



**SUSURLUK HAVZASI ÖZELİNDE KAYIP VERİ VE  
KURAKLIK ANALİZİ**

**Tuğçe HIRCA**

**Doktora Tezi**

**İnşaat Mühendisliği**

**Ana Bilim Dalı**

**Doç. Dr. Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN**

**2025**

**(Her Hakkı Saklıdır)**

**T.C.**  
**BAYBURT ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ DOKTORA PROGRAMI**

**SUSURLUK HAVZASI ÖZELİNDE KAYIP VERİ VE KURAKLIK ANALİZİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Tuğçe HIRCA**

**Danışman: Doç. Dr. Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN**

**BAYBURT - 2025**

## KABUL VE ONAY

Doç. Dr. Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN danışmanlığında, Tuğçe HIRCA tarafından hazırlanan “Susurluk Havzası Özelinde Kayıp Veri ve Kuraklık Analizi” başlıklı bu çalışma, 15.01.2025 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN .....

Üye : Doç. Dr. Tuğçe ANILAN .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Uğur SERENCAM .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim CENGİZ .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ruşen SINIR .....

Bu tezin kabulü Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Bünyamin ALIM  
Enstitü Müdürü

## BEYANNAME

Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN danışmanlığında hazırlamış olduğum “Susurluk Havzası Özelinde Kayıp Veri ve Kuraklık Analizi” başlıklı doktora tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

15.01.2025

Tuğçe HIRCA



## ÖN SÖZ

Bu çalışma Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

“Susurluk Havzası Özelinde Kayıp Veri ve Kuraklık Analizi” isimli tez çalışmasının her aşamasında bana destek veren, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN'a teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Kıymetli vakitlerini ayırarak tez izleme komitemde yer alan ve değerli fikirleri ile bana yön veren Sayın Dr. Öğr. Üyesi İbrahim CENGİZ'e ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ruşen SINIR'a teşekkür ederim. Doktora tez savunma sınavımda jüri üyesi olan değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. Tuğçe ANILAN'a ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Uğur SERENCAM'a tezimle ilgili yapmış oldukları değerlendirmelerden dolayı ayrıca teşekkür etmek isterim.

Çalışmalarım sırasında tezimle ilgili birçok konuda değerli fikirlerini paylaşan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Zekai ŞEN'e, Sayın Prof. Dr. Fatih DİKBAŞ'a ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Okan Mert KATIPOĞLU'na ayrı ayrı teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan maddi ve manevi hiçbir yardımdan kaçınmayan desteklerini her an hissettiğim çok kıymetli aileme şükranlarımı sunarım. Çalışmamın ülkemize faydalı olmasını içtenlikle temenni ederim.

Tuğçe HIRCA

# ÖZET

## DOKTORA TEZİ

### SUSURLUK HAVZASI ÖZELİNDE KAYIP VERİ VE KURAKLIK ANALİZİ

Tuğçe HIRCA

Bayburt Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN

Bayburt-2025, Sayfa: 192

Kuraklık, en karmaşık ve en yıkıcı doğal afetlerden biridir. Kuraklık etkileri, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi sayesinde en aza indirilebilmektedir. Optimum su kaynakları yönetimi için hidrolojik analizlerden güvenilir sonuçlar elde edilmelidir. Güvenilir sonuçlar ise hidrolojik ve istatistiksel analizlerde kullanılacak veri envanterinin eksiksiz olması ile yakından ilişkilidir. Bu çalışma, Susurluk Havzası örneği üzerinde kayıp veri ve kuraklık analizi olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde, hidroloji literatürü için kayıp veri metodolojisi geliştirilerek havzanın istatistiki yapısına en uygun atama yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır. İkinci bölümünde ise geleneksel ve yenilikçi yöntemler ile havzanın kuraklık risk durumunun detaylı olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Kayıp veri metodolojisinde; gerçek veri setlerinin kayıp veri miktarı, kayıp veri deseni ve kayıp veri mekanizmaları dikkate alınarak simüle veri setleri oluşturulmuştur. Simüle veri setlerindeki kayıp verilerin tahmininde basit atama teknikleri, Beklenti Maksimizasyonu (BM) ve k-En Yakın Komşu (kNN) algoritması kullanılmıştır. Gerçek veri setlerinin istatistiksel yapısına benzer olan simüle veri setleri için en uygun kayıp veri atama yöntemi farklı değerlendirme kriterlerine göre belirlenmiştir. Bu sayede, gerçek veri setlerindeki kayıp verilerin tahmininde en etkili yöntem kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, istasyon seçiminin ve normallik varsayımının BM performansına etkisi oluşturulan çeşitli senaryolarla incelenmiştir. Belirtilen metodolojiye uygun olarak verilerdeki kayıp değerler tamamlanmıştır. Kuraklık analizleri yapılmadan önce, verilerdeki tutarsızlık ve kırılmalar homojenlik testleri ile değerlendirilmiştir. Ardından kısa (1-3 ay), orta (6-9 ay) ve uzun (12-24 ay) zaman ölçeklerinde Standart Yağış İndeksi (SYİ), Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SYEI), Z-Skor İndeksi (ZSİ) ve Gerçek Yağış İndeksi (GYİ) hesaplanmış ve ekstrem kuraklıklar belirlenmiştir. Kuraklık indeks değerlerinin içsel bağımlılıkları incelenmiş ve kuraklık trendlerini belirlemek amacıyla parametrik olmayan Modifiye edilmiş Mann-Kendall (mMK) testi, grafiksel trend analizi için Yenilikçi Trend Analizi (YTA) yöntemi ve Yenilikçi Trend Anlamlılık Testi (YTAT) kullanılmıştır. Çalışmada, kayıp verilerin tamamlanmasında en etkili yöntemin BM olduğu, genelleştirilmiş ekstrem değer (GED) dağılımının havza yağışını Gamma dağılımından daha iyi temsil ettiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Susurluk havzası, kayıp veri, kuraklık analizi, trend analizi.

## **ABSTRACT**

### **PH. D. THESIS**

## **MISSING DATA AND DROUGHT ANALYSIS IN THE SUSURLUK BASIN**

**Tuğçe HIRCA**

**Bayburt University**

**Institute of Graduate Studies**

**Department of Civil Engineering**

**Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN**

**Bayburt-2025, Pages: 192**

Drought is one of the most complex and destructive natural disasters. Drought effects can be minimized through sustainable management of water resources. Reliable results from hydrological analyses should be obtained for optimal water resources management. Reliable results are closely related to the completeness of the data inventory to be used in hydrological and statistical analyses. This study consists of two main sections: missing data and drought analysis in the Susurluk Basin. In the first section of the study, it is aimed to determine the most appropriate imputation method for the statistical structure of the basin by developing a missing data methodology for the hydrology literature. In the second section, it is aimed to determine the drought risk status of the basin in detail with traditional and innovative methods. In the missing data methodology, simulated data sets are created by considering the amount of missing data, missing data pattern and missing data mechanisms of real data sets. Simple imputation techniques, Expectation Maximization (EM) and k-Nearest Neighbor (kNN) algorithm are used to estimate missing data in simulated data sets. The most appropriate missing data imputation method for simulated data sets that are similar to the statistical structure of real data sets is determined according to different evaluation criteria. In this way, the most effective method is used to estimate missing data in real data sets. Within the scope of the study, the effect of station selection and normality assumption on the performance of the EM is examined with various scenarios. Missing values in the data are completed in accordance with the specified methodology. Before conducting drought analyses, inconsistencies and breaks in the data are evaluated with homogeneity tests. Then, Standard Precipitation Index (SPI), Standard Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), Z-Score Index (ZSI) and Actual Precipitation Index (API) are calculated for short (1-3 months), medium (6-9 months) and long (12-24 months) time scales and extreme droughts are determined. The serial dependencies of drought index values are examined and the nonparametric Modified Mann-Kendall (mMK) test, the Innovative Trend Analysis (ITA) method for graphical trend analysis and the Innovative Trend Significance Test (ITST) are used to determine drought trends. In the study, it is determined that EM is the most effective method to complete the missing data, and the generalized extreme value (GEV) distribution represents the basin rainfall better than the Gamma distribution.

**Keywords:** Susurluk basin, missing data, drought analysis, trend analysis.

# İÇİNDEKİLER

<b>KABUL VE ONAY</b> .....	<b>II</b>
<b>BEYANNAME</b> .....	<b>III</b>
<b>ÖN SÖZ</b> .....	<b>IV</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VI</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>VII</b>
<b>TABLOLAR</b> .....	<b>X</b>
<b>ŞEKİLLER</b> .....	<b>XII</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>XIV</b>
<b>SİMGELER</b> .....	<b>XV</b>
<b>GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
Araştırmanın Konusu ve Problemi .....	2
Araştırmanın Amacı .....	2
Araştırmanın Önemi ve Gerekçesi .....	2
Araştırmanın Sınırlılıkları .....	4
Varsayımlar .....	4
Terim ve Tanımları.....	4
<b>BİRİNCİ BÖLÜM</b> .....	<b>5</b>
<b>1. KURAMSAL ÇERÇEVE</b> .....	<b>5</b>
1.1. KAYIP VERİ.....	5
1.1.1. Kayıp Veri Problemi ve Etkileri.....	5
1.1.2. Kayıp Verinin Yapısı.....	6
1.1.2.1. Kayıp veri oranı.....	6
1.1.2.2. Kayıp veri deseni.....	6
1.1.2.3. Kayıp veri mekanizmaları .....	7
1.1.2.4. Kayıp veri süreci için rassallığın sorgulanması.....	9
1.1.3. Kayıp Veri Ele Alma Stratejileri .....	9
1.1.3.1. Silme yöntemleri .....	10
1.1.3.2. Atama yöntemleri .....	11
1.2. KURAKLIK .....	16
1.2.1 Homojenlik Testleri .....	16
1.2.2. Kuraklık Türleri ve Tanımları .....	17
1.2.3. Kuraklığın Etki Alanları .....	18
1.2.4. Kuraklık İndeksleri .....	19
1.2.5. Gidişler Analizi ile Kuraklık Karakteristiklerinin Belirlenmesi.....	21
1.2.6. Kuraklık İndekslerinin Trend Analizi.....	21
1.2.7. Kuraklık Haritalarının Üretilmesi.....	22
1.2.8. Kuraklık Yönetim Stratejileri .....	23
1.3. LİTERATÜR TARAMASI .....	24
1.3.1. Kayıp Veri Analizleri için Literatür Taraması.....	24
1.3.2. Kuraklık Analizleri için Literatür Taraması .....	32
<b>İKİNCİ BÖLÜM</b> .....	<b>38</b>
<b>2. YÖNTEM</b> .....	<b>38</b>

2.1. VERİ DAĞILIMININ İNCELENMESİ VE İSTATİSTİKSEL İLİŞKİLER .....	38
2.1.1. Normallik Analizleri .....	38
2.1.2. Korelasyon Analizleri .....	39
2.2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER .....	40
2.2.1. Çalışma Alanı .....	40
2.2.2. Kullanılan Veri .....	41
2.2.2.1. Uyum parametreleri .....	44
2.3. ANALİZLERDE KULLANILAN YAZILIMLAR .....	50
2.4. KAYIP VERİ ANALİZLERİ .....	51
2.4.1. Kayıp Veri Atama Yöntemleri .....	51
2.4.1.1. Basit atama teknikleri .....	51
2.4.1.2. K en yakın komşu (kNN) algoritması .....	53
2.4.1.3. Beklenti maksimizasyonu (BM) algoritması .....	53
2.4.2. Kayıp Veri Tahmini için Değerlendirme Kriterleri .....	55
2.5. KURAKLIK ANALİZLERİ .....	57
2.5.1. Homojenlik Testleri .....	57
2.5.1.1. Pettitt testi .....	58
2.5.1.2. Buishand aralık testi .....	58
2.5.1.3. Standart normal homojenlik testi (SNHT) .....	58
2.5.1.4. Von Neumann oran testi .....	59
2.5.1.5. Çift toplam eğri yöntemi .....	59
2.5.2. Meteorolojik Kuraklık Analizleri .....	61
2.5.2.1. Standart yağış indeksi (SYİ) .....	61
2.5.2.2. Standart yağış evapotranspirasyon indeksi (SYEİ) .....	64
2.5.2.3. Z-Skor indeksi (ZSİ) .....	65
2.5.2.4. Gerçek yağış indeksi (GYİ) .....	65
2.5.3. Gidişler Analizi (Run Teorisi) .....	66
2.5.4. Trend Analizleri .....	67
2.5.4.1. Mann-Kendall (MK) testi .....	67
2.5.4.2. Modifiye edilmiş Mann-Kendall (mMK) testi .....	69
2.5.4.3. Yenilikçi trend analizi (YTA) .....	69
2.5.4.4. Yenilikçi trend anlamlılık testi (YTAT) .....	71
2.5.5. Kuraklık Haritalarının Oluşturulması .....	72
<b>ÜÇÜNCÜ BÖLÜM .....</b>	<b>74</b>
<b>3. BULGULAR .....</b>	<b>74</b>
3.1. KAYIP VERİ METODOLOJİSİ .....	74
3.1.1. Simüle Veri Setlerinin Oluşturulması .....	74
3.1.2. Simüle Veri Setlerine Kayıp Veri Ataması .....	81
3.1.3. Eksik Verilerin Tamamlanması .....	92
3.1.3.1. Eksik yağış verilerinin beklenti maksimizasyonu ile tamamlanması .....	92
3.1.3.2. Eksik sıcaklık verilerinin beklenti maksimizasyonu ile tamamlanması .....	92
3.2. KURAKLIK ANALİZLERİ .....	96
3.2.1. Homojenlik Testlerinin Sonuçları .....	96
3.2.1.1. Yağış verilerinin homojenlik testi .....	96
3.2.1.2. Sıcaklık verilerinin homojenlik testi .....	99
3.2.1.3. Sıcaklık verilerindeki homojen olmama durumunun araştırılması .....	99

3.2.2. Meteorolojik Kuraklık Analizleri .....	103
3.2.2.1. Standart yağış indeksinin hesaplanması .....	103
3.2.2.2. Standart yağış evapotranspirasyon indeksinin hesaplanması .....	115
3.2.2.3. Z-Skoru indeksinin hesaplanması.....	123
3.2.2.4. Gerçek yağış indeksinin hesaplanması .....	132
3.3. KURAKLIK İNDEKSLERİNİN TREND ANALİZLERİ .....	141
3.4. KURAKLIĞIN GÖRSELLEŞTİRİLMESİ.....	159
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>161</b>
Sonuç.....	161
Öneriler.....	165
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>167</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>179</b>
Ek 1: Bursa ve Kütahya İllerinde Bulunan İstasyonların Yağış Rasatlarının Kayıp Veri Özetleri. ....	179
Ek 2: Bursa ve Kütahya İllerinde Bulunan İstasyonların Sıcaklık Rasatlarının Kayıp Veri Özetleri. ....	181
Ek 3:Teorik ODF ve Ampirik ODF Diyagramları .....	183
Ek 4: Kuraklık İndekslerinin Rölatif Frekans Değerleri .....	185
Ek 5: YTA Grafikleri.....	187
<b>ÖZ GEÇMİŞ .....</b>	<b>192</b>

## TABLolar

<b>Tablo 1:</b> Kayıp Veri Atama Yöntemlerinin Avantajları, Dezavantajları ve Sınırlılıkları .....	13
<b>Tablo 2:</b> Kayıp Veri Analizi Konusunda Farklı Disiplinlerde Öne Çıkan Çalışmalar .....	30
<b>Tablo 3:</b> Seçili İstasyonların Yağış Rasatlarının Kayıp Veri Özetleri.....	42
<b>Tablo 4:</b> Bigadiç ve Mustafakemalpaşa İstasyonlarının Konum Bilgileri ve Korelasyonları .	45
<b>Tablo 5:</b> Seçili İstasyonlardaki Sıcaklık Rasatlarının Kayıp Veri Özetleri .....	47
<b>Tablo 6:</b> Seçilen Meteoroloji Gözlem İstasyonlarının Konum Bilgileri .....	49
<b>Tablo 7:</b> Meteoroloji Gözlem İstasyonlarının Tanımlayıcı İstatistik Bilgileri .....	50
<b>Tablo 8:</b> Çalışmada Kullanılan Yazılım Bilgileri.....	50
<b>Tablo 9:</b> Homojenlik Testleri için Veri Sayısına Bağlı Kritik Değerler.....	59
<b>Tablo 10:</b> Kuraklık İndeksleri Sınıflandırma Sınırları .....	64
<b>Tablo 11:</b> Meteoroloji Gözlem İstasyonlarının Bilgileri .....	77
<b>Tablo 12:</b> Gerçek ve Simüle Veri Setlerinin Karşılaştırılması .....	81
<b>Tablo 13:</b> Simüle Veri Setlerinin Normallik Analizi.....	85
<b>Tablo 14:</b> 449*13 Matris Formunda Simüle Ham Verilerin Normallik Analizi .....	86
<b>Tablo 15:</b> Sadece Normal Dağılım Göstermeyen Simüle Verilerin Dönüştürülmüş Hallerinin Normallik Analizi .....	87
<b>Tablo 16:</b> Kayıp Veri Atama Yöntemlerinin Performans Değerlendirmesi.....	90
<b>Tablo 17:</b> Gerçek Yağış Veri Setlerinin Normallik Analizi .....	93
<b>Tablo 18:</b> Aylık Ortalama Sıcaklık Verilerinin Normallik Analizi .....	94
<b>Tablo 19:</b> Aylık Ortalama Sıcaklık Verilerinin Pearson Korelasyon Analiz Sonuçları .....	95
<b>Tablo 20:</b> Hidrometeorolojik Veriler için Kritik Değer Tablosu.....	96
<b>Tablo 21:</b> Yıllık Toplam Yağış Verilerinin Homojenlik Analiz Sonuçları .....	97
<b>Tablo 22:</b> Düzenlenen Yağış Verilerinin Homojenlik Analizleri.....	99
<b>Tablo 23:</b> Yıllık Ortalama Sıcaklık Verilerinin Homojenlik Analiz Sonuçları.....	99
<b>Tablo 24:</b> Çalışmada Kullanılan Olasılık Dağılım Fonksiyonları ve Parametreleri.....	104
<b>Tablo 25:</b> Tüm İstasyonlar için En Uygun Olasılık Dağılım Fonksiyonları .....	106
<b>Tablo 26:</b> Tüm İstasyonların SYİ Değerlerine Ait Kuraklık Karakteristikleri.....	113
<b>Tablo 27:</b> Tüm İstasyonların SYEİ Değerlerine Ait Kuraklık Karakteristikleri .....	121
<b>Tablo 28:</b> Tüm İstasyonların ZSİ Değerlerine Ait Kuraklık Karakteristikleri .....	129
<b>Tablo 29:</b> Susurluk Havzası'nda Meydana Gelen Maksimum Kuraklık Karakteristikler.....	131
<b>Tablo 30:</b> Bandırma, Bigadiç, Bursa ve Dursunbey İstasyonları için Hesaplanan GYİ Eşik Değerleri .....	136
<b>Tablo 31:</b> Edremit, Gediz, Gönen ve Keles İstasyonları için Hesaplanan GYİ Eşik Değerleri .....	137
<b>Tablo 32:</b> Kütahya, Mustafakemalpaşa, Simav ve Tavşanlı İstasyonları için Hesaplanan GYİ Eşik Değerleri .....	139
<b>Tablo 33:</b> Uludağ İstasyonu için Hesaplanan GYİ Eşik Değerleri.....	140
<b>Tablo 34:</b> Mann-Kendall (MK)/Modifiye Edilmiş Mann-Kendall (mMK) z Değerleri .....	144
<b>Tablo 35:</b> Dursunbey İstasyonu için YTAT Sonuçları.....	151
<b>Tablo 36:</b> Bandırma İstasyonu için YTAT Sonuçları.....	152
<b>Tablo 37:</b> Bigadiç İstasyonu için YTAT Sonuçları .....	152
<b>Tablo 38:</b> Bursa İstasyonu için YTAT Sonuçları .....	153
<b>Tablo 39:</b> Edremit İstasyonu için YTAT Sonuçları.....	153

<b>Tablo 40:</b> Gediz İstasyonu için YTAT Sonuçları.....	<b>154</b>
<b>Tablo 41:</b> Gönen İstasyonu için YTAT Sonuçları.....	<b>155</b>
<b>Tablo 42:</b> Keles İstasyonu için YTAT Sonuçları .....	<b>155</b>
<b>Tablo 43:</b> Kütahya İstasyonu için YTAT Sonuçları.....	<b>156</b>
<b>Tablo 44:</b> Mustafakemalpaşa İstasyonu için YTAT Sonuçları.....	<b>157</b>
<b>Tablo 45:</b> Simav İstasyonu için YTAT Sonuçları .....	<b>157</b>
<b>Tablo 46:</b> Tavşanlı İstasyonu için YTAT Sonuçları.....	<b>158</b>
<b>Tablo 47:</b> Uludağ İstasyonu için YTAT Sonuçları.....	<b>158</b>



## ŞEKİLLER

Şekil 1: Kayıp Veri Desenlerinin Temsili.....	7
Şekil 2: Tez Çalışmasında Kullanılan Kayıp Veri Atama Yöntemleri .....	10
Şekil 3: Kuraklık Türleri ve Etkileri .....	18
Şekil 4: Kuraklığın Etki Alanları .....	19
Şekil 5: Susurluk Havzası'nda Uzun Dönem Kayıtları Bulunan Gözlem İstasyonları.....	41
Şekil 6: Susurluk Havzası Thiessen Poligonu.....	46
Şekil 7: Lineer İnterpolasyonun Şematik Diyagramı.....	52
Şekil 8: BM Algoritması için Akış Şeması.....	54
Şekil 9: Çalışmada Geliştirilen Kayıp Veri Metodolojisinin Akış Şeması.....	56
Şekil 10: Çift Toplam Eğri Yöntemi.....	60
Şekil 11: Gidişler Analizi (Run Teorisi) .....	67
Şekil 12: Zaman Serilerinin Trendi (a) Trendsiz Zaman Serisi; (b) Artan Trend; (c) Azalan Trend.....	70
Şekil 13: Çalışmanın Kuraklık Analizine İlişkin Akış Şeması .....	73
Şekil 14: Gerçek Bütüncül Veri Setine Ait Kayıp Değerlerin Genel Özeti.....	75
Şekil 15: Gerçek Bütüncül Veri Setinin Kayıp Veri Desenleri.....	76
Şekil 16: Simüle Veri Setlerinin Oluşturulmasının Şematik Gösterimi.....	77
Şekil 17: Kayıp Veri Desenleri (a) Ocak (b) Mayıs (c) Haziran (d) Temmuz.....	78
Şekil 18: Kayıp Veri Desenleri (a) Ağustos (b) Eylül (c) Ekim (d) Kasım (e) Aralık .....	79
Şekil 19: 449*13 Matris Formunda Simüle Ham Verilerin Spearman'ın Sıra Korelasyon Analizi.....	84
Şekil 20: Simav İstasyonu Haziran Ayı Aylık Toplam Yağışların Grafiği .....	88
Şekil 21: Simav İstasyonu Haziran Ayı Aylık Toplam Dönüştürülmüş Yağışların Grafiği....	89
Şekil 22: Gönen Gözlem İstasyonunun Çift Toplam Eğrisi.....	98
Şekil 23: Yıllık Ortalama Sıcaklıkların Karşılaştırılması .....	102
Şekil 24: Bandırma İstasyonunun Farklı Zaman Ölçekleri için Teorik ve Ampirik ODF Uyumları .....	105
Şekil 25: Kısa Zaman Aralıklarında SYİ Değerlerinin Zamanla Değişimi .....	107
Şekil 26: Orta Zaman Aralıklarında SYİ Değerlerinin Zamanla Değişimi.....	108
Şekil 27: Uzun Zaman Aralıklarında SYİ Değerlerinin Zamanla Değişimi .....	109
Şekil 28: Dursunbey MGİ SYİ Değerleri için Rölatif Frekans Yüzde Değerleri .....	110
Şekil 29: Kısa Zaman Aralıklarında SYEİ Değerlerinin Zamanla Değişimi .....	116
Şekil 30: Orta Zaman Aralıklarında SYEİ Değerlerinin Zamanla Değişimi .....	117
Şekil 31: Uzun Zaman Aralıklarında SYEİ Değerlerinin Zamanla Değişimi.....	118
Şekil 32: Dursunbey MGİ SYEİ Değerleri için Rölatif Frekans Yüzde Değerleri.....	119
Şekil 33: Kısa Zaman Aralıklarında ZSİ Değerlerinin Zamanla Değişimi.....	124
Şekil 34: Orta Zaman Aralıklarında ZSİ Değerlerinin Zamanla Değişimi .....	125
Şekil 35: Uzun Zaman Aralıklarında ZSİ Değerlerinin Zamanla Değişimi .....	126
Şekil 36: Dursunbey MGİ ZSİ Değerleri için Rölatif Frekans Yüzde Değerleri.....	127
Şekil 37: Dursunbey Aylık GYİ Değerlerine Karşılık Gelen Olasılık Değerleri.....	132
Şekil 38: Kısa Zaman Aralıklarında Yağış Serilerinin Zamanla Değişimi.....	133
Şekil 39: Orta Zaman Aralıklarında Yağış Serilerinin Zamanla Değişimi .....	134
Şekil 40: Uzun Zaman Aralıklarında Yağış Serilerinin Zamanla Değişimi .....	135

<b>Şekil 41:</b> Dursunbey MGİ GYİ Değerleri için Rölatif Frekans Yüzde Değerleri.....	<b>141</b>
<b>Şekil 42:</b> Dursunbey İstasyonu SYİ İndeks Değerleri için lag-1 Grafikleri .....	<b>143</b>
<b>Şekil 43:</b> Dursunbey İstasyonu SYİ Değerleri için YTA Grafikleri .....	<b>147</b>
<b>Şekil 44:</b> Dursunbey İstasyonu SYEİ Değerleri için YTA Grafikleri.....	<b>148</b>
<b>Şekil 45:</b> Dursunbey İstasyonu ZSİ Değerleri için YTA Grafikleri .....	<b>149</b>
<b>Şekil 46:</b> Dursunbey İstasyonu Yağış Değerleri için YTA Grafikleri .....	<b>150</b>
<b>Şekil 47:</b> Susurluk Havzası .....	<b>159</b>
<b>Şekil 48:</b> 2007 Yılı Temmuz Ayına Ait 3 Aylık SYİ Değerlerinin Kriging ile Oluşturulan Kuraklık Risk Haritası .....	<b>160</b>
<b>Şekil 49:</b> 2007 Yılı Temmuz Ayına Ait 6 Aylık SYİ Değerlerinin Kriging ile Oluşturulan Kuraklık Risk Haritası .....	<b>160</b>



