

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

GEDİZ HAVZASINDA KURAKLIK ANALİZİ

İBRAHİM TEMEL

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ömer Levend AŞIKOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi: 19.01.2019

Bornova-İZMİR

2019

İbrahim TEMEL tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Gediz Havzasında Kuraklık Analizi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesinin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 19.01.2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

Jüri Başkanı : Doç. Dr. Ömer Levend AŞIKOĞLU
Raportör Üye : Doç. Dr. Ebru ERİŞ
Üye : Doç. Dr. Ali GÜL

İmza


.....

.....

.....

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Gediz Havzasında Kuraklık Analizi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

19 / 01 / 2019



İbrahim TEMEL

ÖZET**GEDİZ HAVZASINDA KURAKLIK ANALİZİ**

TEMEL, İbrahim

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ömer Levend AŞIKOĞLU

Ocak 2019, 61 sayfa

Türkiye yarı kurak bir bölgede bulunmaktadır. Özellikle son yıllarda, kuraklığın küresel boyutta yaşanan ısınma ve iklimsel değişiklikler açısından hem ülkemizde hem de dünyada çok ciddi bir tehdit oluşturulduğu izlenmektedir. Bu açıdan kuraklıkla ilgili yapılan araştırmalar git gide önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, Gediz Havzası'nda son 50 yılda ortaya çıkan kuraklıklar, hidrolojik açıdan akım kuraklık indisi (SDI), meteorolojik açıdan da standart yağış indisi (SPI) ile incelenmiştir. Bu aşamada akım verilerine uyumlu olması açısından yağış verileri de su yılına uygun olarak düzenlenmiş, 3, 6, 9 ve 12 ay periyotlu yağış dizileri SDI indisine uygun olarak taranmıştır. Tez çalışmasının ilk aşamasında 3, 6, 9 ve 12 ay periyotlu akış ve yağış dizilerinin normal dağılıma uygunlukları $\alpha=0.10$ anlamlılık düzeyinde test edilmiş, akım dizilerinde 3 aylık toplamaların normal dağılıma uymadığı belirlenmiş ve 3 aylık toplamalar çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Sonraki aşamada akım ve yağış indisleri hesaplanmış ve kuraklık derecesine göre sınıflandırılmıştır. Böylelikle orta şiddette kurak, şiddetli kurak ve aşırı kurak yıllar ortaya çıkartılmıştır. Daha sonra dönemsel kuraklıkları belirleyebilmek amacıyla ardışık yılların su eksiklik ve fazlalık grafikleri elde edilmiş, son 50 yıldaki hem sulak hem de kurak dönemler tespit edilmiştir.

Son olarak kuraklıkların ortaya çıkış frekanslarının ve şiddetlerinin tahmin edilmesi amacıyla frekans analizi yapılmış, 50 ve 100 yıllık akım kuraklık indisleri ve bu indislerle 50 ve 100 yıllık düşük akımlar tahmin edilmiştir.

Bu tez çalışmasının, gerek hidrolojik ve meteorolojik kuraklıkların tespit edilmesi gerekse belli tekerrürlü düşük akımların tahmin edilmesi açısından daha büyük bölgelere uygulanabileceği düşünülmekte ve önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Kuraklık Analizi, Akım Kuraklık İndisi, Standart Yağış İndisi

ABSTRACT**DROUGHT ANALYSIS IN GEDIZ BASIN**

TEMEL, İbrahim

MSc in Civil Eng.

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ömer Levend AŞIKOĞLU

January 2019, 61 pages

Turkey is situated in a semi-arid region. Especially in recent years, drought has been seen as a serious threat both in our country and in the world in terms of the warming and climatic changes experienced on a global scale. In this respect, drought-related research is becoming increasingly important.

In this study, the drought in Gediz Basin in the last 50 years was examined by with streamflow drought index (SDI) and standardized precipitation index (SPI). In this stage, rainfall data are arranged according to water year in order to be compatible with flow data. Rainfall series of 3, 6, 9 and 12 months period were examined according to SDI index. In the first stage of the thesis study, 3, 6, 9 and 12 month period flow and rainfall series were tested at a level of $\alpha = 10\%$ significance for normality, and 3-month totals did not conform to normal distribution and excluded from the study. In the next stage, the streamflow and precipitation indices were calculated and classified according to the degree of drought. Thus, arid, severe arid and extremely dry years have been revealed. Then, in order to determine periodic droughts, water deficiency and redundancy graphs of consecutive years were obtained and wet and dry periods were determined in the last 50 years.

Finally, frequency analysis was performed in order to estimate the frequency and intensity of the droughts, and 50- and 100-year drought indices and 50- and 100-year low flows were estimated with these indices.

It is suggested that this thesis can be applied to larger regions in terms of both determining hydrological and meteorological droughts and estimating low flows of certain return periods.

Keywords: Drought Analysis, Streamflow Drought Index (SDI), Standardized Precipitation Index (SPI)

TEŞEKKÜR

Tez konusunun seilmesinde, alıŐmalarımın ynlendirilmesinde, Őekillendirilerek sonulandırılmasında her zaman yanımda olan, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaŐıp yardımlarını hibir zaman esirgemeyen danıŐmanım Sayın Do. Dr. Ömer Levend AŞIKOĞLU' na ve çalıŐmalarım süresince bilgi birikimi ve tecrübesiyle beni yönlendiren, her konuda desteğini her zaman hissettiğim kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Ali BERKTAY' a sonsuz teŐekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Bu alıŐma süresince gerekli verilerin sağlanmasında kolaylık gösteren DSİ 2. Bölge Müdürlüğü'ne ve Meteoroloji UŞak İİ Müdürlüğü çalıŐanlarına teŐekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her döneminde olduğu gibi bu tez çalışması döneminde de maddi ve manevi yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz sevgi, saygı ve teŐekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxi
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1 Kuraklığın Tanımı ve Kuraklık Çeşitleri.....	3
2.1.1 Meteorolojik Kuraklık	4
2.1.2 Hidrolojik Kuraklık	4
2.1.3 Tarımsal Kuraklık.....	4
2.1.4 Kıtık Kuraklığı.....	4
2.2 Kuraklık İndisleri.....	5
2.2.1 Thornthwaite İndisi.....	6
2.2.2 Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi.....	6
2.2.3 Erinç İndisi.....	7

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.2.4 Normalin Yüzdesi İndisi.....	8
2.2.5 Deciles İndisi	9
2.2.6 Aydeniz Metodu	9
2.2.7 Standart Yağış İndisi	10
2.2.8 Akım Kuraklık İndisi.....	10
2.3 Önceki Çalışmalar	10
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1 Materyal.....	18
3.1.1 Bölgenin Tanıtımı.....	18
3.1.2 Bölgenin İklim Özellikleri.....	21
3.2 Yöntemler	24
3.2.1 Kuraklık İndisleri.....	24
3.2.2 Akım Kuraklık İndislerinin Frekans Analizi	26
3.3 Veriler	27
4. BULGULAR.....	30
5.SONUÇLAR.....	53

İÇİNDEKİLER (devam)

KAYNAKLAR DİZİNİ.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	61
EKLER	



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Meteorolojik, Tarımsal ve Hidrolojik Kuraklık Akış Şeması	5
3.1 Gediz Havzası.....	18
3.2 Gediz Havzası Alt Havzaları	19
3.3 Gediz Havzası uzun yıllar ortalama sıcaklık değişimi	21
3.4 Gediz Havzası uzun yıllar ortalama toplam yağış değişimi	23
3.5 Havzada yer alan hidrometri ve hidrometeoroloji istasyonları	28
4.1 509 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi.....	37
4.2 510 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi.....	37
4.3 514 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi.....	38
4.4 515 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi.....	38
4.5 522 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi.....	39
4.6 523 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi.....	39
4.7 524 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi.....	40
4.8 525 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi.....	40
4.9 527 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi.....	41
4.10 Avşar Barajı istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	41
4.11 Beşyol istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	42

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

4.12	Bozdağ istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	42
4.13	Buldan Barajı istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	43
4.14	Dindarlı istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	43
4.15	Doğanlar istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	44
4.16	Fakılı istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	44
4.17	İcikler istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	45
4.18	Kıranşih istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	45
4.19	Ören istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	46
4.20	Sarılar istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	46
4.21	Üçpınar istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	47
4.22	Akhisar istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	47
4.23	Gediz istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	48
4.24	Güney istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	48
4.25	Manisa istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	49
4.26	Salihli istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	49
4.27	Uşak istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi	50
4.28	510 numaralı akım istasyonu ile Gediz yağış istasyonunun karşılaştırılması	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Thornthwaite' a Göre İklim Tipleri	6
2.2 PDSI Değerlerine Göre Sınıflandırma.....	7
2.3 Erinç İndisine Göre İklim Tipleri	8
2.4 PNI Metoduna Göre Kuraklık Sınıflandırması.....	8
2.5 Deciles İndisine Göre Kuraklık Sınıflandırması.....	9
2.6. Aydeniz İndis Değerleri ve İklim Özellikleri	10
3.1 Gediz Havzasında yer alan barajlar	20
3.2 Gediz Havzası'nda Yer Alan Başlıca Yerleşim Yerleri ve Nüfusları	20
3.3 Gediz Havzası uzun yıllar ortalama sıcaklık değerleri	22
3.4 Gediz Havzası uzun yıllar ortalama buharlaşma değerleri	22
3.5 Gediz Havzası uzun yıllar ortalama toplam yağış değerleri	23
3.6. SPI Yöntemine Göre Kuraklık Sınıflandırması	24
3.7 SDI Yöntemine Göre Kuraklık Sınıflandırması	26
3.8 Gediz Havzası'nda yer alan akım gözlem istasyonları.....	29
3.9 DSİ'ye ait yağış gözlem istasyonları	29
3.10 MGM 'ye ait yağış gözlem istasyonları.....	29

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

4.1 Akım ve Yağış Dizilerinin $\alpha= %10$ anlamlılık düzeyinde Normallik Kontrolü.....	30
4.2 Akım İstasyonlarına ait Ekim-Mart Dönemi Kuraklık Yılları	31
4.3 Akım İstasyonlarına ait Ekim-Haziran Dönemi Kuraklık Yılları.....	32
4.4 Akım İstasyonlarına ait Ekim-Eylül Dönemi Kuraklık Yılları	32
4.5 Yağış İstasyonlarına ait Ekim-Aralık Dönemi Kuraklık Yılları.....	33
4.6 Yağış İstasyonlarına ait Ekim-Mart Dönemi Kuraklık Yılları	34
4.7 Yağış İstasyonlarına ait Ekim-Haziran Dönemi Kuraklık Yılları	35
4.8 Yağış İstasyonlarına ait Ekim-Eylül Dönemi Kuraklık Yılları	36
4.9 Akım Gözlem İstasyonlarının Belli Tekerrürlü Düşük Akım Tahminleri.....	52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
I_m	Yağış Etkinlik İndeksi
σ	Standart Sapma
s	Su Fazlası
d	Su Eksiği
P	Yağış Miktarı (mm)
\bar{P}_i	Ortalama Yağış Miktarı (mm)
T_{om}	Yıllık Ortalama Maksimum sıcaklık (°C)
N_{ks}	Nemlilik Katsayısı
K_{ks}	Kuraklık Katsayısı

Kısaltmalar

ETP	Potansiyel Evapotranspirasyon
PDSI	Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi
PNI	Normalin Yüzdesi İndisi
SPI	Standart Yağış İndisi
SRI	Standart Akış İndisi
SDI	Akım Kuraklık İndisi
RDI	Keşif Kuraklık İndisi

1.GİRİŞ

Su, dünyanın oluşumundan beri bütün canlı varlıklar için önem arz etmiştir. Canlıların yaşamlarını sürdürebilmesi için ilk ve temel ihtiyaçları sudur. Tarihe bakıldığında medeniyetlerin su kenarında kurulmuş oldukları ve birçok savaşın su kenarındaki şehirleri ele geçirmek için yapıldığı görülebilmektedir.

Kuraklıklar medeniyetlerin temel sorunlarının merkezinde yer almaktadır. Yerleşim konumlarını seçmek insanın kendi elinde olmasına karşılık zamanlamada bir ayarlamının yapılması kendi dışındaki doğal olaylardan kaynaklanmaktadır. Zamanla aşırı su salınımlarını ve özellikle de su sıkıntılarını atlatmak için insan mevcut su kaynaklarını bir şekilde depolayarak daha sonraki sıkıntılı günlerde kullanmanın yolunu aramış ve halen de aramaya devam etmektedir. İşte su sıkıntılarının ortaya çıktığı bu sürelerde kurak devreler adı verilir ve bu devreler boyunca su kaynaklarının kökeni olan yağışlarda görülen azalmalar mevcut kaynakların azalmasına ve zaman zaman talepten daha az seviyelere düşmesine sebep olabilmektedir. Günümüzde su sıkıntısı değişik nedenlerle gün geçtikçe daha da artmaktadır. Bunlar arasında aşağıdaki noktaları saymak mümkündür:

- 1) Dünya nüfusunun artması,
- 2) Kentleşmede patlama yaşanması,
- 3) Sanayi üretimi ihtiyacının artması,
- 4) Genel görünümdeki değişiklikler, kirlenme ve bazı kaynakların tükenmesi dahil olmak üzere ekolojik etkilerde belirgin bir artışın görülmesi
- 5) Son yıllarda ortaya konulan küresel ısınma, sera etkisi ve iklim değişikliği sebepleri ile su kaynaklarında beklenen azalmalar (Şen,2009).

Öncelikle kuraklıkla bir bölgedeki iklimin kurak karakterde olması arasında bir fark olduğuna dikkat edilmelidir. Kurak bir bölgede normal zamanlarda bile su eksikliği vardır. Kuraklık ise bölgenin iklimine bağlı olmaksızın, su miktarının normalin altına düşmesi halinde görülen ekstrem bir zaman-alan sürecidir. Yarı kurak bölgelerde kuraklığın etkileri daha da önemli olabilir. Çünkü su miktarının zaten az olduğu bu bölgelerde insanlar kuraklığın etkilerinin fazla farkında olmadıklarından kuraklığın ekonomik zararları daha da büyük olur.

Bir bölgeye düşen yağış ve akarsudaki akış zaman içinde rastgele çalkantılar gösterir. Bazı yıllarda yağış (akış) ortalamanın üstünde iken bazı yıllarda altında kalır. Aynı şey mevsimlik (aylık) değerler için de söz konusudur. Bu durum akarsu havzasının nem oranını etkilediği gibi akarsudan elde edilebilecek su miktarının da zaman içinde değişmesine yol açar. Bu nedenle yağış ve akış serilerindeki kurak dönemlerin incelenmesi hidrolojik açıdan büyük önem taşır (Bayazıt ve Önöz, 2008).

Kuraklık insanların can ve mal kaybına neden olan, başlangıcının kesin olarak belirlenemediği önemli bir doğal afettir. Kuraklığın etkilerini ekonomik, çevresel ve sosyal yönden inceleyecek olursak (Topçu, 2013);

Ekonomik etkiler:

- Ekonomik büyümede yavaşlama ve ulusal düzeyde finansal destek kaybı,
- Ürün fiyatlarında artış,
- Hidroelektrik güçten sağlanan enerji kaybı,
- Turizm faaliyetlerinde azalma,
- Ürün kalitesinde düşüş,
- Balık üretiminde azalma,
- Yeni su kaynağı geliştirme maliyetlerinin artması.

Çevresel etkiler:

- Bitki hastalıklarının görülmesi,
- Çölleşmenin artması,
- Hayvan türlerinin zarar görmesi,
- Su kalitesinde kötüleşme,
- Yiyecek ve içme suyu sıkıntısı,
- Orman yangınlarının sayısında artış,
- Hava kalitesinin kötüleşmesi.

Sosyal etkiler:

- Mesire yerlerinin azalması,
- Azalan atık su akımı ile kirliliğin azalması,
- Toplumsal huzursuzluk,
- Kültürel faaliyetlerin bitmesi,
- İşsizliğin artması,
- Hayat standardının düşmesidir.

Bu tez çalışması kapsamında, Türkiye' nin batısında yer alan Gediz havzasında hem meteorolojik hem de hidrolojik kuraklıklar incelenmiştir. Meteorolojik kuraklığın incelenmesinde Standart Yağış İndisi (Standardized Precipitation Index, SPI), hidroloji kuraklığın incelenmesinde ise Akım Kuraklık İndisi (Streamflow Drought Index, SDI) yöntemleri kullanılmıştır. Bu indisler havzada bulunan 18 adet yağış ölçüm istasyonu ve 9 adet akım gözlem istasyonunun verileriyle 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlar için hesaplanmıştır. Bu indislerle kurak dönemler ortaya çıkartılmış, bu kurak dönemlerin meteorolojik ve hidrolojik açıdan tutarlılığı ve sıklığı irdelenmiştir.

Daha sonra akım kuraklık indislerinin frekans analizi yapılmıştır. Akım kuraklık indislerinin öncelikle olasılık dağılımı uygunluğu araştırılmış ve incelenen tüm akım istasyonların akım kuraklık indislerinin 3-parametrelili lognormal dağılıma (LN3) uygunluğu saptanmıştır. Bunun ışığında her istasyon için T=50 ve T=100 yıl tekerrüre karşılık gelen kuraklıklar tahmin edilmiştir.

2.LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Kuraklığın Tanımı ve Kuraklık Çeşitleri

Kuraklık dünyada giderek artmasına karşılık önemi yeterince anlaşılammış ve etkileri tam anlamıyla değerlendirilememiş doğal afetlerdendir. Farklı meslek gruplarına göre farklı tanımlar yapılmasının yanında sadece yağış eksikliği olarak tanımlanması uygun olmamaktadır. Deprem ve taşkın gibi doğal afetlerin aksine ani olarak meydana gelmemesine rağmen uzun süreli bakıldığında çok önemli zararlara neden olduğu söylenebilir. Wilhite (2000) Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions adlı çalışmasında kuraklık kaynaklı yıllık tahmini zararın 6-8 milyar dolar olduğunu belirtmiştir.

Bayazit ve Önöz (2008), Yevjevich' e (1967) atfen kuraklığın şu şekillerde tanımlanabileceğini ifade etmişlerdir:

1. Meteorologlar kuraklığı yağışa (atmosferdeki su buharı miktarına) göre tanımlar.
2. Ziraat mühendisleri kuraklığı zeminin nem oranına (bitkilerin su ihtiyacının karşılanabilmesine) göre tanımlar. Bu durumda kuraklık bitki cinsine, mevsimine ve zeminin nem durumuna bağlı olur.
3. İnşaat mühendisleri ve hidrologlar kuraklığı akarsulardaki akışa veya biriktirme haznelerindeki su miktarına (sağlanabilen su miktarına) göre tanımlar. Mevcut suyun istenilen miktardan az olması halinde kuraklık vardır. Su gereksiniminin artışı da kuraklığa neden olabilir.
4. Hidrojeologlar kuraklığı yeraltı suyuna göre tanımlar. Yeraltı akışının debisinin ve yeraltı su yüzeyinin düşmesi halinde kuraklık vardır.
5. Ekonomistler kuraklığı toplum üzerindeki etkilerine göre tanımlar. Buna göre mevcut su miktarının toplumun kendini uydurduğu normal değer altına düşmesi olarak adlandırılır.
6. Ekolojide kuraklık bitki ve hayvanların yaşamının etkilenmesine göre tanımlanır.

Kuraklığın mevcut su miktarı ile gerekli su miktarı arasındaki farka göre tanımlanması gerekir. Kuraklığın tanımında kullanılacak hidrolojik büyüklük (genellikle akış) seçildikten sonra bu büyüklüğün ne büyüklükte bir bölge üzerindeki değerinin göz önüne alınacağına, kuraklığın aradaki farkın hangi değerinde görülmeye başlanacağına ve hangi zaman aralığı (ay, mevsim, yıl) ile çalışılacağına karar verilir.

Kuraklık 50 km² ile 5 milyon km² arasında değişebilen alanlarda 1 ay ile 10 yıl arasında değişebilen süreler boyunca görülebilen bir olaydır.

Kuraklık türlerini 4 başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar; meteorolojik kuraklık, hidrolojik kuraklık, tarımsal kuraklık ve kıtlık kuraklığıdır. Tanımlama bileşenleri olarak sırasıyla yağış eksikliği, akış eksikliği, zemin nemi eksikliği ve gıda eksikliği söylenebilir (Şen, 2009).

2.1.1 Meteorolojik Kuraklık

Meteorolojik kuraklıklar yağışların uzun yıllar ortalamasına göre eksiklik göstermesi ile başlar. Bazı yerlerde kuraklığın başlaması için yağış eşik değerinin 2.5 mm'nin altına düşmesi gerekmektedir (Şen, 2009). Hissedilmesi için yağışın az olduğu uzun zaman süreleri gerekir. Meteorolojik kuraklığın sayısallaştırılması için Palmer tarafından Palmer Kuraklık Şiddeti Göstergesi geliştirilmiştir. Bu yöntemde meteorolojik kuraklığın hesaplanırken sadece yağış değerlerinin değil sıcaklık değerlerinin de göz önüne alınması gerekir. Hidrolojik ve tarımsal kuraklıktan önce başlar.

2.1.2 Hidrolojik Kuraklık

Hidrolojik kuraklık yeraltı ve yüzey sularında (akarsular, göller ve rezervuarlar) yağış eksikliği sebebiyle görülen azalmayla ilişkilidir. Diğer bir deyişle yağışlarda görülen azalmalar hemen hidrolojik kuraklık olarak yansımaz. Göller, bent ve barajlar gibi su yapılarında bulunan su seviyesi istatistiksel ortalamanın altına düştüğü zaman hidrolojik kuraklık ortaya çıkar. Doğal akarsu akışlarındaki azalmaların yanında yeraltı sularının seviyelerinin de azalması su sıkıntısının belirgin olarak hissedilmesine neden olur. Çünkü yeterli miktarda yeraltı suyu kaynağı mevcut olduğunda yüzey suyu kuraklığı dönemlerinde alternatif ve ek bir su kaynağı olarak kullanılabilir. Ayrıca bu kuraklığa karşı bir önlem olarak biriktirme haznelarının inşa edilmesi gösterilebilir.

2.1.3 Tarımsal Kuraklık

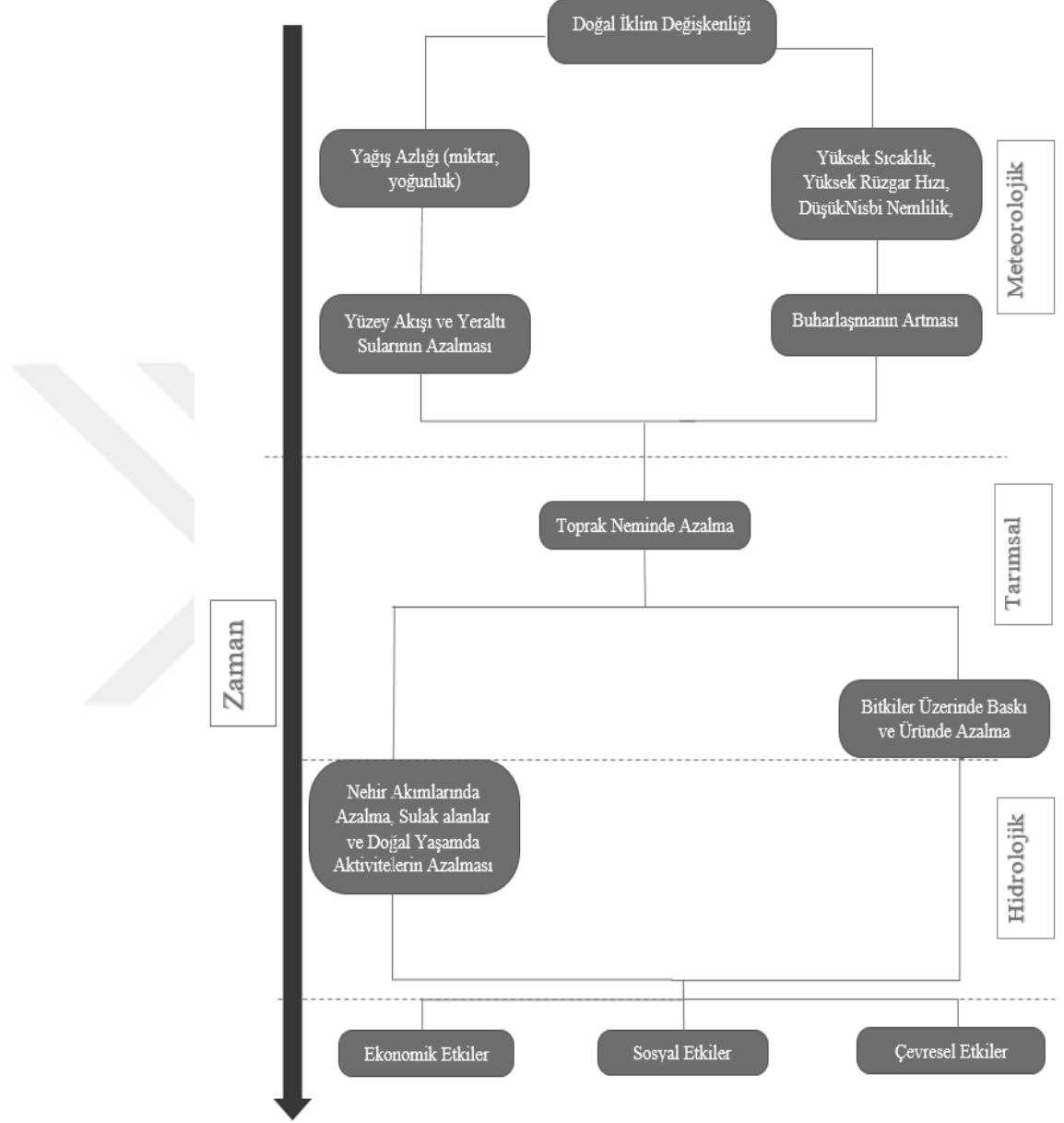
Tarımsal kuraklık; toprak neminin azalması sonucu meydana gelen, bitkinin gelişmesi için gerekli suyu topraktan alamaması olarak tanımlanabilir. İnsan yaşamı için gerekli olan ürünlerin yetiştirilememesi bu kuraklık tipinin önemini vurgulamaktadır. Her bitkinin su ihtiyacı farklı olsa da tarımsal kuraklık durumunda bitkinin su talebi zeminin neminden daha fazladır. Bu kuraklığın ilk belirtileri bitkilerdeki terleme miktarlarının azalmasıdır. Daha ileri seviyelerinde bitkilerin gözenekleri kapanarak fotosentez yapamaz hale gelir. Tarımsal kuraklık, meteorolojik kuraklığın kaçınılmaz bir sonucu değildir. Önceki dönemlerde toprakta yeterli miktarda su birikmesine izin verilirse önlenabilir.

2.1.4 Kıtık Kuraklığı

Kıtık kuraklığı sırasıyla meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklığın sonucunda ortaya çıkan bir kuraklık tipidir. Diğer kuraklık türlerinden farklı olarak arz ve taleple ilgilidir. Çünkü içme ve kullanma suyu, tarım ürünleri, hidroelektrik enerji gibi birçok ürünün temini iklim koşullarına bağlıdır. Bu arz ve talep arasındaki denge bozuldukça yani herhangi bir ekonomik ürüne olan talep temin edilen miktarı aştığında kıtlık kuraklığı başlar. İleriki safhalarında toplu insan ölümlerine varan olaylar gözlenebilir. Bu yüzden

kuraklık ile ilgili yapılan izleme, değerlendirme ve planlama çalışmalarının önemi büyüktür.

Şekil 2.1' de kuraklık çeşitlerinin akış şeması verilmiştir.



