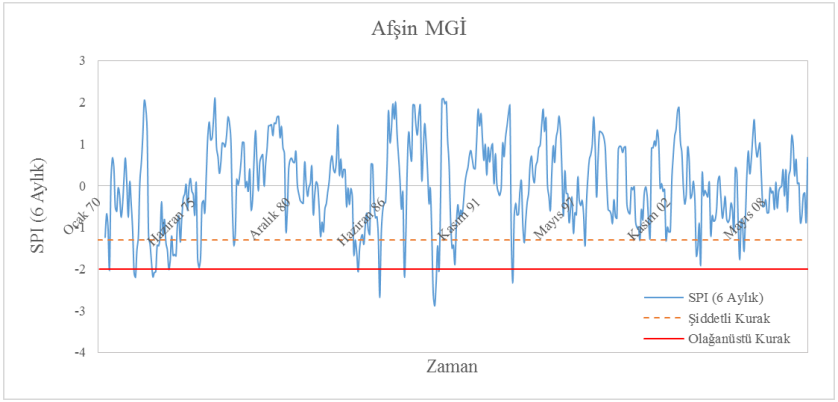
Şekil B.16 Göksun MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



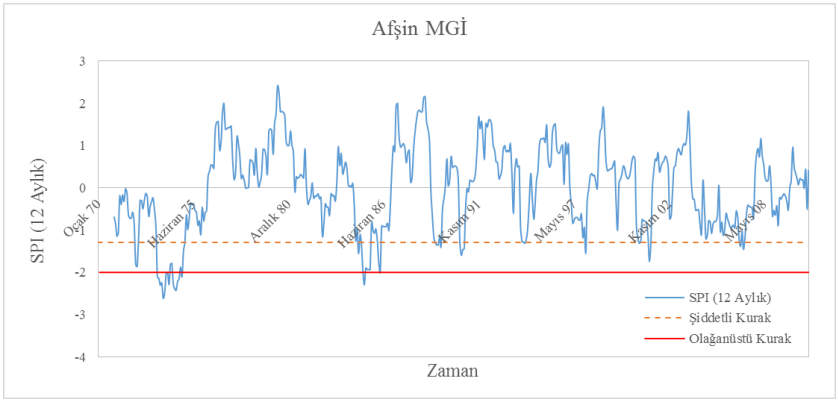
(a)



(b)

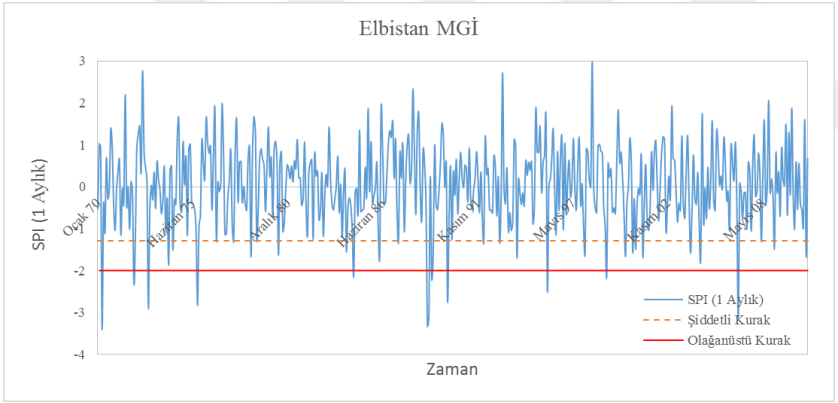


(c)

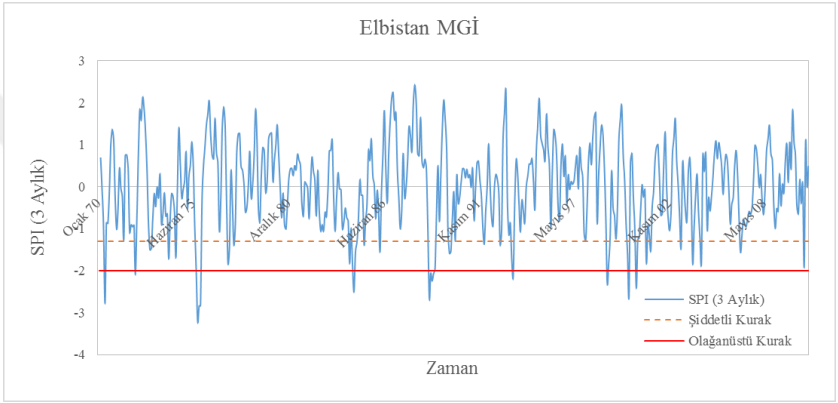


(d)