## KISALTMALAR

<b>AI</b>	: Aridite İndeksi
<b>ANFIS</b>	: Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi
<b>AR6</b>	: 6. Değerlendirme Raporu
<b>BM</b>	: Beklenti Maksimizasyonu
<b>CBS</b>	: Coğrafi Bilgi Sistemi
<b>CRED</b>	: Afetlerin Epidemiyolojisi ve Araştırma Merkezi
<b>ÇZİ</b>	: Çin Z-Skor İndeksi
<b>DHMİ</b>	: Devlet Hava Meydanları İşletmesi
<b>DMÖ</b>	: Dünya Meteoroloji Örgütü
<b>DVM</b>	: Destek Vektör Makineleri
<b>GED</b>	: Genelleştirilmiş Ekstrem Değer
<b>GYİ</b>	: Gerçek Yağış İndeksi
<b>HKO</b>	: Hata Kareler Ortalaması
<b>HKOK</b>	: Hata Kareler Ortalamasının Karekökü
<b>IPCC</b>	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
<b>İEK</b>	: İhmal Edilemez Kayıp
<b>KA</b>	: Karar Ağacı
<b>KKİ</b>	: Keşif Kuraklık İndeksi
<b>kNN</b>	: k En Yakın Komşu
<b>KSM</b>	: Kesim Seviyesi Metodu
<b>MCMC</b>	: Markov Zinciri Monte Carlo
<b>MÇZİ</b>	: Modifiye Çin Z-Skor İndeksi
<b>MGM</b>	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
<b>MICE</b>	: Zincirleme Denklemlerle Çok Değişkenli Atama
<b>MK</b>	: Mann-Kendall
<b>mMK</b>	: Modifiye Edilmiş Mann-Kendall
<b>NIPALS</b>	: Doğrusal Olmayan Yinelemeli Kısmi En Küçük Kareler
<b>NSE</b>	: Nash-Sutcliffe Etkinlik Katsayısı
<b>NYİ</b>	: Normalin Yüzdesi İndeksi
<b>ODF</b>	: Olasılık Dağılım Fonksiyonu
<b>Oİ</b>	: Ondalık İndeksi
<b>OMH</b>	: Ortalama Mutlak Hata
<b>OMYH</b>	: Ortalama Mutlak Yüzde Hata
<b>OYH</b>	: Ortalama Yanlılık Hatası
<b>PET</b>	: Potansiyel Evapotranspirasyon

<b>PKŞİ</b>	: Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi
<b>PM</b>	: Penman-Monteith
<b>RO</b>	: Rastgele Orman
<b>ROK</b>	: Rassal Olarak Kayıp
<b>SAİ</b>	: Standart Akış İndeksi
<b>SKİ</b>	: Su Kalite İndeksi
<b>SNHT</b>	: Standart Normal Homojenlik Testi
<b>SYEİ</b>	: Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi
<b>SYİ</b>	: Standart Yağış İndeksi
<b>SYM</b>	: Sayısal Yükseklik Modeli
<b>TMAY</b>	: Ters Mesafe Ağırlıklandırma Yöntemi
<b>TROK</b>	: Tamamen Rassal Olan Kayıp
<b>TYİ</b>	: Tutarsızlık Yağış İndeksi
<b>WMO</b>	: World Meteorological Organization
<b>YAI</b>	: Yağış Anomali İndeksi
<b>YSKİ</b>	: Yeraltı Su Kaynakları İndeksi
<b>YTA</b>	: Yenilikçi Trend Analizi
<b>YTAT</b>	: Yenilikçi Trend Anlamlılık Testi
<b>ZSİ</b>	: Z-Skor İndeksi

## SİMGELER

<b>H<sub>0</sub></b>	: sıfır hipotezi
<b><math>\alpha</math></b>	: şekil parametresi
<b><math>\beta</math></b>	: ölçek parametresi
<b>g(x)</b>	: gamma dağılımı
<b><math>\mu</math> ve <math>\bar{x}</math></b>	: ortalama
<b>n</b>	: gözlemlerin sayısı
<b>P<sub>i</sub></b>	: yağış miktarı
<b><math>\chi^2</math></b>	: ki-kare (chi-square)
<b><math>\sigma</math></b>	: standart sapma
<b>T<sub>0</sub></b>	: test istatistiği
<b>R<sup>2</sup></b>	: determinasyon katsayısı

## GİRİŞ

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 6. Değerlendirme Raporu'nda (AR6), insan faaliyetlerinin özellikle sera gazı emisyonları yoluyla küresel yüzey sıcaklığını 2011-2020 döneminde, 1850-1900 dönemine kıyasla yaklaşık 1,1°C artırdığı belirtilmiştir (IPCC, 2023). Sera gazı emisyonlarındaki hızlı artış, iklim sisteminin küresel ve bölgesel düzeyde daha sıcak ve değişken bir seyir izlemesine yol açmaktadır. Ekstrem hava ve iklim olaylarının karakteristiklerinde meydana gelen bu değişiklik, meteorolojik karakterli doğal afetlerin şiddetini ve etkilerini artırmaktadır.

Hava olayları kaynaklı en karmaşık ve şiddetli doğal afetlerden biri olan kuraklığın nedenleri ve çok yönlü etkileri çoğu zaman yeterince anlaşılmamaktadır (Lanen vd., 2017). İklim değişikliğinin küresel ve bölgesel düzeyde yapılan değerlendirmeleri, kuraklık olaylarının doğal, ekolojik ve sosyoekonomik sistemler üzerindeki etkilerini vurgulamaktadır. Kuraklığın ekonomik etkisi, özellikle suya bağımlı sanayileşen ülkelerde daha önemli iken sosyal etkisi, gıda güvensizliğiyle mücadele eden ve ekonomisi büyük ölçüde tarım faaliyetlerine bağımlı ülkelere daha şiddetlidir. Daha az gelişmiş bölgelerin birincil sektöre dayalı ekonomileri ve iklim değişikliğine karşı sınırlı uyum kapasiteleri nedeniyle kuraklığa karşı daha duyarlı oldukları kabul edilmektedir (Wang & Sun, 2023).

Afet Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi (CRED) tarafından hazırlanan 2023 yılı doğal afetler raporunda, afetlerden etkilenen insan sayısının kuraklık olaylarında en fazla olduğu belirtilmiştir (CRED, 2023). Çeşitli kamu kurumları ve bilim insanları, insan ve faaliyetlerinin su kaynaklarına olan bağımlılığı nedeniyle kuraklık yönetimi ve eylem planlarının geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Kuraklık tehlike haritalarının oluşturulması, bölgesel kuraklık dinamiklerinin anlaşılması ve etkili yönetim planlarının geliştirilmesine yönelik ilk adımdır (Rahman & Lateh, 2016).

Kuraklıktan etkilenen sektörlerin sayısı ve çeşitliliği dikkate alındığında, tüm kuraklık türleri için uygun eylemleri belirlemek üzere tek bir gösterge veya indeks kullanılamamaktadır (WMO, 2016). Bu nedenle kuraklık olaylarının izlenmesi, değerlendirilmesi ve yönetilmesi amacıyla zaman içinde pek çok kuraklık indeksi geliştirilmiştir. Bu indeksler, kuraklığın zamansal ve mekânsal değişimlerinin izlenmesi, risk değerlendirmesi ve yönetim stratejilerinin oluşturulması için kritik bir araç olarak kullanılmaktadır. Dünya Meteoroloji Örgütü (DMÖ), kuraklık göstergelerini/indekslerini kullanım kolaylığına göre "trafik ışığı" yaklaşımı ile sınıflandırmaktadır. Bu sayede, bir bölgedeki kuraklık koşullarını izlemek için kullanılan indeksler daha doğru seçilmektedir. Zaman içinde geliştirilen indekslerden bazıları yaygın bir

şekilde kullanılmakta iken bazıları ise geçerlilik kazanamamıştır. Kuraklık yönetim stratejilerinin ve etkili hazırlık planlarının geliştirilmesi, kuraklık özelliklerinin doğru tanımlanmasına bağlıdır (Mishra & Nagarajan, 2011). Ancak meteorolojik veri envanterinin yetersiz olması, kuraklık karakteristiklerinin belirlenmesindeki en önemli zorluğu teşkil etmektedir (Katipoğlu, 2020). Veri envanterinin yeterli kayıt uzunluğuna sahip olması ve kayıp (eksik) değerlerin tamamlanması, kuraklık gibi ekstrem doğa olaylarına ait araştırma bulgularının geçerliliğinin ve güvenilirliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir.

### **Araştırmanın Konusu ve Problemi**

Kuraklığın izlenmesi ve değerlendirilmesi; su kaynaklarının optimum yönetimi, tarımsal üretimin devamlılığı ve ekolojik sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Bununla birlikte çalışma alanı olarak belirlenen Susurluk Havzası gibi Türkiye'nin önemli sanayi havzalarında ekonomik istikrarın korunmasına da katkı sağlamaktadır. Kuraklığın kapsamlı ve doğru analizi, kuraklık politikalarındaki karar destek sistemlerinin başarısını artırmaktadır. Susurluk Havzası'ndaki meteorolojik veri envanterindeki eksiklikler, havzanın etkin su kaynakları yönetimini ve kuraklığın etki boyutunun belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu çalışma kapsamında kayıp veri (eksik veri) problemine yönelik metodoloji geliştirilmiştir. Ardından eksiksiz veri setleri üzerinden havzanın güncel kuraklık risk durumu kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir.

### **Araştırmanın Amacı**

Bu araştırmanın amacı, Susurluk Havzası'na ait meteorolojik zaman serilerinin veri ön işleme aşamasından kuraklık durumunun izlenmesine kadar olan sürecin, geleneksel ve yenilikçi yöntemlerle karşılaştırmalı olarak incelenmesidir. Bu kapsamda, çalışmanın her bir aşaması belirli hedefler doğrultusunda ele alınmıştır. Bu hedefler; (i) normallik durumunun ve istasyon seçiminin Beklenti Maksimizasyonu (BM) algoritması üzerindeki etkisinin incelenmesi, (ii) kayıp veri atama yöntemlerine ait performansların değerlendirilmesi, (iii) zaman serilerinin homojenliğinin tespit edilmesi, (iv) farklı kuraklık indeksleri ile kuraklık analizlerinin gerçekleştirilmesi, (v) kuraklık karakteristiklerinin belirlenmesi, (vi) kuraklığın zaman içindeki değişiminin geleneksel ve yenilikçi trend analiz yöntemleri ile incelenmesi ve (vii) örnek olması açısından en şiddetli meteorolojik kuraklığın risk haritası ile görselleştirilmesidir.

### **Araştırmanın Önemi ve Gerekçesi**

Susurluk Havzası'nın kuraklık risk durumunu doğru bir şekilde değerlendirmek için kullanılan meteorolojik zaman serilerinde kayıp veri olmaması önemlidir. Ancak çalışmada

kullanılan zaman serilerinde kayıp verilerin bulunması nedeniyle bu çalışma kayıp veri ve kuraklık analizi üzere iki ana bölümden oluşmaktadır.

Kayıp veri, analiz sonuçlarını etkilemesi nedeniyle istatistiksel analiz içeren çalışmalarda önemli bir konudur. Gözleme dayalı pek çok alanda olduğu gibi hidrolojide de karşılaşılan nispeten yaygın bir problemdir. Bu çalışmada, bu yaygın sorunun etkin bir şekilde ele alınabilmesi amacıyla hidroloji literatürü için kayıp veri metodolojisi geliştirilmiştir. Kayıp veri metodolojisinde, hidrolojide genellikle göz ardı edilen kayıp veri miktarı, kayıp veri deseni ve kayıp veri mekanizması dikkate alınarak gerçek veri setlerinden benzer yapıda simüle veri setleri oluşturulmuştur. Gerçek veri setlerinin yapısına en uygun atama yönteminin belirlenmesinde bu simüle veri setleri kullanılmıştır. Geliştirilen metodoloji ile kayıp verilerin etkin bir şekilde tahmin edilmesi ve hidrolojik modelleme çalışmalarının doğruluğunun artırılması hedeflenmiştir.

İklim çalışmalarında kullanılacak verilerin homojen yapıda olması çalışmanın güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle eksiksiz veri setlerinin türdeşliğini ve kalitesini kontrol etmek için homojenlik testleri kullanılmıştır. Homojen olmayan zaman serilerinde doğal ya da yapay kırılmalar meydana gelmektedir. Meydana gelen kırılmaların doğal etkenlerden kaynaklanıp kaynaklanmadığının veribilgi (metadata) kullanılarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu inceleme çoğu zaman göz ardı edilen önemli bir aşamadır. Bu tez çalışmasında, kırılmaların nedenlerini belirlemede dikkate alınması gereken faktörler incelenmiştir.

Kuraklık indeksleri, kuraklık olaylarının şiddeti ve süresi hakkında nicel değerlendirmede kullanılmaktadır. Birbirlerine göre bazı üstünlükleri ve zayıf yönleri bulunan kuraklık indekslerinin birlikte kullanılması, kuraklığın nitelendirilmesi ve sonuçlarının karşılaştırılması açısından faydalı olmaktadır. Bu tez çalışmasında, Susurluk Havzası'nın mevcut kuraklık durumunun değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan Standart Yağış İndeksi (SYİ), Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SYEI) ve Z-Skor İndeksine (ZSİ) ek olarak, Şen ve Almazroui (2021) tarafından önerilen Gerçek Yağış İndeksi (GYİ) kullanılmıştır. GYİ hesabında farklı olasılık dağılım fonksiyonları kullanılarak mevcut literatüre katkı sunulması amaçlanmıştır. Kuraklık indekslerindeki trendin (eğilimin) belirlenmesinde geleneksel ve yenilikçi trend analiz yöntemleri kullanılarak kuraklığın zaman içindeki değişimi incelenmiştir. Susurluk Havzası'nda gerçekleştirilen analizlerle hem kayıp veri metodolojisi geliştirilmiş hem de havzanın güncel kuraklık risk durumu geleneksel ve yenilikçi yöntemlerle değerlendirilmiştir.

## **Araştırmanın Sınırlılıkları**

İklim modelleme çalışmalarında genellikle 1961-1990, 1971-2000 ve 1981-2010 gibi iklim referans dönemlerine ait veriler kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, analiz sonuçlarının gözlem istasyonları arasında karşılaştırılabilmesi için ortak bir çalışma dönemi belirlenmiştir. Analizlerde 1981-2010 yıllarını kapsayan 1981-2021 dönemi ele alınmıştır. Ancak sonuçların genel geçerliliği açısından kullanılan çalışma dönemi dikkate alınmalıdır.

Kuraklık fiziksel etki boyutu açısından meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik olmak üzere üç ana türde sınıflandırılmaktadır. Zaman içinde pek çok bilim insanı tarafından birçok kuraklık indeksi önerilmiştir. Bu çalışmada kullanılan meteorolojik kuraklık indeksleri; olasılık standartlaştırmasına dayalı olan SYİ, istatistiksel standartlaştırmaya dayalı olan ZSİ, doğrudan orijinal yağış verilerinin kullanıldığı GYİ ve yağış verisinin yanı sıra sıcaklık verisinin de kullanıldığı SYEİ indeksleriyle sınırlıdır. Meteorolojik kuraklık indeksleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilen aylık toplam yağış verileri ve aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılarak hesaplanmıştır.

Kuraklığın zaman içindeki değişimin incelenmesinde parametrik olmayan Mann-Kendall (MK) testi ile grafiksel Yenilikçi Trend Analiz (YTA) yöntemi kullanılmıştır. MK testi, zaman serisinin monoton trende sahip olup olmadığını belirlemede kullanılırken YTA yöntemi ise görsel bir yaklaşım sunarak sözel çıkarımlara dayanmaktadır. Bu nedenle YTA yönteminin nicel olarak değerlendirilmesinde Yenilikçi Trend Anlamlılık Testi (YTAT) kullanılmıştır.

## **Varsayımlar**

Bu çalışmada homojenlik testleri ve trend analizlerine yönelik istatistiksel testlerin nihai değerlendirmelerinde %95 güven aralığı dikkate alınmıştır.

## **Terim ve Tanımları**

Havza; bir akarsu, nehir veya gölün drenaj alanını tanımlamaktadır. Otokorelasyon, zaman serisine ait gözlem değerleri arasındaki içsel ilişkiyi ifade etmektedir. Akış, yağışın akarsu akımı olarak ortaya çıkan bölümüdür. Kayıp veri, gözlemlenen değerler arasında eksik olan değeri ifade etmektedir. Kuraklık, buharlaşmanın sürekli yağıştan fazla meydana geldiği koşulu tanımlamaktadır.

# BİRİNCİ BÖLÜM

## 1. KURAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde, kayıp veri ve kuraklık kavramları ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bu kapsamda ilgili kavramların teorik temelleri ve varsayımları açıklanmıştır. Bu kavramlara ilişkin yöntemlerin formülasyonlarına ve detaylı bilgilerine tezin “2. Yöntem” bölümünde yer verilmiştir.

### 1.1. KAYIP VERİ

Kayıp veri, ölçülmesi amaçlanan bir değişkene ait verinin elde edilememesi durumunu ifade etmektedir. Bu bağlamda değerlendirildiğinde saha çalışmaları, klinik araştırmalar ve gözleme dayalı pek çok alanda karşılaşılan nispeten yaygın bir sorundur. Kayıp veri, araştırma sonuçlarını etkileyen önemli bir faktör olduğundan neden olabileceği problemlerin bilinmesi araştırmanın güvenilirliği açısından önemlidir.

#### 1.1.1. Kayıp Veri Problemi ve Etkileri

Kayıp veri; hatalı manuel veri girişi, veri toplama sürecindeki ekipman arızaları ve bozuk kayıt depolama teknolojileri gibi bir dizi farklı nedenden dolayı ortaya çıkmaktadır. Veri setlerindeki kayıp veriler yaygın bir sorun olsa da tam zaman serilerine dayalı istatistiksel yöntemler hidrolojik analizlerde doğru modelleme ve karar verme için önemlidir. Özellikle kuraklık gibi yağış yetersizliğinin neden olduğu yavaş gelişen doğal afetlerin analizinde hem tahminlerin güvenilirliği hem de kullanılabilir su potansiyelinin belirlenmesi için kayıp veri içermeyen veri setlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak zaman serilerindeki kayıp veriler bu gereksinimin karşılanmasını zorlaştırmakta ve istatistiksel süreçlerde bazı dezavantajlara neden olmaktadır:

- İstatistiksel araştırma yöntemlerinin gücünün ve doğruluğunun azalması (Roth vd., 1999)
- İki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkilere dair yanıltıcı tahminlerin üretilmesi (Pigott, 2001)
- Verilerin örnekleme temsiliyetinin azalması
- Daha karmaşık analizler gerektirmesi (Kang, 2013)

Yukarıda belirtilen hususlar dikkate alındığında, hidroloji çalışmalarında kullanılan zaman serisinin eksiksiz olması, istatistiksel ve deterministik modelleme yaklaşımlarının güvenilir ve geçerli olması için ön koşuldur (Gao vd., 2018).

## 1.1.2. Kayıp Verinin Yapısı

Herhangi bir veri setinde kayıp veri varlığında; kayıp verinin oranı, hangi değişkenlerin kayıp olduğu ve kayıp verilerin neden oluştuğu incelenmelidir. Bu bağlamda kayıp veri; kayıp veri oranı, kayıp veri deseni (modeli veya örüntüsü) ve kayıp veri mekanizması olmak üzere 3 temel unsur etrafında şekillenmektedir. Bu unsurlar, hidrolojide veri ön işleme aşamasında genellikle göz ardı edilse de kayıp veriye yönelik stratejilerin belirlenmesinde oldukça önemlidir.

### 1.1.2.1. Kayıp veri oranı

Kayıp veri oranı, bir veri setindeki kayıp değerler nedeniyle ne kadar bilginin kaybolduğunu gösteren bir ölçüttür (Madley-Dowd vd., 2019). Veri setindeki tüm değerlerden elde edilen bilgi miktarını dikkate alarak eksik verilerden kaynaklanan bilgi kaybını ifade etmektedir. Dolayısıyla kayıp veri oranı 0 ila 1 arasında değişmektedir. Kayıp veri oranı arttıkça, gözlemlenen veriler kayıp veriler hakkında yeterli bilgiyi sağlayamamaktadır. Bu durumda, gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki değişkenlik artmakta ve modelin tahmin doğruluğu azalmaktadır.

Kayıp veri oranı, veri setindeki her bir değişkende eşit ya da eşit olmayan bir şekilde dağılabilmektedir. Bu durum, kayıp veri deseninde çeşitliliğe yol açmaktadır. Geçerli istatistiksel çıkarımlar için kayıp veri oranına ilişkin literatürde belirlenmiş bir eşik değer bulunmamaktadır. Ancak kayıp veri oranının düşük olduğu (yaklaşık  $\leq 5\%$ ) veri setlerinde, kayıp verilerin analizden çıkarılmasının sonuçların güvenilirliğini etkilemeyeceği kabul edilmektedir. Kayıp veri oranı arttıkça modelin ve analizin performansı üzerindeki etkisi de artacağından kayıp veri oranının ve etkilerinin anlaşılması araştırmanın önemli bir yönüdür. Ancak Tabachnick ve Fidell (2012), kayıp veri desenlerinin ve kayıp veri mekanizmalarının araştırma sonuçları üzerinde kayıp veri oranından daha büyük bir etkiye sahip olduğunu belirtmektedir.

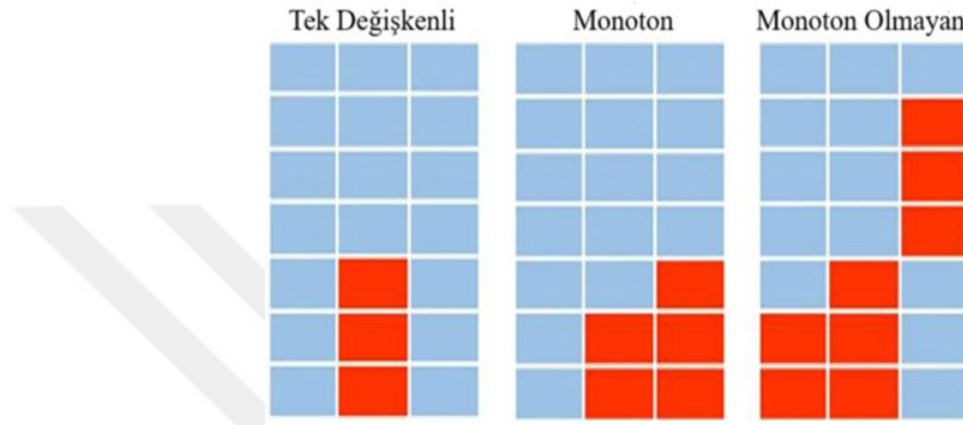
### 1.1.2.2. Kayıp veri deseni

Kayıp veri deseni, bir veri setindeki gözlemlenen ve eksik değerlerin yapısını görselleştirmektedir. Kayıp veri deseni, kayıp verilerin dağılımını ve bu dağılımın belirli bir deseni takip edip etmediğini ortaya koymaktadır. Literatürde kayıp veri desenlerinin standart bir listesi bulunmamaktadır (Emmanuel vd., 2021). Literatürde en sık karşılaşılan kayıp veri desenleri aşağıda kısaca özetlenmiştir (Şekil 1):

- Tek Değişkenli Kayıp Veri Deseni: Kayıp veri sadece bir değişkende bulunmaktadır (Demirtaş, 2018). Bu desen, çoğu disiplinde nadiren bulunur ve genellikle deneysel

çalışmalarda ortaya çıkmaktadır (Lacerda vd., 2007)

- Monoton Kayıp Veri Deseni: Bu desen, kayıp veriler belirli bir düzeni izlediğinde oluşmaktadır. Monoton kayıp veri deseninde, kayıp veriler arasındaki örüntüler kolayca gözlemlenebildiği için daha kolay ele alınmaktadır (Dong & Peng, 2013).
- Monoton Olmayan Kayıp Veri Deseni: Kayıp veriler arasında belirli bir örüntü olmadığında meydana gelmektedir. Bu nedenle, bir değişkenin kaybı diğer değişkenlerin kaybını etkilememektedir (Chen, 2020).



**Şekil 1:** Kayıp Veri Desenlerinin Temsili (mavi: gözlemlenen ve kırmızı: kayıp değer) (Emmanuel vd., 2021)

### 1.1.2.3. Kayıp veri mekanizmaları

Kayıp veri mekanizmaları, kayıp verilerin oluşma sürecindeki nedeni ifade etmektedir. Rubin (1976), gözlemlenen ve kayıp verilere bağlı olarak tanımlanan üç ana kayıp veri mekanizması ile kategorize edilen kayıp veri teorisi geliştirmiştir. Kayıp veri mekanizmaları; Tamamen Rassal Olarak Kayıp (TROK), Rassal Olarak Kayıp (ROK) ve İhmal Edilemez Kayıp (İEK) olarak sınıflandırılmaktadır (Dong & Peng, 2013). Bu sınıflandırma, kayıp veri olup olmama olasılığının veri setinde gözlemlenen veya gözlemlenmeyen değerlerle olan ilişkisine dayanmaktadır (Kalaycıoğlu, 2017).

Kalaycıoğlu (2017), kayıp veri mekanizmalarını daha anlaşılır hale getirmek için aşağıdaki şekilde açıklamıştır:

Herhangi bir çalışmada her  $i$  bireyi için bağımlı değişken değeri  $Y_i$  olarak belirlensin. Bu durumda, bağımlı değişkenin gözlemlenen ve kayıp verilerini temsil etmek amacıyla,  $Y$  vektörü,  $Y^{gözlenen}$  ve  $Y^{kayıp}$  olmak üzere iki alt vektöre ayrılabilir. Aynı çalışmada, kayıpsız olarak gözlenen  $p$  tane bağımsız değişken,  $X=(X_1, X_2, \dots, X_k)$  ( $k=1, \dots, p$ ) matrisi ile tanımlansın. Bu koşullar altında, her bir gözlem birimi  $i$  için bağımlı değişken  $Y_i$ 'ye ait kayıp veri indeks matrisi  $R$ , aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$R_i = \begin{cases} 1, & \text{eğer } Y_i \text{ kayıp ise} \\ 0, & \text{eğer } Y_i \text{ gözlemlendi ise} \end{cases} \quad (1)$$

Bu tanımlama çerçevesinde kayıp veri mekanizmaları aşağıdaki gibi kategorize edilir:

### **Tamamen rassal olarak kayıp (TROK)**

Kayıp veri olma olasılığı, veri setinde kayıp veri içeren bağımlı değişkenin gözlenen veya kayıp değeri ile ilişkili değildir. TROK olasılığı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$f(R|Y^{\text{gözlenen}}, Y^{\text{kayıp}}) = f(R) \quad (2)$$

Kayıp gözlem içeren veri seti, orijinal veri setinin kayıpsız gözlemlenebilecek basit rastgele bir örneğidir. Bu nedenle, kayıp veri içeren gözlemler çıkarıldığında yapılan istatistiksel analizlerin doğru sonuçlar verdiği kabul edilmektedir.