Şekil 2.1. Meteorolojik, Tarımsal ve Hidrolojik Kuraklık Akış Şeması (Sarıcan,2015)

2.2. Kuraklık İndisleri

Kuraklığın izlenmesi, değerlendirilmesi ve yönetimi için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Farklı bölgeler için farklı indisler en iyi sonucu verdiği için üzerinde uzlaşılmış tek bir kuraklık indisinden bahsetmek mümkün değildir. Kuraklığı zamansal ve alansal olarak incelemeye yarayan indisler iklim

sınıflandırmalarının da temeli olarak kullanılmışlardır. Sayıları daha fazla olmakla birlikte aşağıda Türkiye’de kullanılan önemli bazı kuraklık indisleri açıklanmıştır.

2.2.1 Thornthwaite İndisi

Thornthwaite yöntemi temel olarak potansiyel evapotranspirasyon kavramına dayanarak iklim sınıflandırması yapmaya yarar. Evapotranspirasyon bitkilerin yaptığı buharlaşma-terleme olaylarına denir. Potansiyel evapotranspirasyon ise doymun olarak kabul edilen zemin ve bitki örtüsünün atmosfere bıraktığı su miktarı olarak tanımlanabilir. Sıcaklık arttıkça artan, nem arttıkça azalan teorik bir değerdir. Thornthwaite iklimleri potansiyel evapotranspirasyon ve yağış değerleriyle birlikte değerlendirilerek nemli ve kurak iklimler olmak üzere ikiye ayırmıştır. Daha sonra Çizelge 2.1’de görüldüğü üzere iklim tiplerini en nemliden en kurak olana doğru sıralamıştır (MGM, 2018). I_m yağış etkinlik indisi, s (yıllık su fazlası), d (yıllık su eksiği) ve ETP ise Potansiyel evapotranspirasyona bağlı olarak hesaplanmaktadır (MGM, 2018):

$$I_m = (100*s - 60*d) / ETP \quad (2.1)$$

Çizelge 2.1. Thornthwaite’ a Göre İklim Tipleri

I_m	Harf	İklim Özelliği
>100	A	Çok Nemli
100-80	B4	Nemli
80-60	B3	Nemli
60-40	B2	Nemli
40-20	B1	Nemli
20-0	C2	Yarı Nemli
0-(-20)	C1	Yarı Kurak- Az Nemli
-20-(-40)	D	Yarı Kurak
-40-(-60)	E	Tam Kurak- Çöl

2.2.2 Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI)

Palmer tarafından 1965 yılında geliştirilen bu yöntemde girdi olarak uzun süreli sıcaklık ve yağış değerleri ile birlikte toprağın su tutma kapasitesi kullanılarak su dengesi hesaplanır. Daha sonra geliştirdiği ampirik formül yardımıyla kuraklık indis değeri belirlenir. Genel olarak aylık bazda hesaplanan indis değerlerinin pozitif olması nemliliği, negatif olması ise kuraklığı ifade etmektedir. Aşağıdaki formülde X_i hesaplanan i . ay için PDSI değerini

vermektedir. Kuraklığı yeterince hızlı tespit edememek ve fazla veri gereksinimi gibi olumsuz yönleri olmasına karşın hala sıklıkla kullanılan bir indistir.

$$X_i = X_{i-1} + (Z_i/3) - 0.103 * X_{i-1} \quad (2.2)$$

Çizelge 2.2’de Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi değerlerine göre sınıflandırmalar gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. PDSI Değerlerine Göre Sınıflandırma

PDSI Değeri	Sınıflandırma
≥ 4.00	Aşırı Nemli
3.00-3.99	Çok Nemli
2.00-2.99	Orta Nemli
1.00-1.99	Hafif Nemli
0.50-0.99	Nemli Dönem Başlangıcı
-0.50-(-0.99)	Kurak Dönem Başlangıcı
-1.00-(-1.99)	Hafif Kurak
-2.00-(-2.99)	Orta Kurak
-3.00-(-3.99)	Şiddetli Kurak
$-4.00 \geq$	Aşırı Kurak

2.2.3 Erinç İndisi

Erinç İndisi ülkemizde birçok araştırmacı tarafından farklı zamanlarda kuraklık sorununun belirlenmesinde ve kurak/nemli alanları göstermek amacıyla kullanılmıştır. Geliştirdiği indis yağışa ve buharlaşmanın temel sebebi olan sıcaklığa dayanmaktadır. Aşağıdaki denkleme göre hesaplanır (MGM, 2018):

$$I_m = \frac{P}{T_{om}} \quad (2.3)$$

Bu eşitlikte; P, yıllık yağış miktarını (mm); T_{om} , yıllık ortalama maksimum sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) ve I_m yağış etkinlik indisini ifade etmektedir. T_{om} hesaplanırken buharlaşma ile kaybın çok az olmasından dolayı aylık ortalama sıcaklığın 0°C 'nin altında olduğu aylar dikkate alınmaz. Çizelge 2.3’de Erinç indisine göre sınıflandırılmış iklim tipleri verilmiştir.

Çizelge 2.3. Erinç İndisine Göre İklim Tipleri

İklim Tipi	İndis Değeri	Bitki Örtüsü
Tam Kurak	< 8	Çöl
Kurak	15-23	Çölümsü Step
Yarı Kurak	15-23	Step
Yarı Nemli	23-40	Park Görünümlü Kuru Orman
Nemli	40-55	Nemli Orman
Çok Nemli	>55	Çok Nemli Orman

Ayrıca geliştirilen bu indis değerlerini farklı zaman ölçeklerinde uygulamak mümkündür. Bunun için bulunan değeri farklı katsayılarla çarpmak yeterlidir. Örneğin; 1 aylık indis değeri 12 ile çarpılarak, 3 aylık indis değeri 4 ile çarpılarak yıllık değere dönüştürülür (MGM, 2018).

2.2.4 Normalin Yüzdesi İndisi (PNI)

Kuraklık indisleri arasında hesaplaması en kolay olan indistir. Aylık, mevsimlik, yıllık yağış verileri kullanılarak hesaplanabilir. Belirlenen zaman dilimi içindeki yağış miktarının aynı serinin ortalama yağış miktarına bölünmesiyle yüzdelik olarak elde edilir. Çizelge 2.4'de bu indise göre yapılan kuraklık sınıflandırmaları gösterilmiştir.

$$PNI = \frac{P_i}{\bar{P}_i} * 100 \quad (2.4)$$

Çizelge 2.4. PNI Metoduna Göre Kuraklık Sınıflandırması

Periyot	Normal / nemli	Hafif Kurak	Orta Kurak	Şiddetli Kurak
1	> %75	%65 - %75	%55 - %65	%55'den küçük
3	> %75	%65 - %75	%55 - %65	%55'den küçük
6	> %80	%70 - %80	%60 - %70	%60'dan küçük
9	> %83.5	%73.5 - %83.5	%63.5 - %73.5	%63.5'den küçük
12	> %85	%75 - %85	%65 - %75	%65'den küçük

Yukarıdaki denkleme göre hesaplanan PNI değeri tabloda verilen eşğin altına ilk düştüğü zaman kuraklığın başlangıcı, eşğin üstüne ilk çıktığı zaman da kuraklığın bitişi olarak değerlendirilir. Çizelgede hafif kurak dönemde izlenmeye

başlanması gerektiği, orta şiddette kurak dönemde uyarı verildiği ve şiddetli kuraklıkta da acil durum olduğu belirtilir.

2.2.5 Deciles İndisi

Deciles (Ondalıklar) yöntemi, 1967 yılında Gibbs ve Maher tarafından Normalin Yüzdesi yönteminin eksikliklerini gidermek için geliştirilmiştir. Özellikle Avustralya'da kuraklık analizlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Yöntemde sadece yağış verileri kullanılır. Kuraklık şiddetinin derecesi elde edilen indis değerlerine göre Çizelge 2.5'de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Deciles İndisine Göre Kuraklık Sınıflandırması

Sınıflar	İndis Değerleri
Normalin çok altı	1-2
Normalin altı	3-4
Normale yakın	5-6
Normalin üstü	7-8
Normalin çok üstü	9-10

2.2.6 Aydeniz Metodu

Aydeniz'in 1973 yılında geliştirdiği formüle dayanmaktadır. Kurak dönemlerin belirlenmesinde sadece yağış ve sıcaklık verilerinin yetersiz olduğunu ve daha gerçekçi sonuçlar için nem-yağış ilişkisi ile sıcaklık-güneşlenme süresi ilişkilerinin de incelenmesi gerektiğini vurgular. Aşağıdaki formüle göre N_{ks} (Nemlilik Katsayısı) ve K_{ks} (Kuraklık Katsayısı) değerleri hesaplanır. Bu değerlere göre yapılan kuraklık sınıflandırması Çizelge 2.6'da verilmiştir (Bozkurt, 1996). N_{ks} nemlilik katsayısı, K_{ks} (kuraklık katsayısı), P (yıllık toplam yağış, cm), T (yıllık ortalama sıcaklık, °C), RH (yıllık ortalama nisbi nem %), G_s (gerçek güneşlenme süresinin her enlem derecesine göre değişen teorik güneşlenme süresine oranı, %) ve N_p (nemli periyot yüzdesi, %) büyüklüklerinden hesaplanmaktadır:

$$N_{ks} = \frac{P \cdot RH}{T \cdot G_s + 15} \cdot N_p \quad K_{ks} = \frac{1}{N_{ks}} \quad (2.5)$$

N_{ks} değeri 0.40'dan büyük olan ay sayısı 12'ye bölünerek bulunur.

Çizelge 2.6. Aydeniz İndis Değerleri ve İklim Özellikleri

N_{ks}	İklim Özelliği	K_{ks}
0.40'dan az	Çöl	2.50'den fazla
0.40 - 0.67	Çok Kurak	1.50 - 2.50
0.67 - 1.00	Kurak	1.00 - 1.50
1.00 - 1.33	Yarı Kurak	0.75 - 1.00
1.33 - 2.00	Yarı Nemli	0.50 - 0.75
2.00 - 4.00	Nemli	0.25 - 0.50
4.00'dan fazla	Çok Nemli	0.25'den az

2.2.7 Standart Yağış İndisi (SPI)

Tez çalışması kapsamında kullanılan iki indisten bir olan SPI, meteorolojik kuraklığın belirlenmesinde kullanılan oldukça basit bir yöntemdir. McKee ve arkadaşları (1992) tarafından geliştirilmiş olan SPI'nin hesaplanmasına ilişkin detaylar Yöntemler bölümünde anlatılacaktır. Genellikle 3, 6, 9, 12 aylık yağış dizilerini kullanan bu yöntemle elde edilen SPI indisleri kuraklık sınıflandırılmasında kullanılmaktadır (Kayam vd., 2017). Bu yöntemin uygulama esasları Materyal ve Yöntem başlığı altında detaylıca anlatılacaktır.

2.2.8 Akım Kuraklık İndisi (SDI)

Tez çalışması kapsamında kullanılan iki indisten diğeri Nalbantis ve Tsakiris (2009) tarafından önerilen SDI indisidir. Bu indis, hidrolojik kuraklıkların değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Hidrolojik kuraklığın hesaplanması için genellikle çok veri gerektiren ve hesaplama yoğunluğu olan indisler önerilmiştir. Ancak SDI, meteorolojik kuraklıklarda kullanılan SPI gibi basit ve etkili bir indis olup, bu indisin hesaplanması ve yorumlanması ile ilgili detaylar da Materyal ve Yöntem bölümünde anlatılacaktır.

2.3. Önceki Çalışmalar

Aksoy vd. (2018), yaptıkları çalışmada Gediz Havzası'nda bulunan ve en az 10 yıllık ölçümü bulunan 35 istasyonun 1960 – 2016 yılları arasındaki verilerini kullanarak SPI yöntemi ile kuraklık analizi yapmışlardır. Çalışma sonucunda 1, 3, 6, 12, 24 ve 48 aylık periyotlar için SPI değerlerini belirlemişlerdir. Havzadaki tüm periyotlar için zamanın %32'sinde hafif kuraklık, %8,8'inde orta şiddette kuraklık, %5'inde şiddetli kuraklık ve %2,3'ünde çok şiddetli kuraklık görüldüğünü ortaya koymuşlardır.

Al-Qinna et al. (2011), yağış ve ortalama günlük sıcaklık verilerinden yararlanarak Standartlaştırılmış Yağış İndisi ve Normalleştirilmiş Fark Bitki İndisi

yöntemlerini kullanarak Ürdün Haşimi Krallığı'ndaki 1970-2005 yılları arasındaki meteorolojik ve vejetatif kuraklıkların detaylı analizlerini yapmışlardır. Bu iki indisin analiz sonuçlarına göre 1999-2000 döneminde olağanüstü aşırı kuraklık gözlemlenmiş ve 35 yıldır ülkenin kuraklık döngülerine maruz kaldığı belirtilmiştir. Ayrıca Standartlaştırılmış Yağış İndisi yöntemiyle 30 yıl sonrasına kadar tahminler yapılmış ve daha olumsuz yerel kuraklık koşullarıyla karşılaşacağı ortaya koyulmuştur.

Apak (2009), yüksek lisans tez çalışmasında Ege Bölgesinde yer alan, uzun süreli yağış ölçümüne sahip istasyonlarda kuraklık oluşumlarını 1938-1970 ve 1971-2006 yılları olmak üzere iki periyot için Standart Yağış İndisi yöntemini kullanarak analiz etmiştir. Bu analizlerinin sonucunda iki periyot olarak incelemenin kuraklık şiddetini belirlemedeki etkinliğinden bahsederek ikinci periyotta hem kurak geçen yıl sayısının hem de kuraklık şiddetinin ilkinde göre arttığını gözlemlemiştir.

Arslan vd. (2016), 8 meteorolojik yağış istasyonunun 1973-2013 yılları arasındaki aylık yağış verilerini kullanarak Gediz Havzası'nda bu yıllar arasında meydana gelen kuraklıkları 1,3,6,9,12 ve 60 aylık periyotlar için Standart Yağış İndisi (SPI) kullanılarak araştırmışlardır. Çalışma sonucunda son yıllarda yaşanan kuraklıkların daha uzun sürdüğü tespit edilmiştir. 12 ve 60 aylık periyotlar için kuraklık süresinin eskiye nazaran son yıllarda 3-7 kat arasında arttığı belirtilmiştir.

Atmaca (2011), yüksek lisans tezinde Konya'nın bölgesel kuraklık analizini L-Momentler yaklaşımı ve Standart Yağış İndisi yöntemi ile yapmıştır. Çalışmasında ilde yer alan istasyonlardan elde ettiği aylık yağış miktarlarını kullanarak 3,6,9 ve 12 aylık kümülatif yağış serileri oluşturmuştur. 44 adet gözlem istasyonunu 3 bölgeye ayırdığında homojenliği yakalayabilmiş ve sonuç olarak SPI değerlerine göre bölgelerde hafif kuraklığın yaygın olarak oluştuğunu gözlemlemiştir.

Balcı (1992), yüksek lisans tezi kapsamında Gediz Havzası'nda bulunan Salihli, Akhisar, Manisa ve Menemen'in kuraklık durumunu Thornthwaite yöntemine göre incelemiştir. Çalışmasında 1931-1989 yılları arasındaki verileri aylık ve yıllık bazda kullanmıştır. Sonucunda incelediği yerlerde hangi yıllarda kuraklık sorunlarıyla karşılaşıldığını ortaya koyarken, Gediz Havzası için kurak dönemin en az dört ay en fazla altı ay sürdüğünü tespit etmiştir.

Çakal (2016), yüksek lisans tez çalışmasında Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PDSI)'ni kullanarak Kuzey Kıbrıs'ta geçmişte yaşanan kuraklık olaylarının karakteristiklerini belirlemeyi hedeflemiştir. Buna göre 1978-2015 yılları arası için 33 meteorolojik istasyondan aldığı verileri değerlendirmiştir. Aylık olarak PDSI değerlerini elde ettikten sonra Mann-Kendall trend analizini uygulamıştır. Sonuç olarak bu yıllar arasında 6 kez kuraklık olayının yaşandığı tespit ederek en şiddetli ve uzun süreli olanın 2004 ve 2005 yıllarında meydana geldiğini ortaya koymuştur. Genel olarak Kıbrıs'ı %45 kurak, %28 normale yakın ve %27 nemli olarak değerlendirmiştir.

Dabanlı (2017), “Türkiye’de İklim Değişikliğinin Yağış-Sıcaklığa Etkisi ve Kuraklık Analizi: Akarçay Örneği” adlı doktora tez çalışmasında kapsamlı trend analizleri yapmıştır. İnovatif-Şen yönteminin diğer klasik yöntemlere göre üstünlüğünü ispat etmiştir. Ayrıca Türkiye genelindeki 250 istasyondan alınan 1931-2010 yılları arasındaki 80 yıllık verileri kullanarak kuraklık analizi yapmıştır. Kuraklık analizinde Standart Yağış İndisi yönteminin farklı zaman ölçeklerini kullanmıştır. Çalışma sonucunda 6 istasyona ait gözlem ve tahmin grafikleri, geçmiş dönemdeki kuraklık analizleriyle birlikte geleceğe yönelik tahminler ve çözüm için öneriler sunulmuştur.

DeChant and Moradkhani (2014), yağış, sıcaklık, potansiyel evopotranspirasyon, rüzgâr hızı ve nem verilerini kullanarak Olasılıksal akış öngörü tekniği yardımıyla kuraklık olasılığını tahmin etmek için bütüncül bir yaklaşım benimsemişlerdir. Çalışmanın sonucunda mevsimsel kuraklık tahmini için PF-SBC (Particle Filter- Sequential Bayesian Combination) yönteminin sunulan diğer yöntemlere göre en uygun olduğuna karar verilmiştir.

Doğan (2013), “Konya Kapalı Havzası Kuraklık Karakterizasyonunun Zamansal-Konumsal Analizi” adlı doktora tezi kapsamında dünyada yaygın olarak kullanılan 6 farklı kuraklık indisini karşılaştırmıştır. Bunlar; Normal Yağış Yüzdesi (PNI), Yağış Kuyrukları (YK), Z-Skoru, Çin Z İndisi (ÇZİ), Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ve Efektif Kuraklık İndisi (EKİ)’dir. Daha sonra başarılı olduğunu belirlediği kuraklık indisleriyle Konya Kapalı Havzasının 1972-2009 yılları arası kuraklık analizini yapmıştır. Havzayı en çok etkileyen çok şiddetli sınıfında yer alan kuraklığın 1973-1974 yıllarında görüldüğünü, en çok kuraklık olayının da 1996-2000 yılları arasında yaşandığını belirtmiştir.

Edossa et al. (2010), Etiyopya’nın Awash Nehri havzasındaki kuraklık özellikleri meteorolojik ve hidrolojik olarak incelemişler ve ArcView kullanılarak kuraklık şiddeti haritaları üretmişlerdir. Üst ve orta Awash Nehri havzalarında aşırı kuraklık olaylarının daha sık görüldüğü gözlemlenmiştir. En şiddetli hidrolojik kuraklık olayının 1988 yılında gözlemlendiği belirtilmiştir.

Efe ve Özgür, (2015), Konya ve Çevresinin Kuraklık Analizi yaptıkları çalışmada 20 istasyona ait 1972-2013 yılları arasındaki aylık toplam yağış verilerini kullanarak bu iki yöntem ile kuraklık analizi yapmışlardır. Buldukları sonuçları her iki indis için de önce yıllık olarak daha sonra da Nisan ve Ağustos ayları için değerlendirmişlerdir. Yıllık bazda bakıldığında SPI metoduna göre 2013 yılının sadece bir istasyon hariç tüm istasyonlarda kurak geçtiği görülürken PNI metoduna göre böyle bir tekdüzelikten söz edilemeyeceğini vurgulamışlardır.

Gökkür (2003), Ege bölgesinde yer alan 20 istasyona ait 1971 ile 2001 yılları arasındaki yağış verilerini kullanarak SPI yöntemiyle kuraklık analizini yapmıştır. Yaptığı tez çalışmasında 30 yıllık verileri tek bir sayıya dönüştürmüş ve incelediği istasyonlara ait SPI değerlerini grafik olarak sunmuştur. Genel bir değerlendirmeye istasyonların Ocak ile Mart ayları arasında nemli veya yarı nemli durumda iken özellikle Mart ile Temmuz ayları arasında yarı kurak koşulların sıklıkla görüldüğünü saptamıştır. İncelediği istasyonlarda sadece Nisan ayında Kütahya’da şiddetli kurak koşulların görülebildiğini belirtmiştir.

Gülsever (2006), yüksek lisans tezi kapsamında Dicle Havzası'nda sıcaklık, yağış ve kuraklık analizi yapmıştır. Uzun yıllar ortalama sıcaklık verilerini seçilen 13 meteoroloji istasyondan alırken yağış verileri için 18 adet istasyonun verilerini kullanmıştır. Bölgenin kuraklık riskini belirlemek için Thornthwaite kuraklık indislerini hesaplamıştır. Buna göre kuraklık riskinin en az olduğu yerin Bitlis olduğunu, en fazla olduğu yerlerin Diyarbakır, Batman ve Cizre olduğunu ortaya koymuştur.

Hallack-Alegria et al. (2011), kuzeybatı Baja California ve Mexico' da ENSO etkisindeki yağış kuraklık frekans analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, 34 istasyondaki 1950-2008 yılları arasındaki yağış verilerini kullanarak Standartlaştırılmış Yağış İndisi ve L-Momentler Yöntemi ile yerel ölçekte meteorolojik kuraklığın sıklığı ve şiddetinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Sonucunda çalışmada kullanılan yöntemlerin başka bölgelere de aktarılacağı ve kuraklık frekansı tahminlerinin kapsamlı bir kuraklık yönetim planında kritik bileşenler olarak yer alabileceği belirtilmiştir.

Hao et al. (2016), çalışmalarında 1932-2011 yılları arasındaki aylık yağış ve yüzey akışı verilerini kullanarak ABD'nin Teksas eyaletinde Meta-Gauss modeli temel alarak bir hidrolojik kuraklık öngörüsü yapmayı amaçlamışlardır. Önerilen yöntemin genel olarak yararlı kuraklık tahmin bilgisi sağladığı ve kuraklığın erken uyarılmasına yardımcı olmak için farklı kuraklık türlerinin tahmin edilmesine yönelik genel bir yöntem olarak kullanılacağı sonucuna varılmıştır.

Jeong et al. (2014), çalışmalarında Kore'de Nakdong Nehri havzasının kuraklık değerlendirmesi için Gerçek Zamanlı Kuraklık İndisinin geliştirilmesi ve uygulanmasını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda Gerçek Zamanlı Kuraklık İndisinin kuraklık değerlendirilmesi için kullanılmasının mümkün olduğu kanıtlanmıştır.

Joetzjer et al. (2013), çalışmalarında meteorolojik kuraklıktan çok hidrolojik kuraklık konusunu işlenmiştir. Nehir deşarjı için Standartlaştırılmış Akış İndisi (SRI) kullanılarak çeşitli meteorolojik kuraklık indisleri (scPDSI, SPI, SPEI) kıyaslanmıştır. Sonuç olarak Amazon ve Mississippi havzalarının 1850-2100 periyodu için kıyaslanan kuraklık indislerine göre iklim değişikliği grafikleri çizilmiştir.

Kayam vd. (2017), çalışmalarında özellikle tarımsal kuraklığı tanımlamada sıklıkla kullanılan 5 tane kuraklık indisini karşılaştırmışlardır. Çalışmada kullanılan iklimsel veriler 1954-2016 yılları arasına aittir. Çalışma sonucunda seçtikleri indislere göre yapılan kuraklık analizlerinin genel olarak birbirleriyle uyumlu olduğunu, sadece kuraklık keşif indisi ile standart yağış indisi arasında önemli farkların ortaya çıktığını belirtmişlerdir.

Küçükyaman (2010), yüksek lisans tez çalışmasında Kovada gölünün kuraklık durumunu hidrolojik ve meteorolojik olarak incelemiştir. Öncelikle SYİ yöntemiyle kuraklık sınıflarını belirlemiş, daha sonra kuraklığı modellemek için

Adaptif Sinir Ağına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemlerini kullanmıştır. Sonuç olarak kurak dönemlerin tüm zamanlar boyunca %52'lik bir kısma denk geldiğini, hafif şiddetli kuraklık kategorisinin diğer kategorilere oranla daha sık görüldüğünü ve yağışlarda ve göl seviyesi değerlerinde azalmalar olduğunu tespit ederek alınabilecek önlemlere değinmiştir.

Lorenzo-Lacruz et al. (2010), çalışmalarında 1961 ile 2006 yılları arasında Tagus Nehri havzasında iklimsel kuraklıkların çeşitli hidrolojik sistemlere olan etkisini iki farklı kuraklık indisi, SPI ve SPEI, kullanılarak analiz etmişlerdir. Sonucunda sıcaklıktaki yükselmelerin göz ardı edilemeyecek kadar etkili olduğunu, 1970'lerden itibaren havzada kuraklık koşullarının arttığını, bulgularının daha önceden yapılmış çalışmaların sonuçları ile paralellik gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca havzadaki su mevcudiyetinin giderek azaldığına dikkat çekilerek yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulacağı belirtilmiştir.

Ma et al. (2015), çalışmalarında geleneksel olarak kullanılan Palmer İndislerinden (PDSI) yola çıkılarak Variable Infiltration Capacity (VIC) model oluşturmayı amaçlamışlardır. VIC hidrolojik modeli için 101 adet meteoroloji istasyonunun 1955-2012 yılları arasındaki günlük yağış, maksimum ve minimum sıcaklık ve rüzgâr hızı değerleri kullanılmıştır. VIC tabanlı SPDI-JDI (Standardized Palmer Drought Index-based Joint Drought Index)'nin daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Nalbantis and Tsakiris (2009), hidrolojik kuraklık şiddetinin değerlendirilmesi için Streamflow Drought Index (SDI) adını verdikleri yeni bir metodoloji önerilmektedir. Meteorolojik kuraklıklar değerlendirilirken SPI gibi basit ve etkili indisler kullanılırken, hidrolojik kuraklıklar için geliştirilen indislerin genel olarak çok veri talep eden ve hesaplama yoğunluğu olan indisler olduğundan bahsedilmiştir. Çalışma alanı olarak Yunanistan'ın merkezinde bulunan Evinos Nehri Havzası seçilmiştir. Bu yöntemle göre Ekim-Aralık, Ekim-Mart, Ekim-Haziran ve Ekim-Eylül olmak üzere dört dönemde kuraklık analizi yapılmıştır. Sonucunda kurak yıllar ve kuraklık dereceleri belirlenirken SPI ile çok benzer olan bu yöntemin uygulandığı çalışmada yöntemin güvenilirliği doğrulanmıştır.

Naresh Kumar et al. (2011), 1951-2007 yılları arası yağış verilerinden yararlanılarak Hindistan'daki kuraklığın zamansal ve mekânsal analizini SPI yöntemi ile yapmışlardır. L-Momentler Yöntemi ile Pearson III dağılım parametlerinin tahmini yapılmıştır. Çalışma sonunda DPS (Drought Persistency Score) puanlamaları yapılmış ve buna göre ülkedeki en şiddetli kuraklığın 1987 yılında yaşandığı görülmüştür.

Oğuztürk (2010), yüksek lisans tezi kapsamında Gediz Havzası'nda SPI ile kuraklık analizi yapmıştır. Havzada yer alan 14 adet meteoroloji gözlem istasyonundan elde ettiği aylık yağış verilerinin 1950-2007 yılları arasındaki SPI değerlerini bularak bütün istasyonların kuraklık karakteristiklerini incelemiştir. Daha sonra Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemini kullanarak geleceğe yönelik kuraklık tahminde bulunmuştur. 1,3,6,9,12 ve 24 aylık SPI çalışmalarını bütün

olarak değerlendirdiğinde havzada yağış eksikliğine bağlı olarak çeşitli seviyelerde kuraklık olaylarının çok sık yaşandığını vurgulayarak çözüm için öneriler sunmuştur.