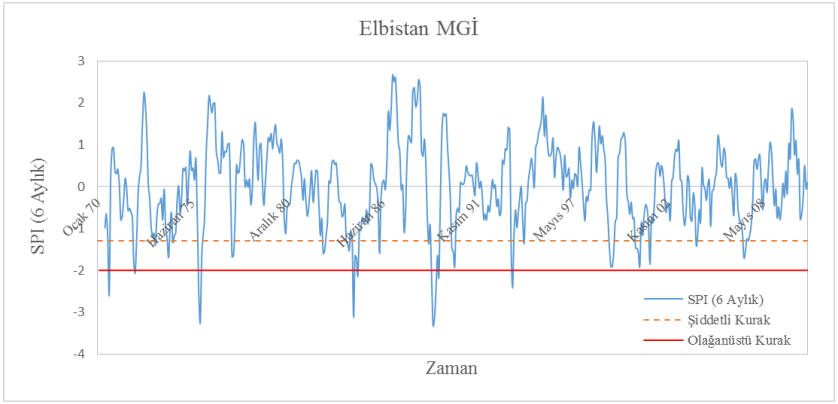
Şekil B.17 Afşin MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



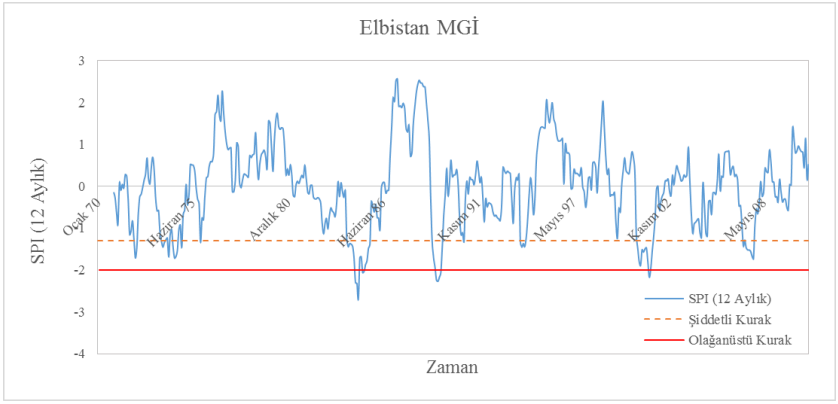
(a)



(b)