### **Rassal olarak kayıp (ROK)**

Kayıp veriye sahip değişkenlerde kayıp verinin oluşma olasılığı, sadece gözlenen değerlerle ilişkili olup kayıp veriye sahip değişkenlerden bağımsızdır. Sembolize olarak ifade edilirse;

$$f(R|Y^{\text{gözlenen}}, Y^{\text{kayıp}}) = f(R|Y^{\text{gözlenen}}) \quad (3)$$

Bu varsayım altında, bağımlı değişkendeki kayıp veri olasılığı, bağımsız değişkenlerdeki gözlenen veya kayıp verilerle de denklem (4)'te verildiği gibi ilişkilendirilebilmektedir.

$$f(R|Y^{\text{gözlenen}}, Y^{\text{kayıp}}) = f(R|Y^{\text{gözlenen}}, X) \quad (4)$$

Bu varsayım altında, eğer kayıp veri sadece bağımlı değişkende meydana geliyorsa, kayıp veri içeren gözlemleri çıkararak yapılan bir istatistiksel analiz, TROK mekanizmasında olduğu gibi doğru sonuç vermektedir (Kalaycıoğlu, 2017).

### **İhmal edilemez kayıp (İEK)**

Bağımlı değişkendeki kayıp veri olasılığı, bu değişkenin kendisindeki kayıp veriler ( $Y^{\text{kayıp}}$ ) ile ilişkilidir. Bu mekanizma altında, kayıp verilerin neden meydana geldiğine dair bir varsayımın, bileşik modeller aracılığıyla istatistiksel analize dahil edilmesi gerekmektedir. Ancak verilerin kaybolma nedenine dair herhangi bir ön bilgi olmaksızın doğrulanamayan bu varsayımın analize dahil edilmesi, daha karmaşık istatistiksel modellerin kullanılması ile mümkündür. Uygulamadaki bu zorluk nedeniyle literatürde yaygın olarak kullanılmamıştır.

#### 1.1.2.4. Kayıp veri süreci için rassallığın sorgulanması

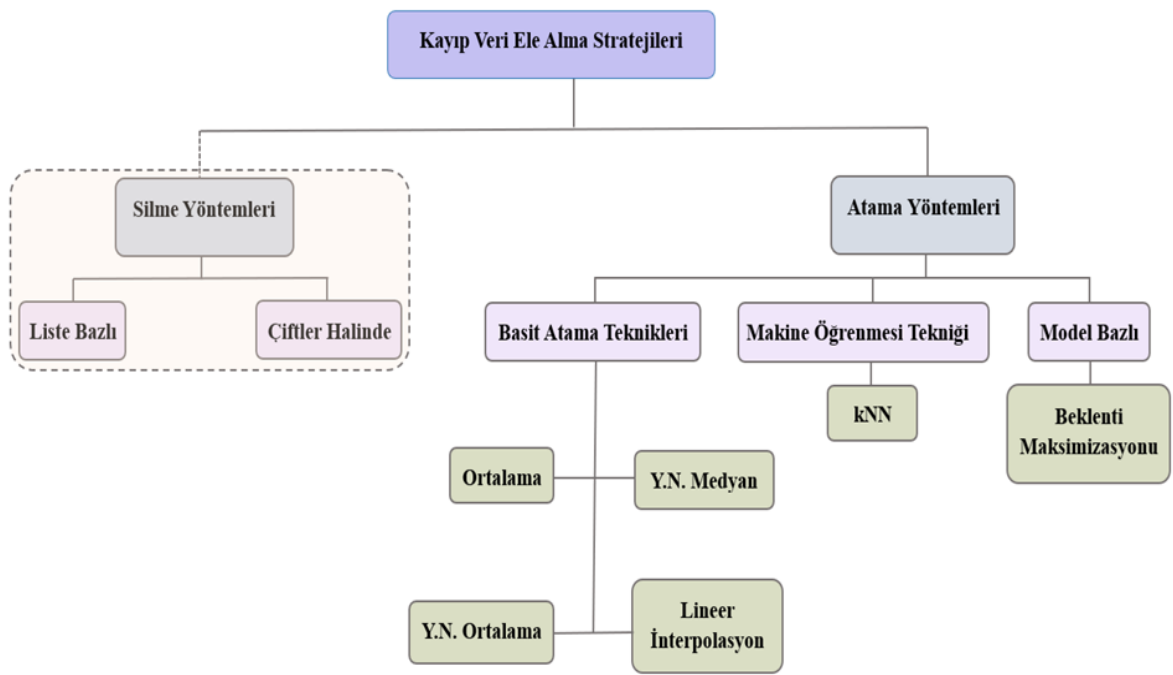
Baygöl (2007), kayıp veri analizinde kullanılacak yöntemin seçiminde kayıp veri sürecinin rastlantısallığının aşağıdaki yöntemlerle incelenmesi gerektiğini belirtmiştir:

- Veri setindeki bir değişkene ait gözlemler kayıp veri içeren ve içermeyen olarak iki gruba ayrılmalı ve bu iki grup arasında ilgilenilen diğer değişkenlerin değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı incelenmelidir. Bu analiz, iki ortalama arasındaki farkın anlamlılığını test eden “t testi” kullanılarak yapılabilmektedir. Anlamlı fark, kayıp veri sürecinin rastgele olmadığını göstermektedir.
- Veri setindeki değişkenler kayıp değer içeren ve içermeyen olarak iki gruba ayrılmalıdır. Kayıp veriler 0, tam veriler ise 1 olarak kodlanmalı ve ardından bu değişkenler arasındaki Pearson korelasyon katsayısı hesaplanmalıdır. Hesaplanan korelasyon katsayıları, her bir değişken çifti için kayıp veriler arasındaki ilişkinin gücünü göstermektedir. Düşük bir korelasyon katsayısı, rastgeleliği işaret etmektedir.
- Little’ın TROK testi, rastgeleliğin araştırılmasında yaygın olarak kullanılan bir  $X^2$  testidir. Eğer  $p < 0,05$  ise veri yapısının rastgele olmadığı kabul edilmektedir. Bu test, aşağıdaki denklem (5) ile açıklanmaktadır:

$$X_{MCAR}^2 = \sum_{\text{her bir tek yapı}} (\text{birim sayısı} * \text{ortalamadan elde edilen Mahalanobis } D^2 \text{ uzaklığı}) \quad (5)$$

#### 1.1.3. Kayıp Veri Ele Alma Stratejileri

Kayıp veri ele alma stratejileri silme ve atama yöntemleri olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Atama yöntemleri farklı bakış açılarına (basit atama-gelişmiş atama; istatistiksel atama-makine öğrenmesi atama tekniği vb.) gruplandırılabilir. Bu tez çalışmasında kullanılan kayıp veri atama yöntemlerine Şekil 2’de yer verilmiştir.



**Şekil 2:** Tez Çalışmasında Kullanılan Kayıp Veri Atama Yöntemleri

### 1.1.3.1. Silme yöntemleri

Silme yöntemlerinde, kayıp değerlere sahip tüm veriler analizden çıkarılmaktadır. Kayıp verilerin tahmin edilmesine ihtiyaç duyulmadığında en basit kayıp veri ele alma stratejisi olarak kabul edilmektedir. Ancak Little ve Rubin (2019) çalışmalarında, kayıp verilerin rastgele dağılmadığı durumlarda silme yönteminin analizde yanlılığa neden olabileceğini belirtmektedir. Silme işlemi, liste bazlı veya çiftler halinde silme olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmektedir (Emmanuel vd., 2021).

- **Liste Bazlı Silme:** Bu yöntemde bir veya daha fazla eksik veriye sahip olan her değişken analizden çıkarılmaktadır. Liste bazlı silme yöntemi çoğu istatistiksel yazılım paketinde analiz yaparken varsayılan seçim haline gelmiştir. Ancak veriler TROK varsayımı altında değilse liste bazlı silme, yanlılığa neden olmaktadır (Williams, 2015). Ayrıca analiz dışı bırakılan değişkenlerin sayısı yüksek olduğunda bazı önemli bilgiler de kaybolmaktadır.
- **Çiftler Halinde Silme:** Liste bazlı silme yöntemi ile kaybolan bilgi miktarını azaltmak için kullanılmaktadır. Çiftler halinde silmenin zayıf yönü, pozitif tanımlı olmayan bir korelasyon matrisine yol açabilmesi ve bu durumun katsayı tahminlerinin hesaplanması gibi daha ileri analizleri engelleyebilmesidir. Çiftler halinde silme yönteminin, TROK veya ROK verileri için düşük yanlılık sonuçları ürettiği de bilinmektedir (Emmanuel vd., 2021).

### 1.1.3.2. Atama yöntemleri

Kayıp veri atama yöntemlerinde, kayıp verilerin yerine gözlemlenen verilerden elde edilen tahmini değerler kullanılmaktadır. Tekli atama ve çoklu atama olmak üzere iki ana tip atama yöntemi bulunmaktadır. Tekli atama yaklaşımları kayıp verilerin sadece bir kez tahmin edilmesine, çoklu atama yaklaşımları ise her bir kayıp veri için farklı tahminlerin yer aldığı birden fazla veri seti oluşturmaya ve son aşamada tüm atamalardan elde edilen sonuçların birleştirilmesine dayanmaktadır (Awan vd., 2022). Tekli ve çoklu atama yöntemlerine dayanan birçok kayıp veri atama yöntemi basit istatistiksel teknikler, makine öğrenmesi teknikleri ve model bazlı atama yöntemleri kullanılarak uygulanabilmektedir.

#### **Basit atama teknikleri**

Kayıp veri atama yöntemi verinin türüne ve özneliğine uygun olacak şekilde seçilmektedir. Ortalama, medyan, lineer interpolasyon, sıfır ataması ve son gözlem değerini ileri taşıma yaygın kullanılan basit atama teknikleri arasındadır. Kayıp verilerin analiz üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmaması istendiğinde sıfır ataması yapılmaktadır. Son gözlem değerini ileri taşıma yönteminde ise kayıp veri yerine bir önceki geçerli gözlem değeri dikkate alınmaktadır. Ancak basit atama teknikleri arasında nümerik veriler için genellikle ortalama veya medyan değeri, kategorik verilerde ise genellikle mod değeri kullanılmaktadır.

Basit atama teknikleri kayıp verilerin hızlı ve kolay bir şekilde ele alınmasını sağlasa da gelişmiş yöntemlerle karşılaştırıldığında daha az güvenilir sonuçlar üretme eğilimindedir. Bu nedenle veri setindeki kayıp veri oranının düşük olduğu veya daha karmaşık yöntemlerin uygulanmadığı durumlarda tercih edilmelidir. Bu çalışmada, kayıp verilerin sadece aynı sütundaki değerlerin kullanılarak tahmin edilmesine dayanan ortalama, medyan ve doğrusal interpolasyon yöntemi gibi basit atama teknikleri kullanılmıştır.

#### **Makine öğrenmesi ve k en yakın komşu (kNN) algoritması**

Makine öğrenmesine dayalı atama yöntemleri, genellikle kayıp verileri tahmin etmek için öngörücü modeller oluşturmayı içeren karmaşık prosedürlerdir. Genellikle denetimli veya denetimsiz öğrenmeye dayalı yaklaşım geliştirildiğinden, etiketli veya etiketsiz veriler kullanılarak kayıp veriler tahmin edilmektedir. Bu tez çalışmasında, literatürde en çok kullanılan makine öğrenmesi tekniklerinden biri olan k en yakın komşu algoritması (kNN) kullanılmıştır.

kNN,  $k$  parametresi ile belirlenen mesafe fonksiyonuna dayalı temel veriler üzerinde herhangi bir varsayımda bulunmayan parametrik olmayan bir makine öğrenmesi yöntemidir. kNN algoritmasında  $k=1$  seçildiğinde model sadece en yakın komşuyu dikkate almaktadır.

Dolayısıyla kayıp veri yerine sadece en benzer komşunun değeri atanmaktadır. Bu özellik, Hot-Deck yönteminin temel karakteristiğiyle paralellik göstermektedir. Hot-Deck, kayıp verilerin yerine en benzer gözlemden alınan veriyi atamaktadır. Benzerlik kavramı genellikle kategorik verilerde değişkenin özellikleri üzerinden, nümerik verilerde ise en yakın mesafe üzerinden ele alınmaktadır.

kNN, hem sınıflandırma hem de regresyon için kullanılan bir yöntemdir (Shi vd., 2022). kNN algoritmasında, kayıp veriye sahip bir gözlem için en yakın  $k$  adet komşudan alınan değerler kullanılmaktadır.  $k$  parametresinin seçimi, algoritmanın başarısı için kritik bir faktör olmasına rağmen genellikle problemlidir. Lantz (2013), ideal  $k$  değerinin gözlem sayısının kareköküne yakın olduğunu öne sürmektedir. kNN algoritmasının başarısını etkileyen bir diğer faktör ise mesafe ölçüm yöntemidir. kNN algoritmasında gözlemler arasındaki uzaklıkların hesaplanmasında Öklid, Manhattan, Minkowski, Chebyshev, Hamming, Cosine ve Jaccard gibi çeşitli mesafe ölçütleri kullanılmaktadır. Ancak nümerik veri noktalarının uzaklığını hesaplamak için kullanılan en yaygın mesafe ölçütü Öklid'dir.

### **Beklenti maksimizasyonu (BM) algoritması**

Dempster vd. (1977) tarafından önerilen Beklenti Maksimizasyonu (BM) algoritması, istatistiksel metodolojiyi algoritmik uygulamalarla birleştirmektedir. BM algoritması, maksimum olabilirlik tahminlerine dayanan iteratif bir yaklaşımdır (Sağlam vd., 2022). Her iterasyon; Beklenti ( $B$ ) adımı ve Maksimizasyon ( $M$ ) adımı olmak üzere iki adımdan oluşmaktadır. B-adımında mevcut verilerin parametrelerine ait kestirimler kullanılarak kayıp veri ile ilgili en iyi olasılıklar belirlenmektedir. M-adımında tahmin edilen kayıp veriler veri setine dahil edilmekte ve tüm veriler üzerinden maksimum olabilirlik hesaplanarak parametrelerin yeni kestirimleri elde edilmektedir. Bu döngü, kestirilen parametrelerdeki değişimler önemsiz hale gelene kadar devam etmektedir (Koç, 2019).

Bu tez çalışmasında, normallik varsayımının ve anahtar istasyon seçiminin BM algoritmasının performansı üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Korelasyon analizleri istasyonların eşleştirilmesinde belirleyici unsur olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda normallik analizleri ve korelasyon analizlerinin teorik temelleri önem arz etmektedir. Yukarıda değinilen yöntemlerin avantajlarına, dezavantajlarına ve sınırlılıklarına dair ayrıntılı bilgi Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1:** Kayıp Veri Atama Yöntemlerinin Avantajları, Dezavantajları ve Sınırlılıkları

Yöntem	Kayıp Veri Mekanizması	Avantajı	Dezavantajı	Sınırlılığı
Liste Bazlı Silme	TROK (Kang, 2013)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kullanım kolaylığı</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Örneklem boyutunun küçülmesi</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• TROK varsayımı karşılanmadığında, parametre tahminlerinde yanlılığa neden olması</li><li>• Büyük örneklem gerektirmesi (Kang, 2013)</li></ul>
Çiftler Halinde Silme	TROK (Allison, 2009)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Liste bazında silmeye nazaran daha az bilgi kaybı</li><li>• Kullanım kolaylığı</li><li>• Daha küçük varyans üretmesi (Baygül, 2007)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pozitif tanımlı olmayan bir korelasyon matrisine yol açabilmesi, bu durumun katsayı tahminlerinin hesaplanması gibi daha ileri analizleri engellemesi (Emmanuel vd., 2021)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Veri mekanizmasının ROK olması durumunda çiftler halinde silme işleminin yanlı tahminler üretmesi</li></ul>
Ortalama	TROK (Nakai vd., 2014)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kullanım kolaylığı</li><li>• Veri seti boyutunun korunması</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kayıp veriye sahip değişken ile diğer değişkenler arasındaki ilişkinin göz ardı edilmesi</li><li>• Varyansları, kovaryansları ve korelasyonları düşürmesi (Şahin, 2012)</li><li>• Verilerin gerçek dağılımlarının bozulması (Baygül, 2007)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kategorik değişkenlerde kullanılamaması (Zhou vd., 2024)</li></ul>
Medyan	TROK (Zhou vd., 2024)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kullanım kolaylığı</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• TROK durumu için bile sapma tahminlerini bozabilmesi (Toka &amp; Çetin, 2016)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kategorik değişkenlerde kullanılamaması (Zhou vd., 2024)</li></ul>
Lineer İnterpolasyon	ROK (Southekal, 2023)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kullanım kolaylığı</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sadece komşu verilere dayalı tahmin yapması</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gözlemler arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayımında bulunması</li></ul>

Yöntem	Kayıp Veri Mekanizması	Avantajı	Dezavantajı	Sınırlılığı
kNN ( $k=1 \rightarrow$ Hot-Deck)	TROK (Zhou vd., 2024) ROK (Zhou vd., 2024)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hem sınıflandırma hem de regresyon için kullanılabilmesi</li> <li>Parametrik olmayan bir yöntem olduğu için temel veri dağılımı hakkında herhangi bir varsayımda bulunmaması (Atcılı, 2022)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>k parametresinin seçim aşamasının problemlili olması</li> <li>Aykırı değerlerin kNN'nin tahmin doğruluğunu etkilemesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>İEK durumları için uygun yöntem olmaması (Zhou vd., 2024)</li> </ul>
BM	TROK ROK (Zhou vd., 2024)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tüm verilerin kullanılması</li> <li>Atamaya rassal hata teriminin eklenmesi (Baygöl, 2007)</li> <li>SPSS'de, TROK koşulunun sağlanıp sağlanmadığının araştırıldığı (Little'm) ki-kare testinin bulunması (Şahin, 2012)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mevcut programların normal teori ile sınırlandırılması (Şahin, 2012)</li> <li>Büyük veri setlerinde ve karmaşık modellerde algoritmanın çok sayıda iterasyona ihtiyacının olması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Özel program gerektirmesi (Şahin, 2012)</li> <li>ROK verilerini çözebilen ancak İEK verilerini çözemeyen iyi bir algoritma olması (Zhou vd., 2024)</li> </ul>

## Normallik analizleri

İstatistiksel veri analizlerinde parametrik ve parametrik olmayan testler kullanılmaktadır. Parametrik testler verilerin sürekli ve normal dağılımlı olmasını gerektirirken, parametrik olmayan testler çeşitli olasılık dağılımları ve tüm değişken türleri (nominal, sıralı, kesikli veya normal dağılımlı olmayan sürekli değişkenler) için kullanılabilir (Obertová & Stewart, 2020). Dolayısıyla parametrik testlerin en önemli varsayımlarından biri Gauss dağılımı olarak da bilinen Normal Dağılıma Uygunluk ya da Normallik varsayımdır (Sönmez Çakır, 2022). Normal dağılıma uygunluk varsayımını değerlendirmek için kullanılan normallik analizleri geniş bir yaklaşımı ifade etmektedir. Normallik analizleri hem istatistiksel hem de görsel yöntemleri içerebilmektedir. Literatürde normallik varsayımının değerlendirilmesinde; betimsel yöntemler, grafiksel yöntemler ve normallik testleri kullanılmaktadır. Normallik testleri, bir veri setinin normal dağılımla uygun şekilde modellenip modellenmediğini belirlemek için kullanılan istatistiksel prosedürler olup, normallik varsayımının değerlendirilmesinde daha objektif ve kesin sonuç sağlamaktadır.

Literatürde yaygın olarak kullanılan normallik testleri arasında Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov ve Jarque-Bera testleri yer almaktadır. Test sonucunda anlamlılık değeri  $p > \alpha$  önem seviyesi ise sıfır hipotezi ( $H_0$ ) kabul edilmektedir. Burada test edilen hipotez:

$H_0$ : Veriler normal dağılıma uygundur.

Verilerin dağılımı normal dağılıma uygun olmadığında, verilerin ham hali ile parametrik bir testin yapılması yanıltıcı sonuçlara neden olmaktadır (Sönmez Çakır, 2022). Parametrik testlerin istatistiksel gücü parametrik olmayan testlere göre daha yüksektir. Bu nedenle normal dağılıma uygun olmayan verilere parametrik olmayan testlerin uygulanması yerine veriler normal dağılıma dönüştürülebilmektedir. Ardından dönüştürülen veriler kullanılarak parametrik testler uygulanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan dönüştürme işlemleri arasında Logaritmik, karekök ve küp kök yer almaktadır.

## Korelasyon Analizleri

Korelasyon, iki değişken arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünü ifade eden bir istatistiksel ölçüdür. İlişkinin gücünü -1 ila +1 arasında değişen korelasyon katsayısı belirlemektedir. Korelasyon katsayısı 0'a yaklaştıkça değişkenler arasındaki ilişkinin gücü azalırken, 1'e yaklaştıkça değişkenler arasında ilişkinin gücü artmaktadır. Korelasyon katsayısının işareti ilişkinin yönünü belirtmektedir. İstatistikte genel olarak Pearson, Kendall Tau ve Spearman'ın sıra korelasyon katsayısı kullanılmaktadır. Bu korelasyon türlerinden Pearson korelasyonu iki sürekli değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi ölçmekte ve değişkenlerin

normal dağılım varsayımını gerektirmektedir. Sürekli değişkenlerden birinin normal dağılım varsayımını karşılamadığı durumlarda, aralarındaki ilişkinin gücünün ve yönünün belirlenmesinde Spearman'ın sıra korelasyon katsayısı kullanılmaktadır.

## 1.2. KURAKLIK

Kuraklık, uzun süreli yağış yetersizliği nedeniyle ortaya çıkan hem insanı hem de doğal sistemleri önemli ölçüde etkileyen, karmaşık ve tekrarlayan bir olgudur (Burchfield & Gilligan, 2016). Kuraklık temelde yetersiz yağış ve aşırı sıcaklık artışı sonucunda meydana gelmektedir (Liu vd., 2021). Bununla birlikte kuraklığın su kıtlığı, yüksek miktarda su tüketimi ve su kaynaklarının plansız kullanımından da kaynaklandığı bilinmektedir (Zou vd., 2023). Diğer doğal afetlerin aksine, kuraklık yavaş ve kademeli olarak geliştiği için erken tespit edilmesi güçtür. Bu nedenle, insan ve ekosistem üzerinde genellikle uzun vadeli etkiler göstermektedir. Özellikle su potansiyelinin düşük olduğu veya su kaynaklarının etkin bir şekilde yönetilmediği bölgelerde kuraklığın etkisi daha geniş ve yıkıcı olabilmektedir. Kuraklığın havza ölçeğinde izlenmesi, etkin kuraklık yönetim stratejileri geliştirmenin temel basamağıdır. Kuraklık izleme sürecinde kullanılan verilerin yapay faktörlerden (ölçüm yöntemlerindeki değişiklikler veya istasyon konum değişikliği) etkilenmemiş homojen seriler olması oldukça önemlidir.

### 1.2.1. Homojenlik Testleri

İklim değişikliği ile ilgili çalışmalarda uzun vadeli iklim verileri kullanılmaktadır. Bu çalışmalardaki zaman serisi analizlerinde homojen veri setlerinin kullanılması güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Conrad ve Pollak (1950), homojen zaman serilerindeki değişikliklerin iklimdeki ve hava koşullarındaki doğal değişimlerden kaynaklandığını belirtmiştir. Gözlem istasyonlarının yer değiştirmesi, çevresel etkilere maruz kalması ve gözlem yönteminin değişmesi gibi değişiklikler iklim verilerindeki homojenliği etkilemektedir (Peterson vd., 1998). Bu nedenle gözlem istasyonlarından temin edilen verilerin, araştırmada kullanılmadan önce homojenlik açısından test edilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında meteorolojik verilerin homojenliğinin değerlendirilmesinde Wijngard vd. (2003) tarafından önerilen iki aşamalı yaklaşım kullanılmıştır. Birinci aşamada Pettitt Testi (Pettitt, 1979), Buishand Aralık Testi (Buishand, 1982), Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT) (Alexandersson, 1986), ve Von Neumann Oran Testi (Von Neumann, 1941) kullanılarak %5 anlamlılık düzeyinde sıfır hipotezi ( $H_0$ ) kontrol edilmektedir. İkinci aşamada ise  $H_0$  hipotezini reddeden test sayısına bağlı olarak homojenlik sınıflandırılmaktadır. Bu kapsamda kurulan hipotez aşağıda tanımlanmıştır:

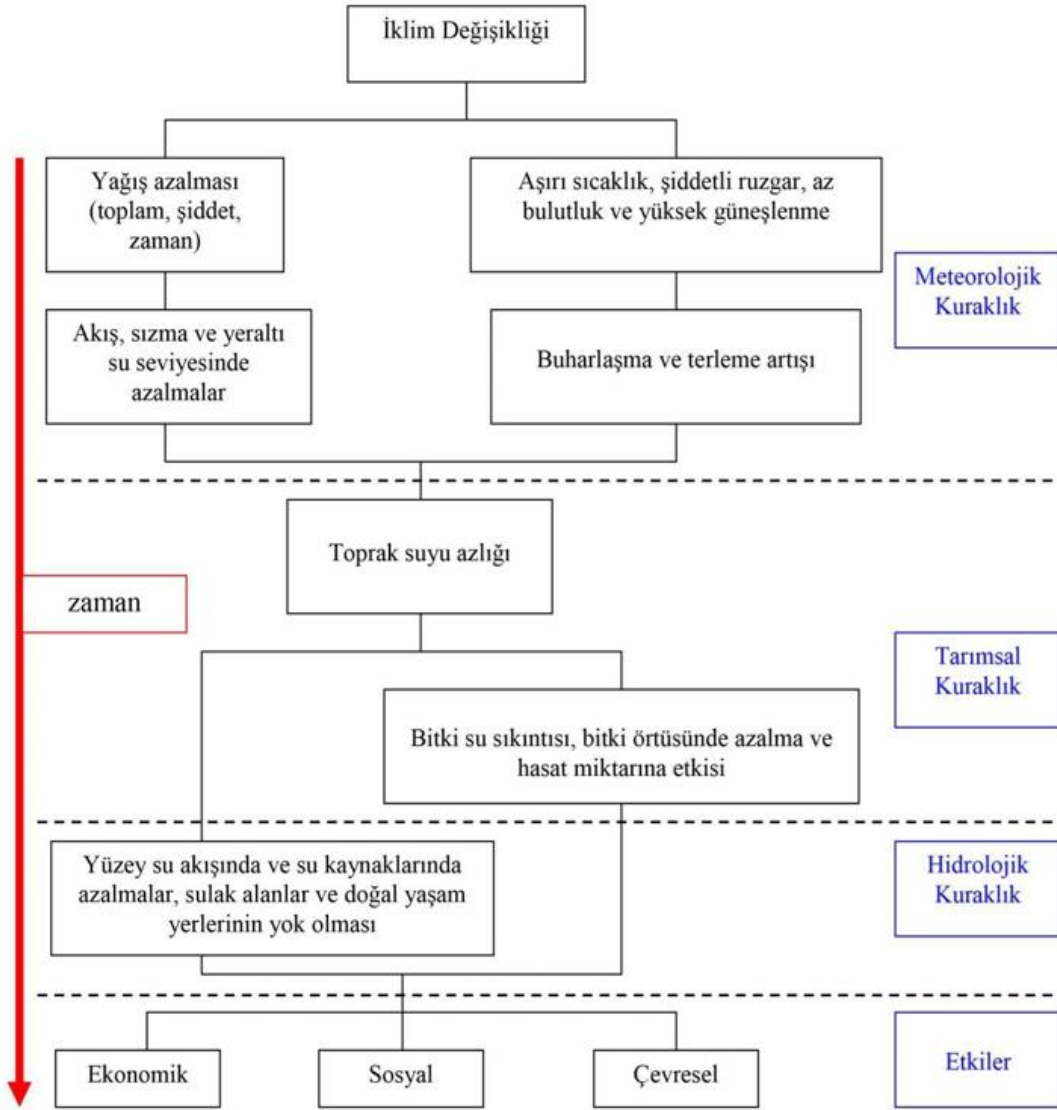
$H_0$ : Zaman serisi homojendir.