Piccarreta et al. (2004), 1923-2000 döneminde Basilicata bölgesinde dağılmış 50 istasyondan yıllık, aylık ve mevsimlik yağış serileri Standart Yağış İndisi ve Parametrik Olmayan Mann Kendall Testi ile incelemişlerdir. Sonuçlar incelenen dönemde yıllık yağış miktarının yaklaşık 156 mm azaldığını göstermiştir. 50 istasyondan 27 tanesinin yıllık yağış trendinin negatif, sadece 3 istasyonun pozitif olduğunu geri kalan istasyonlarda önemli bir eğilimin olmadığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca son 30 yılda kuraklık dönemlerinin aşırı derecede şiddetli hale geldiği saptanmıştır.

Rajsekhar et al. (2014), kuraklık şiddeti, süresi ve frekansı arasında bir ilişki geliştirilmeyi amaçlamışlardır. Standardized Streamflow Index ve Parametrik olmayan Mann-Kendall Testini kullanarak 1949-2000 yılları arasındaki meteorolojik verilerle Teksas eyaleti için kuraklık şiddetinin 10,25,50 ve 100 yıllık dönemlerde mekânsal değişimi araştırılmıştır. Sonuç olarak kuraklık şiddetinin batı ve kuzey Teksas boyunca maksimum şiddette olduğu güney batı ve doğu bölgelere doğru giderek azaldığı saptanmıştır.

Shukla and Wood (2008), Kaliforniya’da bulunan Feather Havzasında SRI ve SPI yöntemleri kullanılarak kuraklık analizi yapmışlardır. Sonucunda 1976-1977 ve 1987-1992 yıllarında kuraklık olaylarının, 1995 yılında ise taşkın olduğu belirtilmiştir. Kurak yıllarda her iki indisin de 1989 yılındaki birkaç ay haricinde olumsuz değer verdiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak SRI yönteminin kuraklığın hidrolojik yönlerini de göstermek için SPI yöntemine iyi bir tamamlayıcı olabileceği kanaatine varılmıştır.

Tabari et al. (2013), İnan’ın kuzey batısındaki 14 hidrometrik istasyonun verileri kullanılarak 1975-2009 yılları arasındaki hidrolojik kuraklığı araştırmışlardır. Akım Kuraklık İndisi (SDI) yöntemiyle 3,6,9 ve 12 aylık periyotlarda incelemeler yapılmıştır. Farklı olasılık dağılımları denenmiş ancak uzun süreli akış verileri için en uygun dağılımın log-normal dağılım olduğu belirlenmiştir. Sonucunda neredeyse tüm istasyonların aşırı kuraklıktan etkilendiği ve son 12 yılda 1997-1998’den 2008-2009’a kadar aşırı kuraklıkların meydana geldiği belirtilmiştir.

Topçuoğlu vd. (2004), kuraklığın alansal ve zamansal olarak incelenip etkilerinin en aza indirilebilmesi için ölkemiz koşullarını en iyi şekilde temsil edecek yeni bir kuraklık indisi geliştirerek “Topçuoğlu İndisi” olarak isimlendirmişlerdir. Çalışmada Türkiye’de bölgelere göre homojen bir şekilde dağılmış 50 istasyonun 1970-2001 yılları arasındaki ortalama sıcaklık ve yağış değerleri kullanılmıştır. Sonuç olarak geliştirdikleri bu indisle mevsimsel farklılıkları gözlemleyebilmişlerdir ve geçmişten günümüze değerlendirme yapılabilmesinin yanında geleceğe yönelik tahminlerin de yapılabilir olmasının mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

Topçu (2013), yüksek lisans tezi kapsamında Seyhan Havzası'nda bulunan 11 meteoroloji gözlem istasyonunun uzun yıllar aylık yağış serilerini kullanarak SPI yöntemi ile kuraklık analizini yapıp, L-Momentler yöntemiyle de belirlediği en kurak ayların bölgesel frekans analizini yapmıştır. Elde ettiği sonuçlar tüm istasyonların kuraklık sınırında olduğunu göstermektedir. Ortalama SPI değerlerini dikkate alarak en kurak istasyonun Karaisalı olduğunu gözlemlemiştir. Havzayı kuraklığın sınırında olan hafif nemli bir havza olarak tanımlarken kuraklığın oluşma frekansını %47,7 olarak tespit etmiştir.

Tosunoglu and Kisi (2016), Çoruh Nehri havzasında yer alan 9 istasyondan alınan 1962-2007 yılları arasındaki akım verileri ile Mann-Kendall, Modifiye Mann-Kendall ve Şen'in Yenilikçi Trend Analizi yöntemlerini geliştirerek maksimum hidrolojik kuraklık değişkenleri, yıllık maksimum süre ve yıllık maksimum şiddeti eğilimlerini araştırmışlardır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Şen'in Yenilikçi Trend Analizinin oldukça başarılı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Modifiye Mann-Kendall ve Şen'in Yenilikçi Trend Analizi yöntemlerinin farklı istasyonlar için benzer eğilimler gösterdiklerini belirtmişlerdir. Özellikle 2316 ve 2323 numaralı istasyonların kuraklık şiddetinde artan eğilimler olduğunu ve dikkat edilmezse ilerde su sıkıntısı ile karşı karşıya kalılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Tsakiris et al. (2007), Yunanistan'daki Mornos ve Nestos havzalarında kuraklık değerlendirmelerini yapmış ve RDI adında yeni bir kuraklık indisi önermişlerdir. Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ve Deciles İndisi de kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Doğu Akdeniz'de öngörülen iklim değişikliğine göre hem yağışların azalması hem de potansiyel evopatranspirasyon değerlerinin yükselmesi göz önüne alındığında RDI'nın değişen iklim koşullarında daha güvenilir olacağı vurgulanmıştır.

Türkeş (1990), doktora tezi kapsamında Türkiye'deki 150 meteoroloji istasyonunun 1956-1987 yılları arasındaki 32 yıllık gözlemlerini kullanarak ülkemizdeki kurak bölgeleri ve önemli kurak yılları tüm yönleriyle incelemiştir. Çalışmasında Erinç kuraklık indisini kullanarak Türkiye'nin yaklaşık %75'inin 5-8 ayının kurak ve yarı kurak iklim koşulları altında geçirdiğini tespit etmiştir. Bu sürenin güneyden kuzeye doğru azaldığını ve özellikle Karadeniz kıyı kuşağında kurak ya da yarı kurak bir devreye rastlanmadığını söylemektedir. Türkiye'nin en geniş yağış etkinliği bölgesini ise yarı nemli alanların oluşturduğunu ortaya koymuştur.

Van Loon and Laaha (2015), yaptıkları çalışmada ortalama 50 yıllık zaman serilerine sahip Avusturya'daki 44 hidrometeorolojik istasyonun verilerini kullanarak kuraklık analizi yapmışlardır. Sonucunda incelenen istasyonlara ait; yıl bazında kuraklık sayısı, ortalama süresi, en fazla kaç gün sürdüğü, ortalama ve maksimum yağış eksikliği verileri tablolar halinde verilmiştir ve tüm istasyonlarda meteorolojik kuraklığın hidrolojik kuraklığa doğru yayıldığını gözlemlendiği belirtilmiştir.

Yeğnidemir (2005), "İç Anadolu Bölgesi'nin Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) Metodu ile Kuraklık Analizi" başlıklı yüksek lisans çalışmasında 28

meteoroloji istasyonundan aldığı aylık ortalama yağış verilerini kullanarak 1953-2003 yılları arasındaki döneme ait SPI değerlerini hesaplamıştır. Ayrıca Kriging metodu ile bölgesel kuraklık haritaları çizerek su açığı olan yerleri tespit etmeye çalışmıştır. Çalışmanın sonucunda İç Anadolu Bölgesi'nin kuraklıktan önemli derecede etkilendiğini, yağış eksikliğine bağlı olarak tarımın bazı dönemlerde şiddetli bir şekilde etkilendiği ortaya koyularak çözüm yolları önerilmiştir.

Yetmen (2013), doktora tezi çalışması kapsamında Türkiye'deki 133 istasyondan alınan aylık toplam yağış verilerini kullanarak Standart Yağış İndisi yöntemiyle 1975-2008 yılları arasında Türkiye'de ortaya çıkan kuraklık olaylarını incelemiştir. Ayrıca özellikle kış aylarında Akdeniz havzasına yağış getiren ve meteorolojik kuraklık olaylarına da neden olabilen süreçlerden Kuzey Atlantik Salınımının Türkiye'deki kuraklıkları ne ölçüde etkilediği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda en uzun kurak dönemlerin ortalama 20 ay sürdüğü, maksimum kuraklık şiddetinin görüldüğü özellikle 4 dönemin gözlemlendiği ve kuraklık genliğinin istasyonların %72'sinde artış eğiliminde olduğu saptanmıştır.

Gediz Havzası 5 adet alt havzadan oluşmaktadır (Şekil 3.2). Bunlar;

1. Demirköprü Barajı Alt Havzası
2. Alaşehir Alt Havzası
3. Kemalpaşa Alt Havzası
4. Gediz Ana Kol Alt Havzası
5. Kum Çayı Alt Havzası' dır (DSİ, 2015).



Şekil 3.2. Gediz Havzası Alt Havzaları (DSİ, 2015)

Havzada 5 adet baraj bulunmaktadır. Bunlardan en büyüğü 1.022 milyon m³ su depolama kapasitesiyle Demirköprü Barajı'dır. Barajın üzerinde enerji üretimi amacıyla HES kurulmuştur. Küçükler ve Gördes barajları içme suyu temini amacıyla da kullanılmaktadır. Demirköprü, Afşar, Buldan ve Gördes barajları Manisa ilinde, Küçükler barajı ise Uşak'ta yer almaktadır. Barajların hangi akarsu üzerinde yer aldığı, hangi amaçla kullanıldıkları, toplam hacimleri, sulama ve yağış alanları ile ilgili bilgiler Çizelge 3.1'de verilmiştir. (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2018)

Gediz Havzası; Manisa, İzmir, Kütahya ve Uşak olmak üzere 4 ilin ve toplamda 21 ilçenin bölümlerini içine almaktadır. Havza sınırlarının içinde kalan bölümleri dikkate alınarak elde edilen 2017 yılı nüfusunun illere göre dağılımı incelendiğinde en yüksek nüfus miktarının 1 261 487 kişi ile Manisa'da olduğu, bunu 497 264 kişi ile İzmir'in, 60 899 kişi ile Kütahya'nın ve 24 586 kişi ile Uşak'ın takip ettiği görülmektedir. Çizelge 3.2'de verilen nüfus bilgileri Türkiye İstatistik Kurumu'nun nüfus kayıt sistemi veri tabanından yararlanılarak oluşturulmuştur.

Çizelge 3.1. Gediz Havzasında yer alan barajlar

(S: Sulama, E: Enerji, T: Taşkın Koruma)

Baraj	Akarsu	Amaç	Hacim (10 ⁶ m ³)	Sulama Alanı (ha)	Yağış Alanı (km ²)
Demirköprü Barajı	Gediz Nehri	S,E,T	1022	67393	6590
Gördes Barajı	Gördes Çayı	S	448	14425	1045
Afşar Barajı	Alaşehir Çayı	S,T	71	13650	537
Buldan Barajı	Derbent Çayı	S	35	2379	180
Küçükler Barajı	Gavural Deresi	S	12	269	38

Çizelge 3.2. Gediz Havzası'nda Yer Alan Başlıca Yerleşim Yerleri ve Nüfusları(2017)

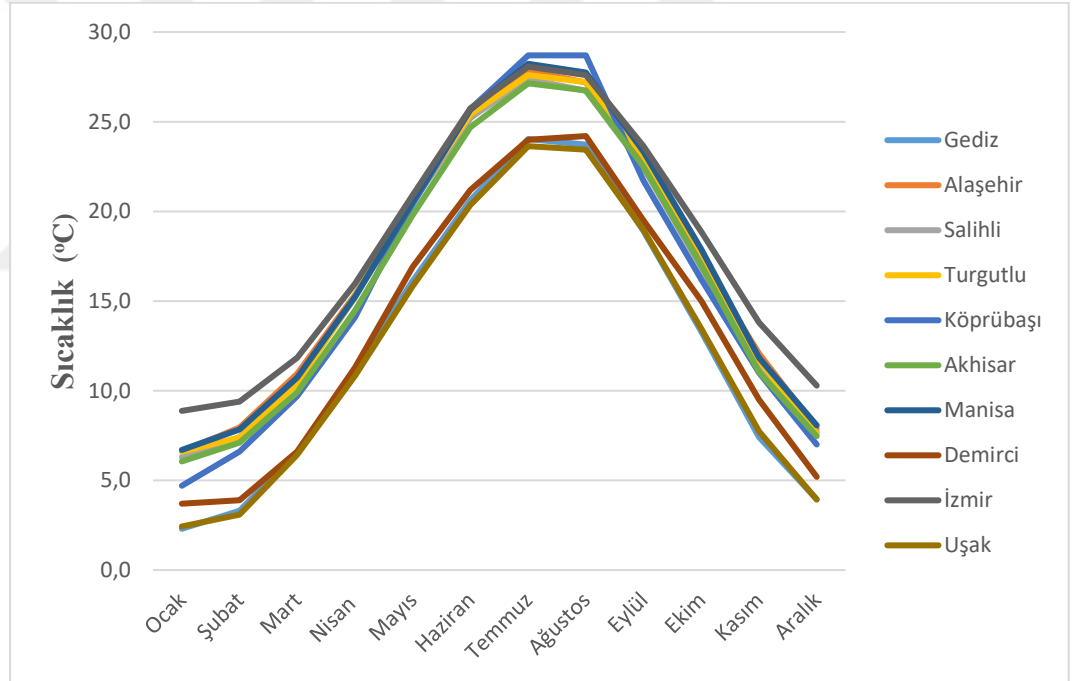
Gediz	49569
Şaphane	6272
Pazarlar	5058
Uşak	24586
Demirci	41129
Selendi	20334
Kula	44403
Sarıgöl	36023
Alaşehir	102731
Salihli	160810
Ahmetli	16150
Turgutlu	160183
Köprübaşı	13285
Gördes	28368
Akhisar	167883
Gölmarmara	15243
Saruhanlı	54259
Manisa	400686
Kemalpaşa	105506
Menemen	170090
Çiğli	190607
Foça	31061
Toplam	1844236

3.1.2 Bölgenin İklim Özellikleri

Havzada yaz aylarının sıcak ve kurak, kış aylarının ılık ve yağışlı geçtiği tipik Akdeniz iklimi özellikleri görülür. Sıcaklık, buharlaşma ve yağış ile ilgili bilgiler ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.1.2.1 Sıcaklık

İklim elemanlarının en önemlilerinden birisi olan sıcaklık değerleri incelendiğinde havzanın yıllık ortalama sıcaklık değerinin 15,6 °C civarında olduğu görülebilir. Havzadaki istasyonlardan alınan verilere göre hazırlanan çizelge ve grafikler incelendiğinde hiçbir ayın ortalamasının 0 °C'nin altına düşmediği gözlemlenmektedir. Şekil 3.3'de uzun yıllar ortalama sıcaklık değişimi, Çizelge 3.3'de ortalama sıcaklık değerleri verilmiştir. Çizelge ve şekiller MGM'den alınan ve 1970-2010 yılları arasında kapsayan verilere göre hazırlanmıştır.



Şekil 3.3. Gediz Havzası uzun yıllar ortalama sıcaklık değişimi

3.1.2.2 Buharlaşma

Çizelge 3.4'de havzaya ait yıllık ortalama buharlaşma değerleri yer almaktadır. İstasyonların bazılarında buharlaşmanın gözlenmediği görülmektedir. Çizelge 3.4'den görüleceği üzere buharlaşmanın en yoğun olduğu istasyon İzmir'dir.

Çizelge 3.3. Gediz Havzası uzun yıllar ortalama sıcaklık değerleri

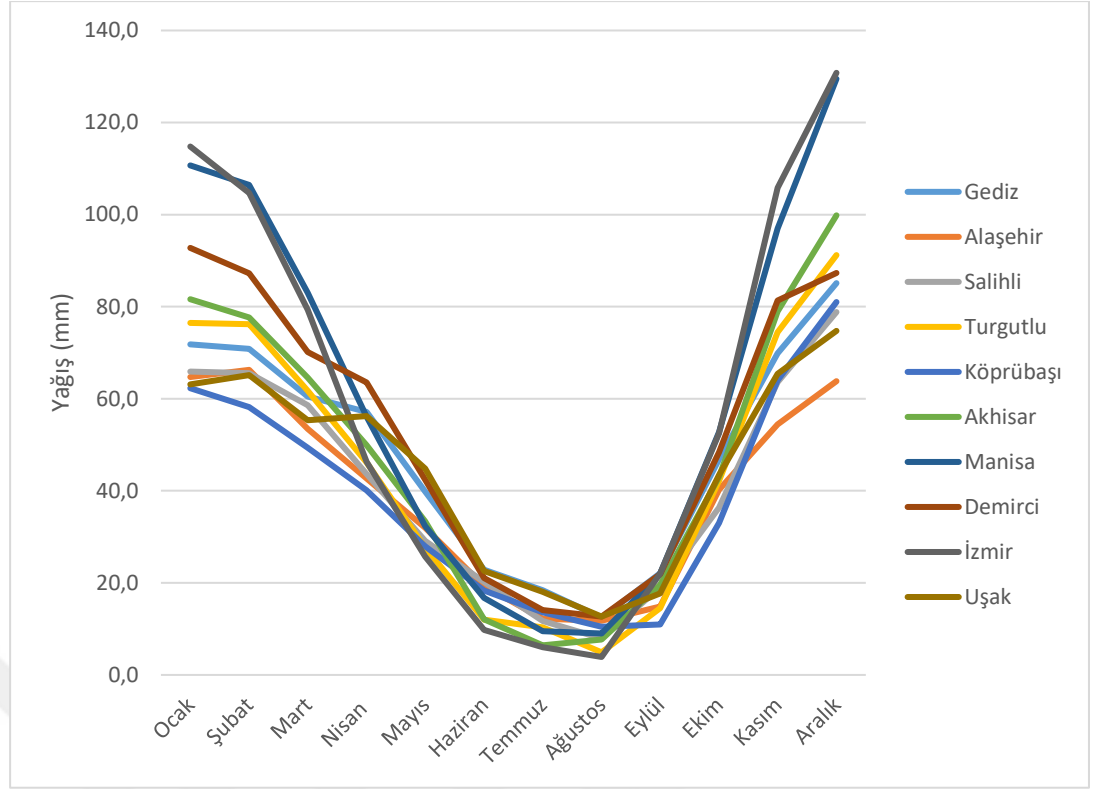
İstasyon Adı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gediz	2,3	3,3	6,6	11,1	16,1	20,6	24,0	23,7	18,9	13,3	7,4	3,9
Alaşehir	6,6	7,9	10,9	15,3	20,5	25,2	27,8	27,2	22,8	17,3	12,1	7,9
Salihli	6,3	7,4	10,5	15,2	20,5	25,2	27,4	26,7	22,4	16,9	11,2	7,7
Turgutlu	6,6	7,4	10,4	15,3	20,6	25,4	27,6	27,2	23,1	17,7	11,7	7,6
Köprübaşı	4,7	6,6	9,7	14,1	20,4	25,7	28,7	28,7	21,7	16,2	11,0	7,0
Akhisar	6,1	7,1	9,9	14,5	19,8	24,7	27,1	26,7	22,5	17,0	11,0	7,5
Manisa	6,7	7,8	10,7	15,3	20,5	25,7	28,2	27,7	23,3	17,9	11,8	8,1
Demirci	3,7	3,9	6,6	11,3	16,9	21,2	24,0	24,2	19,5	15,0	9,5	5,2
İzmir	8,9	9,4	11,8	16,0	20,9	25,7	28,1	27,6	23,6	18,9	13,8	10,3
Uşak	2,4	3,1	6,4	10,8	15,8	20,4	23,6	23,4	19,0	13,4	7,7	3,9

Çizelge 3.4. Gediz Havzası uzun yıllar ortalama buharlaşma değerleri

İstasyon Adı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gediz	0,2			66,5	117,4	154,4	202,7	191,6	130,7	73,9	11,7	3,2
Salihli				97,3	163,5	216,8	254,1	234,1	159,2	95,4	32,7	4,8
Akhisar	3,0	2,4	14,2	103,8	170,6	233,6	288,3	267,5	183,9	100,6	33,6	3,9
Demirci				58,0	174,6	234,8	301,7	273,1	180,6	113,2	38,6	3,3
İzmir	11,7	12,0	25,6	120,2	179,3	240,4	282,8	251,0	183,2	110,0	62,6	28,6
Uşak				79,5	137,0	184,2	238,1	225,4	166,6	97,1	17,6	0,3
Ortalama	5,0	7,2	19,9	87,5	157,1	210,7	261,3	240,4	167,4	98,4	32,8	7,3

3.1.2.3 Yağış

Gediz Havzası, Akdeniz ikliminin yağış özelliklerine sahiptir. Yazlar kurak, kışlar bol yağışlı geçmektedir. Havzadaki istasyonların gözlemlerinden elde edilen bilgilere göre yıllık toplam yağış miktarı 450-800 mm arasında değişmekte olup en fazla yağışın görüldüğü aylar Aralık, Ocak ve Şubat aylarıdır. Oransal olarak bakıldığında ise yıllık yağışın %44'ü kışın, %36'sı sonbaharda, %16'sı ilkbaharda ve %4'ü de yazın gerçekleşmektedir. Havza geneline bakıldığında kar şeklindeki yağışların ve karın yerde kalma süresinin çok az olduğu görülebilir. Şekil 3.4'de uzun yıllar ortalama toplam yağış değişimi, Çizelge 3.5'de ortalama toplam yağış değerleri verilmiştir.



Şekil 3.4. Gediz Havzası uzun yıllar ortalama toplam yağış değişimi

Çizelge 3.5. Gediz Havzası uzun yıllar ortalama toplam yağış değerleri

İstasyon Adı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gediz	71,8	70,9	60,5	57,1	39,8	22,9	18,4	12,4	22,1	46,9	69,9	85,1
Alaşehir	64,7	66,3	53,4	42,6	31,9	19,3	12,2	11,8	14,8	40,3	54,5	63,8
Salihli	65,9	65,6	58,6	43,6	29,1	20,2	11,7	7,9	19,0	36,4	63,6	78,8
Turgutlu	76,5	76,2	61,7	46,1	27,7	12,0	10,4	4,9	14,5	42,2	74,4	91,2
Köprübaşı	62,3	58,2	49,3	40,1	27,9	18,3	13,6	10,5	11,0	33,0	64,0	81,0
Akhisar	81,6	77,6	64,6	49,9	33,3	12,1	6,4	7,7	19,6	43,0	79,0	99,8
Manisa	110,7	106,4	83,0	56,1	32,3	16,7	9,5	9,0	22,0	52,8	97,0	129,5
Demirci	92,8	87,2	70,1	63,6	42,4	21,0	14,1	12,7	21,9	48,4	81,4	87,4
İzmir	114,8	104,7	79,3	46,3	25,7	9,8	6,0	3,9	22,1	52,5	105,8	130,8
Uşak	63,1	65,1	55,3	56,2	44,9	22,6	18,1	12,7	17,7	43,4	65,4	74,7

3.2. Yöntemler

3.2.1 Kuraklık İndisleri

Kuraklık analizinde en sık rastlanılan indislere tez çalışmasının literatür özeti bölümünde kısaca değinilmiştir. Bu çalışma kapsamında meteorolojik kuraklığı tespit etmek amacıyla standart yağış indisi (SPI), hidrolojik kuraklığı tespit etmek amacıyla ise akarsu kuraklık indisi (SDI) kullanılmıştır. Her iki indisin de kullanımı normal dağılıma uyan yağış ve akış dizileri için uygun olmaktadır. Bu bakımdan öncelikle kuraklık analizi yapılacak veri dizisinin normalliği araştırılmalıdır. Bu çalışma kapsamında akım ve yağış veri dizilerinin normalliği 3.2.2 başlığı altında anlatılan Kolmogorov-Smirnov testiyle kontrol edilmiştir.

3.2.1.1. Standart Yağış İndisi (SPI)

Meteorolojik kuraklığı inceleyen SPI elde edilirken yağış verilerinin kullanılması hesaplama kolaylığı açısından olumlu olsa da bu yöntem kısa kayıt dönemleri için önerilmemektedir. 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlar için toplam yağış dizilerinin standart yağış indisleri (SDI) hesaplanarak Çizelge 3.1’de yer alan sınır değerlerine göre kuraklık sınıflandırması yapılır (Kayam vd., 2017).

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}_i}{\sigma} \quad (3.1)$$

Burada; SPI, standart yağış indisini, P_i , aylık yağış miktarını; \bar{P}_i , yağış serisinin ortalamasını ve σ , yağış serisinin standart sapmasını temsil eder.

Bu çalışmada yağışlar, akım verilerine uyumlu olması açısından su yılına uygun olarak (Ekim, Kasım, ...Eylül) düzenlenmiş; ayrıca bu çalışmaya özgü olarak yağış dizileri SDI indisinde olduğu gibi her yılın aynı 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman dilimleri kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.6. SPI Yöntemine Göre Kuraklık Sınıflandırması

SPI Değerleri	Sınıflandırma
2,00 den büyük	Aşırı Nemli
1,50 – 1,99	Çok Nemli
1,00 – 1,49	Orta Nemli
0 – 0,99	Az Nemli
0 – -0,99	Az Kuraklık
-1 – -1,49	Orta Kuraklık
-1,50 – -1,99	Şiddetli Kuraklık
-2,00 den küçük	Aşırı Kuraklık

SPI değerleri dikkate alınarak yapılan bir kuraklık değerlendirilmesinde indisin sürekli olarak negatif olduğu zaman periyodu “kurak dönem” olarak tanımlanır. İndisin sıfırın altına ilk düştüğü ay kuraklığın başlangıcı olarak kabul edilirken, indisin pozitif değere yükseldiği ay kuraklığın bitimi olarak değerlendirilir (McKee et al., 1995).

3.2.1.2 Akım Kuraklık İndisi (SDI)

Nalbantis ve Tsakiris 2009 yılında hidrolojik kuraklıkların değerlendirilebilmesi için SDI adını verdikleri bir indis önermişlerdir. Hidrolojik kuraklığın hesaplanması için genellikle çok veri gerektiren ve hesaplama yoğunluğu olan indisler önerilmekle beraber, meteorolojik kuraklıklarda SPI gibi basit ve etkili indisler kullanılmaktadır. Bu yüzden Nalbantis ve Tsakiris SDI indisini önermişlerdir. Akım kuraklık indislerinin hesaplanmasında, öncelikle belli periyotlu kümülatif akımlar hesaplanmaktadır.

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad i = 1,2,\dots \quad j = 1,2,\dots,12 \quad k = 1,2,3,4 \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte $Q_{i,j}$; aylık akım miktarı, i ; hidrolojik yıl, j ; hidrolojik yıldaki ay, $V_{i,k}$; i hidrolojik yılında ve k referans periyodundaki kümülatif akım miktarıdır. Ayrıca 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotları k referans periyotlarla göstermişlerdir (Ekim – Aralık dönemi için $k = 1$, Ekim – Mart için $k = 2$, Ekim – Haziran için $k = 3$ ve Ekim – Eylül, yani su yılı, için $k = 4$ tür).

Kümülatif akım miktarı $V_{i,k}$ 'ye göre akım kuraklık indisi (SDI); “ i .” hidrolojik yılın her referans “ k ” periyodu için aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{s_k} \quad i = 1,2,\dots \quad k = 1,2,3,4 \quad (3.3)$$

Burada \bar{V}_k ve s_k referans periyodunun k birikimli akım hacminin sırasıyla ortalama ve standart sapmasıdır. Denklem sonucunda elde edilen SDI değeri ise incelenen yılın incelendiği referans periyodu için elde edilen akım kuraklık indisidir.