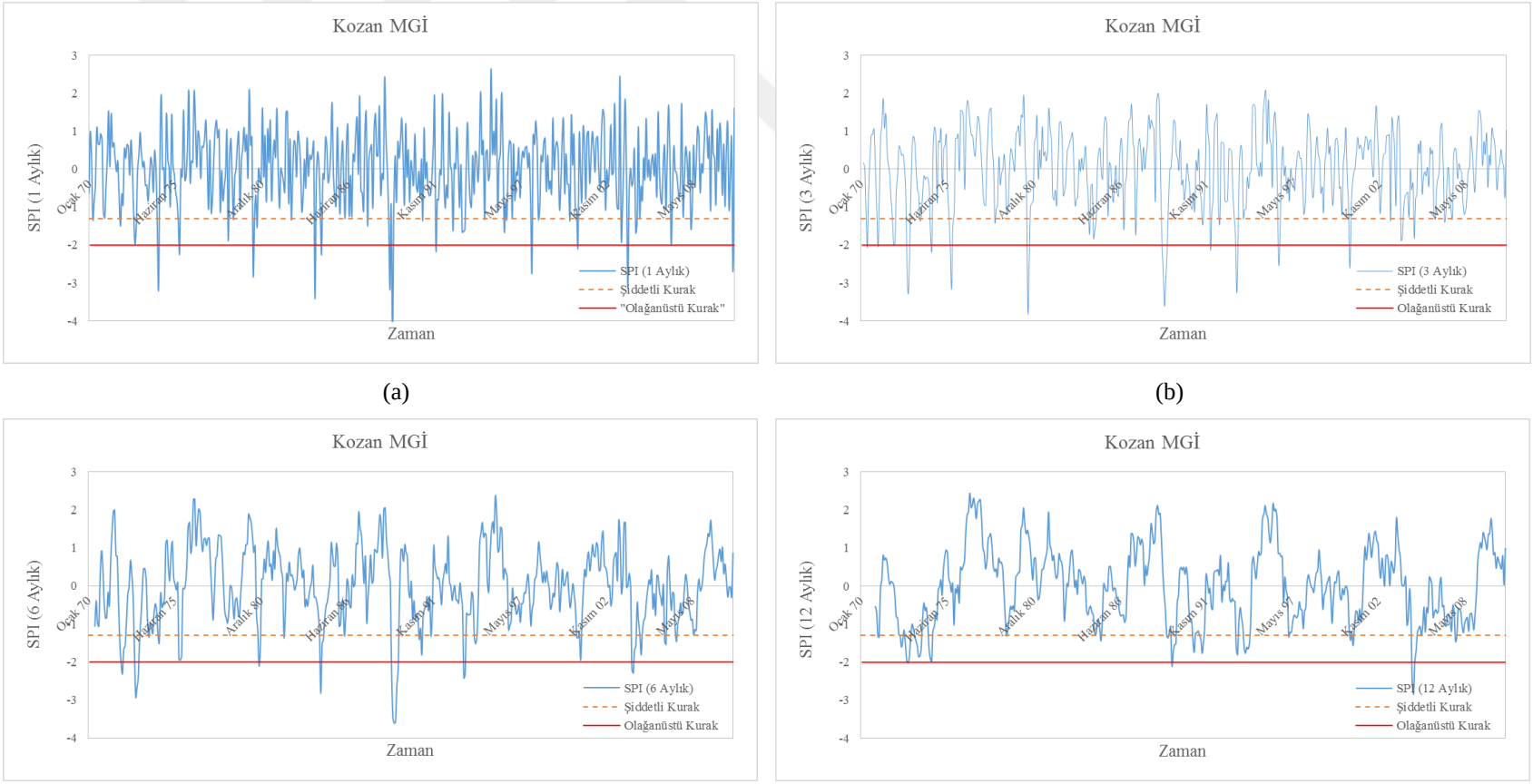


(c)



(d)

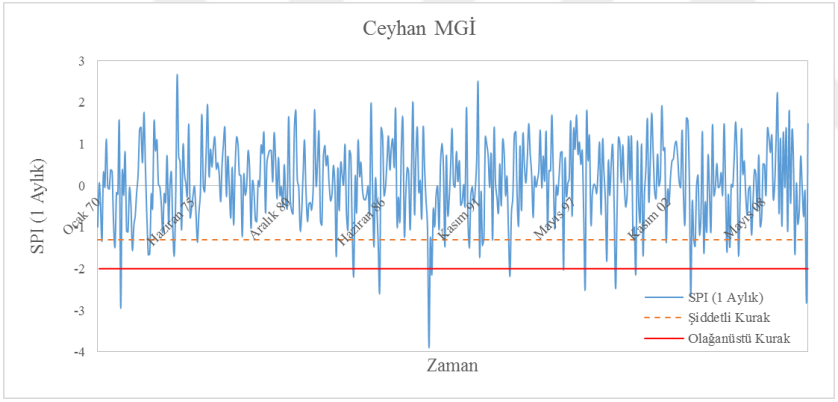
Şekil B.18 Elbistan MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