### 1.2.2. Kuraklık Türleri ve Tanımları

Kuraklık, oluşum türüne göre farklı kategorilerde sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, kuraklığın temeldeki fiziksel ve sosyal etki boyutuna dayanmaktadır. Wilhite ve Glantz (1985), bu etki boyutuna göre kuraklık; meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyo-ekonomik olmak üzere dört farklı boyutta sınıflandırılmıştır (Şekil 3). Kuraklık türleri aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- **Meteorolojik Kuraklık:** Uzun bir zaman periyodu boyunca yağış miktarının belirgin şekilde normal değerlerin altına düşmesi olarak tanımlanmaktadır (Kaplukan, 2013). Meteorolojik kuraklık, yağış eksikliğinin derecesine ve kurak dönemin uzunluğuna bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.
- **Tarımsal Kuraklık:** Toprakta nem kaybı ve su kaynaklarında kıtlık olduğu zaman meydana gelmektedir (Kaplukan, 2013). Tarımsal kuraklık, bitki büyümesi ve ürün verimliliğini olumsuz etkileyerek tarımsal üretim üzerinde önemli bir baskı oluşturmaktadır.
- **Hidrolojik Kuraklık:** Uzun süre devam eden yağış eksikliği sonucunda özellikle akarsularda, rezervuarlarda ve yeraltı suyu seviyelerinde meydana gelen azalma ve eksiklikleri ifade etmektedir. Uzun süre devam eden yağış eksikliği tarım sektöründe hemen hissedilse de hidroelektrik santrallerde bir süre sonra etkisini göstermektedir (Katipoğlu, 2020).
- **Sosyo-Ekonomik Kuraklık:** Meteorolojik, hidrolojik veya tarımsal kuraklık koşulları nedeniyle su mevcudiyetinin hem insanların hem de çevrenin ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kaldığı durumlarda ortaya çıkmaktadır.

Yukarıda belirtilen ilk üç kuraklık türü kuraklığı fiziksel bir olgu olarak ölçme yöntemlerine odaklanırken, son kuraklık türü kuraklığı arz ve talep açısından inceleyerek su kıtlığının sosyoekonomik sistemler üzerindeki etkilerini izlemektedir.



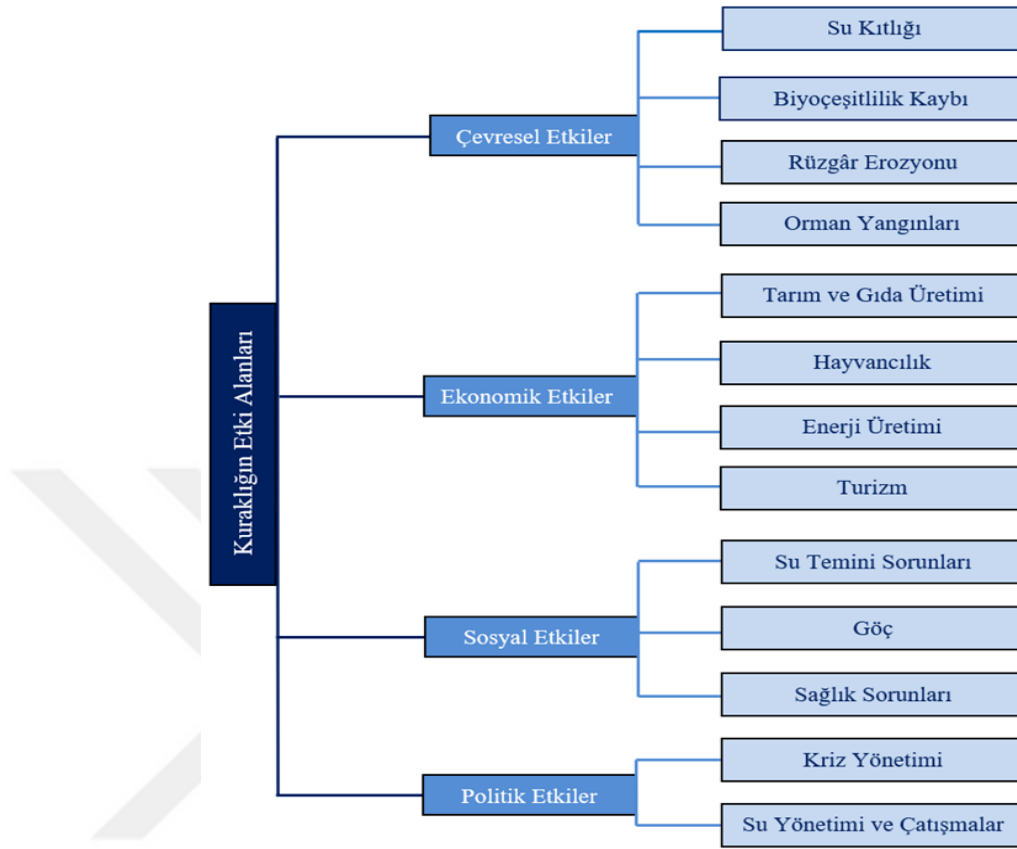
Şekil 3: Kuraklık Türleri ve Etkileri (Katipoğlu, 2020)

### 1.2.3. Kuraklığın Etki Alanları

Kuraklık; çevresel, ekonomik, sosyal ve politik alanlarda çok yönlü etkileşimi nedeniyle geniş bir etki alanına sahiptir. Su ve toprak kalitesinin düşmesi, orman yangınları ve çölleşme gibi ekosistemi doğrudan tehdit eden faktörler kuraklığın çevresel etkileri arasında yer almaktadır. Tarımsal üretim kaybı, kırsal kalkınmadaki ekonomik faaliyetlerin düşüşü, hidroelektrik santrallerde yeterli enerji üretilmemesi ve doğa turizmine olumsuz etkisi ise kuraklığın ekonomik etkilerinden bazılarıdır. Kuraklık, su ve tarım kaynaklarını azaltarak iklim göçüne neden olabilmektedir. Bu durum, sosyal gerilime ve su kaynaklarına olan baskıyı arttırmaktadır.

Kuraklık, sınıraşan sularda koordinasyon ve iş birliği süreçlerini zorlaştırabilmektedir. Bölgeler veya ülkeler arasında su paylaşımı konusunda çıkar çatışmalarına ve krizlere yol açarak politik sorunlar yaratabilmektedir. Bu nedenle kuraklığın izlenmesi özellikle Türkiye

gibi sınıraşan sulara sahip ÷lkelerde su politikalarının belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Yukarıda belirtilen kuraklığın karmaşık ve çok yönlü etki boyutu, Şekil 4'te Şematik olarak sunulmuştur.



Şekil 4: Kuraklığın Etki Alanları

#### 1.2.4. Kuraklık İndeksleri

Kuraklığın izlenmesi; yağış, sıcaklık ve akım verisi gibi hidrolojik döngünün çeşitli bileşenlerini temsil eden bir dizi gstergeninin analizine dayanmaktadır. Kuraklık koşullarını belirlemede kullanılan indeksler; meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik olmak üzere üç ana kategoride sınıflandırılmaktadır. Kuraklık indekslerine ilişkin ayrıntılı bilgiler DMÖ tarafından hazırlanan dokümanda yer almaktadır (WMO, 2016). Literatürde yaygın olarak kullanılan meteorolojik kuraklık indekslerinden bazıları; SYİ, SYEİ, ZSİ, Ondalık İndeksi (OI), Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PKŞİ) ve Keşif Kuraklık İndeksi (KKİ)'dir. Bu indekslere ek olarak GYİ, meteorolojik kuraklık koşullarını belirlemek için son dönemde literatüre eklenen önemli bir kuraklık indeksidir.

Kuraklığın çok boyutlu ve karmaşık doğası nedeniyle zaman içinde farklı amaçlar doğrultusunda birçok kuraklık indeksi geliştirilmiştir. Bu indekslerin kullanıldığı çalışmalarda indekslerin güçlü ve zayıf yönleri ortaya konmuş olsa da tüm amaçlar için kabul gören tek bir kuraklık tanımı veya kuraklık indeksi geliştirilememiştir (Katipoğlu, 2020). Her bir havzanın

kendine has özellikleri ve iklimsel farklılıkları, kuraklık olayının doğasında var olan karmaşıklıkla birleştiğinde, herhangi bir kuraklık indeksinin tüm havzalarda eşit derecede geçerli olması beklenemez. Bu nedenle kuraklık çalışmalarında farklı kuraklık indeksleri karşılaştırmalı olarak incelenerek çalışma alanı için en uygun olanı belirlenmektedir.

Zaman ölçekleri farklı kuraklık indekslerinin karşılaştırılmasında ve farklı kuraklık türlerinin değerlendirilmesinde işlevseldir. Bu kapsamda meteorolojik kuraklık değerlendirmeleri için 1-3 aylık zaman ölçeği, tarımsal kuraklık değerlendirmeleri için 6-9 aylık zaman ölçeği ve hidrolojik kuraklık değerlendirmeleri için 12-24 aylık zaman ölçeği kullanılmaktadır. Ayrıca Wu vd. (2001) ile Mishra ve Singh (2010) tarafından yapılan çalışmalarda, 36 ve 48 aylık zaman ölçeklerinde indeks güvenilirliğinin azaldığı belirtilmiştir. Bu tez çalışmasında, kuraklığın dinamik sürecini değerlendirmek amacıyla sık aralıklı zaman ölçeği düzeni oluşturularak; analizler 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık dönemler için gerçekleştirilmiştir.

Standart Yağış İndeksi (SYİ), yağış verilerinin belirli bir olasılık dağılım fonksiyonuna (ODF) (orijinali Gamma) uydurulması ve ardından ortalaması sıfır ve standart sapması bir olan standart normal dağılıma dönüştürülmesi olarak tanımlanmaktadır. SYİ hesabında sadece yağış verileri kullanıldığından, kuraklık koşullarının oluşumunu etkileyen sıcaklık, bağıl nem ve buharlaşma gibi diğer faktörler dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle yağış etkilerinin büyük olduğu alanlarda SYİ kullanımının daha uygun bir yaklaşım olduğu kabul edilmektedir. SYİ iki varsayıma dayanmaktadır (Vicente-Serrano vd., 2010):

- Yağıştaki değişim, sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) gibi diğer değişkenlerdeki değişimden çok daha büyüktür.
- Diğer değişkenler sabittir ve zamansal eğilimleri yoktur.

Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SYEİ), iklimsel su dengesine bağlı olarak yağış ve potansiyel evapotranspirasyon arasındaki farka dayanmaktadır. SYEİ hesabındaki ilk aşama PET hesabı için uygun modelin seçilmesidir. Zaman içinde birçok PET modeli geliştirilmiş olsa da literatürde öne çıkan modeller: Thornthwaite (Thornthwaite, 1948), Hargreaves-Samani (Hargreaves & Samani, 1985) ve Penman-Monteith'dir (PM) (Penman, 1948; Monteith, 1965). PET hesabında, Thornthwaite yöntemi aylık ortalama sıcaklık değerlerine (°C) ve seçilen istasyonun enlem bilgisine, Hargreaves-Samani yöntemi ortalama, minimum, maksimum sıcaklık değerlerine (°C) ve radyasyon bilgisine (MJ/m<sup>2</sup>/gün) ve PM yöntemi ise sıcaklık (°C), buhar basıncı (kPa), radyasyon (MJ/m<sup>2</sup>/gün) ve rüzgâr hızı (m/s) gibi bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. SYEİ'nin hesaplanmasında PET'in kullanılması, sıcaklığın kuraklık koşulları üzerindeki etkisini açıklamak açısından önemlidir.

Z-Skor İndeksi (ZSİ), yağışın uzun vadeli ortalamasından olan farkının standart sapmaya bölünmesiyle elde edilmektedir. ZSİ, basit hesaplama prosedürü nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. ZSİ'nin en büyük avantajlarından biri, yağış verilerinin Gamma ya da Pearson Tip III gibi özel dağılımlara uydurulmasını gerektirmemesidir. ZSİ veri serilerinde kayıp değer bulunması durumunda dahi hesaplanabilmektedir (Jain vd., 2015). Bu durum pratikteki uygulanabilirliğini artırmaktadır.

Gerçek Yağış İndeksi (GYİ), orijinal zaman serisi verilerinin ODF'lerini standart normal ODF'ye dönüştürmek yerine, standart normal ODF'nin kantillerini orijinal ODF'ye dönüştürmektedir. GYİ orijinal ODF'de herhangi bir dönüşüm yapmadan gerçek veriler üzerinde çalışmakta ve gerçek veri değerleri üzerinden sınıflandırma yapmaktadır. Bu sayede her bir istasyon ve zaman ölçeği için özgün kuraklık sınıf değerleri elde edilmektedir.

### **1.2.5. Gidişler Analizi ile Kuraklık Karakteristiklerinin Belirlenmesi**

Kuraklık; şiddeti, süresi ve coğrafi kapsamı ile karakterize edilen üç boyutlu bir olgudur. Bir bölgenin kuraklık koşullarının izlenmesinde kuraklık indeksleri kullanılmaktadır. Bu indeksler, kuraklık özellikleri hakkında karar vericilere nicel bilgi sağlamaktadır (Jain vd., 2015). Havzanın kuraklık durumunun değerlendirilmesinde ortalama ve ekstrem kuraklık olaylarının karakteristikleri incelenmektedir. Gidişler analizi (Run Teorisi) şiddet, süre ve sıklık gibi kuraklık karakteristiklerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Gidişler analizi, kuraklık koşullarını tanımlamak için bir eşik değere ihtiyaç duymaktadır. Bu bağlamda kuraklık olayı, kuraklık indeks değerlerinin seçilen bir eşik değerden daha düşük olduğu bir dizi ardışık ay olarak tanımlanmaktadır. Kuraklık olayları şiddetlerine göre sınıflandırılmakta ve her bir olayın meydana gelme sıklığı belirlenmektedir. Bu sayede havzanın meydana gelen kuraklık olaylarına karşı hassasiyeti ortaya çıkmaktadır. Bu bilgiler kuraklık yönetim stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır.

### **1.2.6. Kuraklık İndekslerinin Trend Analizi**

Trend (eğilim), rastgele bir değişkenin değerlerinde zaman içinde meydana gelen artış ya da azalış değişimi olarak tanımlanmaktadır (Altınışık, 2015). İklim değişikliğinin hidrometeorolojik veriler üzerindeki potansiyel etkilerini ortaya koymak için bu verilerin zaman içindeki değişimlerinin incelenmesi çok önemlidir. Bu değişimin incelenmesinde trend analizi gibi istatistiksel testler kullanılmaktadır. Trend analizleri genellikle parametrik ve parametrik olmayan yöntemler olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Parametrik olmayan testler, hidrolojik zaman serilerinde yaygın olarak karşılaşılan kayıp değerler, normal dağılmayan ve sansürlü veriler için kullanılabilir (Duhan & Pandey, 2013). Parametrik

olmayan yöntemlerden MK testi trend belirlemede yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir (Mann, 1956; Kendall 1975). Bu çalışmada farklı zaman ölçeklerindeki kuraklık indeks değerlerine ve yağış serilerine trend analizi uygulamak için parametrik olmayan yöntemlerden MK, grafik yöntemlerden YTA ve YTA'nın nicel olarak değerlendirilmesinde YTAT kullanılmıştır.

Mann-Kendall (MK) Testi, parametrik yöntemlere göre çeşitli avantajları nedeniyle hidrometeorolojik verilerdeki trendleri belirlemek için en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Şen (2012), MK testinin geçerliliğinin zaman serisinin bağımsız yapıda olması ve belirli veri uzunluğuna sahip olması gibi kısıtlayıcı varsayımlar altında mümkün olduğunu belirtmiştir. MK testi zaman serisindeki içsel bağımlılığa (serisel korelasyona) karşı duyarlıdır. Bu nedenle MK testini zaman serisine uygulamadan önce serinin içsel bağımlılığı incelenmelidir. MK testi zaman serisindeki trendin varlığını sıfır hipotezi ( $H_0$ ) ile kontrol etmektedir (Ay & Kişi, 2017):

$H_0$ : Zaman serisinde istatistiksel olarak anlamlı bir trend (eğilim) yoktur.

Yenilikçi Trend Analiz Yöntemi (YTA), zaman serisinin ikiye bölünerek her bir alt serinin küçükten büyüğe sıralı verilerinin kartezyen koordinat sisteminde karşılıklı olarak işaretlenmesine dayanmaktadır. Verilerin, grafik üzerine çizilen 1:1 (45°) doğrusu etrafındaki saçılımına göre trend hakkında yorum yapılmaktadır. YTA, zaman serilerinin normal dağılmadığı, küçük örneklem uzunluklarına sahip olduğu veya seri korelasyonu varlığında kullanılabilir (Şen, 2012). Dolayısıyla yöntemin en önemli avantajı hiçbir varsayımda bulunmamasıdır. YTA, bu hali ile trendin varlığını sözel olarak ifade etmektedir. Bu çalışma kapsamında YTA'nın sözel çıkarımlarını nicel hale getirmek için Şen (2017) tarafından önerilen YTAT de kullanılmıştır.

Yenilikçi Trend Anlamlılık Testi (YTAT), YTA ile elde edilen grafiğin nicel olarak değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Zaman serisindeki trend, istatistiksel anlamlılık testi kullanılarak belirlenmektedir. YTAT, parametrik olmayan bir yöntem olup, herhangi bir kısıtlayıcı varsayım olmaksızın temellendirilmiştir.

### **1.2.7. Kuraklık Haritalarının Üretilmesi**

Kuraklık indekslerinin zamansal ve mekânsal analizi kuraklık risk durumunun belirlenmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada, ArcMap 10.8 yazılımı kullanılarak örnek olması açısından seçili şiddetli kuraklık tarihlerinde havzanın kuraklık risk haritaları üretilmiştir. Kuraklık haritalarının oluşturulmasında "Kriging" yöntemi kullanılmıştır. Kriging yönteminin diğer enterpolasyon yöntemlerine kıyasla daha yüksek doğruluk sağladığını

belirten çalışmalar bulunmaktadır (Taylan & Damçayırı, 2016; Katipoğlu, 2020) Kriging enterpolasyon yöntemi, bilinen yakın noktadaki verilerin kullanılarak diğer noktalarda bulunan verilerin en uygun değerlerini kestiren bir enterpolasyon tekniğidir.

### **1.2.8. Kuraklık Yönetim Stratejileri**

Kuraklık yönetimi, doğal ve insan kaynaklı sistemlerin kuraklık etkilerine karşı hassasiyetini azaltmayı amaçlayan bir dizi stratejiyi kapsamaktadır. Kuraklık yönetimi başlıca iki ana yaklaşıma odaklanmaktadır. Bunlar; kuraklık kriz (reaktif) ve kuraklık risk (proaktif) yönetimidir (Mengü vd., 2011). Reaktif planlama kuraklık olayı başladıktan ve algılandıktan sonra önlem ve eylemlerin uygulanmasına dayanmaktadır. Bu yaklaşım, acil durumlarda uygulanmaktadır. Bu nedenle, en uygun eylemlerin değerlendirilmesi için zaman harcanamamakta ve paydaş katılımının da sınırlı olması nedeniyle verimsiz teknik ve ekonomik çözümlerle sonuçlanmaktadır. Proaktif planlama ise kuraklık etkilerinin önlenmesi veya en aza indirilmesi için kuraklığa hazırlık politikalarının ve eylem planlarının önceden hazırlanmasını dayanmaktadır. Kuraklık kriz yönetiminde, krizin ortaya çıktığı anda harekete geçerek zararın hafifletilmesine yönelik çalışmalar ön plana çıkmaktadır. Genellikle müdahale, iyileştirme ve toplum destekleme faaliyetlerini kapsamaktadır. Kuraklık risk yönetimi, kuraklık olasılığı düşük olsa dahi hazırlıklı olmayı ve kaynakları verimli kullanmayı hedeflemektedir.

Kuraklık öncesi yapılabilecek bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

- Yeni Yatırımlar: Yüzeysel su kaynaklarında depolanacak su miktarını artırmak ve yeraltı sularından faydalanmak için yeni su yapılarının ve su kuyularının açılmasıdır.
- Su Transferi: Su sıkıntısı olmayan bir bölgeden su sıkıntısı olan bir bölgeye büyük miktarda suyun taşınmasıdır. Maliyeti fazla olsa da su sıkıntısı çeken bölgenin sorunu çözülmektedir. 1987 yılındaki barış suyu projesi bu duruma örnektir.
- Deniz Sularının Tuzsuzlaştırılması: Tuzlu su kaynaklarının tuzsuzlaştırma teknikleri ile canlılar tarafından kullanılabilir hale getirilmesidir.
- Bulut Tohumlama: Yoğunlaşma çekirdeğinin bulut içinde en uygun yere, zamanında ve doğru miktarda ulaştırılarak yağış üretme kapasitesinin artırılmasıdır.
- Yağmur Suyu Hasadı: Geçirimsiz yüzeylerden akan yağmur suyunun yeniden kullanılmak üzere yerinde toplanması ve depolanmasıdır.
- Suya Göre Tarım Yapılması: Özellikle su kısıtı olan bölgelerde daha az su tüketen bitki türlerinin üretiminin teşvik edilmesidir.

Kuraklık sırasında yapılabilecek bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

- Tahmin ve Uyarı: Kuraklık seyrinin tahmin edilerek uyarıların yayınlanmasıdır.
- Acil Eylem Planları: İlgili kurum ve kuruluşlar tarafından hazırlanan Kuraklık Acil Eylem Planlarının uygulanmasıdır.
- Su Dağıtım Sistemlerinin Modernizasyonu: Su temin, dağıtım ve depolama sistemlerinin kuraklık durumuna uygun olacak şekilde hazırlanan işletme planlarının uygulanmasıdır.
- Sağlık ve Yardım Hizmetleri'dir.

Türkiye’de kuraklık, doğal afetler arasında önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından hidrolojik havzaların sınırlı su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını amaçlayan Kuraklık Yönetim Eylem Planı, Ulusal Kuraklık Yönetimi Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2017-2023) gibi stratejik belgeler hazırlanmıştır. Bu belgeler kuraklık afetinin yönetilmesine yönelik uzun vadeli stratejiler sunmaktadır.

### **1.3. LİTERATÜR TARAMASI**

Bu tez çalışması, ham haldeki meteorolojik zaman serilerinin veri ön işleme aşamasından kapsamlı kuraklık değerlendirmesine kadar olan süreci incelemektedir. Bu kapsamda literatür taraması iki ana kategoriye ayrılarak kayıp veri analizleri ve kuraklık analizleri başlıkları altında ele alınmıştır.

#### **1.3.1. Kayıp Veri Analizleri için Literatür Taraması**

Kayıp veri problemi ele alınırken silme ve atama (ikame) olmak üzere iki ana strateji kullanılmaktadır. Ancak silme stratejisi kullanılmadan önce kayıp verilerin hangi mekanizmaya dahil olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Kayıp veri mekanizması TROK değilse, silme işlemi istatistiksel modellerde yanlış sonuçlara yol açabileceği gibi önemli miktarda bilgi kaybına da neden olmaktadır.

Kayıp verilerin dikkatli ve doğru bir şekilde tamamlanması oldukça önemlidir. Özellikle akım zaman serilerindeki kayıp verilerin yetersiz tahmini zayıf havza simülasyonuna dolayısıyla etkisiz su kaynakları yönetimine neden olacaktır (Gao vd., 2023). Atama yöntemleri; değer atama ve tahmine dayalı atama yöntemleri şeklinde ya da istatistiksel, yapay zekâ destekli ve hibrit modeller şeklinde farklı bakış açılarına göre sınıflandırılabilir. Tahmine dayalı atama yöntemleri arasında makine öğrenmesi teknikleri (kNN, yapay sinir ağları (YSA), destek vektör makineleri (DVM), rastgele orman (RO) vb.), çoklu atama yöntemleri ve model tabanlı atama (maksimum olabilirlik) öne çıkmaktadır.