Bu yöntemle göre hidrolojik kuraklık için SDI değerine göre 5 sınıf belirlenmiş olup Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. SDI Yöntemine Göre Kuraklık Sınıflandırması

Durum	Tanımlama	Kriter
0	Kurak Değil	$SDI \geq 0.0$
1	Hafif Kurak	$-1.0 \leq SDI < 0.0$
2	Orta Kurak	$-1.5 \leq SDI < -1.0$
3	Şiddetli Kurak	$-2.0 \leq SDI < -1.5$
4	Aşırı Kurak	$SDI < -2.0$

3.2.2. Akım Kuraklık İndislerinin (SDI) Frekans Analizi

Akımlarının kuraklık analizinden elde edilen 12 aylık (yıllık) akım kuraklık indislerinin (SDI lerin) frekans analizi üç aşamalı olarak yürütülmüştür:

- i. Veri dizisine en uygun frekans dağılımının belirlenmesi
- ii. Belirlenen frekans dağılımın parametrelerinin tahmini
- iii. Belli tekerrürlü düşük akımların tahmin edilmesi.

Uygun frekans dağılımının belirlenmesinde, hidrolojik frekans analizinde en çok kullanılan iki yöntem olan Kolmogorov-Smirnov ve Anderson Darling testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarının uygunluk sıralamaları her iki test için birlikte değerlendirilecektir. Bu testler aynı zamanda akım ve yağış gözlemlerinin normal dağılıma uygunluğunun test edilmesinde de kullanılacaktır.

Kolmogorov-Smirnov (KS) Testi

Kolmogorov-Smirnov testi için, veri dizisi küçükten büyüğe doğru sıralanarak ampirik olasılıklar hesaplanmaktadır.

$$F^*(x_i) = (i - a) / N + 1 - 2a \quad (3.4)$$

Bu formülde a değişkenin dağılım türüne bağlı bir sabit olup, ekstrem değer dağılımlarında $a=0,44$ (Gringorten), normal ve lognormal dağılımda $a=0,375$ (Blom) veya $a=0,40$ (Cunnane) alınmaktadır (Bayazıt, 1996). $a=1$ ise ampirik Weibull noktalama olasılıklarını verir. Dağılıma ait $F(x_i)$ teorik olasılıklarıyla ampirik olasılıklar arasındaki farkların mutlak değerce en büyüğü belirlenmektedir.

$$\Delta_{\max} = \max \left\{ F^*(x_i) - F(x_i) \right\} \quad (3.5)$$

Elde edilen en büyük fark (Δ_{\max}), öngörülen bir α anlamlılık düzeyine ve (n) veri dizisi uzunluğuna bağlı olarak verilen Δ_{α} kritik değeri ile karşılaştırılarak, frekans dağılım modelinin uygunluğuyla ilgili karar verilebilmektedir.

$\Delta_{\max} \leq \Delta_{\alpha}$ ise modelin uygunluğu α yanılma olasılığı ile kabul edilmektedir. Uygun dağılımlar arasından en başarılı olanının seçilmesinde ise $\Delta_{\max} / \Delta_{\alpha}$ oranı dikkate alınmalıdır.

Anderson-Darling (AD) Testi

Burada test istatistiği, gözlenen x_i değerlerine karşı gelen ampirik aşılma olasılıkları ile seçilen dağılıma göre hesaplanan $F(x_i)$ değerlerinin arasındaki fark karelerinin ağırlıklı bir toplamıdır.

$$AD = \frac{N}{2} - 2 \sum F(x_i) - \sum [2 - (2i - 1) / N] \log(1 - F(x_i))$$

(3.6)

Hesaplanan AD test istatistiği testin verilen kritik değerleri ile karşılaştırılarak belli anlamlılık düzeyleri için dağılımların kabulüne veya reddine karar verilir.

Kolmogorov-Smirnov ve Anderson Darling test sonucunun birlikte değerlendirilmesi, her iki test için belli bazı dağılımlar (Normal, 2-parametrelili log-normal, Gamma, Gumbel, GEV, Genelleştirilmiş Lojistik, Log-Lojistik, Weibull, ve Pearson Tip3) arasından elde edilen uygunluk sıra numaralarının toplanması ve en küçük toplamı veren dağılımın seçilmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir.

Bundan sonraki aşamada uygun olasılık dağılımının parametreleri hesaplanmaktadır.

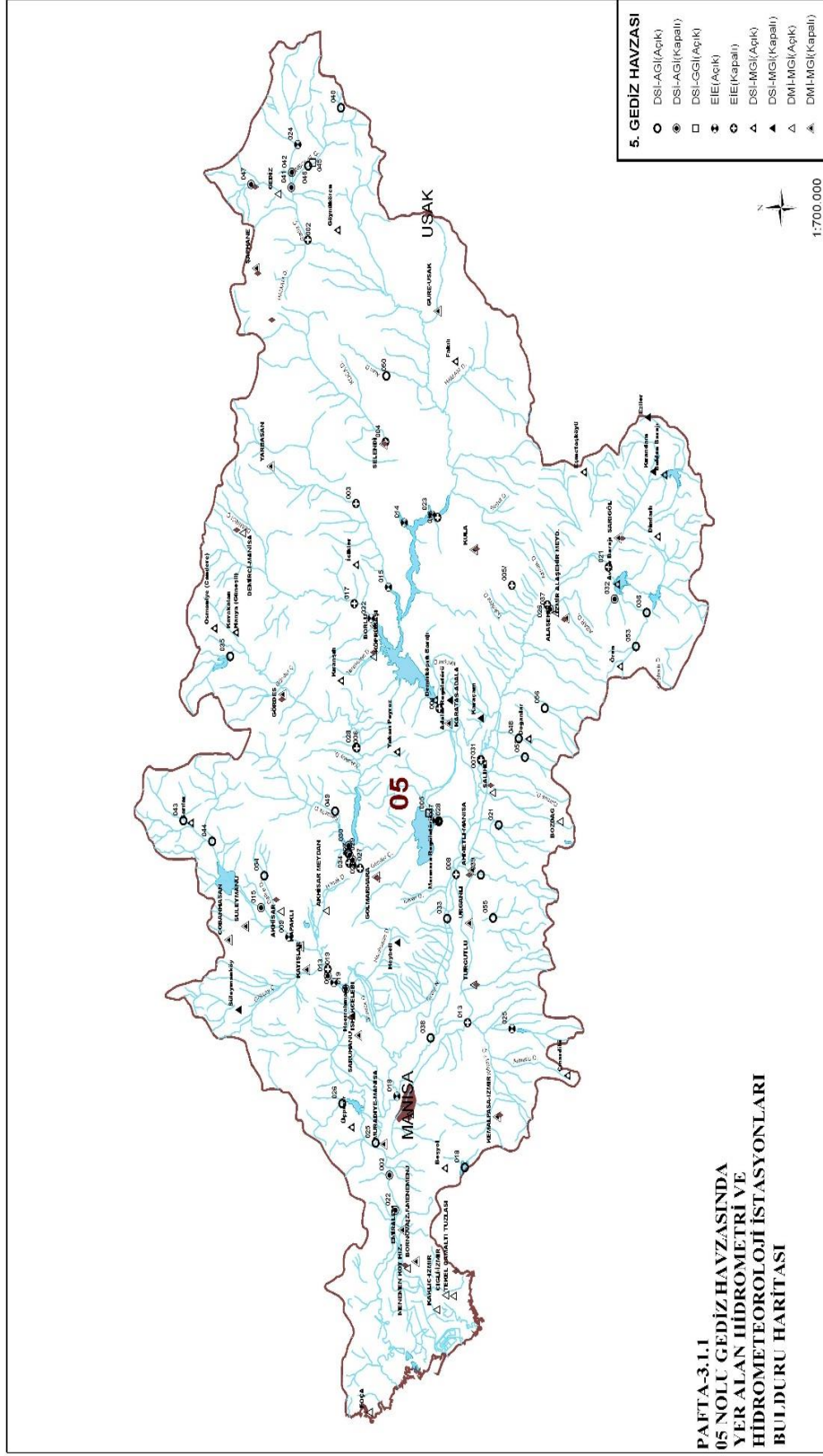
Bu parametreler kullanılarak her istasyon için önce belli tekerrürlü düşük akım indisleri (SDI_T) tahmin edilmekte, daha sonra bu düşük akım indislerine denk gelen düşük akımlar (x_T) hesaplanmaktadır.

$$x_T = \bar{x} + SDI_T \cdot S_x \quad (3.7)$$

Bu eşitlikte \bar{x} ilgili istasyonun uzun dönem akımlarının ortalaması, S_x ise standart sapmasıdır.

3.3. Veriler

Gediz Havzası'nın kuraklık analizinde bölgede yer alan 9 akım gözlem istasyonunun ve 18 yağış gözlem istasyonunun verileri kullanılmıştır. Şekil 3.5'de havzada yer alan istasyonlar ve dağılımları gösterilmiş, çalışılan istasyonlara ait temel bilgiler ise Çizelge 3.8, 3.9 ve 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.5. Gediz Havzası'nda bulunan hidrometri ve hidrometeoroloji istasyonları

Çizelge 3.8. Gediz Havzası'nda yer alan akım gözlem istasyonları

AKIM GÖZLEM İSTASYONLARI	İstasyon Numarası	İstasyon Adı	Veri Kayıt Aralığı	Yağış Alanı (km ²)	Yükselti (m)
	509	Medar Çayı - Kayalıoğlu	1964 - 2011	883,2	90
	510	Kum Çayı - Killik	1964 - 2011	3158,4	80
	514	Selendi Çayı - Dereköy	1964 - 2011	680,8	400
	515	Deliniş Deresi - Topuzdamları	1966 - 2011	739,6	360
	522	Demirci Çayı - Borlu	1971 - 2011	818,8	245
	523	Gediz Nehri - Acısu	1970 - 2011	3265,2	365
	524	Murat Çayı - Sazköy	1973 - 2011	176	790
	525	Yiğitler Deresi - Yiğitler	1976 - 2011	64	165
	527	Gördes Çayı - Daribükü	1979 - 2011	1467,6	140

Çizelge 3.9. DSİ'ye ait yağış gözlem istasyonları

İstasyon Adı	İstasyon Numarası	Veri Uzunluğu (yıl)	Rakım (m)	Enlem - Boylam
Avşar Barajı	05-026	31	275	38° 15' K - 28° 17' D
Beşyol	05-022	35	530	38° 31' K - 27° 18' D
Bozdağ	05-021	50	1150	38° 20' K - 28° 07' D
Buldan Barajı	05-027	32	470	38° 10' K - 28° 53' D
Dindarlı	05-006	49	685	38° 11' K - 28° 45' D
Doğanlar	05-014	38	650	38° 25' K - 28° 17' D
Fakılı	05-012	51	715	38° 37' K - 29° 05' D
İcikler	05-018	51	710	38° 47' K - 28° 37' D
Kıranşih	05-016	49	670	38° 48' K - 28° 23' D
Ören	05-020	47	940	38° 14' K - 28° 26' D
Sarılar	05-008	49	340	39° 07' K - 28° 01' D
Üçpınar	05-007	48	100	38° 42' K - 27° 22' D

Çizelge 3.10. MGM 'ye ait yağış gözlem istasyonları

İstasyon Adı	İstasyon Numarası	Veri Uzunluğu (yıl)	Rakım (m)	Enlem - Boylam
Akhisar	17184	51	93	38° 55' K - 27° 49' D
Gediz	17750	52	825	39° 03' K - 29° 25' D
Güney	17824	73	806	38° 09' K - 29° 04' D
Manisa	17186	84	71	38° 37' K - 27° 26' D
Salihli	17792	51	111	38° 29' K - 28° 08' D
Uşak	17188	85	919	38° 40' K - 29° 24' D

4. BULGULAR

Bu çalışmada, Gediz Havzası'nda yer alan 9 adet akım gözlem istasyonu ve 12'si DSİ'ye, 6'sı MGM'ye ait olan toplamda 18 adet yağış gözlem istasyonunun verileri kullanılarak kuraklık analizi yapılmıştır.

Tüm akım ve yağış istasyonlarında 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler için (Ekim – Aralık, Ekim – Mart, Ekim – Haziran ve Ekim – Eylül) için akım ve yağış (SPI ve SDI) kuraklık indisleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Kuraklık analizine başlarken, gerek akım gerekse yağış dizileri için öncelikle normal dağılıma uygunlukları kontrol edilmiştir. Bu kontroller Kolmogorov-Smirnov ve Anderson-Darling testleriyle yapılmıştır. Akım ve yağış dizilerinin %10 anlamlılık düzeyinde normallik test sonuçları Çizelge 4.1. de verilmiştir.

Akımlar için SDI, yağışlar için SPI değerlerine göre değerlendirme yapılmış olup, kuraklık indisleri aşağıda açıklanan sınıf aralıkları için Çizelge 4.2 – Çizelge 4.8 de verilmiştir.

-1.49 ≤ İndis < -1.00 görülen yıllar **Orta Kuraklık** olup “+” ile gösterilmiş ve sarı renkli,

-1.99 ≤ İndis < -1.50 görülen yıllar **Şiddetli Kuraklık** olup “x” ile gösterilmiş ve turuncu renkli,

İndis < -2.00 görülen yıllar **Aşırı Kuraklık** olup “-” ile gösterilmiş ve kırmızı renkli boyanmıştır.

Şekil 4.1 ile 4.27 arasında ise incelenen 9 akım ve 18 yağış istasyonunun kuraklık indislerinin zamanla değişimini gösteren grafikler yer almaktadır.

Çizelge 4.1. Akım ve Yağış Dizilerinin $\alpha = %10$ anlamlılık düzeyinde Normallik Kontrolü

İstasyon Adı	3 Aylık	6 Aylık	9 Aylık	12 Aylık
Medar Çayı - Kayahoğlu (509)	Ret	Kabul	Kabul	Kabul
Kum Çay - Killik (510)	Ret	Kabul	Kabul	Kabul
Selendi Çayı - Dereköy (514)	Ret	Kabul	Kabul	Kabul
Deliniş Deresi - Topuzdamları (515)	Ret	Kabul	Kabul	Kabul
Demirci Çayı – Borlu (522)	Ret	Kabul	Kabul	Kabul
Gediz Nehri - Acısu (523)	Ret	Kabul	Kabul	Kabul
Murat Çayı - Sazköy (524)	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Yiğitler Deresi – Yiğitler (525)	Ret	Kabul	Kabul	Kabul

Gördes Çayı – Darıbükü (527)	Ret	Kabul	Kabul	Kabul
Akhisar	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Avşar Barajı	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Beşyol	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Bozdağ	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Buldan Barajı	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Dindarlı	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Doğanlar	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Fakılı	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Gediz	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Güney	Kabul	Kabul	Ret	Kabul
İcikler	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Kırañşih	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Manisa	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Ören	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Salihli	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Sarılar	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Uşak	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Üçpınar	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul

Normallik sonuçlarına göre, akım dizilerinde 3 aylık toplamaların normal dağılıma uygunluk hipotezi bir istasyon dışında reddedilmektedir. Bu bakımdan 3 aylık toplamalar tez çalışması kapsamına dâhil edilmeyecektir. Bunun dışında yağışlarda sadece Güney istasyonunun 9 aylık yağış toplamaları normal dağılıma uygun gözükmemektedir.

Çizelge 4.2. Akım İstasyonlarına ait Ekim – Mart Dönemi Kurak Yılları

GEDİZ HAVZASINDAKİ KURAK PERİYOTLAR (6 AYLIK SDİ DEĞERLERİNE GÖRE)																								
İstasyon Adı	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2006	2007	2008	2009
509				+				+			+		+							+		+	+	
510											+		+							+		+		
514								+			+		+							+		+		
515		+						+	+		+					+				x		+		
522								+	+		+					+				+		+		
523								+			+		+							+		+		
524											+	+	+							+		+		
525								+			+		+			+				+		+		
527											+					+				+		+		

Çizelge 4.3. Akım İstasyonlarına ait Ekim – Haziran Dönemi Kurak Yılları

GEDİZ HAVZASINDAKİ KURAK PERİYOTLAR (9 AYLIK SDI DEĞERLERİNE GÖRE)																							
İstasyon Adı	1973	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
509				+				+			+		+		+						+	+	
510											+		+		+						+		
514								+	+		+		+		x						+		
515	+	+						+	+		+		+		x						x	+	
522								+	+		+				x						+	+	
523								+			+		+		+						+	+	
524								+			+	+	+		x						x	+	
525								+			+			+	+						+		
527								+			+				+						+	+	

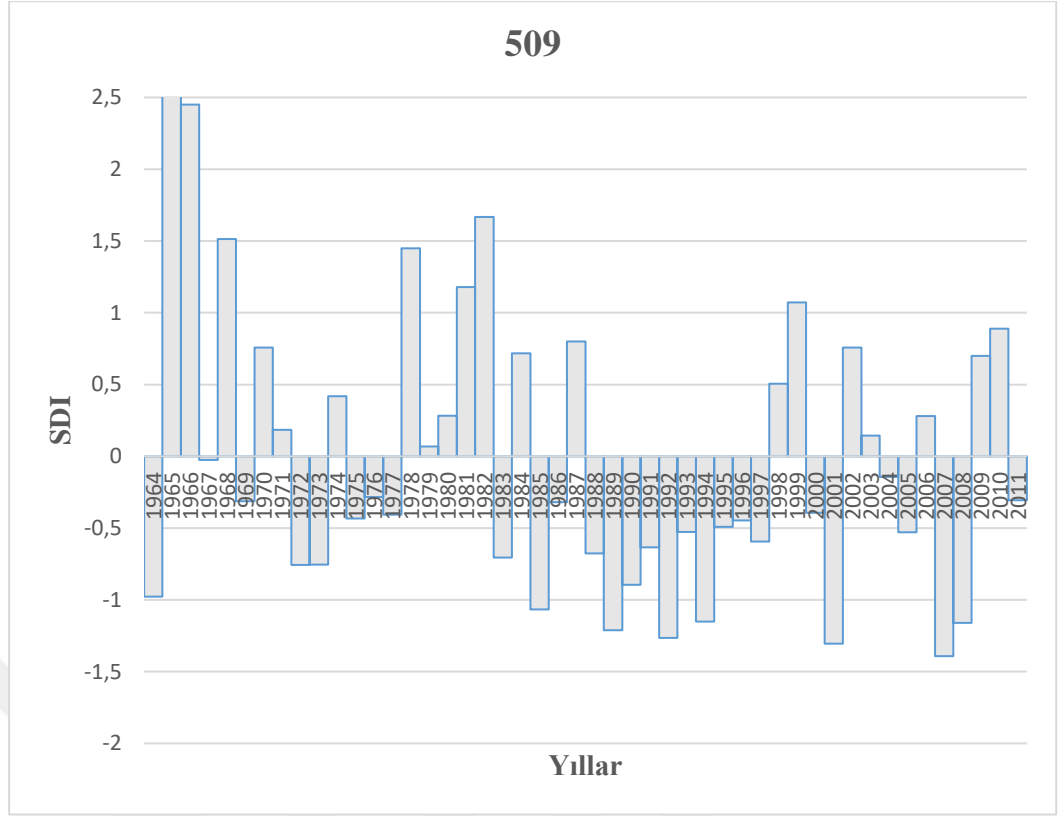
Çizelge 4.4. Akım İstasyonlarına ait Ekim – Eylül Dönemi Kurak Yılları

GEDİZ HAVZASINDAKİ KURAK PERİYOTLAR (12 AYLIK SDI DEĞERLERİNE GÖRE)																								
İstasyon Adı	1973	1985	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
509		+		+			+		+							+						+	+	
510							+		+							+						+		
514				+	+		+		+							x						x		
515	+			+	+		+		+							x						x	+	
522				+	+		+									x						+	+	
523				+			+		+							+						+	+	
524				+			+	+	+							x						x	+	
525				+			+								+	+						+		
527				+			+									+						+		

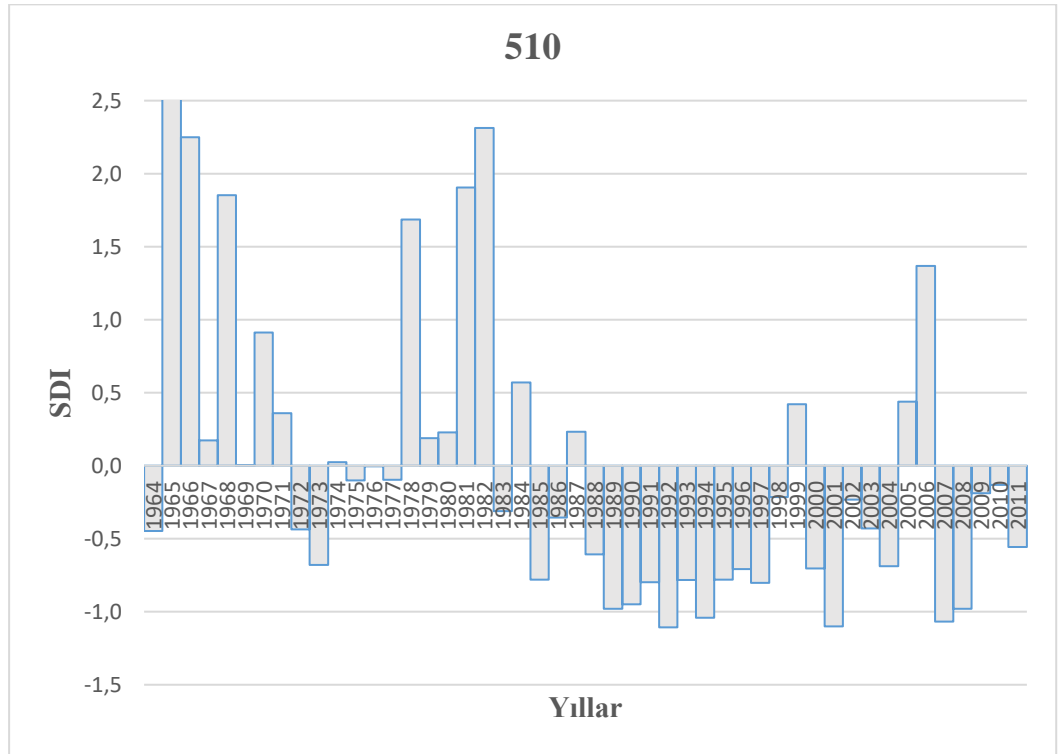
SDI akım kuraklık indisleri, 6, 9 ve 12 aylık periyotlar için hemen hemen aynı yıllarda kuraklığa işaret etmektedir.

Çizelge 4.5. Yağış İstasyonlarına ait Ekim – Aralık Dönemi Kurak Yılları

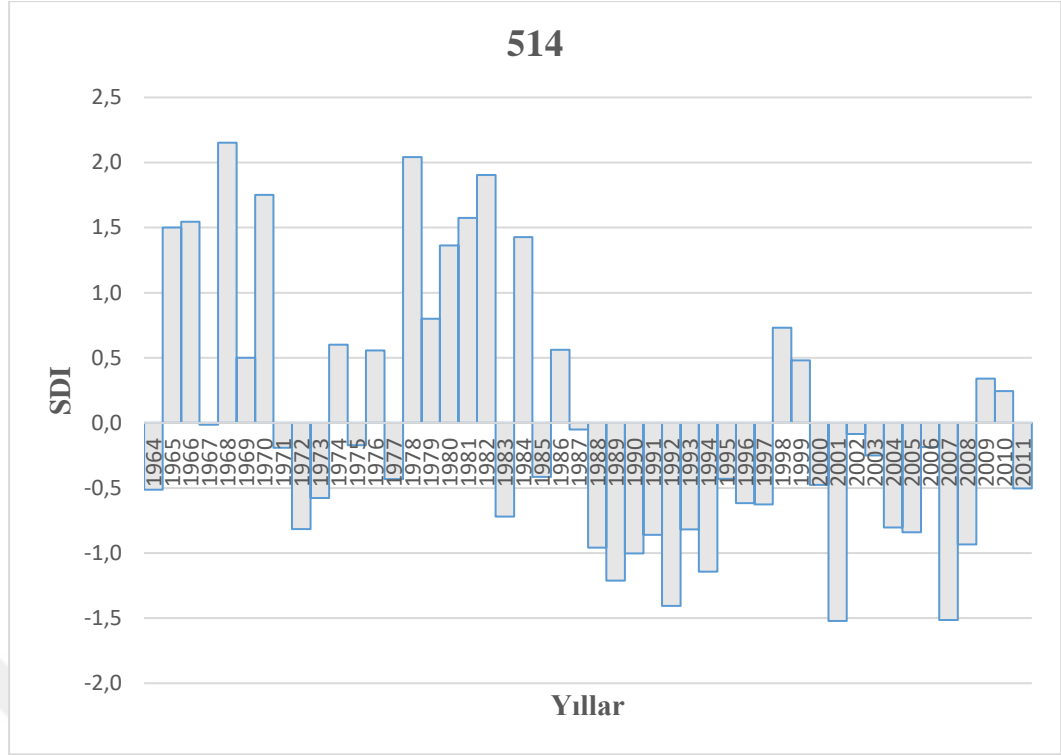
İstasyon Adı	GEDİZ HAVZASINDAKİ KURAK PERİYOTLAR (3 AYLIK SPI DEĞERLERİ)																											
	1964	1967	1968	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1983	1984	1985	1986	1987	1992	1993	1994	1997	2000	2001	2004	2005	2006	2007	2009	2010
Akhisar	+		+											x			+					x			x			
Avşar Barajı										+				x						+		+						
Beşyol														x			+											
Bozdağ														+			+					+						
Buldan Barajı														x								x						
Dindarlı		+				+								x		+					+	x						
Doğanlar														x							+	x						
Fakılı														x		+					+	x						
Gediz												+		x			+				+	+						
Güney						+								+							x	x						
İcikler														x		+					+	x						
Kıranşuh														x		+					+	x						
Manisa	+													x		+					+	+						
Ören																						+						
Salihli																					+	x						
Sarılar	+													+								x						
Uşak														x							+	x						
Üçpınar	+																					x						



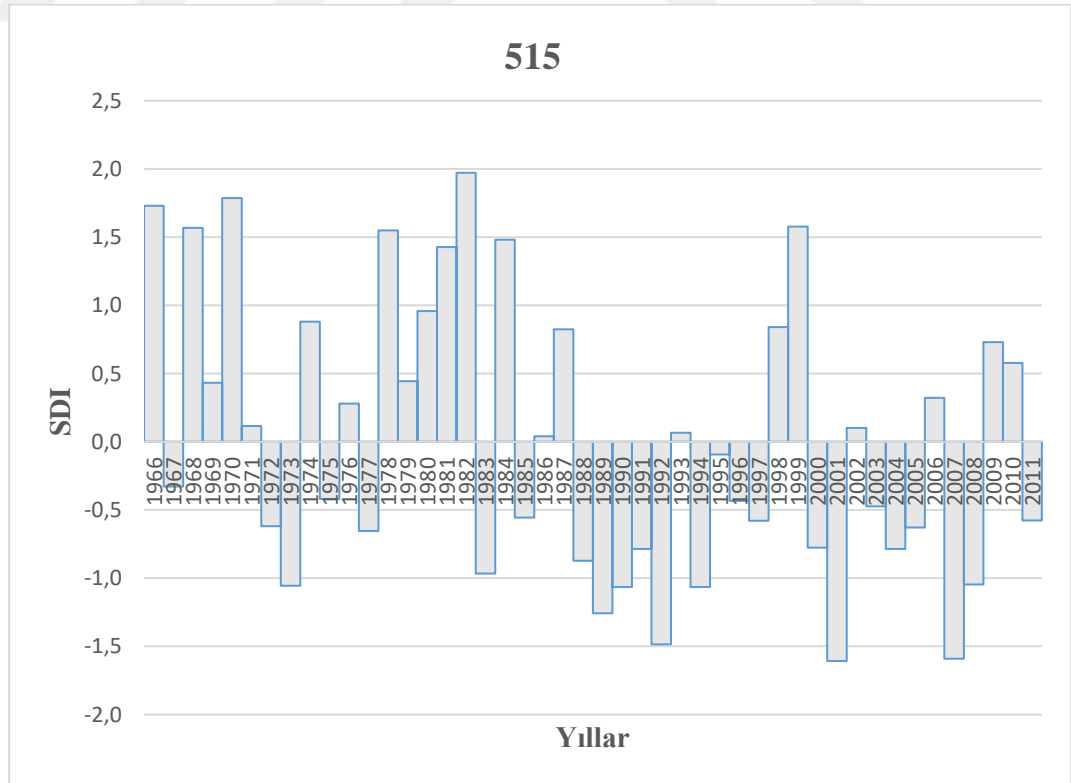
Şekil 4.1. 509 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi