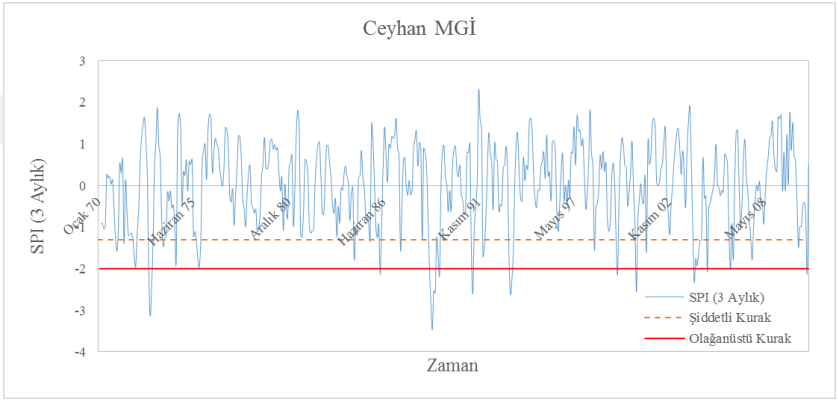
(a) (b)

(c) (d)

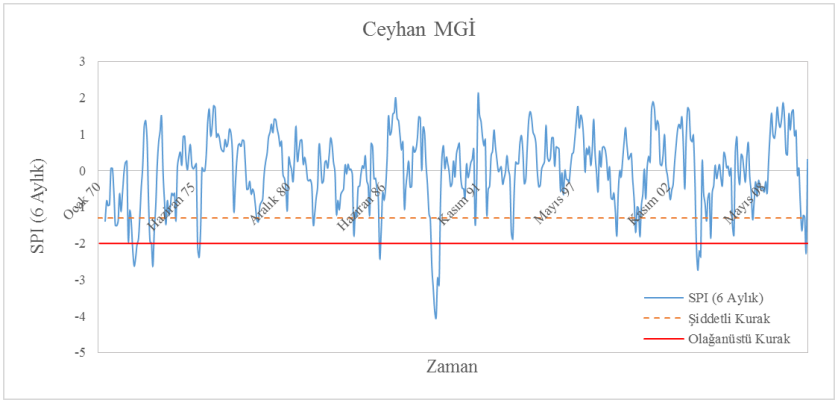
Şekil B.19 Kozan MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



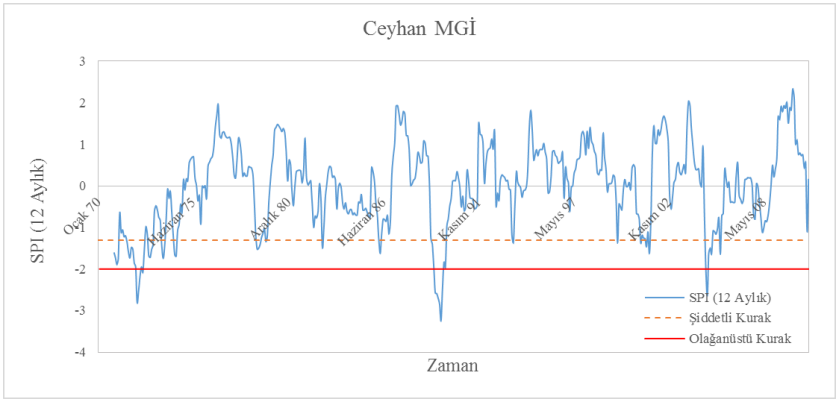
(a)



(b)

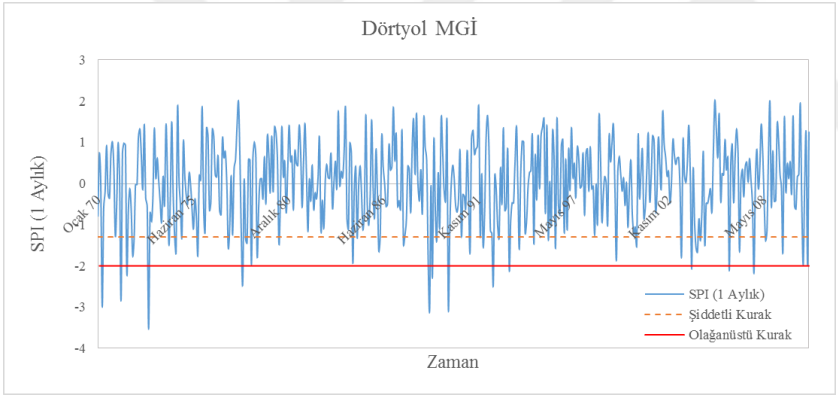


(c)