Gelişen teknoloji ve geliştirilen sayısal yöntemlerle birlikte kayıp veri atamasına ilişkin birçok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler arasında en yaygın kullanılanlarından biri ortalama atama yöntemi olup (Sanusi vd., 2017; Üresin, 2021; Zhang & Thorburn, 2022), meteoroloji ve klimatolojide en basit atama yöntemi olarak kabul edilmektedir. Kayıp veri atama konusunda literatürde sıkça kullanılan diğer yöntemler ise iki aşamalı gerçekleştirilen regresyon analizi (Caldera vd., 2016; Mfwango vd., 2018), çok değişkenli makine öğrenmesi tekniklerinden biri olan kNN (Sallaby & Azlan, 2021; Sharma & Yuden, 2021) ve model bazlı atama yöntemlerinden maksimum olabilirliğe dayalı BM'dir (Firat vd., 2012; Koçak, 2017).

Kayıp veri analizi kapsamında geliştirilen yöntemlerin bir arada incelendiği çalışmalar da mevcuttur. Hidroloji literatüründe öne çıkan bu çalışmalardan bazılarında aşağıda yer verilmiştir.

Yağış, tropikal bölgelerde önemli bir iklim parametresidir. Yağış serileri; ölçüm tekniğindeki değişiklik, ekipman arızaları ve istasyon yerinin değişmesi gibi nedenlerden dolayı kayıp değerler içerebilmektedir. Bu durum hidroloji alanındaki çalışmaların doğruluğunu ve güvenilirliğini olumsuz etkilemektedir. De Silva vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada, yağış serilerindeki kayıp değerlerin tahmininde aritmetik ortalama, normal oran yöntemi, ters mesafe yöntemi ve yazarlar tarafından geliştirilen hava yağış oranı yöntemlerinin uygunluğu araştırılmıştır. Yöntemlerin performansı, yedi ana agro-ekolojik bölgeden seçilen istasyonların gerçek ve tahmini verileri kullanılarak istatistiksel karşılaştırma teknikleri ile değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda ters mesafe yönteminin ülkenin alçak kesimleri için en uygun atama yöntemi olduğu belirlenmiştir. Aritmetik ortalama yönteminin ülkenin yukarı kesimlerindeki nemli bölgeler için, hava yağış oranı yönteminin ise ülkenin orta kesimlerindeki nemli bölgeler için uygun olduğu tespit edilmiştir.

Akım verileri, su kaynakları yönetiminde suyun depolanması ve kullanılabilirliğinin planlanması için önemli iken büyük havzalarda bu önemi daha da artmaktadır. Dursun ve Karabatak (2009) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin ortalama yıllık akış miktarı açısından en büyük havzası olan Fırat Havzası'nın kayıp akım verileri, korelasyon ve YSA yöntemleri ile tahmin edilmiştir. YSA modelinin geliştirilmesinde Levenberg–Marquardt algoritması kullanılmıştır. Modelin doğruluğu üç katmanlı çapraz geçerlilik yöntemiyle değerlendirilmiştir. Korelasyon ve YSA yöntemleriyle elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında YSA yönteminin daha güvenilir sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Sıcaklık, iklim değişikliğinin potansiyel etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda en önemli meteorolojik parametrelerden biridir. Firat vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye genelinde yer alan meteoroloji gözlem istasyonlarının sıcaklık verilerindeki kayıp değerler, BM

algoritmasında en yakın referans istasyonun verileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Tamamlanan aylık sıcaklık verilerinden yıllık ortalama sıcaklık serileri elde edilmiştir. Bu verilerin klimatoloji araştırmalarında kullanılabilmesi için yıllık ortalama sıcaklık serilerinin türdeşliği standart normal homojenlik testi (SNHT), Swed-Eisenhart Testi ve Pettitt testi ile kontrol edilmiştir.

Gelişen su kalitesi izleme teknolojileri sayesinde su kalite yönetimi ekolojik denge açısından daha da önemli bir konu haline gelmiştir. Su kalitesi; su kaynaklarının insan sağlığı ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemini belirleyen bir dizi parametreden oluşmaktadır. Bu parametreler arasında çözünmüş oksijen, elektriksel iletkenlik, pH değeri, toplam azot ve fosfor konsantrasyonları gibi unsurlar yer almaktadır. Su kalitesinin bu beş parametreyle ölçüldüğü su kalite indeksi (SKİ) çerçevesindeki kayıp veriler Srebotnjak vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada Hot-Deck yöntemiyle tamamlanmıştır.

Nehir ve akarsulardaki su kalitesi, örnekleme anındaki anlık akım ve uzun vadeli akım rejimi ile doğrudan ilişkilidir (Snelder & Kerr, 2022). Bu nedenle, akım verileri su kalitesinin izlenmesine yardımcı olacak önemli bir ek gösterge olarak değerlendirilmelidir. Kayıp akım verileri, akışın doğru bir şekilde izlenmesini zorlaştırmakta ve bu durum su kalitesinin doğru bir şekilde değerlendirilmesini engellemektedir. Tosunoğlu vd. (2017), kayıp akım verilerini debi süreklilik çizgileri ve regresyon modelleri kullanarak tahmin etmişlerdir. Çalışma sonucunda, determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) ve hata kareler ortalamasının karekökü (HKOK) değerleri dikkate alındığında her iki yöntemin de başarılı tahminler sağladığı ancak debi süreklilik çizgileri yöntemi kullanılarak yapılan tahminlerin tanımlayıcı istatistiki bilgileri (ortalama, standart sapma, çarpıklık katsayısı vb.) korumada daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

Yağış, doğal sistem içindeki çeşitli hidrolojik süreçleri başlatan ve çeşitli analiz türleri için veri sağlayan önemli bir hidrolojik faktördür (Wangwongchai vd., 2023). Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, kayıp yağış verilerinin doğru şekilde tahmin edilmesi sulama stratejilerinin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Sattari vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, bu tür bölgelerdeki kayıp yağış verilerinin tahmininde farklı yöntemler karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Çalışma sonucunda, aritmetik ortalama, çoklu doğrusal regresyon analizi ve Doğrusal Olmayan Yinelemeli Kısmi En Küçük Kareler (NIPALS) algoritmalarının kayıp veri atamada en uygun yöntemler olduğu belirlenmiştir. Aritmetik ortalamanın yüksek performans göstermesinin nedeni olarak çalışmada kullanılan istasyonların rakımlarının birbirine yakın olması gösterilmiştir.

Saplıoğlu ve K   kerdem (2018), uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sisteminin (ANFIS) kayıp akım verilerinin tahmininde girdi parametre sayısının az olduğu durumlarda doğru tahminler sağladığını belirtmişlerdir. Ayrıca modelin eğitilmesi için en az 10 yıllık veri kaydının gerekli olduğunu vurgulamışlardır. Giriş parametre sayısının fazla olduğu durumlarda ise çoklu regresyon modellerinin performansının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Hidrolojik modellerin doğruluğu, veri kalitesine ve veri setinin eksiksizliğine bağlıdır. Bu nedenle veri ön işleme aşamasında kayıp verilerin tamamlanması oldukça önemlidir. Veriler arasındaki istatistiksel ilişkinin doğru kurulması gerektiğini vurgulayan Akçay (2018), bu ilişkinin kurulmasında regresyon analizinin en yaygın yöntem olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle çalışmada aylık akım verilerindeki kayıp değerler regresyon analizi kullanılarak tahmin edilmiştir. Benzer şekilde Yılmaz (2019), yıllık anlık maksimum akımların trendlerini belirlediği çalışmasında kayıp akım verilerinin tahmininde basit doğrusal regresyon analizini kullanmıştır.

Nor vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, kayıp günlük yağış verilerinin tahmininde ortalama, kNN, Markov Zinciri Monte Carlo (MCMC), NIPALS ve RO algoritması kullanılmıştır. Çalışmada, ortalama atama yönteminin tekli atama teknikleri arasında en uygun tamamlama yöntemi olduğu, RO algoritmasının da çoklu doğrusal regresyon ile birleştirildiğinde yüksek performans gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca ortalama atamanın standart sapmayı değiştirme riski taşıdığını ve verilerin çarpıklığını etkileyebileceği belirtilmiştir.

YSA'lar, doğrusal olmayan karmaşık ilişkileri öğrenme ve modelleme yeteneğine sahip olup girdi verilerini işleyerek tahmini çıktı değerleri üretmektedir. Model  ğrenme sürecinde geri yayılım algoritması ile ağ parametrelerini güncelleyebilmektedir. Bu durum modelin kayıp verileri daha doğru tahmin etmesini sağlamaktadır. Girdi özneliklerinin ve nöron sayısındaki değişikliklerin kayıp veri atama performansı üzerindeki etkisini inceleyen Souza vd. (2020), beş  znelikli ve iki nörondan oluşan modelin kayıp akım verilerini tahmin etmek için oldukça etkili ve uygun bir yaklaşım olduğunu belirtmişlerdir.

Sharma ve Yuden (2021) tarafından yapılan çalışmada, yağış ve sıcaklık serilerindeki kayıp veriler, kNN ve ağaç tabanlı algoritmalar kullanılarak tamamlanmıştır. Tamamlanan veriler daha sonra akım verilerini YSA ile tahmin etmek için modelin girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. Modelin performansı HKOK ve ortalama mutlak hata (OMH) ile değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, girdi parametreleri olarak kullanılan eksiksiz yağış ve sıcaklık verileriyle oluşturulan modelin düşük OMH değerlerine ve yüksek doğruluğa sahip olduğu belirlenmiştir.

Sıcaklık diğer iklim parametrelerini etkilediği için bu verilerde kayıp değerlerin bulunması iklim modellerinin doğruluğunu azaltmaktadır. Katipoğlu (2022) tarafından yapılan çalışmada DVM, ANFIS ve karar ağacı (KA) gibi çeşitli makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak kayıp sıcaklık verileri tahmin edilmiştir. Kurulan modellerde veriler %80 eğitim ve %20 test oranında bölünmüştür. Kayıp sıcaklık verilerinin tahminindeki en uygun makine öğrenmesi tekniğinin belirlenmesinde HKOK ve hata kareler ortalaması (HKO) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ANFIS modelinin diğer modellere göre daha uygun ve etkili olduğu belirlenmiştir.

Kayıp veri atamasında veri setinin karmaşıklığını daha etkili bir şekilde ele almak için istatistiksel ve yapay zekâ tabanlı teknikleri birlikte kullanan çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan biri Wangwongchai vd. (2023) tarafından gerçekleştirilmiş ve eksik günlük yağış verilerinin tamamlanması amaçlanmıştır. İstatistiksel yöntemlerden ortalama, çoklu doğrusal regresyon, normal oran, NIPALS ve lineer interpolasyon; yapay zekâ tabanlı yöntemlerden ise uzun kısa süreli bellekli tekrarlayan sinir ağları, M5 model ağacı, çok katmanlı algılayıcı sinir ağları ve polinom ile radyal tabanlı fonksiyon çekirdeklerine sahip DVM kullanılmıştır. Yöntemlerin performansları HKOK, HKO ve  $R^2$  ile değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, yapay zekâ tabanlı tekniklerin güçlü performans gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca çoklu doğrusal regresyon analizi tahmin doğruluğu nedeniyle önerilmiştir.

İstatistiksel yöntemler ile makine öğrenmesi tekniklerinin karşılaştırıldığı bir başka çalışma da Dariane vd. (2024) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, İran'daki 3 farklı havzadaki kayıp akım verilerini tahmin etmek için basit ve çoklu doğrusal regresyon, YSA, DVM, M5 ağacı ve iki uyarlamalı nöro-bulanık çıkarım sistemi kullanılmıştır. ANFIS; Sub-ANFIS (çıkarmalı) ve bulanık C-ortalamalar (FCM-ANFIS) olmak üzere iki farklı şekilde ele alınmıştır. Çalışma sonuçları, makine öğrenmesi tekniklerinin genellikle istatistiksel tekniklerden daha üstün performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Özellikle, Sub-ANFIS yönteminin basit doğrusal regresyon ile karşılaştırıldığında hata metriği açısından daha başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Çok değişkenli ve çok miktarda kayıp değerlerin bulunduğu veri setlerinde, Zincirleme Denklemlerle Çok Değişkenli Atama (MICE) yöntemi, kayıp verilerin her birini yinelemeli olarak tahmin ederek değişkenler arasındaki ilişkileri dikkate almaktadır. Bu işlem, orijinal veri setindeki ilişkilerin korunmasına yardımcı olmanın yanı sıra kayıp verilerin atamasında oluşabilecek yanlılığı da azaltmaktadır. Kaur vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada; sıcaklık, rüzgâr hızı, basınç, kar ve bağıl nem verilerindeki kayıp değerleri tahmin etmek için MICE ve kNN gibi farklı veri madenciliği teknikleri kullanılmıştır. Yöntemlerin performansını değerlendirmek için kayıp veriler %10, %15, %20 ve %30 oranlarında rastgele oluşturulmuştur.

En uygun atama yöntemi, HKOK ve  $R^2$  kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda sıcaklık, bağıl nem ve kar yağışı gibi değişkenlerin kayıp verilerinin tahmin edilmesinde MICE yönteminin uygun bir yaklaşım olduğu belirlenmiştir.

Sediment birikimi baraj rezervuar hacmini ve ekonomik ömrünü etkilemektedir. Loh vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada, kayıp sediment verilerinin tahmininde kNN, DVM, çoklu doğrusal regresyon ve YSA yöntemlerinin atama performansları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Yöntemlerin performansları HKOK, HKO ve  $R^2$  kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda tahmin performansı yüksekten düşüğe doğru YSA, DVM, çoklu doğrusal regresyon ve kNN olarak sıralanmıştır.

Kayıp veri, gözleme dayalı birçok disiplinde sıkça karşılaşılan bir sorundur. Bu nedenle hidroloji dışındaki çeşitli disiplinlerdeki öne çıkan bazı çalışmalar Tablo 2’de sunulmuştur. İlgili tablo, farklı alanlarda uygulanan yaygın yöntemlerin belirlenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir.

**Tablo 2:** Kayıp Veri Analizi Konusunda Farklı Disiplinlerde Öne Çıkan Çalışmalar

Yazar(lar)	Veri Seti	Yöntem(ler)	Çalışma İçeriği
Çüm vd., 2018	PISA 2012	Bayesci Veri Atama BM Eğilim Skorları Eşleştirmesi Mahalanobis Uzaklığı Ataması MCMC Regresyon Ataması	Farklı kayıp veri oranları ve kayıp veri mekanizmaları altında oluşturulan veri setlerindeki kayıp değerler belirtilen yöntemler kullanılarak tahmin edilmiştir. Çalışma sonucunda tüm yöntemlerin iyi performans gösterdiği belirlense de gerçek değerlere en yakın tahmin değerlerinin MCMC ve BM yöntemleri ile elde edildiği tespit edilmiştir.
Cihan, 2018	UCI Veri Tabanı	Ortalama kNN Tekil Değer Ayırımı Bayes Temel Bileşen Analizi missForest	TROK veri mekanizmasına ve farklı kayıp değer yüzdelerine sahip simüle veri setlerinin oluşturulduğu çalışmada belirtilen yöntemlerin performansı; HKOK, sınıflandırma doğruluğu ve işlem süreleri ile değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda en başarılı yöntemin missForest olduğu belirlenmiştir.
Işıkoğlu ve Atar, 2020	PISA 2015	Liste Bazlı Silme Ortalama Regresyon Analizi BM Çoklu Atama	TROK kayıp veri mekanizması altında kayıp veri yüzdeleri farklı olan veri setlerindeki kayıp değerlerin tahmininde belirtilen yöntemler kullanılmıştır. Çalışma sonucunda; %5 kayıp değere sahip veri seti için regresyon analizi ve çoklu atama yöntemlerinin, %10 kayıp değere sahip veri seti için BM ve %20 kayıp değere sahip veri seti için çoklu atama yönteminin daha doğru tahminler ürettiği belirlenmiştir.
Malan vd., 2020	NHANES	BM	Beslenme anketlerindeki kayıp verilerin tamamlanmasında BM algoritması kullanılmıştır.

Yazar(lar)	Veri Seti	Yöntem(ler)	Çalışma İçeriği
Emmanuel vd., 2021	Iris ID Fan	kNN missForest	İki farklı veri setinin farklı kayıp veri oranlarındaki kayıp değerleri kNN ve RO algoritmasına dayalı yinelemeli bir atama yöntemi (missForest) ile tahmin edilmiştir. Çalışma sonucunda her iki yöntem de başarılı bulunmuştur.
Marcelino vd., 2022	Açık Erişim Kaynakları	KA RO Adaboost kNN DVM, YSA	Açık erişim 8 farklı veri tabanından sağlanan serilerdeki kayıp veriler KA, RO algoritması, adaboost, kNN, DVM ve YSA gibi popüler algoritmalar kullanılarak tamamlanmıştır. Yöntemlerinde değerlendirmesinde ortalama mutlak yüzde hata (OMYH) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, kNN kayıp veri atamada diğer yöntemlerden daha başarılı bulunmuştur.
Zainuddin vd., 2022	MAGDAS-9	YSA, kNN, DVM Genel Regresyon Sinir Ağı Ortalama Hot-Deck Sıfır Ataması	Çalışmada belirtilen yöntemlerin model performanslarının değerlendirilmesinde HKO, OMH ve OMYH gibi hata metrikleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en uygun atama yönteminin DVM olduğu belirlenmiştir.
Pham vd., 2023	COVID-19 Günlük Vaka Sayısı	Son Gözlem Değeri Medyan kNN Maksimum Olabilirlik Lineer İnterpolasyon Otoregresif Entegre Hareketli Ort.	Kayıp veri analizleri farklı pandemi dönemleri için gerçekleştirilmiştir. Öncelikle COVID-19 günlük vaka veri setinden %5 - %30 arasındaki veriler rastgele çıkarılmıştır. 0-COVID döneminde, diğer yöntemlere kıyasla medyan atama ile daha düşük OMH ve HKOK değerleri elde edilmiştir. Yeni-normal dönemde son gözlem değeri ve lineer interpolasyon yöntemlerinde en küçük OMH değeri elde edilmiştir.

### 1.3.2. Kuraklık Analizleri için Literatür Taraması

Yaygın olarak kullanılan kuraklık indekslerinin belirlenmesi ve bu indekslerin farklı iklim koşullarındaki kullanımının değerlendirilmesi için önceki çalışmaların incelenmesi önemlidir. Bu nedenle ulusal ve uluslararası literatürde kuraklık analizi konusunda yapılan güncel çalışmalardan öne çıkanlar aşağıda özetlenmiştir:

Şiddetli kuraklık olaylarının mekânsal dağılımının görselleştirilmesi, bu olayların coğrafi yoğunlaşma noktalarının belirlenmesi açısından önemlidir. Rahman ve Lateh (2016) tarafından yapılan çalışmada, Bangladeş'teki meteorolojik kuraklık SYİ ile değerlendirilmiştir. Meteorolojik kuraklığın mekânsal dağılımının belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)'de Ters Mesafe Ağırlıklandırma Yöntemi (TMAY) kullanılmıştır. Kuraklık şiddeti ve olayları, 3 aylık (SYİ-3 Ocak ve SYİ-3 Nisan) ile 6 aylık (SYİ-6 Nisan) zaman ölçeklerinde analiz edilmiştir. Kuraklık haritaları, her bir kuraklık sınıfı (orta, şiddetli ve aşırı) ve zaman ölçeği için kuraklık oluşum yüzdesi özetlenerek CBS ortamında haritaları oluşturulmuştur. Kuraklık indeks değerleri interpolate edilerek düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere dört tehlike seviyesine göre sınıflandırılmıştır.

Tarımsal rekolte açısından Türkiye için büyük önem taşıyan Konya Kapalı Havzası, yarı kurak iklimi nedeniyle kuraklığın etkilerinin en yoğun hissedildiği havzalardan biridir (Yılmaz, 2017). Konya Kapalı Havzası'nın güncel kuraklık durumunu SYİ, Normalin Yüzdesi İndeksi (NYİ), Aridite İndeksi (Aİ) ve SYEİ yöntemlerini kullanarak inceleyen Bayçınar (2019), tüm dönemler için kuraklık durumunun genellikle normal ve normale yakın sınıflarda olduğunu belirlemiştir. Ayrıca çalışmada bu indeksleri birleştirerek daha kapsamlı bir değerlendirme yapabilmek amacıyla faktör ve kümeleme analizi yöntemleriyle istatistiksel analizler gerçekleştirmiştir. Kümeleme analizi sonucunda, kesim değerlerinin indekslerin farklı kategorilere ayrılmasında önemli bir rol oynadığını görmüştür. Çalışma, SYİ, SYEİ ve Aİ indekslerinin kuraklık analizi için güvenilir sonuçlar sağladığını, ancak NYİ indeksinin güvenilir sonuçlar sağlamadığını ortaya koymuştur.

Güner Bacanlı ve Kargı (2019) tarafından yapılan çalışmada, SYİ ile Bursa ilinde uzun süreli kayıtlara sahip gözlem istasyonlarının verileri kullanılarak bölgenin meteorolojik kuraklık durumu farklı zaman ölçeklerinde incelenmiştir. Çalışma sonucunda, kısa süreli dönemlerde (3-6 ay) normal veya hafif kuraklıklar, uzun süreli dönemlerde (12-24-48 ay) ise şiddetli ve çok şiddetli kuraklıklar gözlemlenmiştir.

Sınır aşan sularda su kaynaklarının paylaşımı ve korunması farklı paydaş ülkeler arasında su sorunudur. Katipoğlu (2020) tarafından yapılan çalışmada, sınır aşan sulardan biri

olan Fırat Nehri'nin yer aldığı Fırat Havzası'na odaklanılmıştır. Havzanın meteorolojik kuraklık durumunu değerlendirmede Yağış Anomali İndeksi (YAI), SYİ, ZSİ, SYEİ ve KKI gibi yöntemler kullanılmıştır. Hidrolojik kuraklık ise Standart Akış İndeksi (SAİ) ve Kesim Seviyesi Metodu (KSM) ile değerlendirilmiştir. Kuraklık indekslerindeki trendleri belirlemek amacıyla parametrik olmayan MK ve modifiye edilmiş Mann-Kendall (mMK) testleri kullanılmıştır. Gidişler analizi ile kuraklık karakteristikleri belirlenmiş ve havzada meydana gelen kuraklık olaylarının sıklığı ve şiddeti tespit edilmiştir. En şiddetli kuraklık olayları, farklı enterpolasyon teknikleri kullanılmak suretiyle haritalandırılarak bölgedeki kuraklık durumunun mekânsal dağılımı belirlenmiştir. Kuraklık analizlerine ilişkin sonuçlar SYEİ'nin kuraklığı algılamada daha hassas olduğunu gösterirken, trend analizlerine ilişkin sonuçlar ise havzada şiddetli ve olağanüstü kuraklıkların meydana geldiğini ortaya koymuştur.

Kurak bölgelerde yüzey suyu kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle yeraltı suyu; içme suyu, tarımsal sulama ve sanayi faaliyetleri için temel su kaynağı konumundadır. Javadinejad vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, İran'ın kurak bir bölgesi olan Isfahan-Borkhar havzasındaki meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların yeraltı su kaynakları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Gözlemlenen hidrometeorolojik veriler (1971-2005) hidrometeorolojik projeksiyonlar (2006-2040) için kullanılmıştır. Çalışmada meteorolojik kuraklık SYİ, hidrolojik kuraklık ise SAİ ile değerlendirilmiştir. Meteorolojik ve hidrolojik kuraklığın yeraltı suyu üzerindeki etkilerinin incelenmesinde ise Yeraltı Su Kaynakları İndeksi (YSKI) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda her üç kuraklık indeksinin de gelecek dönem projeksiyonlarında (2006-2040) daha kurak koşullara işaret ettiği görülmüştür. Ayrıca SYİ, SAİ ile YSKI arasında 12 aylık zaman ölçeğinde anlamlı bir ilişki olduğu da belirlenmiştir.

Her havzanın kendine özgü olan iklim koşulları su kaynakları yönetimindeki ihtiyaçlarının farklılaşmasına neden olmaktadır. Farklı iklim koşullarına sahip havzaların kuraklık durumlarının incelenmesi, iklim değişikliğinin etkilerinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Salimi vd. (2021), farklı iklim özelliklerine sahip olan Lighvan, Navroud ve Seqez havzalarındaki meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkları değerlendirmek amacıyla 1992-2016 yılları arasındaki aylık akış, yağış ve buharlaşma verilerini kullanmışlardır. Yapılan çalışmada havzanın meteorolojik kuraklık durumunun değerlendirilmesinde SYİ ve SYEİ, hidrolojik kuraklık durumunun değerlendirilmesinde ise SAİ kullanılmıştır. Analiz sonuçları iklim değişikliğinin bu bölgelerdeki kuraklıkların şiddetini ve süresini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Özellikle, Navroud havzasında en şiddetli ve uzun süreli kuraklık olaylarının 9 aylık zaman ölçeğinde yaşandığı; SYİ, SYEİ ve SAİ indeksleri ile tespit edilmiştir. Ayrıca tüm havzalarda meteorolojik ve hidrolojik kuraklıklar arasında güçlü bir korelasyon

olduğu belirlenmiştir. İndeksler arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla doğrusal olmayan modeller (polinom, üssel ve logaritmik) kullanılmıştır. SYİ-9 ile SAİ-9'un süresi ve şiddeti arasındaki ilişki için  $R^2$  değerleri sırasıyla 0,80 ve 0,92 olarak elde edilirken, SYEİ-9 ile SAİ-9 arasındaki ilişki için ise 0,72 ve 0,82 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar, her iki indeksin kuraklık analizindeki güçlü ilişkisini ve doğruluğunu ortaya koymuştur.

Mohammed ve Yimam (2021) tarafından yapılan çalışmada, 1986-2019 yılları arasındaki yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak Etiyopya Rift Vadisi'nde yer alan Gller Bölgesi'ndeki meteorolojik kuraklığın şiddeti, trendleri ve mekânsal-zamansal değişkenliği araştırılmıştır. Kuraklık şiddetinin değerlendirilmesinde 3 ve 12 aylık zaman ölçeğinde KKI kullanılmıştır. Kuraklık indeksinin trendlerini belirlemek amacıyla MK testi kullanılmıştır. Kuraklıkların mekânsal dağılımı ArcGIS'in uzamsal analiz aracındaki TMAY yöntemiyle haritalanmıştır. Çalışmada, 2008 yılından sonra meydana gelen kuraklık olaylarının sıklığının arttığı belirtilmiş ve bu durum küresel ısınma ile ilişkilendirilmiştir.