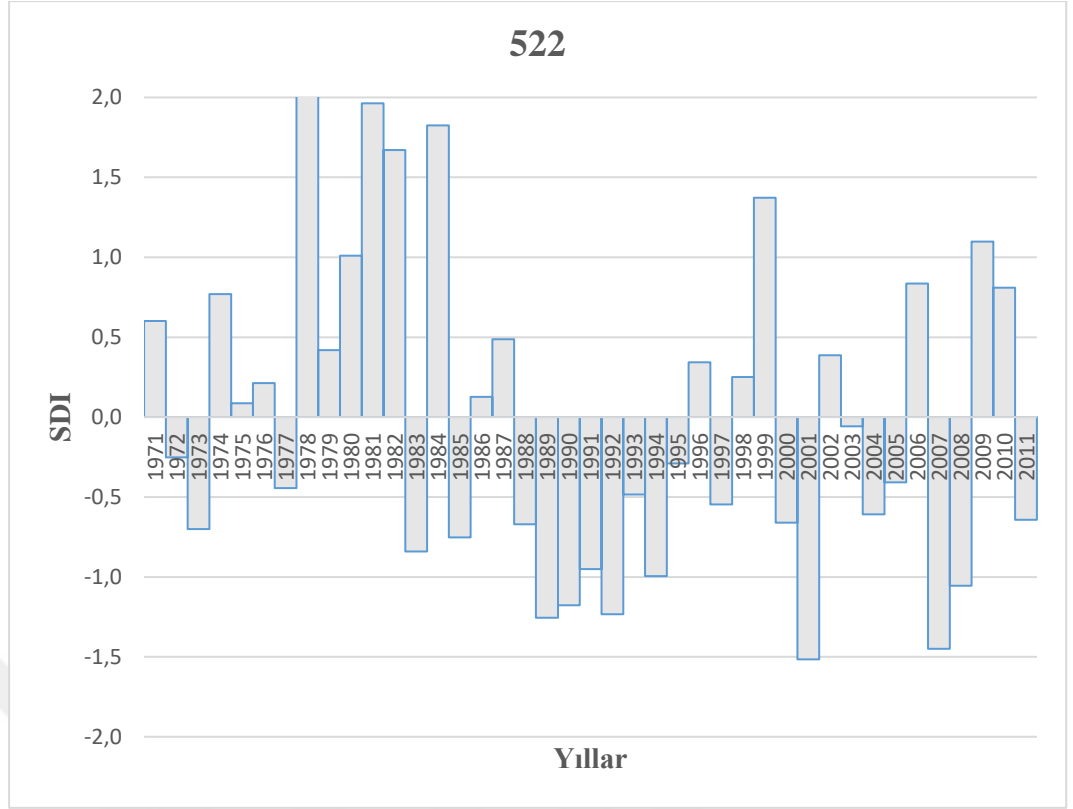
Şekil 4.2. 510 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi



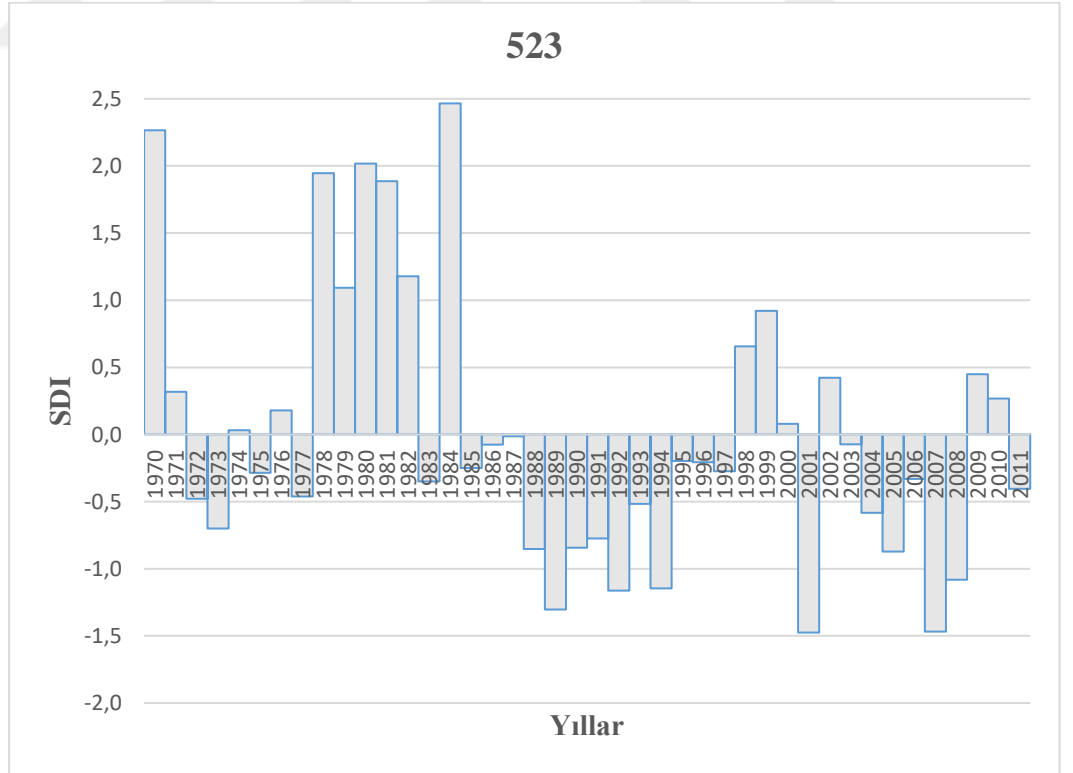
Şekil 4.3. 514 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi



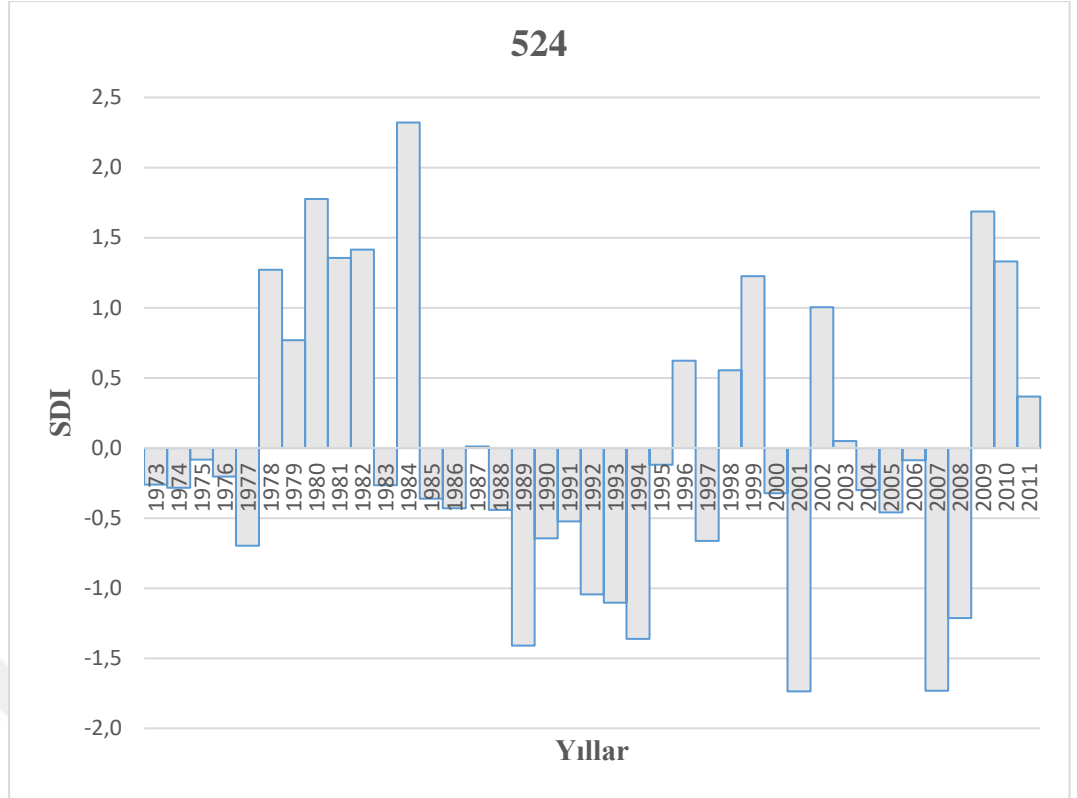
Şekil 4.4. 515 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi



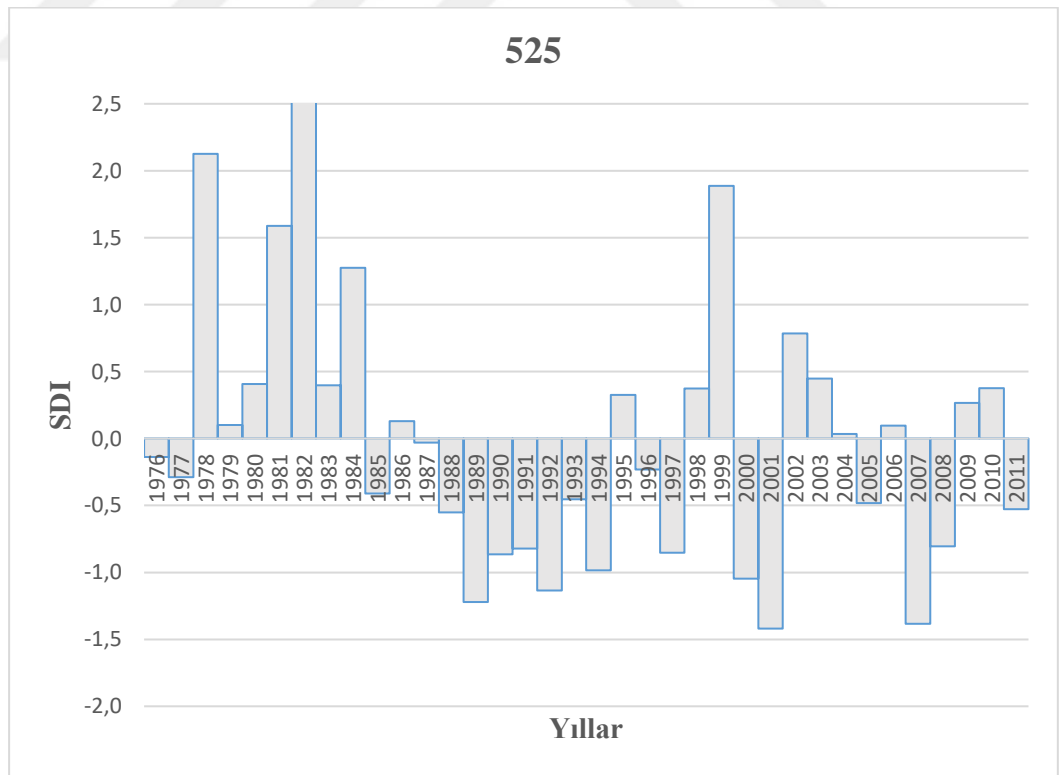
Şekil 4.5. 522 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi



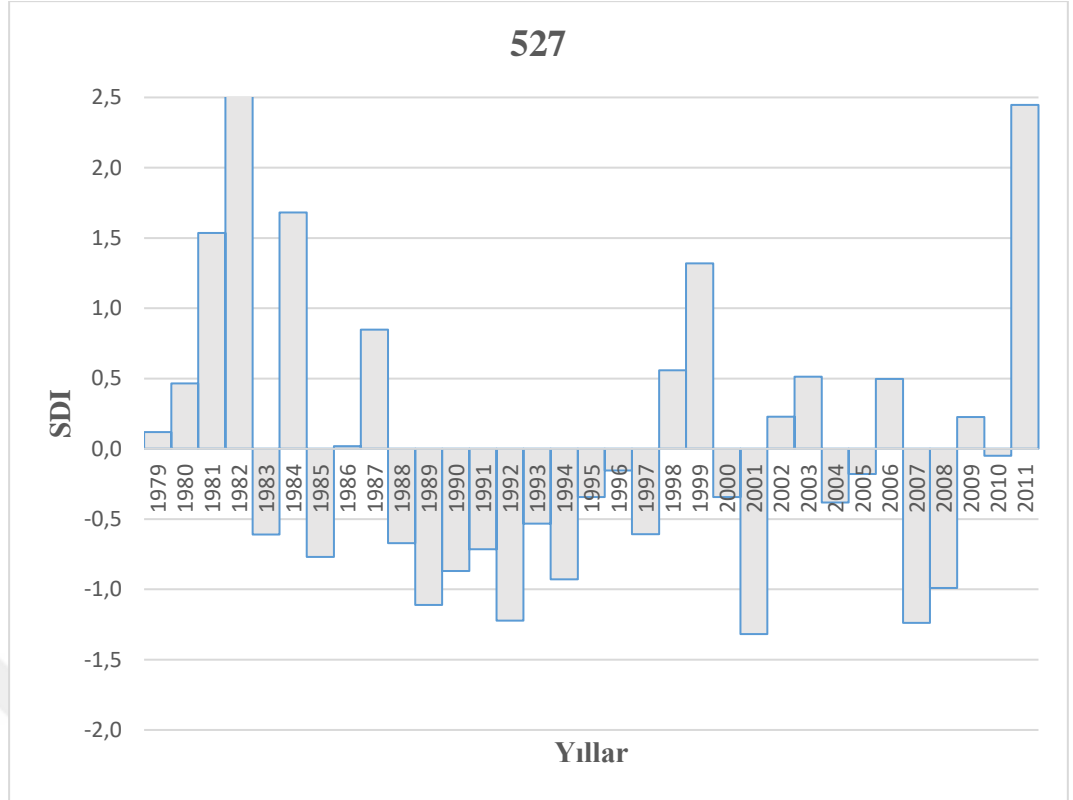
Şekil 4.6. 523 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi



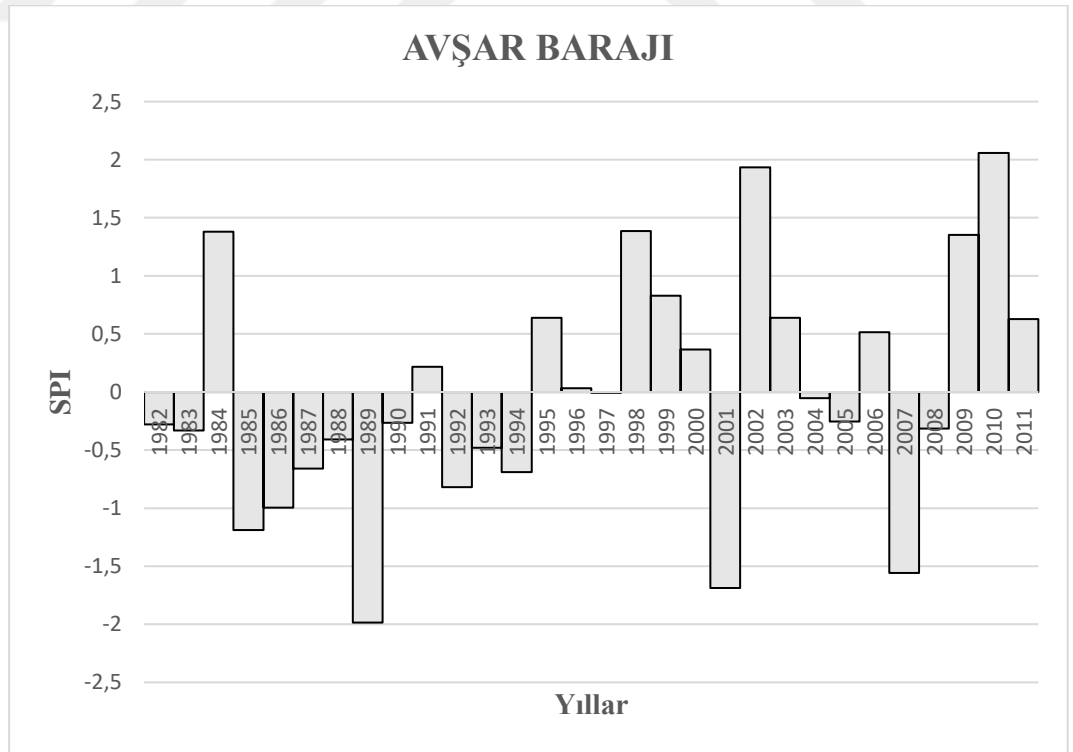
Şekil 4.7. 524 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi



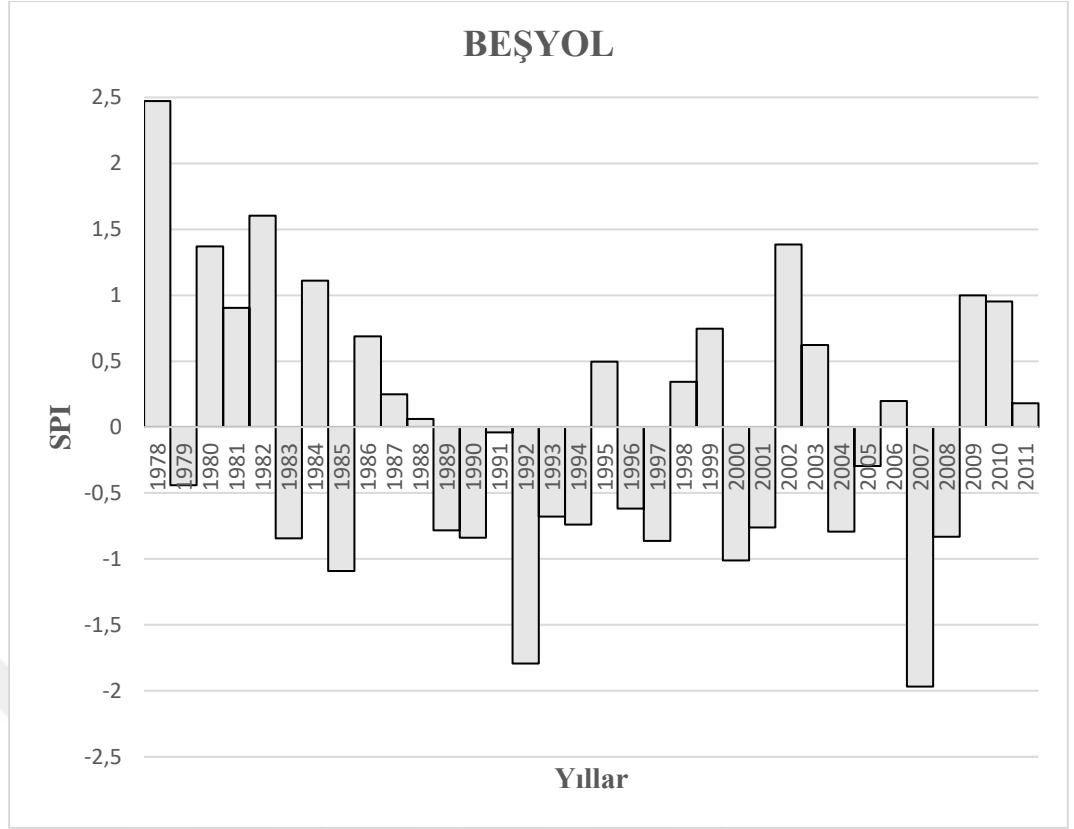
Şekil 4.8. 525 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi



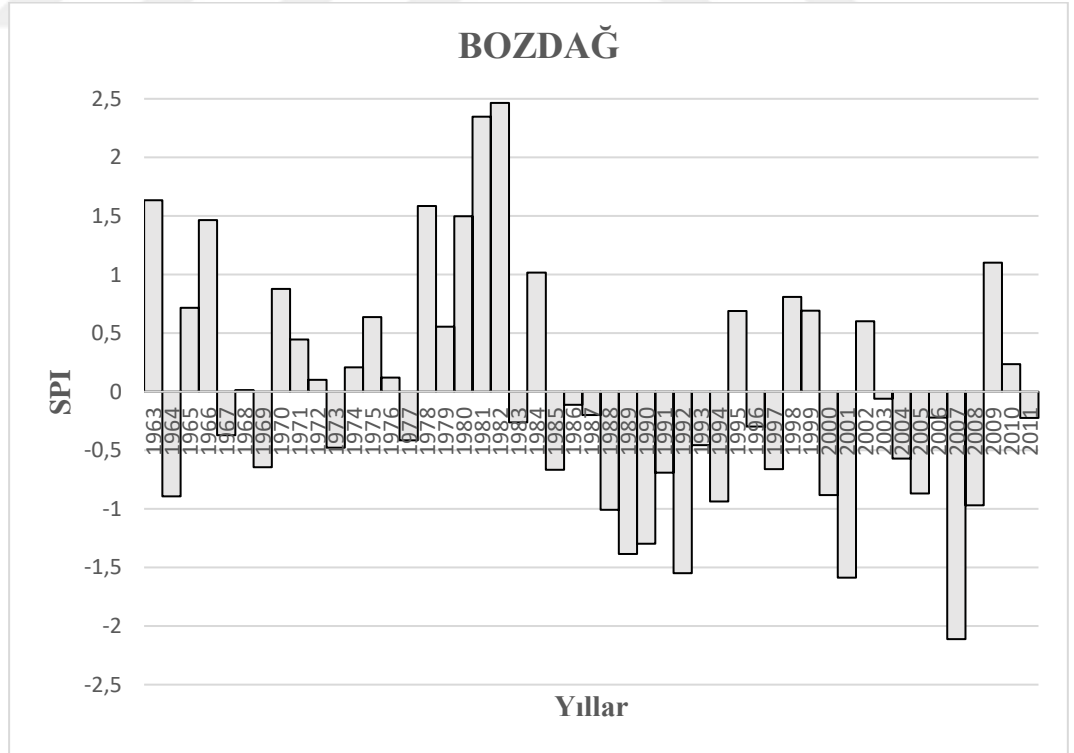
Şekil 4.9. 527 Nolu AGİ için SDI değerlerinin zamansal analizi



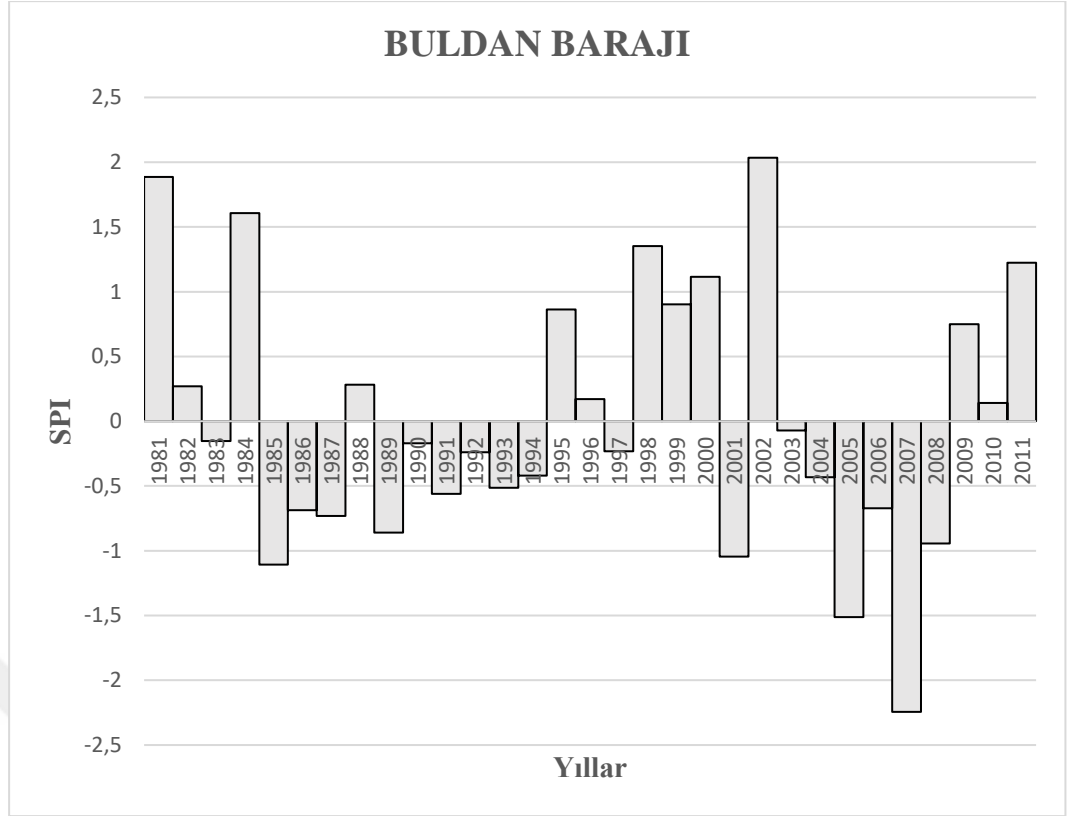
Şekil 4.10. Avşar Barajı istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi



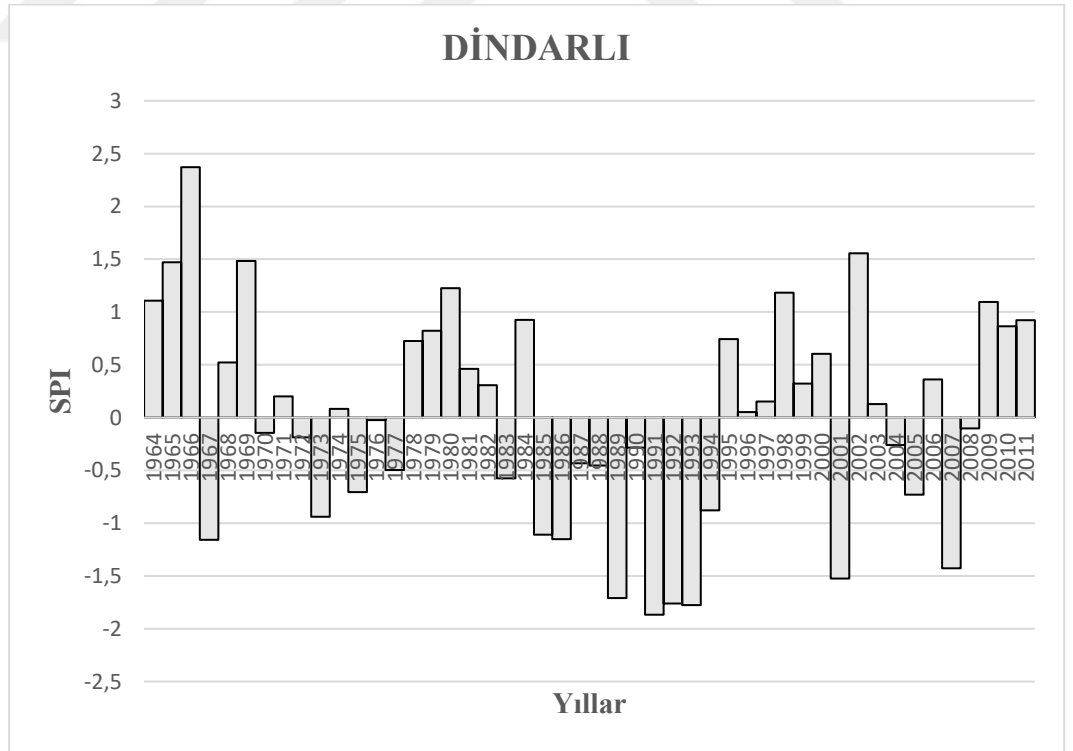
Şekil 4.11. Beşyol istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi