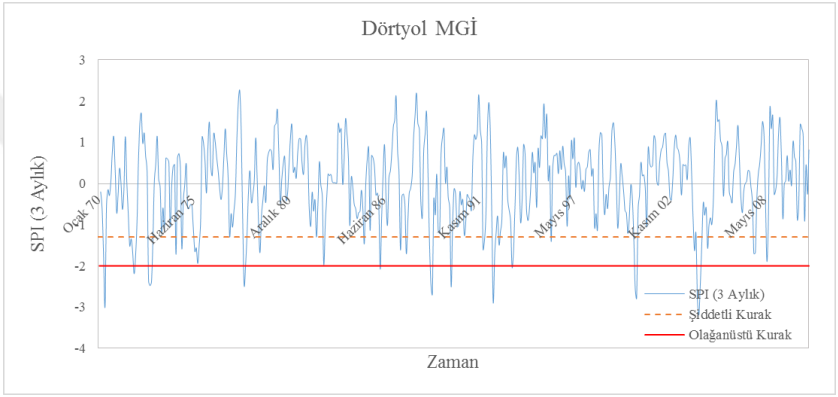


(d)

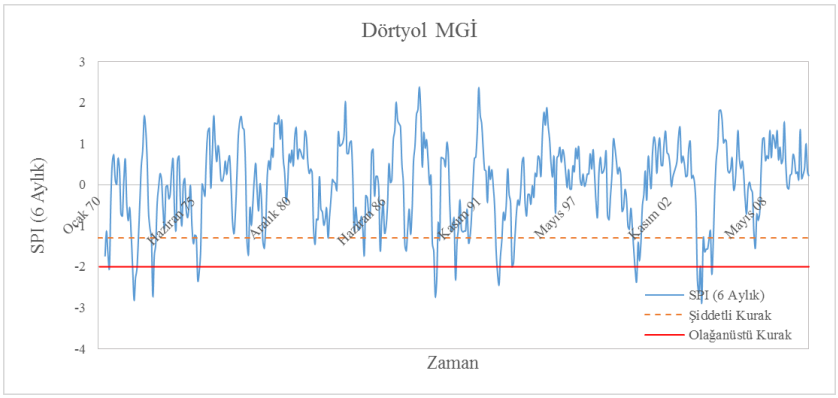
Şekil B.20 Ceyhan MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



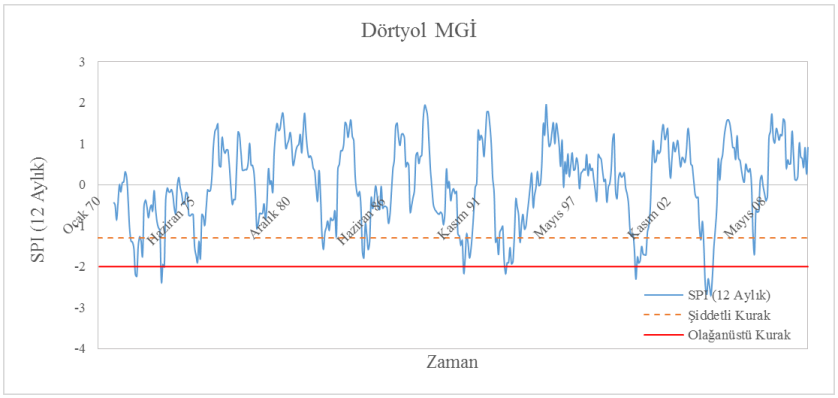
(a)



(b)

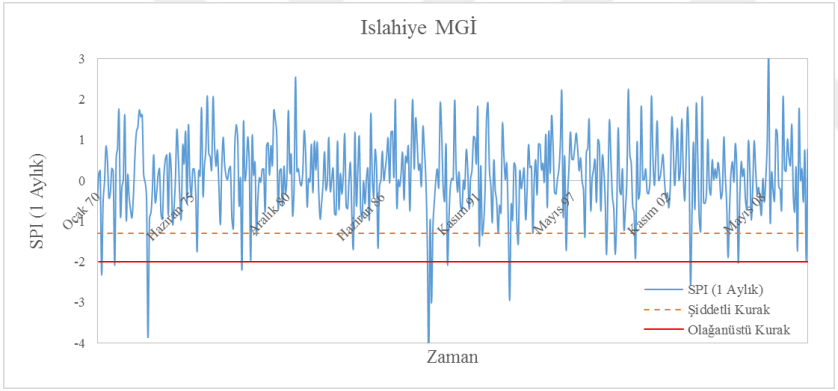


(c)