Kuraklık, sadece yağışla ilgili olmayan birçok farklı iklim faktörünün bir araya gelerek etkili olduğu karmaşık bir olaydır. Sıcaklık, rüzgâr hızı ve nem oranı gibi faktörler kuraklık olaylarını daha da karmaşık hale getirmektedir. Kuraklık indeksleri bu karmaşık olayları basitleştirerek farklı kurumlar için etkili bir iletişim aracı haline getirmektedir. Singh vd. (2022), bu düşünceye yola çıkarak yağış parametresi odaklı SYİ, NYİ, YAİ, ZSİ, Oİ, Çin Z-Skor İndeksi (Zİ), Modifiye Çin Z-Skor İndeksi (MZİ) gibi yedi farklı kuraklık indeksi ile Hindistan'daki Betwa Nehri Havzası'nın kuraklık durumunu değerlendirmişlerdir. Kuraklık takibi 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde gerçekleştirilmiştir. Zaman periyodu uzadıca tüm kuraklık indekslerinde korelasyon gücünün arttığı, dolayısıyla kuraklık değerlendirmelerinin doğruluğunun zaman periyodu ile arttığı belirlenmiştir. Orta, şiddetli ve aşırı şiddetli kuraklık olaylarının 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde azalan bir trend gösterdiği de tespit edilmiştir.

Meteorolojik kuraklık değerlendirmelerinde sadece yağış parametresini kullanan indekslerin birçoğu yağış verileri üzerinde olasılık dağılım fonksiyonları uygulamaktadır. Tayfur (2021) yaptığı çalışmada, bu yaklaşımın veriler arasında belirgin bir tutarsızlık bulunmadığı durumlarda geçerli ve mantıklı olabileceğini ifade etmiştir. Yarı kurak ve özellikle kurak bölgelerdeki yağış verileri, bu bölgelerde meydana gelen düzensiz yağışlar nedeniyle güçlü bir tutarsızlığa sahiptir. Dolayısıyla bu tür bölgelerde kuraklık analizinde verilere herhangi bir olasılık dağılım fonksiyonu uygulamak anlamsız olmaktadır. Tayfur (2021) tarafından geliştirilen Tutarsızlık Yağış İndeksi (TYİ), yağış verilerinin ortalama değere göre tutarsızlığına dayanmaktadır. Yöntem, yağış verilerine herhangi bir olasılık dağılımının uygulanmasını dayatmamaktadır. Kuraklık sınıflandırmaları D-skor değerlerine dayalı olarak

önerilmektedir. Kuraklık sınıflandırma aralıkları ise SYİ ile aynıdır. Çalışmada TYİ; kurak (Moritanya), yarı kurak (Afganistan) ve Akdeniz iklimi (Türkiye) bölgelerinde meteorolojik kuraklığı değerlendirmek için uygulanmıştır. Çalışma sonucunda TYİ'nin kurak iklim bölgeleri için daha güvenilir ve temsil edici kuraklık değerlendirme aracı olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir.

Kuraklık izleme ve değerlendirme sürecinde yağış ve sıcaklık verileri kuraklık koşullarının belirlenmesinde kullanılan başlıca meteorolojik parametrelerdir. Aktürk vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada kuraklığın gelişimi ve özelliklerinin belirlenmesi amacıyla SYİ ve SYEİ yöntemleri kullanılmıştır. SYEİ yönteminde PET hesabında Thornthwaite ve Hargreaves-Samani modelleri kullanılarak iki farklı SYEİ serileri elde edilmiştir. Çalışma sonucunda SYİ, SYEİ(T) ve SYEİ(H) değerlerinin normale yakın durum için nemli veya kurak durumlara nispeten daha yüksek sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Tüm kuraklık indekslerinde normale yakın kuraklık sınıfının rölatif frekans değerlerinin %60'ı aştığı da tespit edilmiştir.

Bettehar ve Şener (2022) tarafından yapılan çalışmada, Cezayir'in Wadi Righ Bölgesi'nin meteorolojik kuraklık durumu SYİ, YAI, OI, ZSI ve NYI olmak üzere beş farklı kuraklık indeksi kullanılarak karşılaştırmalı bir şekilde incelenmiştir. Araştırma sonuçları, Wadi Righ bölgesinin incelenen yıllar boyunca farklı derecelerde kuraklık koşullarına maruz kaldığını ortaya koymuştur. Özellikle 1995, 1997, 2000, 2005, 2012 ve 2014 yıllarında son derece kuru iklim koşulları gözlemlenirken; 1999, 2001, 2004, 2009 ve 2015 yıllarında ise nemli ve aşırı nemli koşullar hâkim olmuştur. Yapılan analizler, kuraklık indeksleri ile yağış miktarı arasında pozitif bir korelasyon bulunduğunu ve yağışın bu indekslerin hesaplanmasında temel parametre olarak önemli bir rol oynadığını doğrulamıştır.

Özellikle büyük ölçekli havzalarda kuraklık koşullarının şiddetli, aşırı ve normal gibi sınıflandırmalarla değerlendirilmesi, su kaynaklarının daha etkin yönetimini sağlamak ve su kullanımının optimizasyonunu kolaylaştırmaktadır. Bu tür sınıflandırmalar şiddetli kuraklık durumunda sulama sınırlamalarının getirilmesine, su tasarrufu uygulamalarının teşvik edilmesine ve su tahsisi konusunda daha sıkı önlemlerin alınmasına olanak tanımaktadır. Kızılırmak Havzası, Türkiye'nin ikinci büyük havzası olup, bu havzada gerçekleşen meteorolojik kuraklık olayları Robleh vd. (2024) tarafından incelenmiştir. Çalışmada SYİ kullanılarak meteorolojik kuraklığın nemli, hafif, orta, şiddetli ve aşırı kurak durumlarının oluşumu analiz edilmiştir. Bulgular, tüm istasyonlarda ve zaman ölçeklerinde nemliliğin ve hafif kuraklığın en yaygın durumlar olduğunu ortaya koymuştur. Orta kuraklık, şiddetli kuraklık ve aşırı kuraklık arasındaki karşılaştırmalarda ise orta kuraklığın, tüm istasyonlarda ve zaman ölçeklerinde en yüksek oranda (%89,3) görüldüğü tespit edilmiştir.

Meteorolojik kuraklık, su kaynaklarındaki azalma nedeniyle zamanla hidrolojik kuraklığa yol açabilmektedir. Bu bağlamda, meteorolojik kuraklığın hidrolojik kuraklığa dönüşme eşiği ve bu sürecin dinamikleri literatürde önemli bir araştırma konusu olmuştur. Achite vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, meteorolojik ve hidrolojik kuraklıklar arasındaki ilişkinin incelemesi amacıyla Cezayir'deki Wadi Ouhrane Havzası ele alınmıştır. Bu doğrultuda SYİ, SYEİ, ÇZİ, ZSİ, MÇZİ, KKI ve SAI indekslerinin zaman içindeki değişimi, dağılım grafikleri, ağırlıklı Cohen kappa testi ve korelasyon katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada meteorolojik kuraklık indekslerinin benzer davranış gösterdiği belirlenmiştir. Zaman ölçeği 1 aydan 24 aya çıkarıldığında korelasyon katsayısı 0,97'nin üzerine çıkarken,  $Kw > 0,57$  olarak bulunmuştur. Ayrıca, meteorolojik indeksler ile hidrolojik bazlı SAI indeksi arasında zayıf bir korelasyon ( $R^2 < 0,40$ ) gözlemlenmiştir. ZSİ, ÇZİ ve SYİ arasındaki yüksek korelasyon ve uyum göz önüne alındığında, hesaplamaların basitliği nedeniyle çalışma alanında meteorolojik kuraklık izleme için ZSİ kullanılması önerilmiştir.

Kartal ve Nones (2024) tarafından yapılan çalışmada, Konya Kapalı Havzası'nın meteorolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik kuraklık durumu farklı zaman ölçeklerinde (1, 3, 6, 12, 24, 36 ve 48 ay) incelenmiştir. Çalışma sonuçları, SYİ-1 ile hesaplanan aşırı kuraklık koşullarının %1,9-2,5 arasında değiştiğini ve bu oranların diğer tüm indekslere kıyasla daha yüksek olduğunu göstermiştir. Orta derece kuraklık ise en az ZSİ-1 değerlerinde meydana gelmiştir. SYİ ve ÇZİ; ZSİ ve MÇZİ'ye göre daha fazla aşırı, şiddetli ve orta derecede kuraklık tespit etmiştir. Öte yandan, MÇZİ daha az toplam kuraklık olayı belirlemiştir. 2008 yılından itibaren Konya Kapalı Havzası'ndaki aşırı kurak olaylarının büyük ölçüde yeraltı suyu kuraklığına bağlı olarak meydana geldiği ve bu durumun, meteorolojik ve hidrolojik kuraklık koşullarına kıyasla daha yüksek bir şiddetle seyrettiği vurgulanmıştır.

Gelişen teknoloji ve geliştirilen algoritmalarla birlikte kuraklık olaylarının tahmin edilmesinde makine öğrenimesi tekniklerinin kullanılması popüler bir araştırma konusu haline gelmiştir. İklim değişikliği nedeniyle yarı kurak bölgelerde kuraklık izleme ve afet risk azaltma planları oldukça önemlidir. En-Nagre vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada, Fas'ın Üst Drâa Havzası (UDB) bölgesindeki meteorolojik kuraklıkların analizi SYİ ve SYEİ kullanılarak farklı zaman ölçeklerinde (1, 3, 9 ve 12 ay) gerçekleştirilmiştir. Kuraklığın zamansal değişimini belirlemek amacıyla MK testi ve Sen Trend Eğim metodu gibi istatistiksel yöntemler uygulanmıştır. Çalışmada, dört farklı makine öğrenmesi tekniği (random forest, voting, adaboost ve kNN) kullanılarak SYEİ değerlerinin tahmini yapılmıştır. Makine öğrenmesi tekniklerinin performansı, çeşitli istatistiksel göstergeler aracılığıyla değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, UDB bölgesindeki kuraklık dağılımının homojen olmadığını ve SYEİ

değerlerinde belirgin bir azalma trendi olduğunu ortaya koymuştur. Makine öğrenmesi tekniklerinin sonuçları, özellikle random forest, voting ve adaboost'ın belirtilen zaman ölçeklerinde yüksek doğrulukla SYEİ değerlerini tahmin ettiğini ve bu tekniklerin Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı (NSE) değerlerinin 0,74 ila 0,93 arasında değiştiğini göstermiştir. Bu bulgular, makine öğrenmesi tekniklerinin kuraklık tahmininde etkili bir araç olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Yüksek miktarda yağış alan bölgelerde bile ormansızlaşma ve iklim değişikliği gibi faktörler nedeniyle kuraklık riski artabilmektedir. Geçmiş kuraklık olaylarının, belirli izleme yöntemleri ve modellerle ilişkilendirilmesi, daha etkili ve güvenilir erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Ayrıca bu tür analizler sınırlı su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından da büyük önem taşımaktadır. Niazkar vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin önemli hidrolojik havzalarından biri olan Doğu Karadeniz Havzası'nın mevcut kuraklık durumu SYİ kullanılarak 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde değerlendirilmiştir. Çalışmada SYİ değerlerindeki zamansal değişim YTA grafik yöntemi ile analiz edilmiştir. YTA grafiklerinde oluşturulan alt kategoriler sayesinde detaylı trend değerlendirmeleri yapılmıştır. Ayrıca SYİ değerlerini tahmin etmek için çoklu doğrusal regresyon, YSA, kNN ve XGBoost olmak üzere dört farklı makine öğrenmesi tekniği uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, SYİ zaman ölçeği arttıkça makine öğrenmesi modellerinin tahmin doğruluğunun arttığı ve en yüksek doğruluk oranına 24 aylık SYİ için ulaşıldığı tespit edilmiştir. 24 aylık SYİ değerleri incelendiğinde çoğu istasyonda kurak koşullarda azalan bir trend gözlemlenmiştir. Bu durum, ilgili istasyonlarda kuraklığın daha yoğun hale geldiğini ve bölgesel su kaynakları üzerinde artan bir baskı oluşturduğunu ortaya koymuştur.

## İKİNCİ BÖLÜM

### 2. YÖNTEM

Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan verilerin istatistiksel yapısında dikkate alınan parametrelere, çalışma alanına, istasyon seçimine ve çalışmada kullanılan yöntemlerin detaylarına yer verilmiştir.

#### 2.1. VERİ DAĞILIMININ İNCELENMESİ VE İSTATİSTİKSEL İLİŞKİLER

İstatistiksel analiz prosedürleri genellikle parametrik testler ve parametrik olmayan testler olmak üzere iki temel kategoriye ayrılmaktadır (Hopkins vd., 2018). Parametrik testler, parametrik olmayan testlere kıyasla daha güçlü testler olmakla birlikte verilerin normal dağılıma uygun olması varsayımı altında çalışmaktadırlar. Bu nedenle istatistiksel analizden önce normallik testi yapılarak veri dağılımı incelenmelidir. Normallik varsayımı, hidrolojik çalışmalarda istasyonlar arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan korelasyon yönteminin seçiminde etkilidir. Bu tez çalışmasında hem havza dışı istasyonların seçiminde hem de kayıp veri atamalarındaki istasyon eşleştirmelerinde korelasyon analizleri kullanıldığı için normallik sınamaları araştırmanın önemli aşamalarından birini teşkil etmektedir.

##### 2.1.1. Normallik Analizleri

Verilerin normal dağılıma uygunluğu normallik analizleri ile değerlendirilmekte olup çeşitli görsel ve istatistiksel yöntemleri içermektedir. Literatürde normallik varsayımını değerlendirmenin temelde üç farklı yöntemi bulunmaktadır. Bunlar; betimsel yöntemler, grafiksel yöntemler ve normallik testleridir.

- Betimsel Yöntemler: Çarpıklık ve basıklık katsayıları ile ortalama, mod ve medyan değerlerinin incelenmesidir. Literatürde, çarpıklık ve basıklık katsayılarının belirli sınır değerler arasında olması, verilerin normal dağılım varsayımına uyduğunun bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Bu sınır değerler; Hair vd. (2013)'e göre  $\pm 1$ , Tabachnick ve Fidell (2012)'e göre  $\pm 1,5$  ve George ve Mallery (2010)'e göre ise  $\pm 2$ 'dir. Normal dağılımın karakteristik özelliklerinden bir diğeri ise mod, medyan ve ortalama değerlerinin birbirine eşit olmasıdır.
- Grafiksel Yöntemler: Grafiksel yöntemler arasında histogram, Q-Q (yüzde-yüzde) grafiği, P-P (olasılık-olasılık) grafiği, kutu-bıyık (Box-and-Whiskers) grafiği ve gövde-yaprak (stem-and-leaf) grafiği bulunmaktadır. Bu grafiksel değerlendirme yöntemleri arasında literatürde en yaygın kullanılanı histogramdır. Normal

dağılımda veriler simetrik olarak dağılmakta ve ortalama etrafında yoğunlaşmaktadır. Bu durumda histogram grafiğinde çan şeklinde bir görüntü oluşmaktadır. Ancak histogram grafikleri tek başına normallik varsayımının değerlendirilmesinde kullanılmamakta, veriler hakkında genel bir çıkarım yapılmasını sağlamaktadır.

- Normallik Testleri: Betimsel ve grafiksel yöntemler normallik varsayımına ilişkin sezgisel bir değerlendirme sunarken, normallik sınamaları hipotez testleri ile kesin sonuç elde edilmesini sağlamaktadır. Literatürde normallik sınamalarında yaygın olarak kullanılan testler Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov ve Jarque-Bera testleridir. Test sonucunda  $p < 0,05$  ise sıfır hipotezi ( $H_0$ ) reddedilerek verilerin normal dağılıma uygun olmadığı sonucuna varılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, normallik varsayımının nihai değerlendirmesi Jarque-Bera testi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çarpıklık ve basıklık katsayıları ile Shapiro-Wilk testi literatürde yaygın olarak kullanıldığından, normallik değerlendirmesinin gerekli olduğu her aşamada bu yöntemler de incelenmiştir. Çalışma kapsamında çarpıklık ve basıklık katsayılarının eşik değeri  $\pm 1,5$  olarak kabul edilmiştir.

### **2.1.2. Korelasyon Analizleri**

Korelasyon analizi, iki değişken arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünü belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Korelasyon katsayısı ( $r$ ) -1 ile +1 arasında değişmektedir. Korelasyon katsayısı 1'e yaklaştıkça aralarındaki ilişkinin gücü artmakta, 0'a yaklaştıkça aralarındaki ilişkinin gücü azalmakta ve 0 olduğunda ise değişkenler birbirlerine göre rastgele değişmektedir. Değişkenlerin aynı yönde artış ya da azalış göstermesi durumunda korelasyon katsayısı pozitif yönde, değişkenlerden biri artış gösterirken diğerinin azalış göstermesi ise negatif yönde bir ilişki olduğunu göstermektedir. Literatürde en sık kullanılan korelasyon yöntemleri Pearson korelasyon katsayısı ve Spearman'ın sıra korelasyon katsayısı katsayısıdır.

İki sürekli değişken arasındaki doğrusal ilişkinin yönünün ve gücünün ölçülmesinde Pearson korelasyon katsayısı kullanılmaktadır. Pearson korelasyon katsayısı değişkenlerin her ikisinin de normal dağılıma uygun olması ve aralarında doğrusal bir ilişkinin bulunması durumunda kullanılmaktadır. Dolayısıyla korelasyon analizinden önce bu iki durumun incelenmesi gerekmektedir. Normallik varsayımı istatistiksel testler ile kontrol edilirken, doğrusal olma durumu saçılım grafiğinde verilerin 45°'lik doğrunun etrafında dağılmasına göre değerlendirilmektedir. Pearson korelasyon katsayısı denklem (6) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left( n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left[ \sum_{i=1}^n x_i \right]^2 \right) \left( n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left[ \sum_{i=1}^n y_i \right]^2 \right)}} \quad (6)$$

Normallik varsayımının sağlanmadığı durumlarda Pearson korelasyon katsayısına alternatif olarak parametrik olmayan Spearman'ın sıra korelasyon katsayısı kullanılmaktadır. Spearman'ın sıra korelasyon katsayısı, iki değişken arasındaki ilişkinin doğrusal olup olmadığını belirlemek için kullanılmaktadır. Parametrik olmayan korelasyon analizleri arasında Kendall Tau korelasyon katsayısı da bulunmaktadır. Ancak Spearman'ın sıra korelasyon katsayısına kıyasla daha karmaşık olması nedeniyle pratikteki kullanımı sınırlıdır (Washington vd., 2010). Spearman'ın sıra korelasyon katsayısı denklem (7)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (7)$$

## 2.2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER

### 2.2.1. Çalışma Alanı

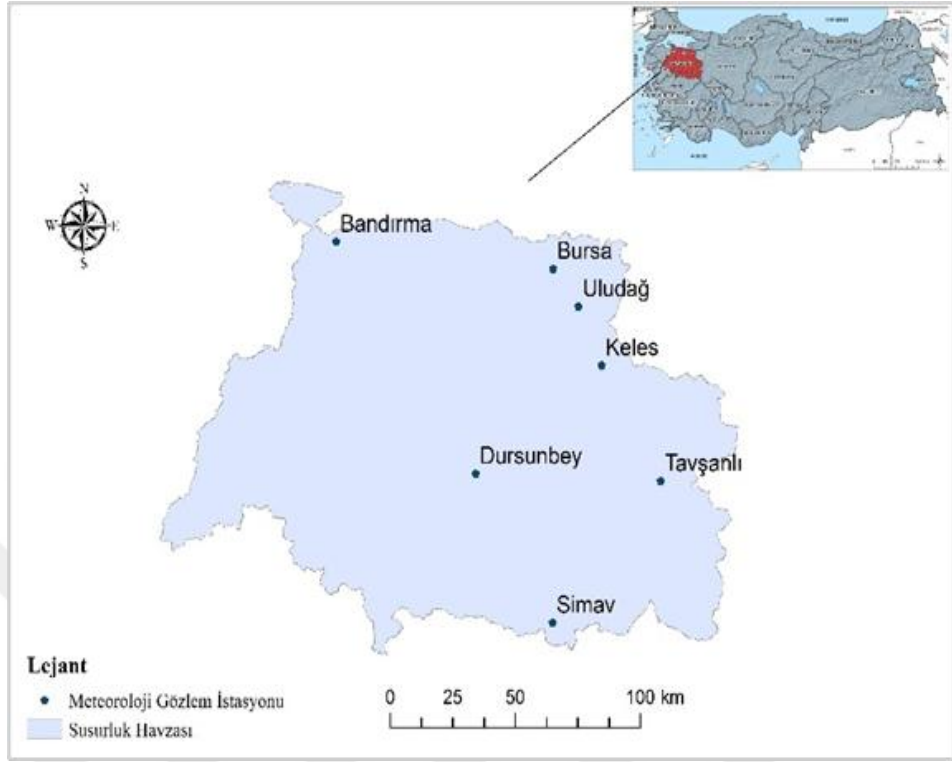
Susurluk Havzası, Türkiye'nin batısında 39°-40° kuzey enlemleri ile 27°-30° doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yaklaşık 24319 km<sup>2</sup>'lik yağış alanı ile Türkiye'nin toplam alanının yaklaşık %3,1'ini kapsamaktadır. Havzanın ortalama yağışı aritmetik ortalamaya göre 679,89 mm iken (SHTYP, 2024) yıllık ortalama akış miktarı 5,43 km<sup>3</sup>'tür (SHTYP, 2018). Susurluk Havzası; Sakarya, Gediz, Kuzey Ege ve Marmara havzalarına komşudur (Şekil 5).

Marmara Bölgesi'nin güneyinde konumlanan Susurluk Havzası sınırları içerisinde Bursa, Balıkesir, Kütahya, Bilecik, Çanakkale, Manisa ve İzmir illerinin bir kısmı yer almaktadır. Bu illerin havza sınırları içerisindeki dağılımları ise Balıkesir %44,38; Bursa %29,67; Kütahya 24,18; Manisa %1,17; Çanakkale %0,25; Bilecik %0,18 ve İzmir %0,18 şeklindedir (SHTYP, 2018). Dolayısıyla havzanın büyük bir kısmı üç büyük il tarafından paylaşılmaktadır. Diğer illerin havzaya katkısı ise %2'nin altındadır.

Susurluk Havzası'nın önemli akarsuları Nilüfer Çayı, Mustafakemalpaşa Çayı, Simav Çayı ve Kocaçay'dır. Susurluk Havzası'nın aldığı yağış farklı büyüklüklerdeki akarsularla Marmara Denizi'ne, Uluabat ve Manyas Göllerine deşarj olmaktadır.

Genellikle doğu-batı yönünde uzanan dağ sisteminin görüldüğü Susurluk Havzası sınırları içerisinde Marmara Bölgesi'nin en yüksek dağı olan Uludağ yer almaktadır. Susurluk Havzası'nın kapladığı alan genel olarak yarı kurak ve yarı nemli iklim özelliklerine sahiptir (SHTYP, 2024). Ramsar Anlaşması kapsamında yer alan Manyas ve Uluabat Göllerinin

havzadaki varlığı havzanın önemini vurgulamaktadır. Stratejik konumu, yeni su yapılarının inşası ve devam eden su yapıları projeleri göz önüne alındığında, Susurluk Havzası Türkiye için ekonomik ve sosyal açıdan büyük bir öneme sahiptir (Hırca & Eryılmaz Türkkın, 2024).



Şekil 5: Susurluk Havzası'nda Uzun Dönem Kayıtları Bulunan Gözlem İstasyonları

### 2.2.2. Kullanılan Veri

Bu tez çalışmasında veri temini, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) tekrarlanan veri talepleriyle sağlanmıştır. İlk veri talebinde sadece havza sınırları içerisinde bulunan istasyonların verileri MGM'den temin edilmiştir. Ancak temin edilen veriler, özellikle havzanın batı bölümünün uzun dönemli kayıtlara sahip istasyon sayısının yetersiz olduğunu ortaya koymuştur (Şekil 5). Havzanın yaklaşık %98'inin üç büyük il tarafından paylaşılması nedeniyle sonraki veri talebinde bu illerdeki tüm gözlem istasyonlarının verileri MGM'den talep edilmiştir. Ayrıca havzada işleme kapatılan bazı istasyonların verileri ise Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ)'den temin edilmiştir. Bu çerçevede ilgili kurumlardan temin edilen istasyonların tamamına ait yağış rasatları kayıp veri bakımından tablolaştırılmıştır. Tablo 3'te birçoğu Balıkesir ilinde bulunan istasyonların yağış rasatlarına ait kayıp veri özetleri yer almaktadır. Söz konusu tablo, hem istasyonların zaman içindeki işleme açılış ve kapanış durumları hakkında bilgi vermesi hem de her yıl için kayıp veri miktarının gözlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bursa ve Kütahya illerinde bulunan istasyonların yağış rasatlarının kayıp veri özetleri Ek 1'de verilmiştir.

**Tablo 3: Seçili İstasyonların Yağış Rasatlarının Kayıp Veri Özetleri**

No	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985		
1																																						
2																																						
3																																						
4	x	x																																				
5																																						
6																																						
7																																						
8																																						
9																																						
10																																						
11																																						
12																																						
13																																						
14																																						
15																																						
16																																						
17																																						
18																																						
19																																						
20																																						
21																																						
22																																						
23																																						
24	x	x																																				
25																																						
26																																						
27																																						
28																																						
29																																						
30																																						

x	Gözlemi Bulunan Tam Yıl	3	Balıkesir/Ayvalık/17175	10	Balıkesir/Burhaniye/17722	17	Balıkesir/Havran/19127	24	Bursa/17116
●	1 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	4	Balıkesir/Bandırma/17114	11	Balıkesir/Dursunbey/17700	18	Balıkesir/İvrindi/18432	25	Bursa/Büyükorhan/18382
●	2 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	5	Balıkesir/Bandırma Havalimanı/17115	12	Balıkesir/Edremit/17145	19	Balıkesir/Kepsut/18082	26	Bursa/Gemlik/17663
●	3 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	6	Balıkesir/Bigadiç/4228	13	Balıkesir/Erdek/17635	20	Balıkesir/Kepsut/Dalköy/18597	27	Bursa/Gürsu/18745
○	4-11 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	7	Balıkesir/Bigadiç/17698	14	Balıkesir/Erdek/Ekinlik Geçidi Işıklı Şamandıra/17382*	21	Balıkesir/Manyas/17699	28	Bursa/Harmancık/18383
1	Balıkesir /18433	8	Balıkesir/Bigadiç Aşağı Çamlı /17724	15	Balıkesir/Gönen/17674	22	Balıkesir/Savastepe/18434	29	Bursa/İnegöl/17984
2	Balıkesir/Akçaldede/17158	9	Balıkesir/Bigadiç Gediktepe/18907	16	Balıkesir Havalimanı/17150	23	Balıkesir/Susurluk/17705	30	Bursa/İznik/17661



### 2.2.2.1. Uyum parametreleri

Tablo 3’te görüldüğü üzere Susurluk Havzası’nda belirli bir süre faaliyet gösteren ancak daha sonra kapatılan istasyonlar bulunmaktadır. Havza genelinde özellikle 2005 yılından itibaren birçok yeni istasyon kurulmuştur. Bu geniş istasyon ağı içerisinde özellikle havzanın batı bölümünü temsil edebilmesi amacıyla bazı istasyonların bu tez çalışmasına dahil edilmesine karar verilmiştir. Havza ile uyumluluğu yüksek olan istasyonların seçilebilmesi için ilk kez bu çalışmada kullanılan ve “Uyum Parametreleri” olarak adlandırılan bazı kriterler dikkate alınarak istasyon seçimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan uyum parametreleri; zamansallık, konumsallık ve benzerliktir.