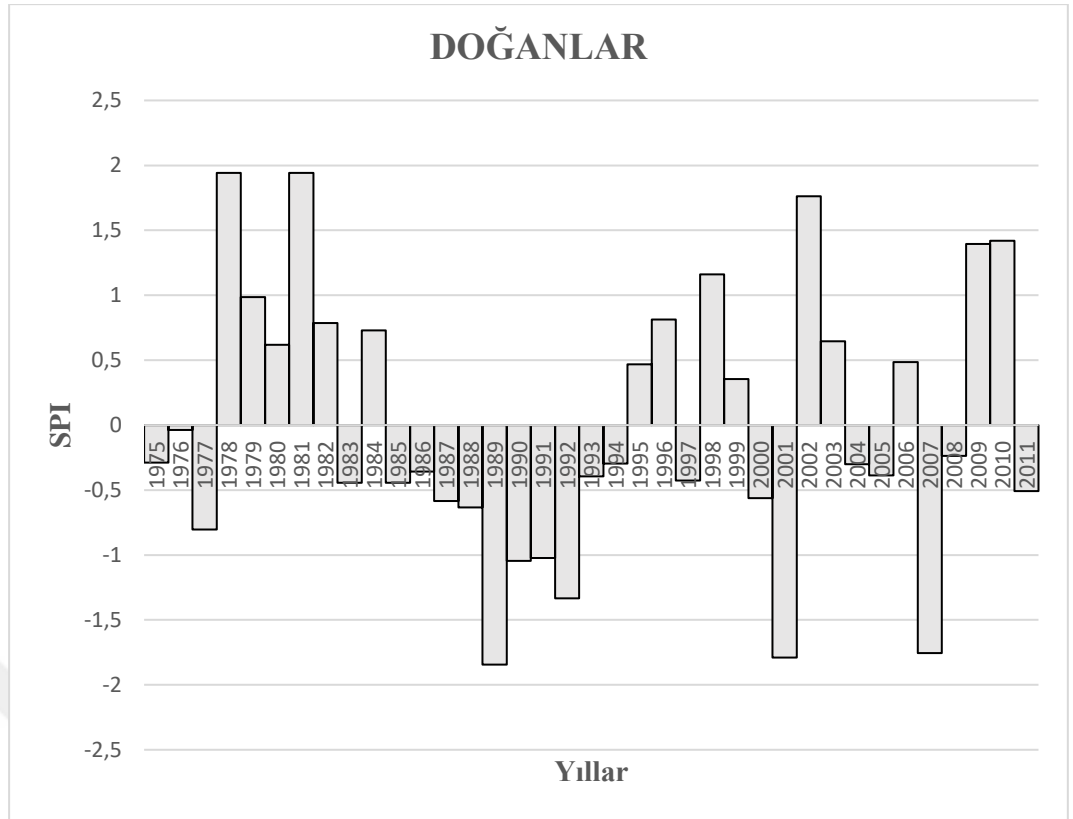
Şekil 4.12. Bozdağ istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi



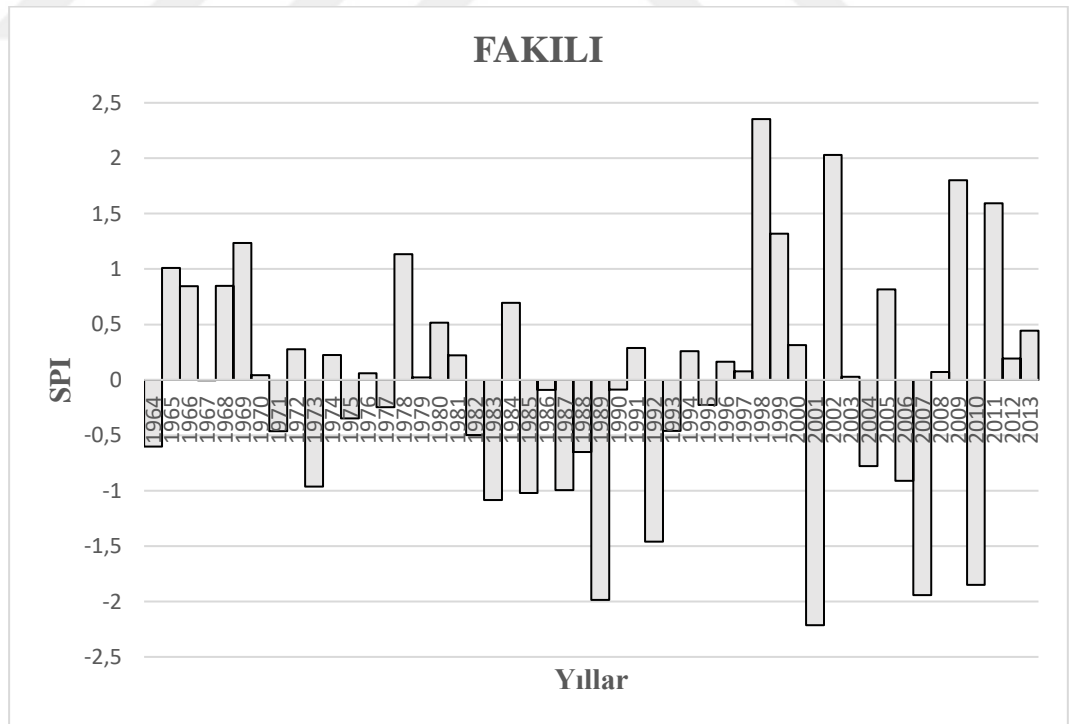
Şekil 4.13. Buldan Barajı istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi



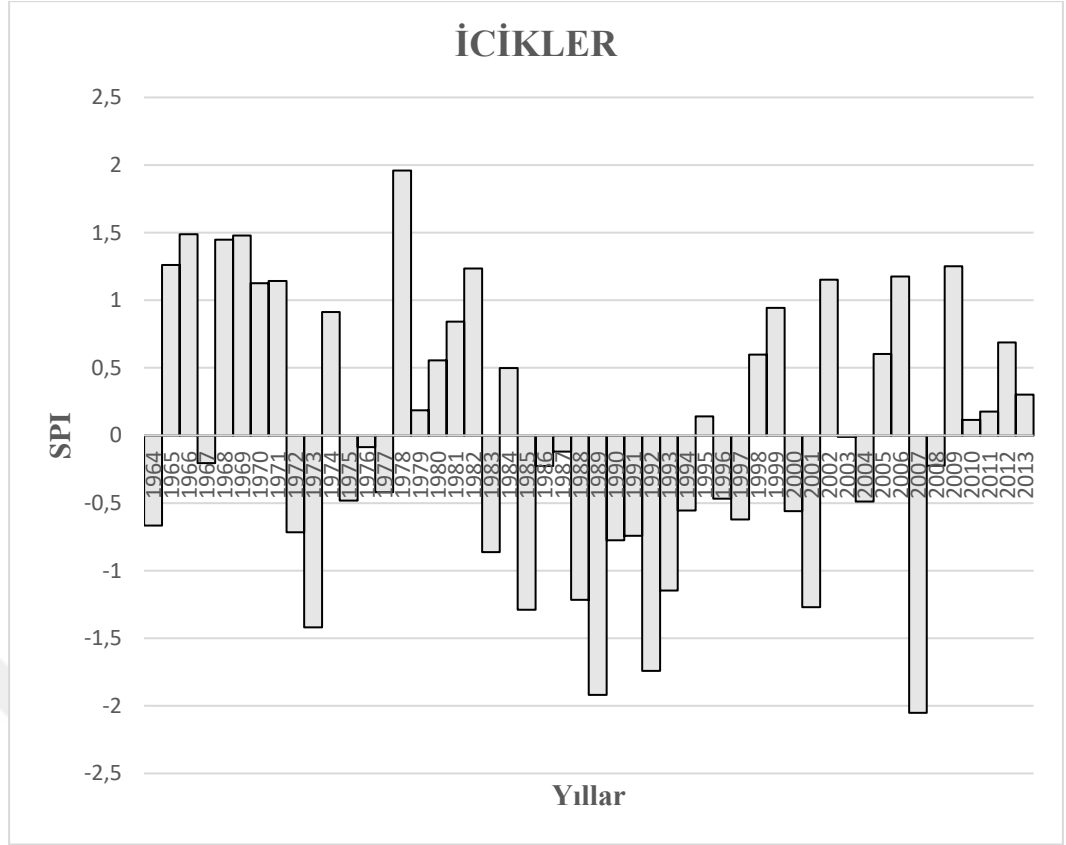
Şekil 4.14. Dındarlı istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi



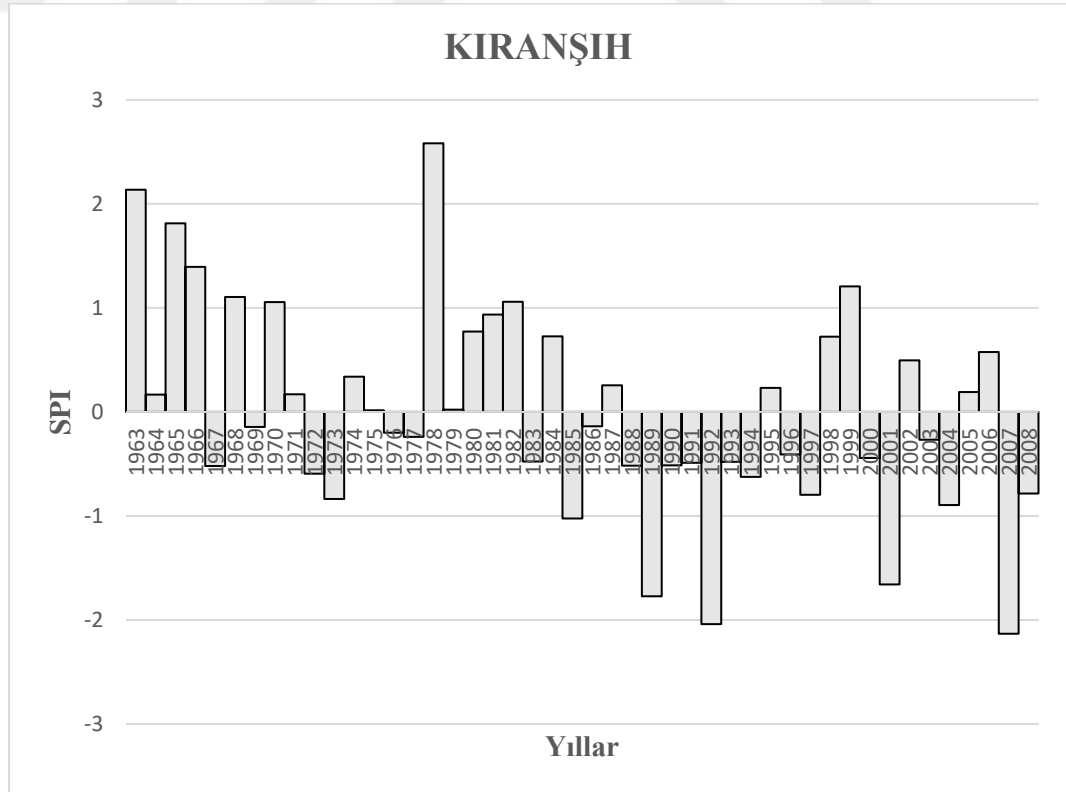
Şekil 4.15. Doğanlar istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi



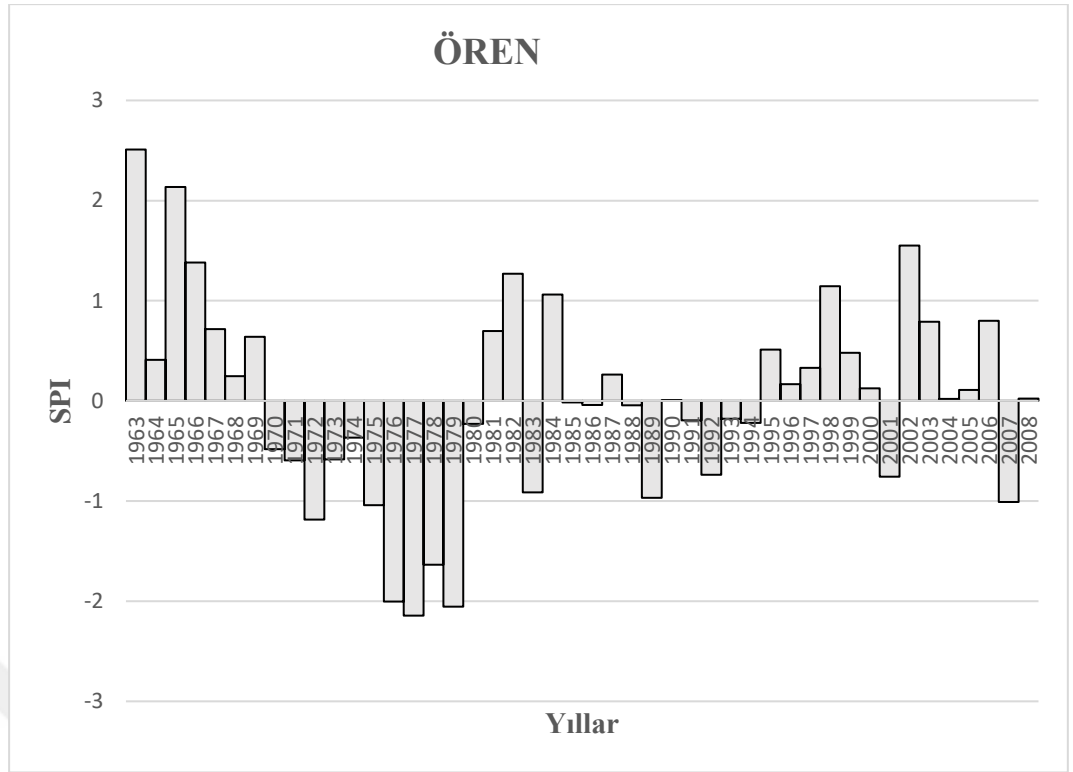
Şekil 4.16. Fakılı istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi



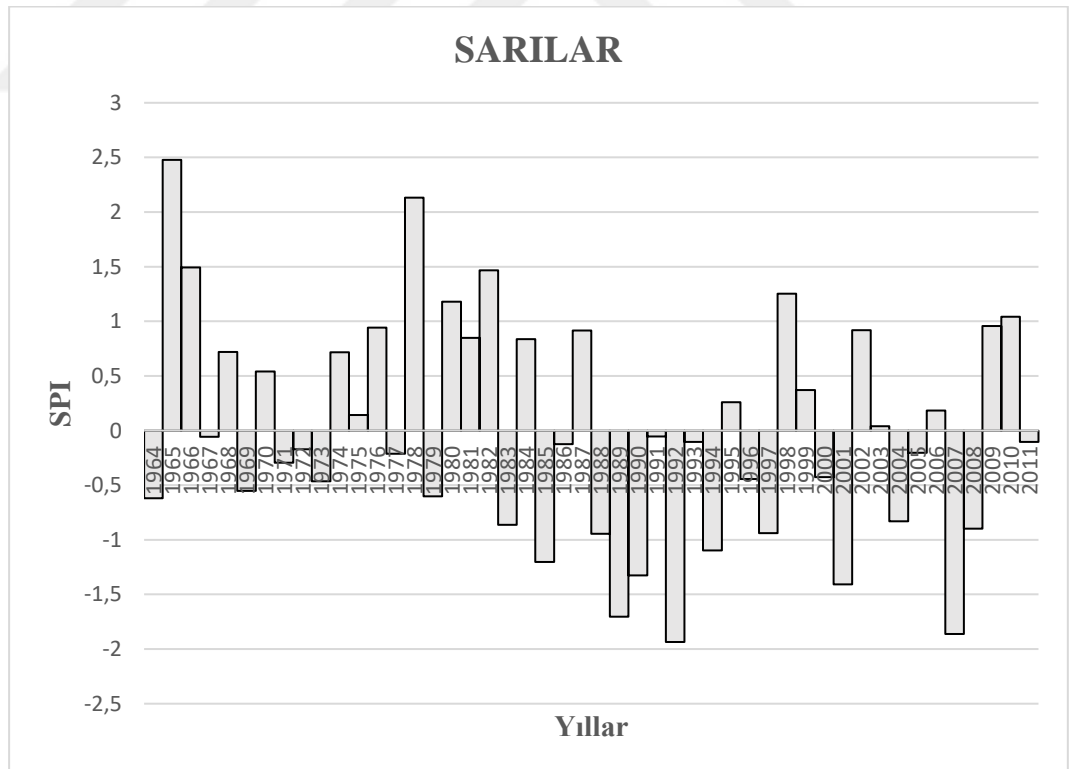
Şekil 4.17. İcıklar istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi



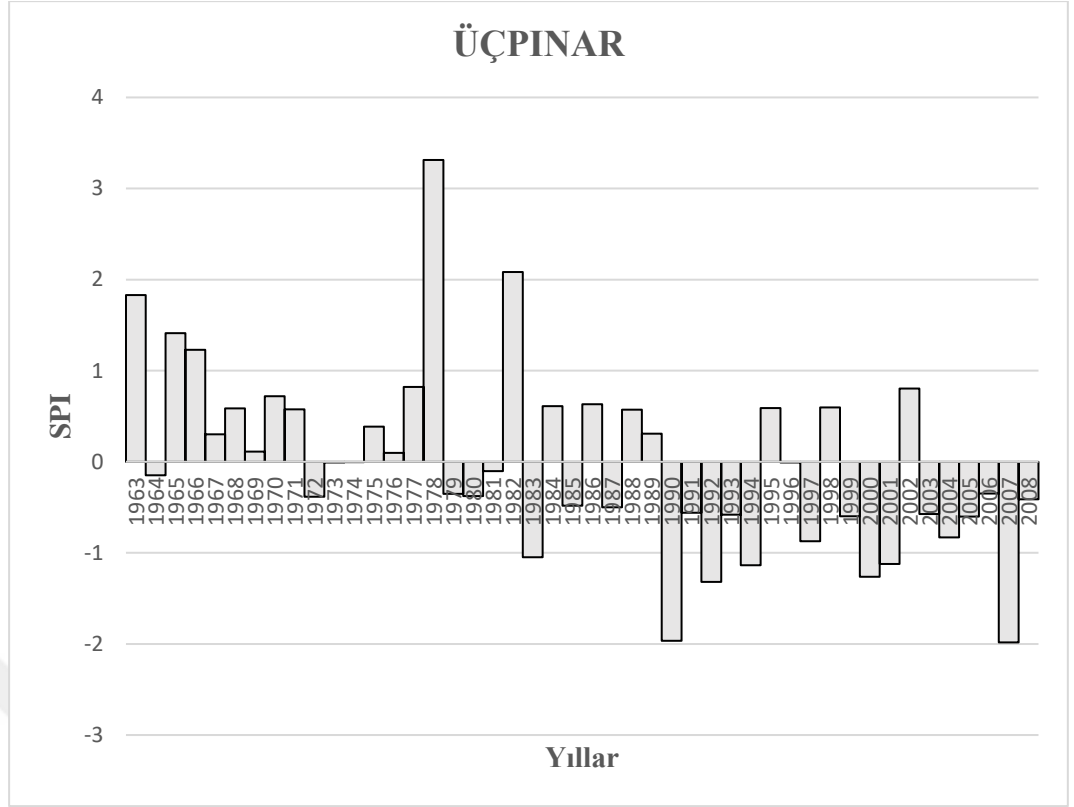
Şekil 4.18. Kıransih istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi



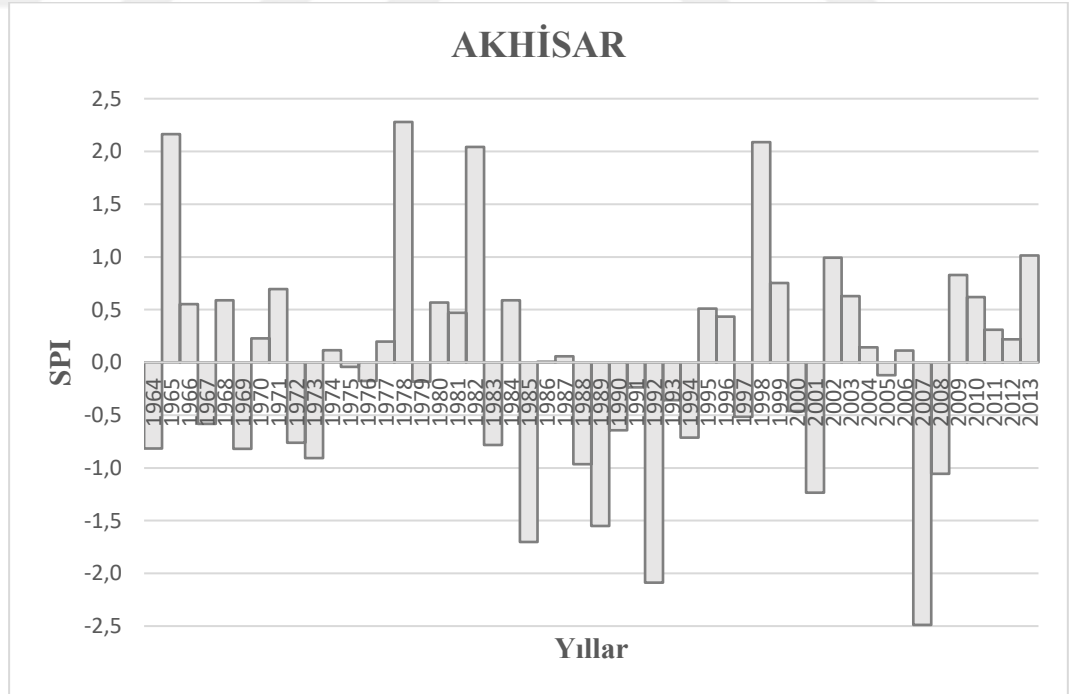
Şekil 4.19. Ören istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi



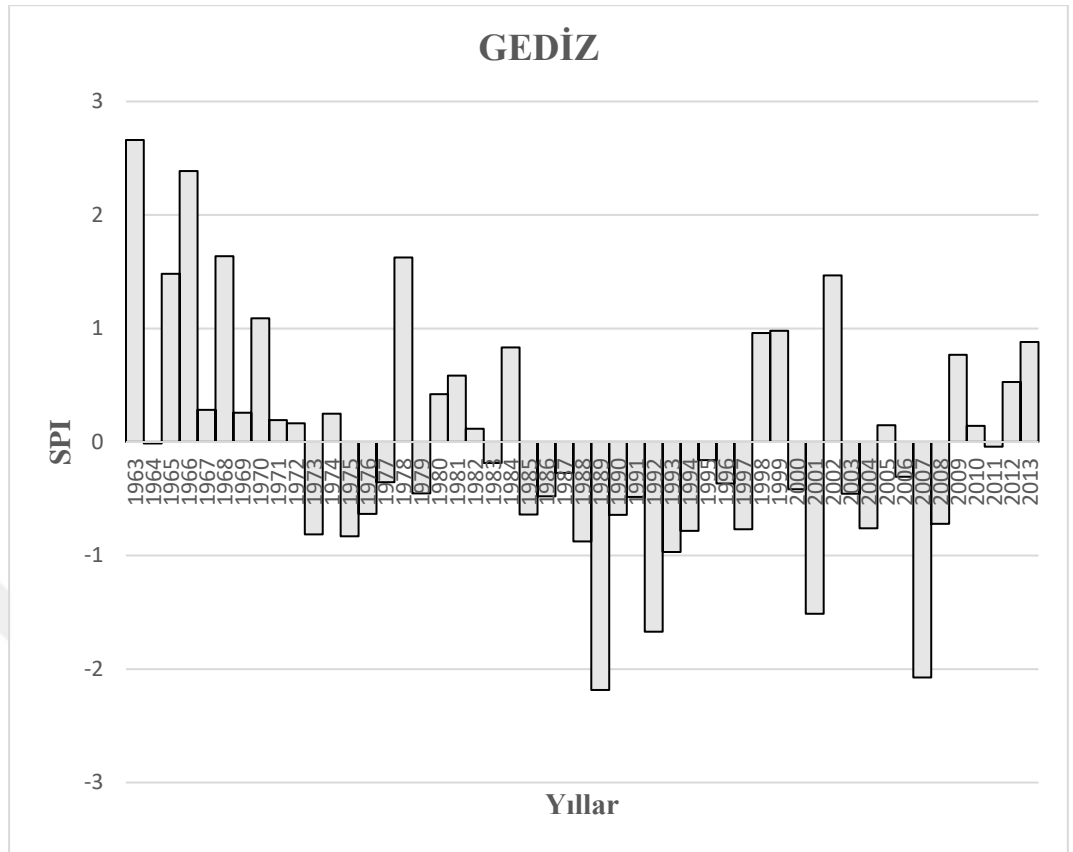
Şekil 4.20. Sarılar istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi



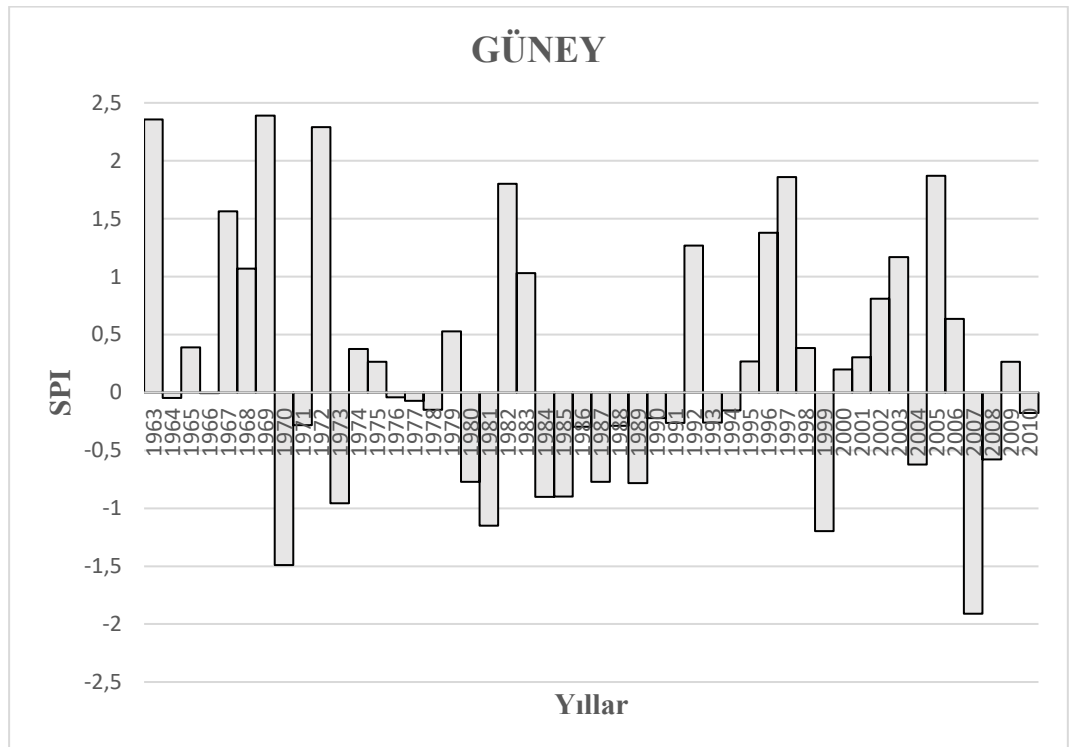
Şekil 4.21. Üçpınar istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi