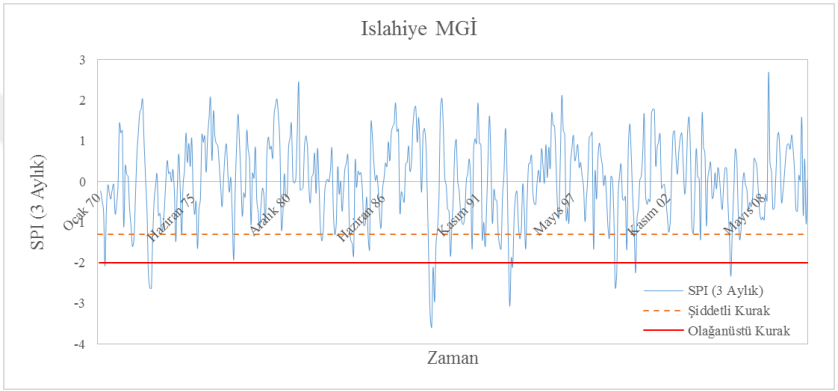


(d)

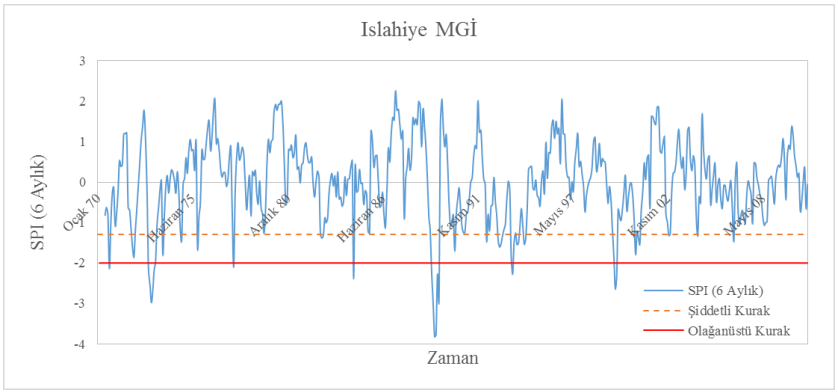
Şekil B.21 Dörtyol MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



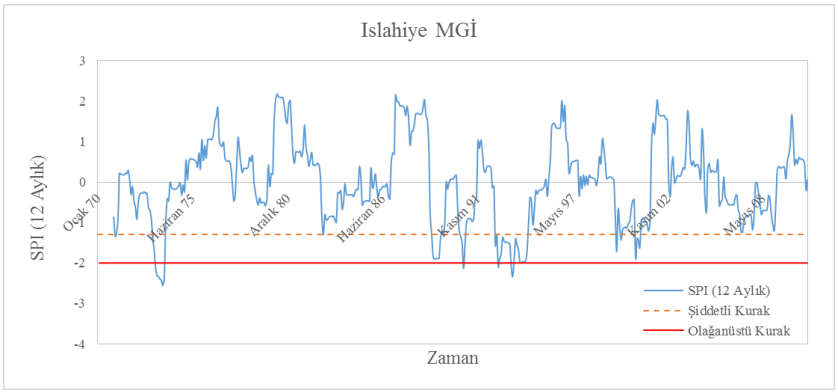
(a)



(b)

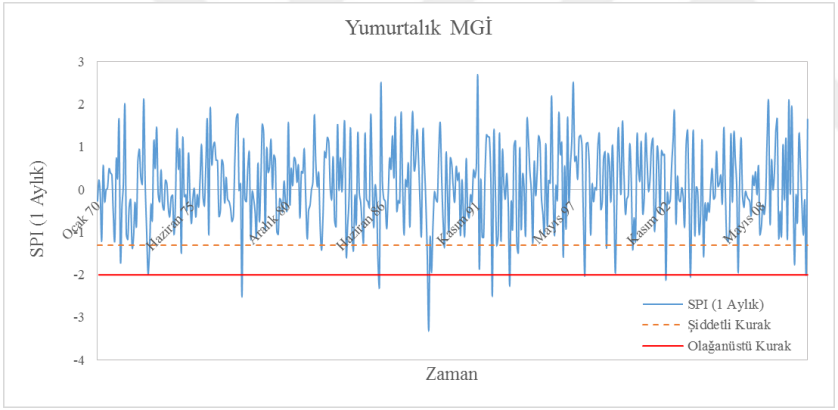


(c)