Zamansallık Kapsamında İnceleme: Zamansallık açısından yapılan incelemenin en önemli unsuru, seçilen istasyonların ortak bir çalışma periyoduna sahip olmasıdır. Bu çalışma kapsamında ortak çalışma periyodunun belirlenmesinde iklim referans dönemleri dikkate alınmıştır. İklim modelleme çalışmalarında genellikle 1961–1990, 1971–2000 ve 1981–2010 gibi iklim referans dönemlerinden elde edilen veriler iklim normları olarak kullanılmaktadır (Demircan, 2014). Bu kapsamda 1981-2010 yıllarını kapsayacak şekilde 1981-2021 yılları arasında veri kaydına sahip olan istasyonların çalışmaya dahil edilmesine karar verilmiştir.

2005 yılı, Bigadiç/4228 istasyonu için son gözlem yılı iken Bigadiç/17698 istasyonu için ilk gözlem yılıdır. Dolayısıyla her iki istasyon için 2005 yılı ortak gözlem yılıdır. Benzer durum Mustafakemalpaşa/699 istasyonu ile Mustafakemalpaşa/17675 istasyonu için de geçerlidir. 4228 ile 17698 istasyonlarının ve 699 ile 17675 istasyonlarının birleştirilmesi halinde 1981-2021 çalışma dönemine ait yağış serisi elde edilmektedir. Bu kapsamda her iki istasyonun aylık değerlerinin ortalamaları ve standart sapmaları arasındaki ilişkinin belirlenmesine karar verilmiştir. İstasyonlar arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan korelasyon yöntemi, verilerin normallik analizi sonucuna göre seçilmiştir.

Normallik varsayımının nihai değerlendirmesinde Jarque-Bera test sonucu dikkate alınsa da yaygın kullanımları nedeniyle çarpıklık ve basıklık katsayıları ile Shapiro-Wilk test sonuçları da incelenmiştir. Normallik test sonuçlarının  $p > 0,05$  olduğu, çarpıklık ve basıklık katsayılarının ise  $\pm 1,5$  arasında olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle istasyonların ortalama ve standart sapma değerleri arasındaki ilişkinin belirlenmesinde Pearson korelasyon katsayısı kullanılmıştır. Yukarıda belirtilen değerlendirme sürecine ek olarak söz konusu istasyonların konum bilgileri de dikkate alınmıştır. İstasyonlar arası korelasyon katsayıları ve konum bilgileri Tablo 4’te verilmiştir. Nihai değerlendirme sonucunda, Bigadiç için 4228 ile 17698 numaralı istasyonların kayıtları ve Mustafakemalpaşa için 699 ile 17675 numaralı istasyonların kayıtları

birleştirilmiştir. Böylece Bigadiç ve Mustafakemalpaşa istasyonları için 1981-2021 dönemini kapsayan veri kayıtları elde edilmiştir.

**Tablo 4:** Bigadiç ve Mustafakemalpaşa İstasyonlarının Konum Bilgileri ve Korelasyonları

İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Rakım	Pearson Korelasyonu	
					Ortalama	Standart Sapma
Bigadiç	4228	39.4000	28.1333	260 m	0,82	0,71
	17698	39.3953	28.1383	260 m		
Mustafakemalpaşa	699	40.0333	28.4000	40 m	0,90	0,71
	17675	40.0425	28.3995	60 m		

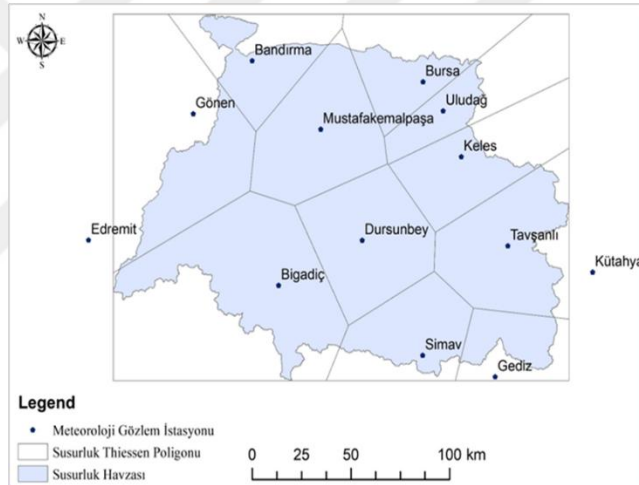
Zamansallık kapsamında yapılan değerlendirme sonucunda; Ayvalık (17175), Bandırma (17114), Bigadiç (4228-17698), Burhaniye (17722), Dursunbey (17700), Edremit (17145), Gediz (17750), Gönen (17674), Bursa (17116), Keles (17695), Mustafakemalpaşa (699-17675), Uludağ (17676), Kütahya (17155), Simav (17748) ve Tavşanlı (17704) istasyonlarının daha sonraki incelemeler için kullanılmasına karar verilmiştir.

Benzerlik Kapsamında Değerlendirme: Havzanın yıllık ortalama yağış yüksekliği ile havza dışındaki istasyonların yıllık ortalama yağış yüksekliklerinin benzerliği ve havza içindeki istasyonların kayıp veri oranları dikkate alınarak iki aşamalı bir değerlendirme süreci gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, 1981-2021 dönemi için havzanın ve havza dışındaki istasyonların yıllık toplam yağış yükseklikleri kullanılarak zaman serileri elde edilmiştir. Elde edilen zaman serilerinin; çarpıklık ve basıklık katsayıları, Shapiro-Wilk ve Jarque-Bera testleri ile normallik analizleri gerçekleştirilmiştir. Havzaya ve havza dışındaki istasyonlara ait verilerin (Gönen istasyonu hariç), çarpıklık ve basıklık katsayılarının  $\pm 1,5$  aralığında olması ve normallik test sonuçlarının  $p > 0,05$  olması nedeniyle normal dağılıma sahip oldukları kabul edilmiştir. Bu nedenle havza ile Gönen istasyonu arasındaki benzerliği (ilişkiyi) incelemek için Spearman'ın sıra korelasyon analizi, havza ile diğer istasyonlar arasındaki benzerliği incelemek için ise Pearson korelasyon analizi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda 1981-2021 dönemi için havzanın yıllık ortalama yağış yüksekliği ile havza dışındaki istasyonların yıllık ortalama yağış yüksekliği arasındaki ilişkinin en az orta düzeyde ve pozitif yönlü olduğu tespit edilmiştir.

Yağış ve sıcaklık verilerindeki eksik değerlerin kayıp veri atamaları ile tamamlanacağı çalışmada, havza dışından dahil edilecek istasyonların havza içindeki istasyonlardan daha yüksek kayıp veri oranına sahip olmamaları tercih edilmiştir. Bu nedenle 1981-2021 dönemi için havzada yer alan istasyonların aylık toplam yağış serilerindeki kayıp veri oranları belirlenmiştir. Buna göre Bandırma istasyonu %1,42; Bigadiç istasyonu %4,88; Bursa istasyonu %1,02; Dursunbey istasyonu %1,22; Keles istasyonu %0,81; Mustafakemalpaşa

istasyonu %2,24; Simav istasyonu %1,42; Tavşanlı istasyonu %1,22 ve Uludağ istasyonu %0,20 kayıp veri oranına sahiptir. Bu bağlamda çalışmada kayıp veri oranı için eşik değer %5 olarak belirlenmiştir. Aynı dönem için havza dışında yer alan istasyonların aylık toplam yağış serilerindeki kayıp veri oranları ise Ayvalık istasyonu %7,52; Burhaniye istasyonu %6,30; Edremit istasyonu %4,88; Gediz istasyonu %1,42; Gönen istasyonu %1,02 ve Kütahya istasyonu %0,61 şeklindedir. Bu nedenle Edremit, Gediz, Gönen ve Kütahya istasyonlarının konumsallık kapsamında değerlendirilmesine karar verilmiştir.

**Konumsallık Kapsamında Değerlendirme:** Havza dışı istasyonların havza sınırı dikkate alınarak çizilen Thiessen poligonunda yer alıp almamaları ve havzaya olan uzaklıkları etkili olmuştur (Şekil 6). Değerlendirme sonucunda Edremit (17145) ve Kütahya (17155) istasyonlarının Thiessen poligonunda yer almamasına rağmen havzaya yakın olmaları nedeniyle, Edremit istasyonunun ise havzanın batı bölümünün temsiliyeti için çalışmada kullanılmasına karar verilmiştir.



**Şekil 6:** Susurluk Havzası Thiessen Poligonu

Uyum parametreleri kapsamındaki nihai değerlendirme sonucunda çalışmada; Bandırma (17114), Bigadiç (4228-17698), Bursa (17116), Dursunbey (17700), Edremit (17145), Gediz (17750), Gönen (17674), Keles (17695), Kütahya (17155), Mustafakemalpaşa (699-17675), Simav (17748), Tavşanlı (17704) ve Uludağ (17676) istasyonlarının kullanılmasına karar verilmiştir. Sıcaklık verilerindeki kayıp veri oranı, yağış verilerindeki kayıp veri oranından daha düşük olduğu için istasyon seçiminde yağış verileri etkili olmuştur. Bu nedenle çalışmada uyum parametreleri sadece yağış verilerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Tablo 5’te birçoğu Balıkesir ilinde bulunan istasyonların sıcaklık rasatlarına ait kayıp veri özetleri verilmiştir. Bursa ve Kütahya illerinde bulunan istasyonların sıcaklık rasatlarının kayıp veri özetleri ise Ek 2’de verilmiştir.

**Tablo 5:** Seçili İstasyonlardaki Sıcaklık Rasatlarının Kayıp Veri Özetleri

No	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985		
1																																						
2									X	X	X	X																										
3									X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
5																																						
6																					X	X	X	X	X													
7																																						
8																																						
9																																						
10																																						
11																	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
12																																						
13																																						
14																																						
15																																						
16																																						
17																																						
18																																						
19																																						
20																																						
21																																						
22																																						
23																																						
24	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
25																																						
26																																						
27																																						
28																																						
29																																						
30																																						

	Gözlemi Bulunan Tam Yıl	3	Balıkesir/Ayvalık/17175	10	Balıkesir/Burhaniye/17722	17	Balıkesir/Havran/19127	24	Bursa/17116
	1 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	4	Balıkesir/Bandırma/17114	11	Balıkesir/Dursunbey/17700	18	Balıkesir/İvrindi/18432	25	Bursa/Büyükorhan/18382
	2 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	5	Balıkesir/Bandırma Havalimanı/17115	12	Balıkesir/Edremit/17145	19	Balıkesir/Kepsut/18082	26	Bursa/Gemlik/17663
	3 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	6	Balıkesir/Bigadiç/4228	13	Balıkesir/Erdek/17635	20	Balıkesir/Kepsut/Dalköy/18597	27	Bursa/Görsu/18745
	4-11 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	7	Balıkesir/Bigadiç/17698	14	Balıkesir/Erdek/Ekinlik Geçidi Işıklı Şamandıra/17382*	21	Balıkesir/Manyas/17699	28	Bursa/Harmancık/18383
1	Balıkesir /18433	8	Balıkesir/Bigadiç Aşağı Çamlı /17724	15	Balıkesir/Gönen/17674	22	Balıkesir/Savaştepe/18434	29	Bursa/İnegöl/17984
2	Balıkesir/Akçaldede/17158	9	Balıkesir/Bigadiç Gediktepe/18907	16	Balıkesir Havalimanı/17150	23	Balıkesir/Susurluk/17705	30	Bursa/İznik/17661



Havza dışı istasyonların seçimine ilişkin ilk kez bu çalışma kapsamında geliştirilen ve “Uyum Parametreleri” olarak adlandırılan bu yaklaşım sayesinde havza karakteristiğiyle uyumlu istasyonlar çalışmaya dahil edilmiştir. Bu sayede Susurluk Havzası ve çevresinde yer alan 13 meteoroloji gözlem istasyonu çalışmada kullanılmak üzere seçilmiştir. Seçilen meteoroloji gözlem istasyonlarının konum bilgileri Tablo 6’da verilmiştir.

**Tablo 6:** Seçilen Meteoroloji Gözlem İstasyonlarının Konum Bilgileri

Bulunduğu il	İstasyon adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Rakım (m)
Balıkesir	Bandırma	17114	40.3315	27.9965	63
	Bigadiç	17698	39.3953	28.1383	260
	Edremit	17145	39.5895	27.0192	21
	Gönen	17674	40.1135	27.6426	37
Bursa	Bursa	17116	40.2308	29.0133	100
	Dursunbey	17700	39.5778	28.6322	637
	Keles	17695	39.9150	29.2313	1063
	Mustafakemalpaşa	17675	40.0425	28.3995	60
	Uludağ	17676	40.1075	29.1290	1877
Kütahya	Gediz	17750	38.9947	29.4003	736
	Kütahya	17155	39.4171	29.9891	969
	Simav	17748	39.1252	28.9919	809
	Tavşanlı	17704	39.5384	29.4941	833

Tablo 7’de, Balıkesir, Bursa ve Kütahya illerindeki meteoroloji gözlem istasyonlarının aylık toplam yağış verilerinin ortalamaları, standart sapmaları, çarpıklık ve değişim katsayıları verilmiştir. Bu veriler, her istasyonun yağış düzenindeki varyasyonunu ve dağılımını değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Çarpıklık katsayısı verilerin dağılımının simetrikliğini, değişim katsayısı ise verilerin relatif değişkenliğini göstermektedir. Tablo incelendiğinde çarpıklık katsayısı değerlerinin 1,06 ila 4,90 arasında değiştiği görülmektedir. Özellikle Bursa istasyonundaki yüksek çarpıklık değerleri yağışların çoğunlukla düşük şiddetli olduğunu ancak çok şiddetli yağışların nadiren gözlemlendiğini göstermektedir. Ayrıca Uludağ istasyonu, Bursa istasyonunun yaklaşık iki katı kadar aylık toplam yağış ortalamasına sahiptir. Çalışma süresinde, Uludağ istasyonundaki yıllık toplam yağış 2258 mm’ye ve Bursa istasyonunda ise 1290,4 mm’ye ulaşmaktadır.

**Tablo 7:** Meteoroloji Gözlem İstasyonlarının Tanımlayıcı İstatistik Bilgileri

Bulunduğu il	İstasyon Adı	İstasyon No	Ortalama (mm)	Standart Sapma	Çarpıklık Katsayısı	Değişim Katsayısı
Balıkesir	Bandırma	17114	58,67	55,52	1,57	0,95
	Bigadiç	17698	43,63	39,56	1,08	0,91
	Edremit	17145	60,44	64,36	1,91	1,06
	Gönen	17674	56,05	51,22	1,43	0,91
Bursa	Bursa	17116	58,02	55,04	4,90	0,95
	Dursunbey	17700	45,56	38,48	1,16	0,84
	Keles	17695	59,52	47,53	1,06	0,80
	Mustafakemalpaşa	17675	58,79	49,22	1,14	0,84
	Uludağ	17676	115,83	103,28	2,92	0,89
Kütahya	Gediz	17750	46,02	40,05	1,20	0,87
	Kütahya	17155	45,29	35,45	1,30	0,78
	Simav	17748	59,18	60,14	2,05	1,02
	Tavşanlı	17704	40,55	30,53	1,15	0,75

### 2.3. ANALİZLERDE KULLANILAN YAZILIMLAR

Bu tez çalışmasında kayıp veri, kuraklık ve trend analizlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan yazılımlar Tablo 8’de sunulmuştur.

**Tablo 8:** Çalışmada Kullanılan Yazılım Bilgileri

Konu	Yazılım Bilgisi
Uyum parametreleri (konumsallık değerlendirme)	ArcGIS desktop 10.8
Tanımlayıcı istatistik bilgileri	SPSS Statistic V22.0
Normallik analizleri	SPSS Statistic V22.0 R 4.2.3- R Studio
Kayıp veri mekanizması (Little’s TROK testi)	SPSS Statistic V22.0
Korelasyon analizi	SPSS Statistic V22.0
Veri dönüştürme (transformasyon)	SPSS Statistic V22.0
Kayıp veri atama	SPSS Statistic V22.0 Python
Hata metrikleri	Microsoft Office 365 (Excel)
Homojenlik testleri	Mathematica V11.2
En uygun dağılım fonksiyonu (Uygunluk testi)	EasyFit 5.5
Kuraklık indeksleri (SYİ, GYİ)	Matlab R2021a
Kuraklık indeksi (SYEİ)	R 4.2.3- R Studio

Konu	Yazılım Bilgisi
Gidişler analizi	Matlab R2021a
Trend analizi (MK, MMK)	Mathematica V11.2 Python
Trend analizi (YTA, YTAT)	R 4.2.3- R Studio
Trend analizi (YTA grafik çizimi)	Matlab R2021a
Kuraklık tehlike haritaları	ArcGIS desktop 10.8

## 2.4. KAYIP VERİ ANALİZLERİ

Bu tez çalışmasında en uygun kayıp veri atama yönteminin belirlenebilmesi amacıyla gerçek veri setlerinin kayıp veri miktarı, kayıp veri deseni ve kayıp veri mekanizması dikkate alınarak simüle veri setleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu simüle veri setlerine kayıp veri atama yöntemleri uygulanmıştır. Değerlendirme kriterlerinin kullanılmasıyla en uygun kayıp veri atama yöntemi belirlenmiştir. Seçilen kayıp veri atama yöntemi gerçek veri setlerine uygulanarak eksiksiz veri setleri elde edilmiştir.

### 2.4.1. Kayıp Veri Atama Yöntemleri

Gelişen veri işleme teknolojileri ve geliştirilen sayısal yöntemler sayesinde zaman içinde pek çok kayıp veri atama yöntemi önerilmiştir. Bu çalışmada kayıp veri atama yöntemleri; basit atama teknikleri, makine öğrenmesi tekniği (kNN) ve model tabanlı atama tekniği (BM) olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır (Şekil 2). Kayıp veri atama yöntemlerinin performansını, tamamlanacak istasyon (hedef istasyon) ile tamamlayacak olan istasyonun (anahtar istasyon) ilişki gücü ve istasyonların veri kalitesi doğrudan etkilemektedir. Hedef istasyonda ve anahtar istasyonda aynı anda pek çok kayıp verinin bulunması istasyonlar arasındaki ilişkinin modellenmesini zorlaştırmaktadır. Bu gibi durumlarda istasyonun kendi kayıtlarını kullanan sütun bazlı atama yöntemlerinin veya aynı anda kayıp veri bulunmasına olanak tanıyan atama yöntemlerinin kayıp veri analizlerinde kullanılması tercih edilmektedir.

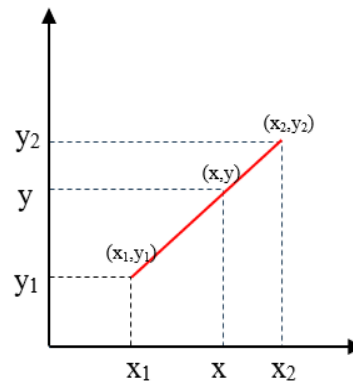
#### 2.4.1.1. Basit atama teknikleri

Basit atama teknikleri uygulama kolaylıkları nedeniyle kullanılan ve çoğu zaman gelişmiş atama yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak ele alınan temel yöntemlerdir. Bu yöntemler mevcut verilerden türetilen nicel bir özelliği kullanarak kayıp değerleri ikame etmektedir. Mod, ortalama veya medyan gibi çeşitli atama yöntemleri basit bir stratejiye sahiptir. Bu çalışma kapsamında literatürde yaygın olarak kullanılan aşağıdaki basit atama teknikleri kullanılmıştır:

Aritmetik Ortalama: Aritmetik ortalama ile kayıp veri atama yönteminde komşu istasyonların kayıtları veya istasyonun kendi kayıtları kullanılmaktadır. Komşu istasyonlara ait verilerin kullanılması durumunda bu istasyonların normal yıllık yağış miktarının hedef istasyonun normal yıllık yağışının %10'u aralığında olması gerekmektedir (Egigu, 2020). Bu koşulun sağlanamaması halinde, istasyonların kendi kayıtları veya normal oran yöntemi kullanılabilir (Hırca & Eryılmaz Türkkkan, 2024). Bu çalışmada, istasyonların birçoğunda eş zamanlı kayıp değer bulunmaktadır. Bu nedenle aritmetik ortalama yönteminde komşu istasyonların verileri kullanılmayarak istasyonun kendi gözlem döneminde hesaplanan ortalaması kayıp değer yerine atanarak tek değişkenli tekli atama yapılmıştır. Bu durumda veri setinin genel ortalaması değişmese de varyansı bir miktar azalacağından kayıp veri yerine hemen öncesi ve sonrasındaki iki değer ortalaması da atanmıştır. Bu şekilde hem daha yüksek bir varyans elde edilmiş hem de veri setindeki genel dağılımın doğal yapısı nispeten korunmuştur. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında aritmetik ortalama ile atama, seri ortalaması ve yakın noktalar ortalaması olmak üzere iki şekilde ele alınmıştır.

Yakın Noktaların Medyan Ataması: Yağış serilerindeki anormal yağış miktarları “aykırı değer” olarak ifade edilmektedir. Aykırı değerler veri setinin genel eğilimlerini ve dağılımını çarpıtabilmekte ve istatistiksel testlerin geçerliliğini etkileyebilmektedir. Bu tez çalışmasında medyan atamasında kayıp veriden hemen önceki ve sonraki ikişer değer medyanı kullanılmıştır. Medyan, ortanca veriyi ifade ettiği için aykırı değerlerden daha az etkilenmektedir. Bu durum medyanın en önemli avantajlarından biridir.

Lineer İnterpolasyon Ataması: Kayıp veri, kendisinden hemen önceki ve hemen sonraki değerler arasında varsayılan lineer (doğrusal) ilişkiye dayanarak tahmin edilmektedir (Şekil 7).



**Şekil 7:** Lineer İnterpolasyonun Şematik Diyagramı

Gözlemlenen değerler arasında lineer bir ilişki olduğunda denklem (8) yazılabilir. Bu denklem bilinmeyen y değeri için çözüldüğünde denklem (9) elde edilmektedir.

$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (8)$$

$$y = y_1 + (x - x_1) \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (9)$$

#### 2.4.1.2. K en yakın komşu (kNN) algoritması

K en yakın komşu (kNN) algoritması, veriler üzerinde herhangi bir varsayımda bulunmayan parametrik olmayan bir makine öğrenmesi tekniğidir. Seçilen bir mesafe fonksiyonuna göre  $k$  adet en yakın komşunun değerlerini kullanarak kayıp veri tahmini yapmaktadır. Yöntemin esnekliği, farklı mesafe fonksiyonlarının seçilmesi ve komşu sayısının değiştirilmesiyle tahmin sonuçlarını etkilemesinden kaynaklanmaktadır (Zhou, 2024). Kullanılacak mesafe ölçütleri, veri setindeki değişkenlerin kategorik veya nümerik olması gibi özniteliklerine bağlı olarak değişmektedir (Görmez, 2021). Nümerik veri noktalarının mesafesini hesaplamak için kullanılan en yaygın mesafe ölçüsü Öklid mesafesi olup denklem (10)'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Metin, 2021).

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j - y_j)^2} \quad (10)$$

Hot-Deck: Kayıp verinin yerine, kayıp verinin bulunduğu veri matrisindeki satıra en çok benzeyen satırdaki değer atanmasıdır. Hot-Deck atfının en önemli dezavantajı, “benzerlik” kavramının tanımlanmasındaki güçlüktür. Bu nedenle Hot-Deck prosedürü kayıp veriler için standart bir yol sağlamamaktadır. Nümerik değişkenlerin ele alındığı çalışmalarda benzerlik tahmini yapılırken genellikle kNN algoritması kullanılmaktadır.  $k=1$  yani en yakın komşunun değeri dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada kNN algoritması ile kayıp veri tahmininde Python programlama dili ile Scikit-Learn (Scikit-Learn, 2023) ve Pandas (Pandas, 2023) kütüphaneleri kullanılmıştır.

#### 2.4.1.3. Beklenti maksimizasyonu (BM) algoritması

Beklenti Maksimizasyonu (BM) algoritması, Dempster vd. (1977) tarafından kayıp veriler üzerinden olabilirlik tahminlerinin hesaplanması amacıyla önerilmiştir. BM algoritması, çeşitli kayıp veri problemlerinin çözümünde istatistiksel metodolojiyi algoritmik uygulamalar ile birleştirmektedir (Firat vd., 2012). Nümerik veri setlerindeki kayıp değerlerin ele alınmasında iteratif bir yöntem olan BM algoritması “atama yap, tahmin et, yakınsaya kadar yinele” yaklaşımını kullanmaktadır (Emmanuel vd., 2021). Algoritma, kayıp veri ile veri modelinin bilinmeyen parametreleri arasındaki ilişkiyi artırmaktadır (Koç, 2019).

BM algoritmasında her iterasyon, koşullu beklenti adımı (B-adımı) ve maksimizasyon adımı (M-adımı) olmak üzere iki adımdan oluşmaktadır. B-adımında, gözlenen verilere ve mevcut model parametrelerinin tahminlerine dayanarak kayıp verilerin koşullu beklentileri hesaplanmaktadır. M-adımında, B adımından elde edilen tam verinin log olabilirlik fonksiyonu maksimize edilerek model parametreleri güncellenmektedir. Bu döngü kestirilen parametrelerdeki değişimler yakınsayana kadar devam etmektedir (Schneider, 2001). BM algoritmasındaki iteratif işlemler sayesinde kayıp veri içeren nicel değişkenlerin ortalamaları, kovaryans matrisi ve korelasyonu tahmin edilmektedir (Koç, 2019).