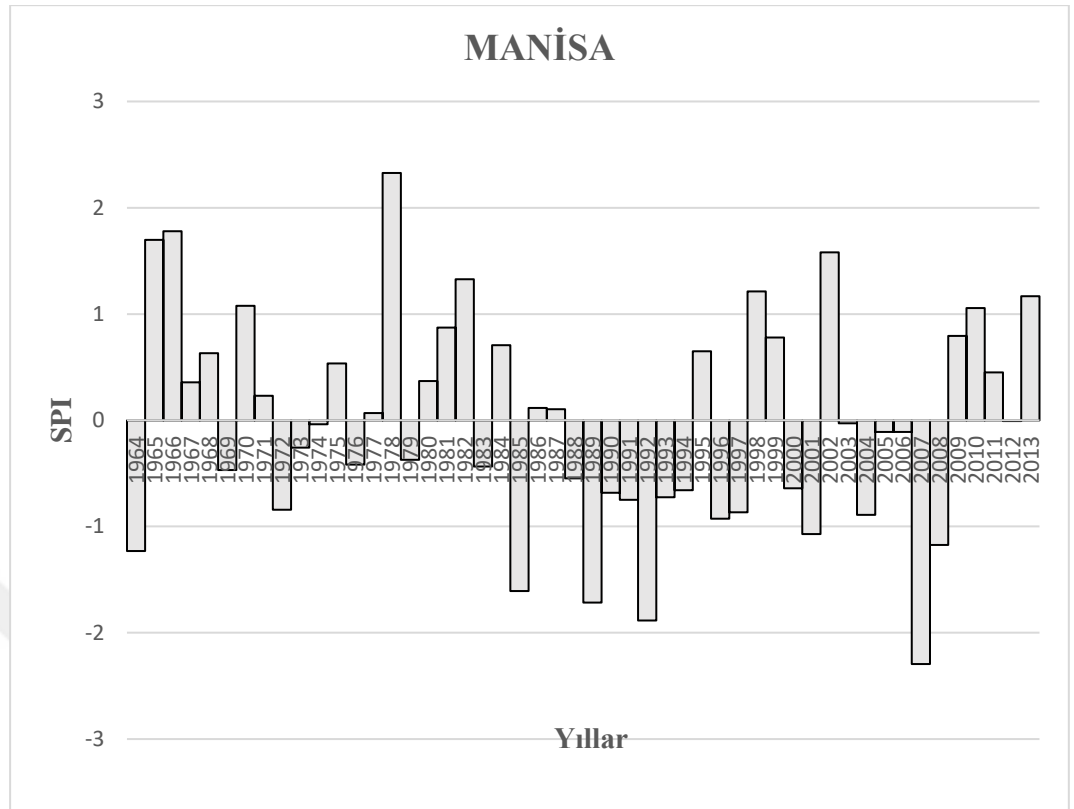
Şekil 4.22. Akhisar istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi



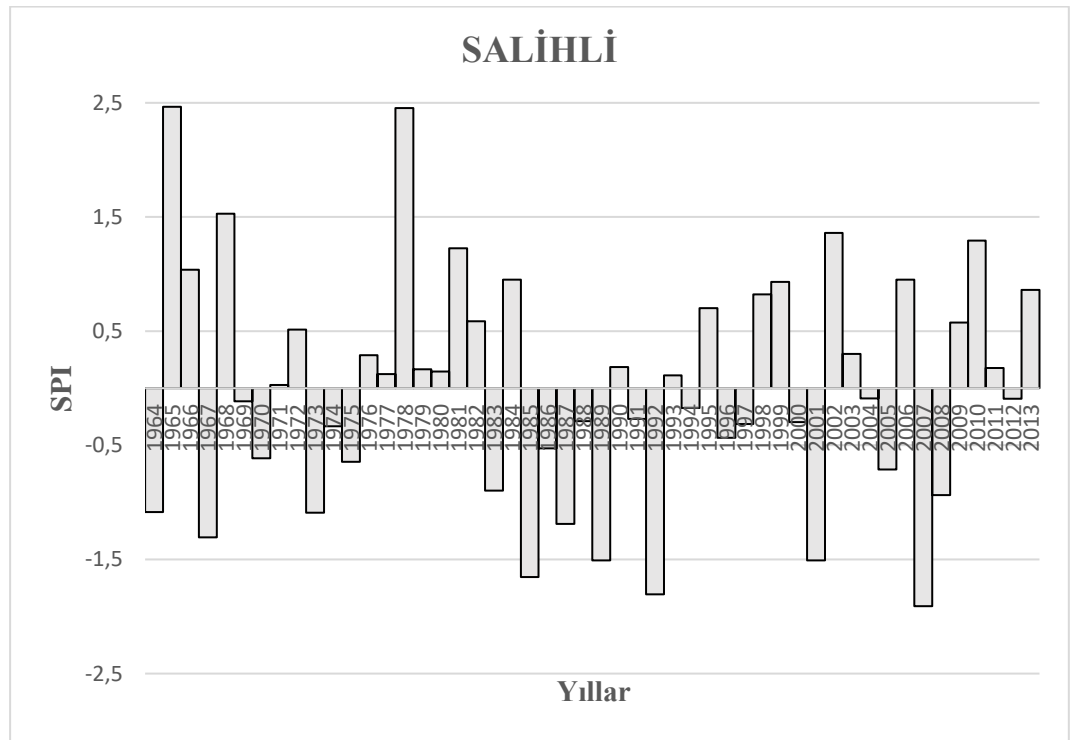
Şekil 4.23. Gediz istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi



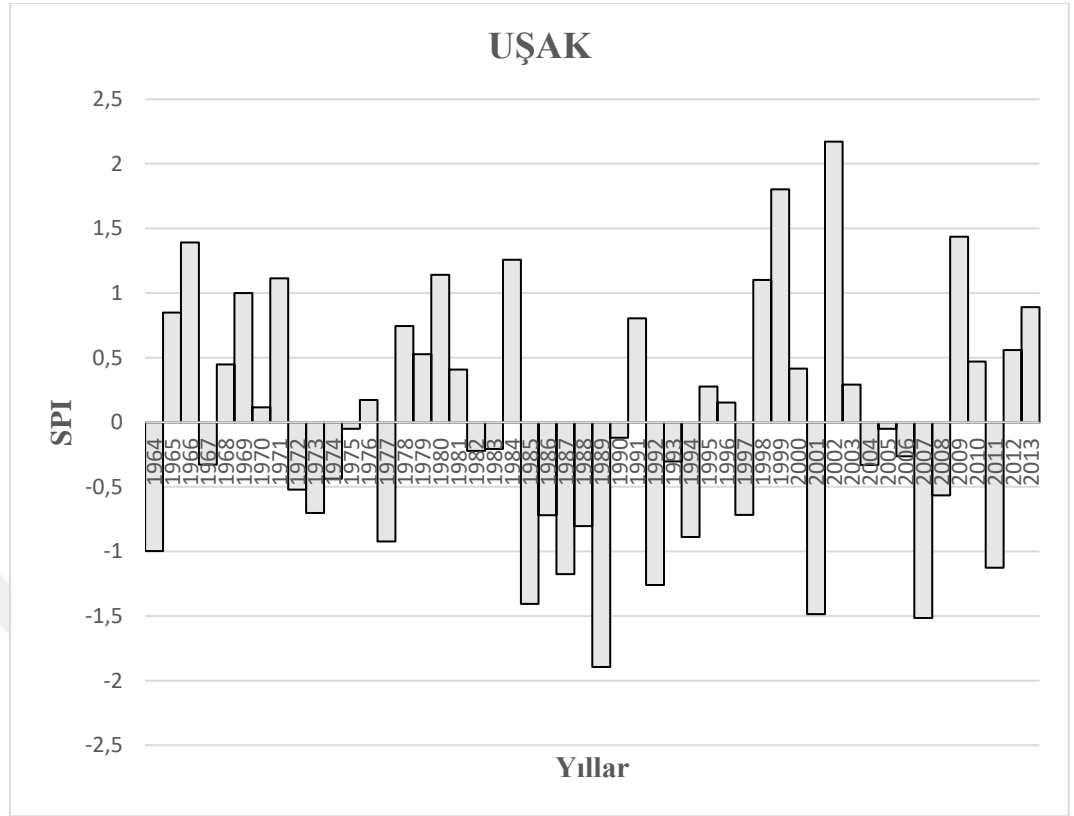
Şekil 4.24. Güney istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi



Şekil 4.25. Manisa istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi



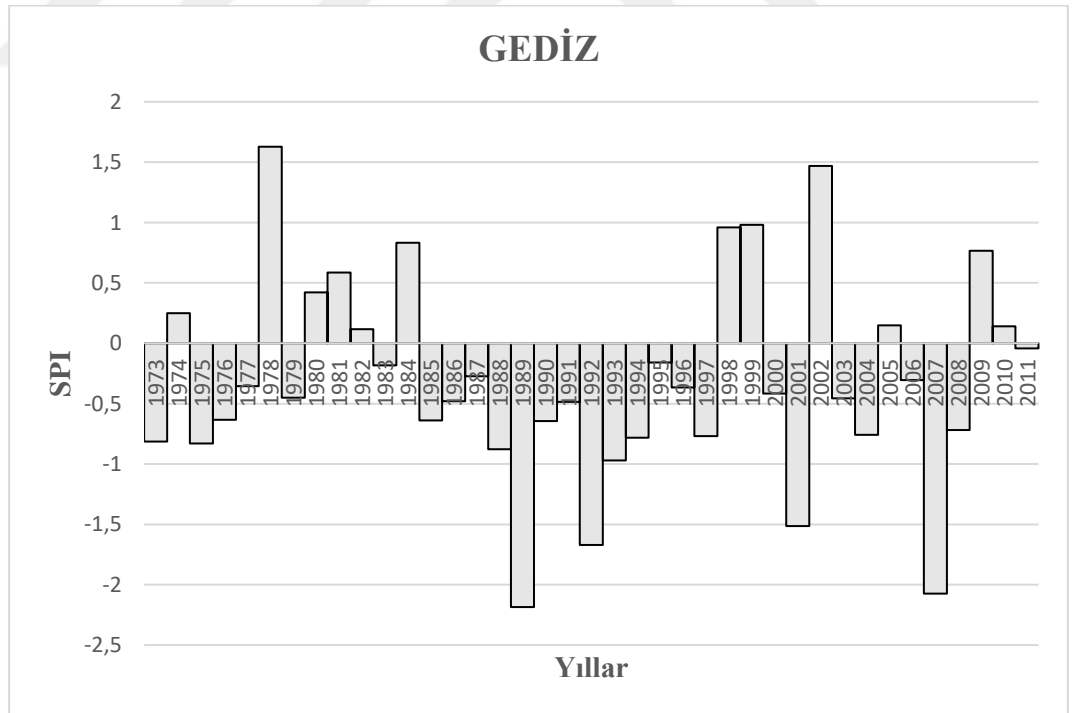
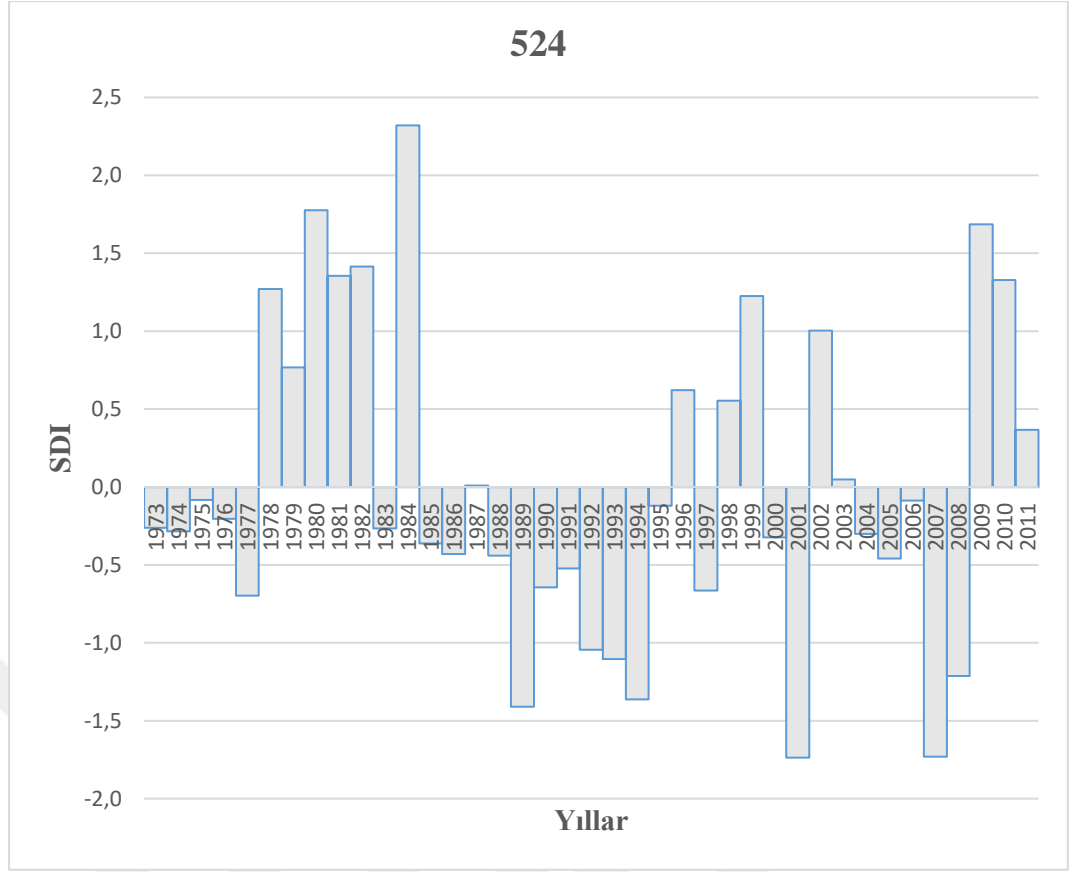
Şekil 4.26. Salihli istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi



Şekil 4.27. Uşak istasyonu için SPI değerlerinin zamansal analizi

Gerek SDI akım kuraklık indislerinin gerekse SPI standart yağış indislerinin zamanla değişimleri, incelenen 50 yıllık periyotta hem kurak hem de sulak dönemler bulunduğu işaret etmektedir.

Hidrolojik ve meteorolojik kuraklık dönemlerini karşılaştırmak amacıyla birbirine yakın olan yağış ve akım istasyonlarından 524 numaralı Murat Çayı – Sazköy akım istasyonu ile Gediz yağış istasyonunun SDI ve SPI grafikleri Şekil 4.28’ de verilmiştir.



Şekil 4.28. 510 numaralı akım istasyonu ile Gediz yağış istasyonunun karşılaştırılması

Son olarak akarsu akımlarının kuraklık analizinden elde edilen 12 aylık (yıllık) akım kuraklık indislerinin (SDI) frekans analizi yapılmıştır. 9 adet akım gözlem istasyonunun standardize edilmiş indislerinin (SDI) öncelikle olasılık dağılımı uygunlukları sınanmıştır. Bu uygunluk sınamaları, Normal, 2- ve 3-parametrelı lognormal, Gumbel, Gamma, Weibull, GEV, Pearson 3, Log-Pearson 3, Lojistik, Log-Lojistik ve genelleştirilmiş Pareto dağılımları için uygulanmıştır. Kolmogorov-Smirnov ve Anderson Darling test sonuçlarının uygunluk sıralamaları bir arada değerlendirildiğinde, 9 istasyon için de en uygun olasılık dağılımı 3-parametrelı lognormal dağılım (LN3) olarak ortaya çıkmıştır. LN3 dağılım parametreleri ile, T=50 yıl ve T=100 yıl tekerrürlü düşük akım indisleri (SDI₅₀ ve SDI₁₀₀) ve bunlara bağılı olarak belli tekerrürlü düşük akımlar (x₅₀ ve x₁₀₀) tahmin edilmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Akım Gözlem İstasyonlarının Belli Tekerrürlü Düşük Akım Tahminleri

İstasyon Numarası	Akarsu	\bar{x}	S _x	SDI _T		x _T (m ³ /s)	
				SDI ₅₀	SDI ₁₀₀	x ₅₀	x ₁₀₀
509	Medar Çayı	2.75	1.81	SDI ₅₀	-1.29	x ₅₀	0.41
				SDI ₁₀₀	-1.38	x ₁₀₀	0.25
510	Kum Çayı	4.86	4.20	SDI ₅₀	-1.06	x ₅₀	0.41
				SDI ₁₀₀	-1.11	x ₁₀₀	0.21
514	Selendi Çayı	2.35	1.41	SDI ₅₀	-1.42	x ₅₀	0.35
				SDI ₁₀₀	-1.53	x ₁₀₀	0.20
515	Deliniş Deresi	3.26	1.81	SDI ₅₀	-1.62	x ₅₀	0.32
				SDI ₁₀₀	-1.78	x ₁₀₀	0.04
522	Demirci Çayı	3.05	1.86	SDI ₅₀	-1.46	x ₅₀	0.34
				SDI ₁₀₀	-1.58	x ₁₀₀	0.12
523	Acısu	9.32	5.09	SDI ₅₀	-1.31	x ₅₀	2.67
				SDI ₁₀₀	-1.40	x ₁₀₀	2.22
524	Murat Çayı	1.53	0.58	SDI ₅₀	-1.63	x ₅₀	0.58
				SDI ₁₀₀	-1.79	x ₁₀₀	0.49
525	Yiğitler Çayı	0.66	0.37	SDI ₅₀	-1.32	x ₅₀	0.17
				SDI ₁₀₀	-1.42	x ₁₀₀	0.14
527	Gördes Çayı	4.61	3.32	SDI ₅₀	-1.27	x ₅₀	0.40
				SDI ₁₀₀	-1.35	x ₁₀₀	0.13

5. SONUÇLAR

Türkiye yarı kurak bir bölgede bulunmaktadır. Özellikle son yıllarda, kuraklığın küresel boyutta yaşanan ısınma ve iklimsel değişiklikler açısından hem ülkemizde hem de dünyada çok ciddi bir tehdit oluşturulduğu izlenmektedir. Bu açıdan kuraklıkla ilgili yapılan araştırmalar git gide önem kazanmaktadır.

Hidrolojik ve meteorolojik kuraklık analizi, su kaynakları potansiyelinin sürekli olarak izlenmesi, kısa, orta ve uzun dönemli yönetim planlarının yapılması, su kaynakları üzerinde olumsuz etkilerin önlenmesi veya en aza indirilmesi konusunda yapılacak en önemli çalışmalarındandır.

Batı Anadolu'da yer alan ve Ege bölgesinin en önemli havzalarından biri olan Gediz Havzası'nda son 50 yılda ortaya çıkan kuraklıklar, akımlar açısından akım kuraklık indisi (SDI), yağışlar açısından da standart yağış indisi (SPI) ile incelenmiştir.

Her iki yöntem de dizilerin normal dağılımlı olduğu kabulüne dayanmakta olup, indislerin hesaplanması prensibi itibarıyla birbirine benzemektedir. Bu çalışmada yağışlar, akım verilerine uyumlu olması açısından su yılına uygun olarak (Ekim, Kasım, ...Eylül) düzenlenmiş; **ayrıca bu çalışmaya özgü olarak** yağış dizileri SDI indisinde olduğu gibi her yılın aynı 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman dilimleri kullanılarak elde edilmiştir.

Tez çalışmasının ilk aşamasında 3, 6, 9 ve 12 ay periyotlu akış ve yağış dizilerinin normal dağılıma uygunlukları $\alpha=10\%$ anlamlılık düzeyinde Kolmogorov-Smirnov testiyle kontrol edilmiştir. Çizelge 4.1 incelendiğinde akım dizilerinde 3 aylık toplamaların 524 numaralı Murat çayı istasyonu dışında normal dağılıma uymadığı tespit edilmiştir. Akım verilerinin 3 aylık toplamaları, bu çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Diğer yandan, yağış dizilerinde Güney istasyonunun 9 aylık toplamaları dışında, diğer tüm istasyonların verilerinin normal dağılıma uygunluğu kabul görmüştür. Bunun ışığında, her iki kuraklık indisinin (SDI ve SPI) havza verileri için hesaplanması uygun bulunmuştur.

Sonraki aşamada akım ve yağış indisleri hesaplanmış ve kuraklık derecesine göre sınıflandırılmıştır. Akım kuraklık indislerinin (SDI) değerlendirildiği Çizelge 4.2 ile Çizelge 4.4 incelendiğinde;

- 6 aylık akımlarda 1989, 1992, 1994, 2001, 2007 yıllarında orta şiddette kuraklık görüldüğü
- 9 ve 12 aylık akımlarda ise 1989, 1992, 1994 yıllarında orta şiddette kuraklık görüldüğü, 2001 ve 2007 yıllarında ise tüm istasyonlarda ya orta ya da şiddetli kuraklık olduğu tespit edilmiştir.

Standart yağış indislerinin (SPI) değerlendirildiği Çizelge 4.5 ile Çizelge 4.8 incelendiğinde;

- 3 aylık yağışlarda (Ekim-Aralık) 1985 yılında orta şiddette ve şiddetli kuraklık görüldüğü, 2000 yılında orta şiddette kuraklık, 2001, 2005 ve 2007 yıllarında hem orta hem şiddetli hem de aşırı kuraklık gösteren yıllar bulunduğu,
- 6 aylık yağışlarda (Ekim-Mart) 1989 yılında orta şiddette kuraklık görüldüğü, 1992, 2001 ve 2007 yıllarında hem orta hem şiddetli hem de aşırı kuraklık gösteren yıllar bulunduğu,
- 9 aylık yağışlarda (Ekim-Haziran) 1985 yılında istasyonların 1/3 lük bölümünde orta şiddette kuraklık görüldüğü, 1989, 1992, 2001 ve 2007 yıllarında ise hem orta, hem şiddetli, hem de aşırı kuraklık görülen istasyonlar bulunduğu,
- 12 aylık yağışlarda ise (Ekim-Eylül) 1985, 1989, 1992, 2001 ve 2007 yıllarında tüm istasyonlarda hem şiddetli, hem de aşırı kuraklık görülen istasyonlar bulunduğu tespit edilmiştir.

Dönemsel kuraklıkları belirleyebilmek amacıyla ardışık yılların su eksiklik ve fazlalık grafikleri SDI ve SPI ler kullanılarak hazırlanmıştır. Şekil 4.1 ile Şekil 4.9 son 50 yıldaki akımlar için yorumlanacak olursa;

- 1965 yılında başlayan ve 6-7 yıl süren aşırı sulak bir dönem bulunduğu,
- 1978 de başlayan ve 5-6 yıl süren şiddetli sulak bir dönem bulunduğu,
- 1988 de başlayan ve 8-10 yıl süren orta ve şiddetli düzeyde kurak bir dönem bulunduğu,
- 2000 yılından sonra hafif ve orta şiddette kurak ve sulak yıllar bulunmakla birlikte, 2001-2002 ve 2007-2008 yıllarının genellikle kurak geçtiği saptanmıştır.

Şekil 4.10 ile Şekil 4.27 yağışlar için yorumlanacak olursa;

- 1978 de başlayan ve 5-6 yıl süren şiddetli sulak bir dönem bulunduğu,
- 1988 de başlayan ve 6-7 yıl süren orta ve şiddetli düzeyde kurak bir dönem bulunduğu,
- 1996 yılından sonra hafif ve orta şiddette kurak ve sulak yıllar bulunmakla birlikte, 2007-2008 yıllarının genellikle kurak geçtiği,
- 2009 yılı da dâhil olmak üzere 4-5 yıllık hafif sulak bir dönem olduğu saptanmıştır.
- Geçmişteki kurak ve sulak periyotlar dikkate alındığında son 20 yıldaki kurak ve sulak dönemlerin daha kısa sürdüğü ve şiddetlerinin de daha öncekilere göre azaldığı tespit edilmiştir.
- Havza bazında hafif, orta şiddetli ve şiddetli kuraklıkların çok şiddetli kuraklıklara göre daha sık yaşandığı görülmektedir.

Ayrıca konum olarak birbirine yakın olan yağış ve akım istasyonlarından 524 numaralı Murat Çayı – Sazköy akım istasyonu ile Gediz yağış istasyonu karşılaştırılmış (Şekil 4.28) hidrolojik ve meteorolojik kurak/sulak dönemlerin paralellik gösterdiği saptanmıştır.

Hidrolojik ve meteorolojik kuraklık analizi ile geçmişteki kurak (ve sulak) dönemlerin ortaya konmasının yanı sıra, bu kuraklıkların ortaya çıkış frekanslarının ve şiddetlerinin tahmin edilmesi amacıyla frekans analizi yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında frekans analizi yıllık akım verilerine uygulanmıştır.

Frekans analizinde öncelikle 9 adet akım gözlem istasyonunun yıllık akım verileri için hesaplanan SDI lerin olasılık dağılımı uygunluğu Kolmogorov-Smirnov ve Anderson-Darling testleriyle kontrol edilmiştir. Normal, 2- ve 3-parametrelı lognormal, Gumbel, Gamma, Weibull, GEV, Pearson 3, Log-Pearson 3, Lojistik, Log-Lojistik ve genelleştirilmiş Pareto dağılımları arasından 3-parametrelı lognormal dağılımın (LN3) tüm istasyonların SDI lerini en uygun biçimde temsil ettiği saptanmıştır. Yıllık akımlar için hesaplanan SDI lerin olasılık dağılımları EK 1 de verilmiştir. Daha sonra LN3 parametreleri ile 50 ve 100 yıllık akım kuraklık indisleri ve bu indislerle 50 ve 100 yıllık düşük akımlar tahmin edilmiştir. 9 adet akım gözlem istasyonunun 50- ve 100-yıllık akım kuraklık indislerinin ve düşük akım tahminlerinin yer aldığı Çizelge 4.9 incelendiğinde, SDI ların 50 yıllık tahminlerde genellikle orta şiddette kuraklığa, 100 yıllık tahminlerde ise orta ve şiddetli kuraklığa denk gelen değerler aldığı saptanmıştır.