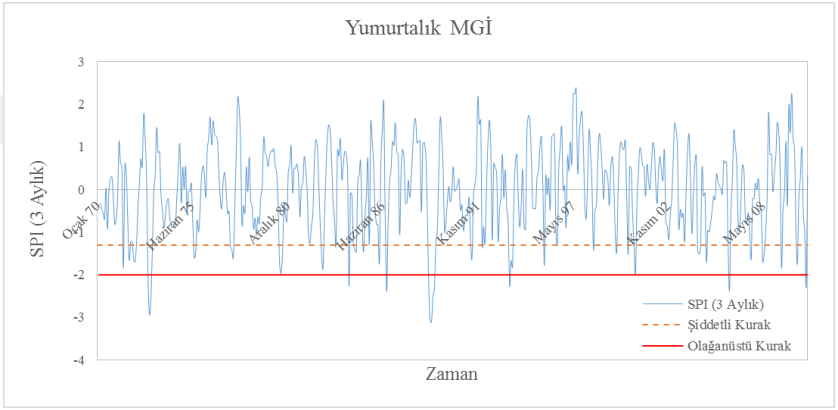


(d)

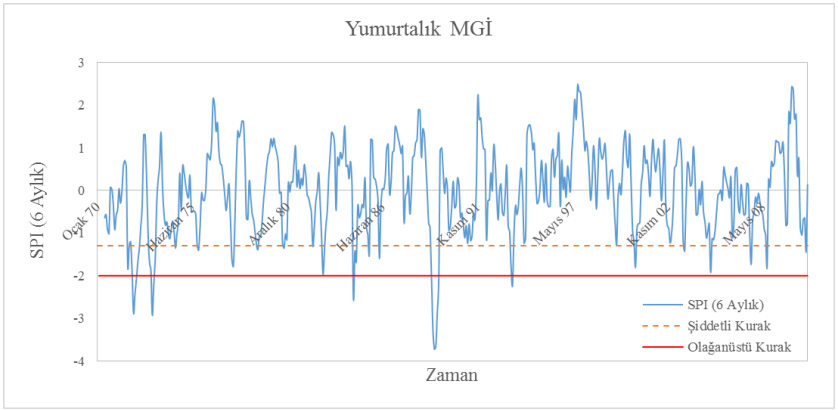
Şekil B.22 Islahiye MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri



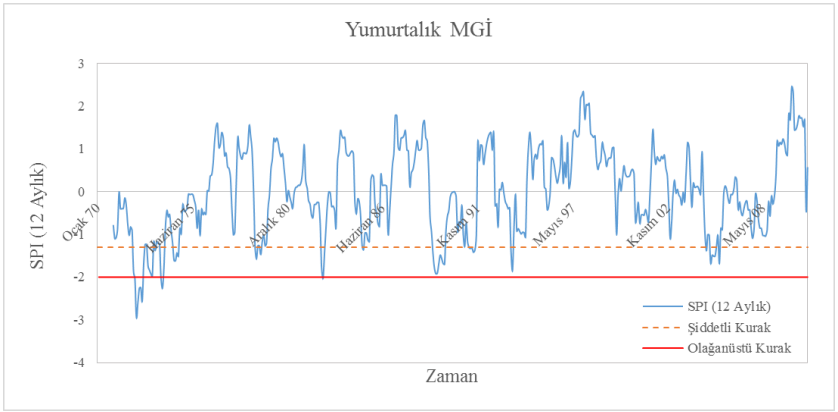
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil B.23 Yumurtalık MGİ'nin a) 1 aylık b) 3 aylık c) 6 aylık d) 12 aylık SPI değerleri