Bu tez çalışmasının, gerek hidrolojik ve meteorolojik kuraklıkların tespit edilmesi gerekse belli tekerrürlü düşük akımların tahmin edilmesi açısından daha büyük bölgelere uygulanabileceği düşünölmekte ve önerilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aksoy, H., Eriş, E., Çetin, M., Önöz, B., Yüce, M. İ., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H. İ., Eşit, M.,** 2018, Gediz Havzasında Kuraklık Analizi, Uluslararası Katılımlı Türkiye Ulusal Jeodezi Jeofizik Birliği (TUJJB) Bilimsel Kongresi, Bildiri Kitabı, 30 Mayıs – 02 Haziran 2018, İzmir, 28-31 ss.
- Al-Qinna, M. I., Hammouri, N. A., Obeidat, M. M., and Ahmad, F. Y.,** 2011, Drought analysis in Jordan under current and future climates, *Climatic change*, 106(3), 421-440pp.
- Apak, E.,** 2009, Standart Yağış İndeksi (SPI) Yöntemiyle Ege Bölgesinde Kuraklık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 51s.
- Arslan, O., Bilgil, A., ve Veske, O.,** 2016, Standart Yağış İndisi Yöntemi İle Kızıllırmak Havzası'nın Meteorolojik Kuraklık Analizi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2), 188-194ss.
- Atmaca, D.,** 2011, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) Yöntemi ile Konya İli Bölgesel Kuraklık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 50s.
- Balcı, M.,** 1992, Gediz Havzasında Kuraklık Sorunu Üzerinde Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 58s.
- Bayazıt, M.,** 1996, İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri, İTÜ Yayınları, İstanbul, 245s.
- Bayazıt, M. ve Önöz, B.,** 2008, Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 259s.
- Bozkurt, Ö.,** 1996, Aydeniz Metodu'nun Türkiye'ye Uyarlanması, Yüksek Lisans tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 123s.
- Çakal, S.,** 2016, Kuzey Kıbrıs Palmer Kuraklık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Kuzey Kıbrıs Kampüsü Sürdürülebilir Çevre ve Enerji Sistemleri Programı, 147s.
- Dabanlı, İ.,** 2017, Türkiye'de İklim Değişikliğinin Yağış-Sıcaklığa Etkisi ve Kuraklık Analizi: Akarçay Örneği, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 197s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- DeChant, C., and Moradkhani, H.**, 2014, Examining the Reliability of Hydrologic Drought-Risk Forecasting at Seasonal Timescales, In *World environmental and water resources congress*, 2336-2346pp.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü** (2015), Gediz Havzası Master Plan Raporu, Üçer Mühendislik Müşavirlik A.Ş., Ankara.
- Doğan, S.**, 2013, Konya Kapalı Havzası Kuraklık Karakterizasyonunun Zamansal-Konumsal Analizi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 107s.
- Edossa, D. C., Babel, M. S., and Gupta, A. D.**, 2010, Drought analysis in the Awash river basin, Ethiopia. *Water resources management*, 24(7), 1441-1460pp.
- Efe, B. ve Özgür, E.**, 2015, Standart Yağış İndeksi (SPI) Ve Normalin Yüzdesi Metodu (PNI) İle Konya Ve Çevresinin Kuraklık Analizi, İstanbul, 6s.
- Gökkür, S.**, 2003, Ege Bölgesinde Kuraklık Analizi ve Uzun Yıllar Kuraklık Salınımları, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 77s.
- Gülsever, H.**, 2006, Dicle Havzasında Sıcaklık-Yağış ve Kuraklık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 61s.
- Hallack-Alegria, M., Ramirez-Hernandez, J., and Watkins, D. W.**, 2012, ENSO-conditioned rainfall drought frequency analysis in northwest Baja California, Mexico. *International Journal of Climatology*, 32(6), 831-842pp.
- Hao, Z., Hao, F., Singh, V. P., Sun, A. Y., and Xia, Y.**, 2016, Probabilistic prediction of hydrologic drought using a conditional probability based on the meta-Gaussian model, *Journal of approach Hydrology*, 542, 772-780pp.
- Jeong, S., Yu, I., Felix, M. L. A., Kim, S., and Oh, K.**, 2014, Drought assessment for real-time hydrologic drought index of the Nakdong River Basin in Korea, *Desalination and Water Treatment*, 52(13-15), 2826-2832pp.
- Joetzjer, E., Douville, H., Delire, C., Ciais, P., Decharme, B., and Tyteca, S.**, 2013, Hydrologic benchmarking of meteorological drought indices at interannual to climate change timescales: a case study over the Amazon

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- and Mississippi river basins, *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(12), 4885-4895pp.
- Kayam, Y., Yılmaz, G., Etöz, M. ve Yüceerim, G.**, 2017, Bazı kuraklık indislerinin karşılaştırılması ve iklimsel analizler; Menemen örneği, 20s.
- Küçükyaman, D.**, 2010, Kovada Gölü'nün Hidrolojik ve Meteorolojik Kuraklık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 65s.
- Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Beguería, S., García-Ruiz, J. M., and Cuadrat, J. M.**, 2010, The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain), *Journal of Hydrology*, 386(1-4), 13-26pp.
- Ma, M., Ren, L., Singh, V. P., Yuan, F., Chen, L., Yang, X., and Liu, Y.**, 2015, Hydrologic model-based almer indices for drought characterization in the Yellow River basin, China. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 30(5), 1401-1420pp.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J.**, 1995. Drought Monitoring with Multiple Time Scales, January 15-20, 1995. American Meteorological Society, Proceeding of The 9 th Conference on Applied Climatology, Boston, 233-236pp.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü**, “Eriñç İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi”,
https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/erinc.pdf
 (Erişim tarihi: 5 Aralık 2018)
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü**, “Thorntwait İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi”,
https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/Thorntwait_e.pdf (Erişim tarihi: 6 Aralık 2018)
- Nalbantis, I., and Tsakiris, G.**, 2009, Assessment of hydrological drought revisited, *Water Resources Management*, 23(5), 881-897pp.
- Naresh Kumar, M., Murthy, C. S., Sesha Sai, M. V. R., and Roy, P. S.**, 2011, Spatiotemporal analysis of meteorological drought variability in the Indian

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- region using standardized precipitation index. *Meteorological Applications*, 19(2), 256-264pp.
- Oğuztürk, G.**, 2010, Kızılırmak Havzası'nda SYİ ile Kuraklık Analizi ve YSA Yöntemi ile Kuraklık Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 192s.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı**, “Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi: Gediz Havzası”, <http://gediz.ormansu.gov.tr/gediz/Files/Gediz%20Havzas%C4%B1%20Nihai%20Raporu.pdf> (Erişim tarihi: 17 Eylül 2018)
- Piccarreta, M., Capolongo, D., and Boenzi, F.**, 2004, Trend analysis of precipitation and drought in Basilicata from 1923 to 2000 within a southern Italy context. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(7), 907-922pp.
- Rajsekhar, D., Singh, V. P., and Mishra, A. K.**, 2014, Hydrologic drought atlas for Texas, *Journal of Hydrologic Engineering*, 20(7), 05014023-1-05014023-20pp.
- Sarıcan, Y.**, 2015, Avrupa Birliği ve Türkiye’de Kuraklık Yönetimi Uygulamalarının Değerlendirilmesi, Orman ve Su İşleri Uzmanlık Tezi, Ankara, 136s.
- Shukla, S., and Wood, A. W.**, 2008, Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought, *Geophysical research letters*, 35(2), 7p.
- Şen, Z.**, 2009, Kuraklık Afet ve Modern Hesaplama Yöntemleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 248s.
- Tabari, H., Nikbakht, J., and Talaei, P. H.**, 2013, Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI), *Water resources management*, 27(1), 137-151pp.
- Topçuoğlu, K., Özgürel, M., ve Pamuk, G.**, 2004, Türkiye için yeni bir kuraklık indisi denemesi, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(3), 145-153s.
- Topçu, E.**, 2013, L-Momentler ve Standart Yağış İndeksi (SYİ) Yardımıyla Seyhan Havzası Kuraklık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 167s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tosunoglu, F., and Kisi, O.,** 2016, Trend Analysis of Maximum Hydrologic Drought Variables Using Mann–Kendall and Şen's Innovative Trend Method. *River Research and Applications*, 33(4), 597-610pp.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., and Vangelis, H.,** 2007, Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI), *Water resources management*, 21(5), 821-833pp.
- Türkeş, M.,** 1990, Türkiye’de Kurak Bölgeler ve Önemli Kurak Yıllar, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, 195s.
- Van Loon, A. F., and Laaha, G.,** 2015, Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics, *Journal of Hydrology*, 526, 3-14pp.
- Wilhite, D. A.,** 2000, Drought as a natural hazard: concepts and definitions, 21p.
- Yeğnidemir, K.,** 2005, İç Anadolu Bölgesi’nin Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ) Metodu ile Kuraklık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 173s.
- Yetmen, H.,** 2013, Türkiye’nin Kuraklık Analizi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 194s.

ÖZGEÇMİŞ

1993 yılı Uşak doğumlu olup, öğrenim hayatını sırasıyla Mehmet Sesli İlköğretim Okulu, Şehit Abdülkadir Kılavuz Anadolu Öğretmen Lisesi ve Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü' nde tamamlamıştır. 2011 yılında başladığı lisans eğitimini 2016 yılında bitirerek aynı yıl İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalında lisansüstü eğitimine başlamıştır. Eylül 2016 – Haziran 2017 yılları arasında Türkelli Atıksu Arıtma Tesisi İnşaatı' nda saha mühendisi olarak çalıştıktan sonra Temmuz 2017' de Uşak Üniversitesi' nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlamış olup hâlâ bu görevini sürdürmektedir.

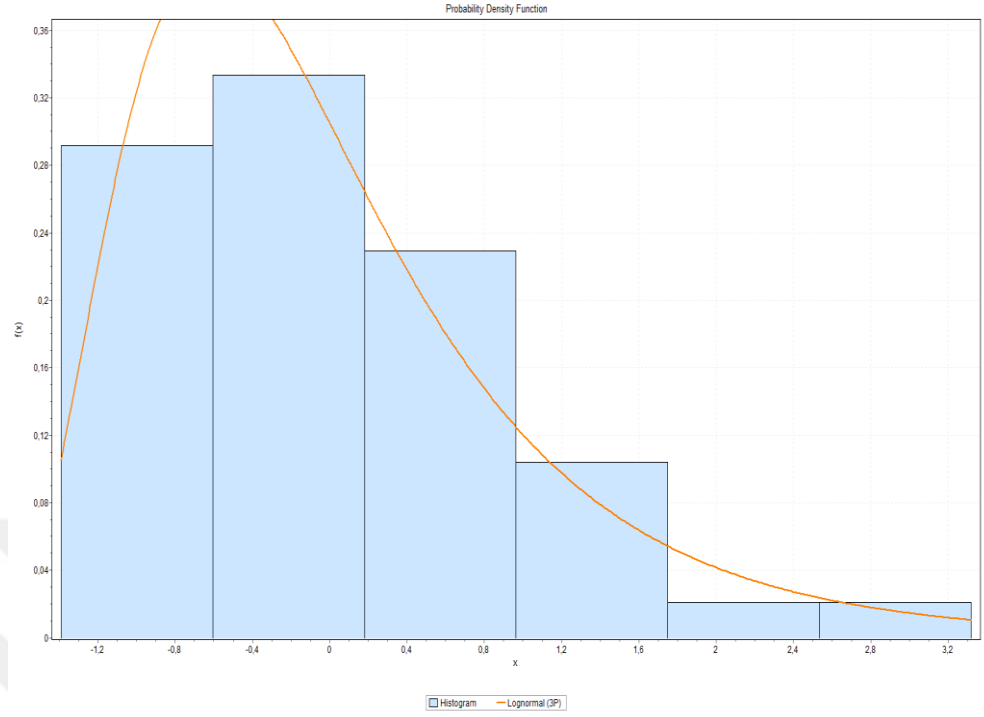


EKLER

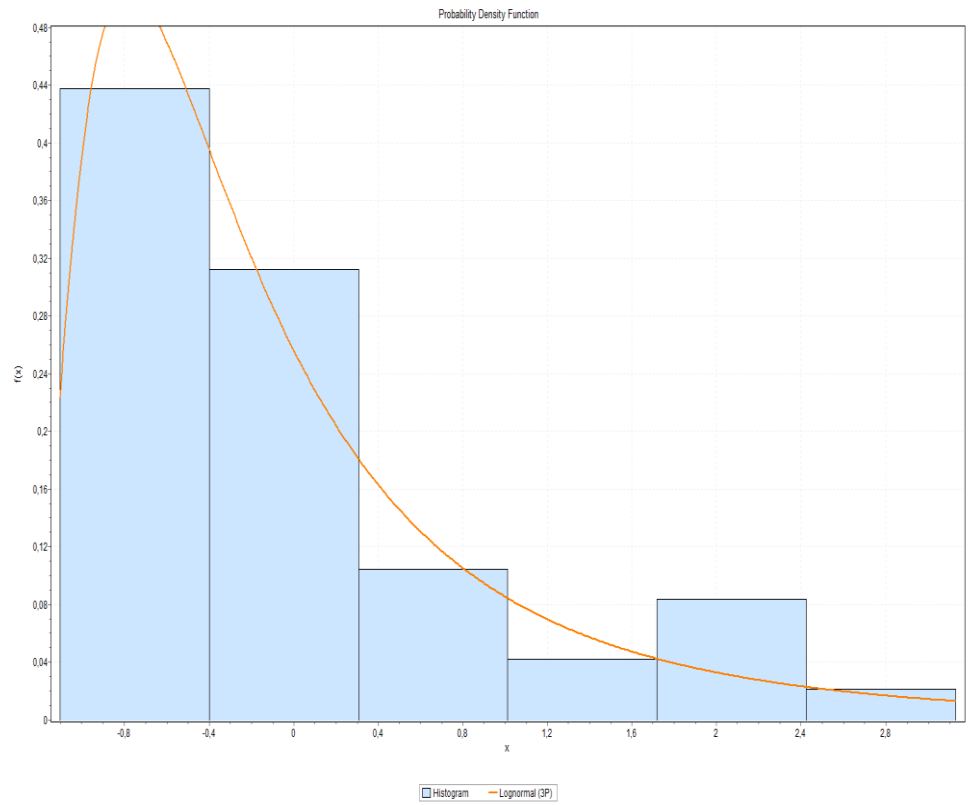
Ek 1 12 Aylık Akım Verilerine ait SDI lerin Olasılık Dağılımları



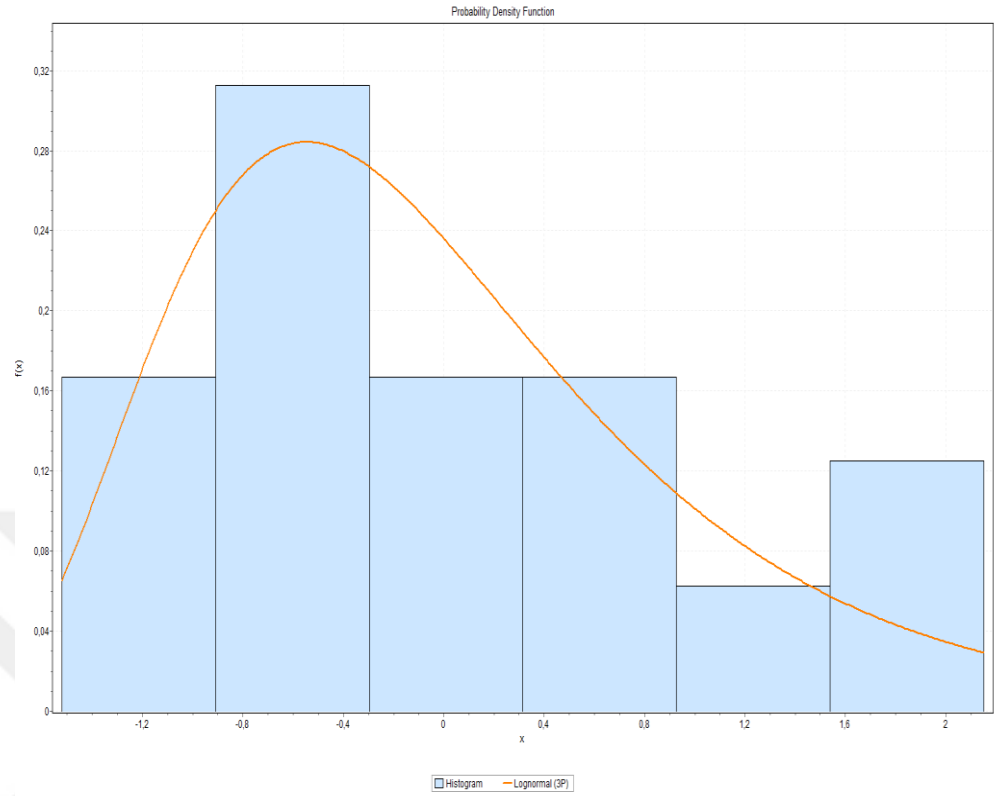
509 Nolu AGİ (Medar Çayı – Kayalıoğlu)



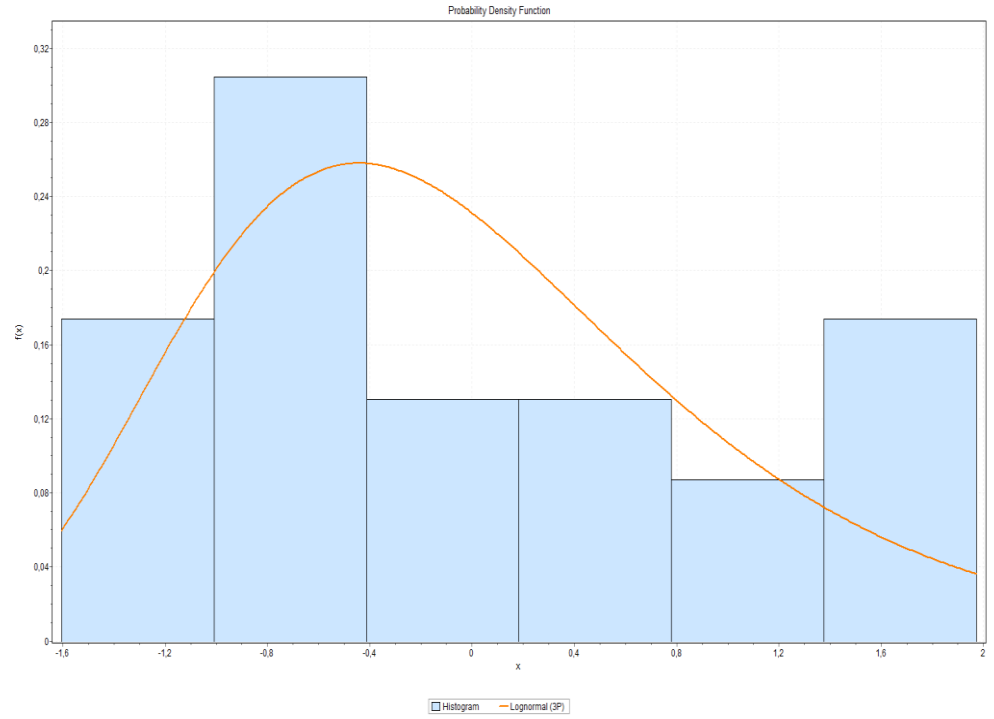
510 Nolu AGİ (Kumçay – Killik)



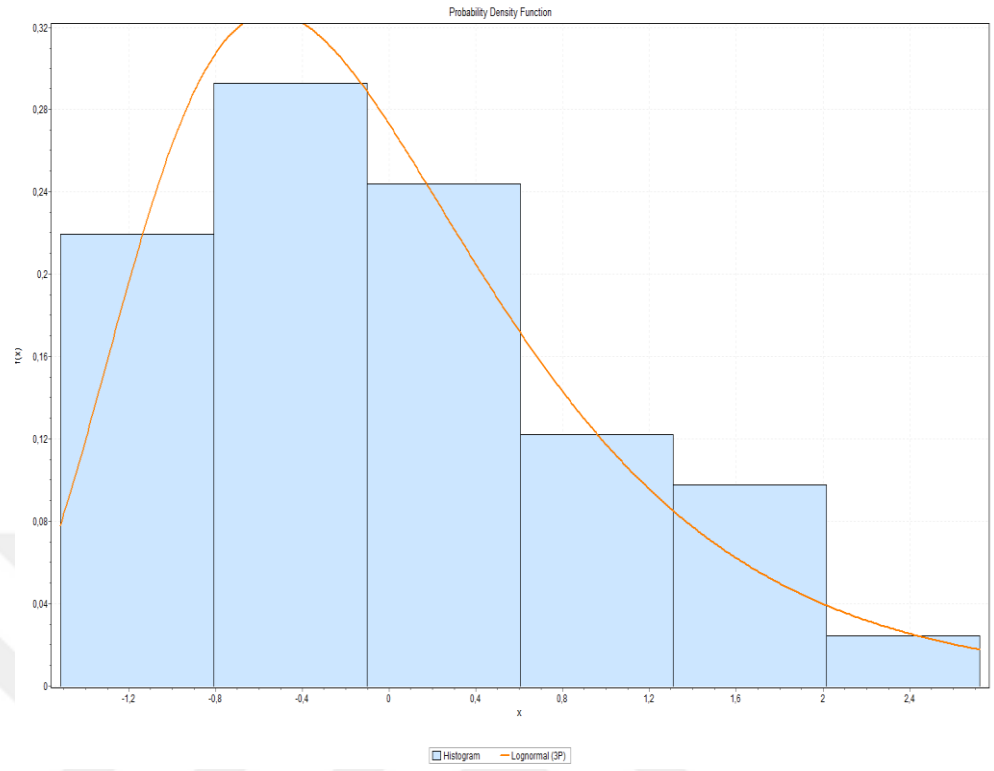
514 Nolu AGİ (Selendi Çayı – Dereköy)



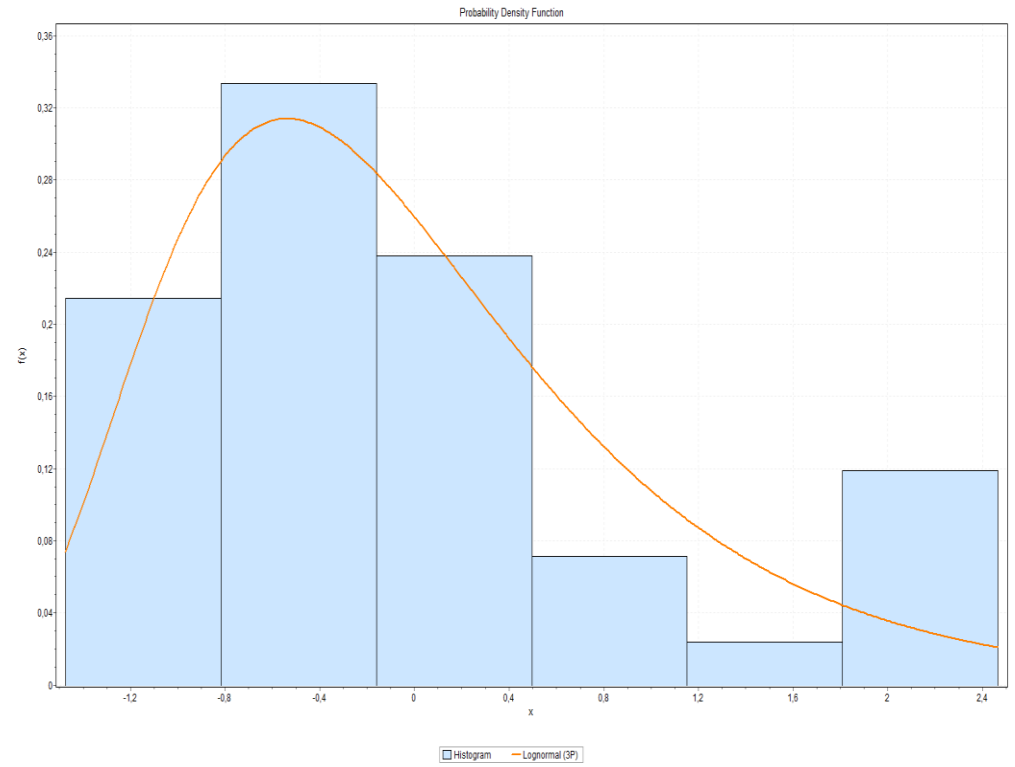
515 Nolu AGİ (Delinış Deresi – Topuzdamları)



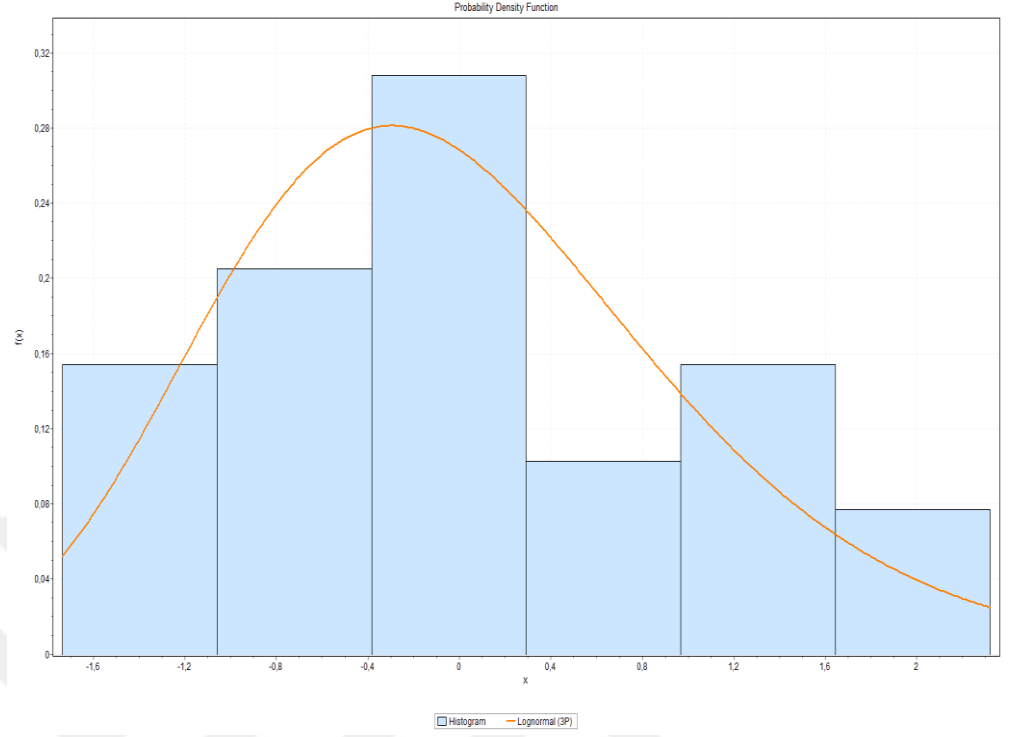
522 Nolu AGİ (Demirci Çayı – Borlu Köprüsü)



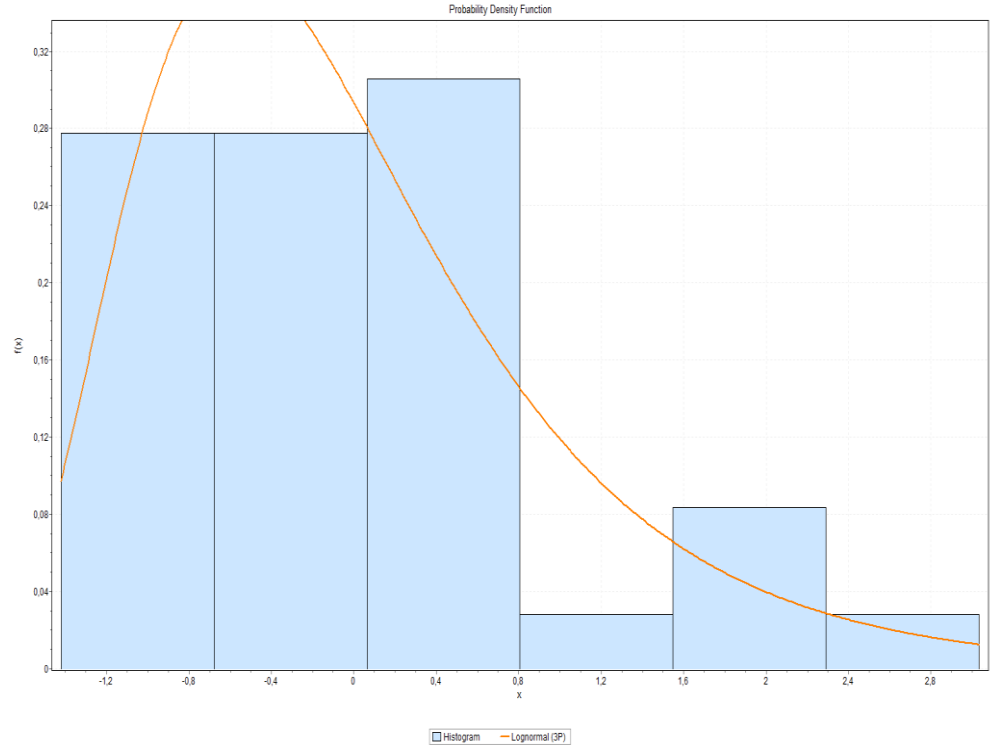
523 Nolu AGİ (Gediz Nehri – Acısu)



524 Nolu AGİ (Murat Çayı – Sazköy)



525 Nolu AGİ (Yiğitler Deresi – Yiğitler)



527 Nolu AGİ (Gördes Çayı – Darıbüğü)