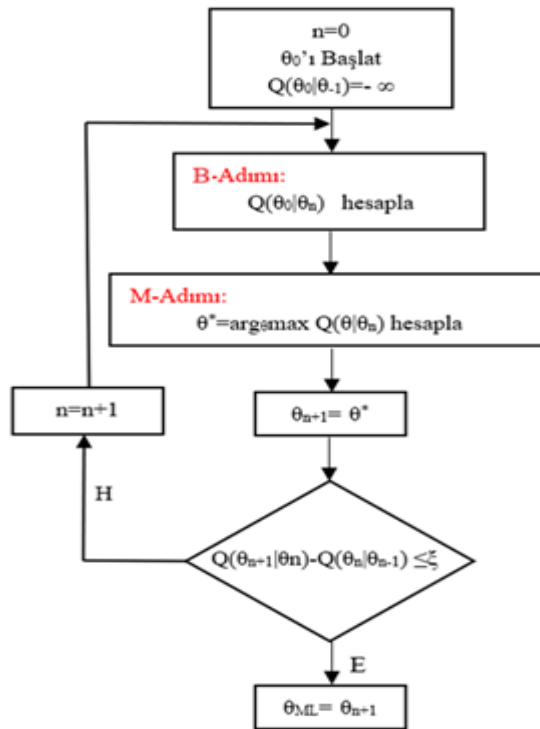
Gözlenen serilerdeki kayıp verilerin koşullu beklentileri ve B-adımındaki model parametrelerinin tahminleri denklem (11)'de verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$Q(\theta_0 | \theta_n) = E_{z|x, \theta_n} [\log L(\theta; x, z)] \quad (11)$$

Burada,  $Q$  olasılık fonksiyonunu,  $\theta$  parametre vektörünü,  $\theta_n$  model parametrelerinin tahminini,  $x$  gözlenen verileri ve  $z$  kayıp verileri temsil etmektedir. M-adımında ise, model parametreleri, B-adımından elde edilen tam veriye ait logaritmik olasılık fonksiyonunu maksimize etmek amacıyla denklem (12)'yi kullanmaktadır.

$$\theta^* = \arg_{\theta} \max Q(\theta | \theta_n) \quad (12)$$

BM algoritmasının matematiksel arka planına ilişkin detaylı bilgi için Schafer (1999)'ın çalışmasından yararlanılabilir. BM algoritmasına ait akış şeması Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8: BM Algoritması için Akış Şeması (Firat vd., 2011)

Bu tez çalışmasında, anahtar istasyon seçiminin ve normallik varsayımının BM algoritmasının performansı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla farklı senaryolar oluşturulmuştur. Senaryo oluşturma aşamaları Bölüm 3.1.2.'de ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

#### 2.4.2. Kayıp Veri Tahmini için Değerlendirme Kriterleri

Tahmin doğruluğunu değerlendirmek için Ortalama Mutlak Hata (OMH), Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (HKOK) ve Ortalama Yanlılık Hatası (OYH) değerlendirme kriterleri kullanılmıştır. HKOK ve OMH, gözlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki tutarsızlığı ölçmekte iken, OYH ise tahmindeki ortalama yanlılıkları belirlemektedir. Değişkende pozitif yanlılığın varlığı verilerin gerçek değerinden fazla tahmin edildiğini göstermektedir. Değerlendirme kriterleri (13-15) numaralı denklemlerde verilmiştir.

$$HKOK = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i^{\text{gözlemlenen}} - x_i^{\text{tahmini}})^2}{n}} \quad (13)$$

HKOK bireysel hataların karesini aldığı için daha büyük hatalara daha fazla vurgu yaparken, OMH hata büyüklüğüyle doğrusal bir ilişki sürdürmektedir.

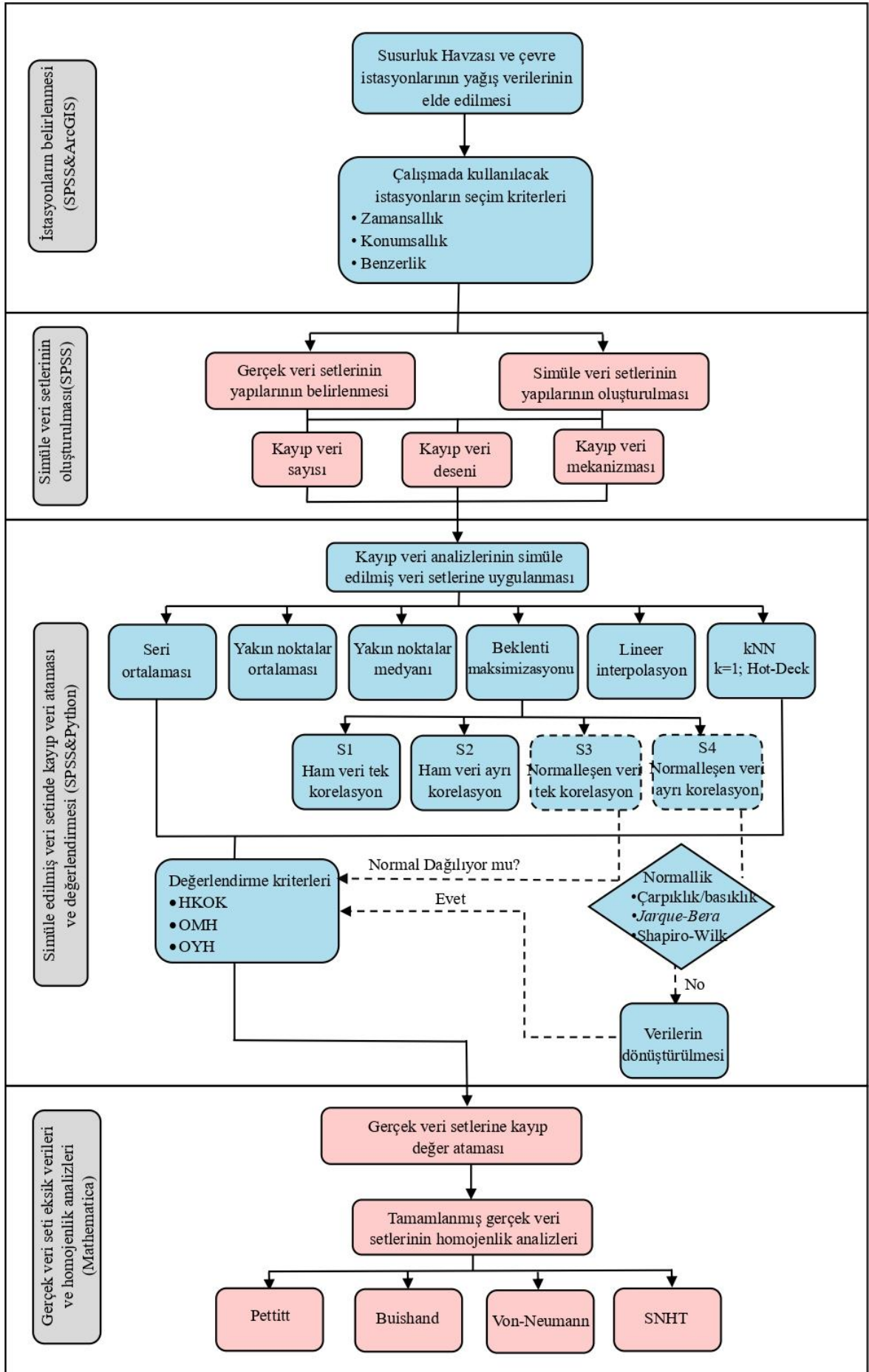
$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i^{\text{gözlemlenen}} - x_i^{\text{tahmini}}| \quad (14)$$

OYH, özellikle modeldeki ortalama sapmayı tahmin etmek ve model sapmasının düzeltilmesi için herhangi bir adım atılması gerekip gerekmediğine karar vermek için kullanılmaktadır. Bu nedenle genellikle hatanın bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır (Koç, 2019).

$$OYH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i^{\text{tahmini}} - x_i^{\text{gözlemlenen}}) \quad (15)$$

Burada; n veri sayısını,  $x_i^{\text{gözlemlenen}}$  i. gözlenen değeri,  $x_i^{\text{tahmini}}$  i. tahmin değerini ifade etmektedir.

Yukarıda belirtilen istatistiksel değerlendirme kriterleri simüle veri setlerinde en uygun atama yönteminin belirlenmesinde etkili olmuştur. Homojenlik testleri ise en uygun kayıp veri atama yönteminin gerçek veri setlerine uygulanması sonucunda elde edilen eksiksiz veri setlerinin tutarlılığının ve homojenliğinin değerlendirilmesinde etkili olmuştur. Bu çalışma kapsamında hidroloji literatürü için geliştirilen kayıp veri metodolojisinin akış şeması Şekil 9'da sunulmuştur.



Şekil 9: Çalışmada Geliştirilen Kayıp Veri Metodolojisinin Akış Şeması

## 2.5. KURAKLIK ANALİZLERİ

Bu bölümde kuraklığın izlenmesi, değerlendirilmesi ve özelliklerinin incelenmesi amacıyla yapılan kuraklık analizlerinde izlenen adımlar ve kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

### 2.5.1. Homojenlik Testleri

Kuraklık indeksleri kuraklık koşullarının tanımlanmasında kullanılmaktadır. Kuraklık indekslerinde homojen olmayan hidrometeorolojik serilerin kullanılması iklimin yanlış yorumlanmasına neden olmaktadır. Gözlem istasyonunun konum değişikliği, çevresel etkilere maruz kalması ve cihaz ayar hataları gibi çeşitli faktörler uzun vadeli iklim zaman serilerinin homojenliğini etkileyebilmektedir (Peterson vd. 1998). Bu bağlamda homojenlik testleri, verilerin türdeşliğinin ve tutarlılığının belirlenmesinde kullanılan önemli bir araçtır (Yasa vd., 2023). Homojenlik testleri sonucunda homojen olmadığı belirlenen seriler ya düzeltilmeli ya da sonraki analizlerde kullanılmamalıdır.

Homojen olmayan zaman serisine sahip bir istasyonda, komşu istasyondaki verilerin ortalamasına göre ani sıçramalar meydana gelmektedir (Katipoğlu, 2020). İklim bilimcileri tarafından verilerin homojenliğini değerlendirmek için çok sayıda yöntem geliştirilmiş ve kullanılmıştır (Staudt vd., 2007; Modarres, 2008). Bu tez çalışmasında zaman serilerinin homojenliğinin değerlendirilmesinde Wijngaard vd. (2003) tarafından önerilen iki aşamalı bir yaklaşım kullanılmıştır. Birinci aşamada, Pettitt Testi (Pettitt, 1979), Buishand Aralık Testi (Buishand, 1982), Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT) (Alexandersson, 1986) ve Von Neumann Oran Testi (Von Neumann, 1941) kullanılarak %5 anlamlılık düzeyinde sıfır hipotezi ( $H_0$ ) kontrol edilmiştir.

İkinci aşamada ise  $H_0$  hipotezini reddeden test sayısına bağlı olarak homojenlik sınıflandırılmıştır. Bu sınıflar:

- Sınıf 1: Homojen, dört testten en fazla bir tanesinin  $H_0$  hipotezini reddetmesidir.
- Sınıf 2: Şüpheli, dört testten iki tanesinin  $H_0$  hipotezini reddetmesidir.
- Sınıf 3: Aşırı Şüpheli, dört testten en az üç tanesinin  $H_0$  hipotezini reddetmesidir.

Bu tez çalışmasında homojenlik testleri yıllık toplam yağış verileri ve yıllık ortalama sıcaklık verileri üzerinden yapılmış olup, test sonuçları %95 güven seviyesinde değerlendirilmiştir. Homojenlik test sonucu Sınıf 3 (aşırı şüpheli) olduğu belirlenen zaman serilerindeki ani değişim veya tutarsızlık nedenleri araştırılmıştır. İklimsel değişiklikten kaynaklanmayan kırılmalar için zaman serilerine düzeltme işlemi yapılmıştır.

### 2.5.1.1. Pettitt testi

Pettitt (1979) tarafından serideki homojenliğin ve değişim noktasının belirlenmesi amacıyla geliştirilen parametrik olmayan bir istatistiksel testtir.  $Y_i$  her bir yıla ait gözlem değerleri olmak üzere:

$Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  değerlerinin  $r_1, r_2, \dots, r_n$  şeklinde sıralanmasıyla test istatistiği ( $X_k$ ) denklem (16) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1) \quad k=1, 2, \dots, n \quad (16)$$

Eğer seride “E” yılında bir değişim (kırılma) meydana gelmişse  $X_k$  mutlak maksimum değerini almaktadır.  $X_E$ 'nin Tablo 9'da verilen kritik değeri aşması durumunda  $H_0$  hipotezi reddedilmektedir.

$$X_E = \max_{1 \leq k \leq n} |X_k| \quad (17)$$

### 2.5.1.2. Buishand aralık testi

Buishand (1982) tarafından geliştirilen bu testte, serinin homojenlik durumunun belirlenmesinin yanı sıra değişim noktası da tespit edilmektedir. Düzeltme oranı olarak adlandırılan R denklem (18) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$R = (\max S_k^* - \min S_k^*) / S \quad (18)$$

Burada S standart sapmayı,  $S_k^*$  ve  $S_k$  ise kısmi toplamları ifade etmektedir. Kısmi toplamlar aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$S_0^* = 0 \text{ ve } S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad k=1, 2, \dots, n \quad (19)$$

Burada  $Y_i$  her bir yıl için gözlem değerlerini,  $\bar{Y}$  ise gözlem değerlerinin ortalamasını göstermektedir. Serinin homojen olması durumunda  $Y_i$  değerlerinin ortalamalarına göre sistematik sapmaları olmayacağından  $S_k^* \geq 0$  olmaktadır (Wijngaard vd., 2003). Buishand aralık testinin test istatistiği olan (Q),  $R/\sqrt{n}$  işlemi ile hesaplanmaktadır. Test istatistiği Q'nun Tablo 9'da verilen kritik değeri aşması durumunda  $H_0$  hipotezi reddedilmektedir.

### 2.5.1.3. Standart normal homojenlik testi (SNHT)

Alexandersson (1986) tarafından geliştirilen bu testte serideki değişim, “k” noktası referans alınarak serinin ikiye bölünmesiyle belirlenmektedir.  $Y_i$  her bir yıl için gözlem değerlerini,  $\bar{Y}$  gözlem değerlerinin ortalamasını ve s standart sapma olmak üzere T(k) denklem (20) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$T_k = kZ_1^2 + (n-k)Z_2^2 \quad k=1, 2, \dots, n \quad (20)$$

$$\text{Burada } Z_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{(Y_i - \bar{Y})}{s} \quad \text{ve} \quad Z_2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=k+1}^n \frac{(Y_i - \bar{Y})}{s}, \text{ dir.}$$

Seride “k” yılında bir değişim meydana gelmesi durumunda T(k) maksimum değerini almaktadır. Bu durumda test istatistiği T<sub>0</sub>

$$T_0 = \text{maks}_{1 \leq k \leq n} T_k \quad (21)$$

olarak tanımlanmaktadır. T<sub>0</sub> test istatistiğinin Tablo 9’da verilen kritik değeri aşması durumunda H<sub>0</sub> hipotezi reddedilmektedir.

#### 2.5.1.4. Von Neumann oran testi

Von Neumann (1941) tarafından geliştirilen bu yöntemde test istatistiği N<sub>VN</sub>, ardışık farkların kareleri toplamının varyans değerine oranı olarak ifade edilmekte olup, denklem (22)’de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (Y_i - Y_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (22)$$

Von-Neumann Testi’nin Buishand (1981) tarafından önerilen kritik değerleri Tablo 9’da verilmektedir. N<sub>VN</sub> değerinin tablodaki kritik değeri aşması durumunda H<sub>0</sub> hipotezi kabul edilmektedir.

**Tablo 9:** Homojenlik Testleri için Veri Sayısına Bağlı Kritik Değerler

Yöntem	GA*	20	30	40	50	70	100
Pettitt (X <sub>E</sub> )	%99	71	133	208	293	488	841
	%95	57	107	167	235	393	677
Buishand (Q)	%99	1,60	1,70	1,74	1,78	1,81	1,86
	%95	1,43	1,50	1,53	1,55	1,59	1,62
SNHT (T <sub>0</sub> )	%99	9,56	10,45	11,01	11,38	11,89	12,32
	%95	6,95	7,65	8,10	8,45	8,80	9,15
Von Neumann (N <sub>VN</sub> )	%99	1,04	1,20	1,29	1,36	1,45	1,54
	%95	1,30	1,42	1,49	1,54	1,61	1,67

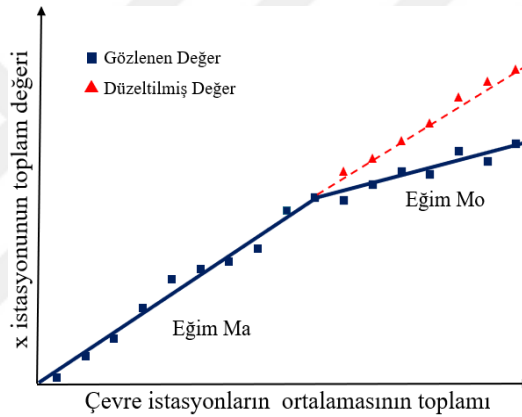
\*GA; güven aralığıdır.

#### 2.5.1.5. Çift toplam eğri yöntemi

Çift toplam eğri yöntemi, tek bir istasyondan alınan verileri bölgedeki diğer istasyonlardan alınan verilerle karşılaştırarak hidrolojik veri türlerinin tutarlılığını değerlendirmek ve homojenliği bozulan tutarsız verileri düzeltmek için kullanılmaktadır. Bir

istasyonun kümülatif verileri ile ilişkili olduğu başka bir istasyonun kümülatif verileri karşılaştırıldığında değişkenler arasındaki ilişki sabit bir oranda kaldığı sürece ortaya çıkan eğri düz bir çizgi şeklinde olmaktadır. İstasyonlar arasındaki ilişkinin değişmesi sonucunda çift toplam eğrisinde kırılma meydana gelmektedir. Bu değişiklikler veri toplama yöntemindeki değişiklikler, istasyonun konum değiştirmesi gibi istasyonlar arasındaki ilişkiyi etkileyen fiziksel faktörlerden kaynaklanabilmektedir.

İstasyonlar arasındaki ilişkinin değişmesinden kaynaklanan kırılma (değişim) çift toplam eğri grafiği üzerinde belirgin bir şekilde görülmektedir (Şekil 10). Bu durum hem kırılma öncesi hem de kırılma sonrası dönemlere ait verilerin hatalı olduğu anlamına gelmemektedir. Grafik sadece iki dönem arasında tutarsızlık olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle verilerdeki tutarsızlığı düzeltmek için ya kırılma noktasından önceki eğimin ya da kırılma noktasından sonraki eğimin düzeltilmesi gerekmektedir.



**Şekil 10:** Çift Toplam Eğri Yöntemi

Düzeltilmesi gereken periyodun belirlenmesinde homojenliğin bozulma nedeninin araştırılması oldukça önemlidir. Kırılmadan sonraki eğim değişikliği tanımlanan sistematik bir hatadan kaynaklanıyorsa, kırılmadan sonraki verilerin düzeltilmesi gerekmektedir. Öte yandan, değişiklik geçmişte bir meteoroloji gözlem istasyonunun yeniden konumlandırılmasından kaynaklanıyorsa kırılma noktasından önceki verilerin, tüm veri kümesinde mevcut istasyon konumuyla tutarlılığı sağlamak için düzeltilmesi gerekmektedir (Katipoğlu, 2020). Normal şartlar altında, meteorolojik bir değişiklik çevredeki tüm istasyonları aynı anda etkileyeceğinden eğimde herhangi bir değişiklik meydana gelmeyecektir. Çift toplam eğri yönteminin uygulama prosedürü şu adımları içermektedir: (i) Verilerin kümülatif toplamalarının hesaplanması, (ii) eğrinin çizimi ve kırılma noktasının belirlenmesi, (iii) kırılmadan önceki ya da sonraki döneme ait verilerin düzeltilmesidir. Çift toplam eğri yönteminde kırılmanın tespit edilmesi durumunda homojenliğin bozulmasına neden olan durum belirlenmeli ve hatalı değerler denklem (23) kullanılarak düzeltilmelidir.

$$P_{\text{düzeltlen}} = \frac{M_a}{M_0} P_{\text{gözlenen}} \quad (23)$$

Burada  $P_{\text{gözlenen}}$  gözlenen yağış değerlerini ve  $M_0$  düzeltme yapılan kısmın eğimini göstermektedir.

## 2.5.2. Meteorolojik Kuraklık Analizleri

Kuraklık, genellikle yağış eksikliğinden kaynaklanan ve yavaş gelişen klimatolojik bir olgudur. Kuraklık olayının karmaşık altyapısı meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik süreçlerdeki etkisi farklı kuraklık indekslerinin geliştirilip önerilmesiyle birçok kez araştırılmıştır. Ancak yeryüzünün klimatolojik ve jeomorfolojik açıdan zenginliği nedeniyle kuraklık indeksleri uygulandıkları her bölgede aynı performansı göstermemektedir. Kuraklık indeksleri, kuraklık olaylarının şiddeti, yeri, zamanlaması ve süresi hakkında nicel değerlendirme sağlamak için kullanılmaktadır.

Meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık türlerinin değerlendirilmesinde farklı kuraklık indeksleri kullanılabilirdiği gibi SYİ'nin 1-3 aylık değerlendirmelerinde meteorolojik kuraklığın, 6-9 aylık değerlendirmelerinde tarımsal kuraklığın ve 12-24 aylık değerlendirmelerinde ise hidrolojik kuraklığın temsil edilebilir olduğunu belirten çalışmalar bulunmaktadır (Vicente-Serrano & López-Moreno, 2005; Efe vd., 2012; Çavuş, 2019; Akbulut ve Mentеше, 2022). Bu tez çalışması kapsamında ulusal ve uluslararası literatürde yer alan ve birbirinden farklı özelliklere sahip SYİ, SYEİ, ZSİ ve GYİ kuraklık indeksleri 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar grafiksel ve istatistiksel yöntemler aracılığıyla değerlendirilmiştir.

### 2.5.2.1. Standart yağış indeksi (SYİ)

Birçok kuraklık indeksi geliştirilmiş olmasına rağmen literatürde en yaygın kullanılan McKee vd. (1993) tarafından önerilen Standart Yağış İndeksi (SYİ)'dir. SYİ, yağış verilerinin orijinal olasılık dağılım fonksiyonlarının (ODF) normal (Gauss) ODF'ye dönüştürülmesine dayanmaktadır. DMÖ, 2009 yılında kuraklık koşullarının izlenmesinde ana meteorolojik kuraklık indeksi olarak SYİ'yi önermiştir. Hayes vd. (1999), SYİ'nin ek hidrometeorolojik değişkenlere ihtiyaç duymadan sadece yağış verilerini kullanması, basit hesaplama prosedürüne sahip olması ve farklı zaman ölçeklerine uygulanabilirliği sayesinde avantajlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu avantajları nedeniyle SYİ tüm dünyada yaygın olarak kullanılmıştır. SYİ tüm iklim rejimleri için uygulanabildiğinden farklı iklimler için hesaplanan SYİ değerleri karşılaştırılabilmektedir (Katipoğlu, 2020).

Literatürde yer alan SYİ çalışmalarının birçoğunda yağış verileri tipik olarak iki parametrelili Gamma ODF'ye uydurulmaktadır. Gamma ODF, özellikle nemli bölgelerdeki aylık yağış verileri için oldukça uygun olmakla birlikte yarı kurak ve kurak bölgelerdeki veri serilerinde sıfır yağış değerlerinin görülmesi nedeniyle uygun olmayabilmektedir (Şen & Almazroui, 2021). Bu doğrultuda, Guenang ve Kamga (2014) yağış verilerine önce farklı ODF'lerin uydurulmasını akabinde uyum iyiliği istatistiği temelinde uygun fonksiyonların seçilmesini önermişlerdir. SYİ hesaplama prosedüründeki temel uygulama adımları aşağıda kısaca açıklanmıştır:

1. Adım-Yağış zaman serilerinin elde edilmesi:

Çalışmanın amacına uygun olarak farklı zaman ölçekleri için aylık toplam yağış veya aylık ortalama yağış serileri kullanılarak yağış zaman serileri elde edilmektedir.

2. Adım-Uygun ODF'nin seçilmesi:

SYİ'nin orijinal prosedüründe 2 parametrelili Gamma ODF kullanılmaktadır. Ancak yağışların farklı karakteristik yapıları nedeniyle farklı zaman ölçeklerindeki yağış serileri için en uygun ODF'ler, uyum iyiliği testlerine göre seçilmektedir.

3. Adım-Olasılıkların hesaplanması:

Farklı zaman ölçeklerindeki yağış zaman serilerine en uygun olan ODF'lerin uydurulmasının ardından, her veri değeri için olasılıklar hesaplanmaktadır.

4. Adım-SYİ değerlerinin elde edilmesi:

Hesaplanan olasılık değerlerinin standart normal (Gauss) ODF varyantına dönüştürülmesidir. Bu adımda ortalaması 0 ve standart sapması 1 olan SYİ değerleri elde edilmektedir.

SYİ'nin orijinal ODF'si için kuraklık indeksi aşağıda açıklandığı gibi hesaplanmaktadır.

Gamma dağılımının yağış serisini en iyi temsil eden dağılım olduğu ilk kez Thom (1958) tarafından ortaya konulmuştur. Gamma dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu denklem (24)'te gösterildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad x > 0 \text{ için} \quad (24)$$

Burada  $\alpha$  şekil parametresini,  $\beta$  ölçek parametresini,  $x$  yağış miktarını ve  $\Gamma(\alpha)$  Gamma fonksiyonunu ifade etmektedir. SYİ'nin parametre tahminleri maksimum benzerlik yöntemi sonucunda;

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \text{ ve } \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (25)$$

olarak elde edilmektedir. Bu eşitliklerde,

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (26)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada  $\bar{x}$  ortalama yağış değerini ve n toplam gözlem sayısını ifade etmektedir. Bu parametreler daha sonra kümülatif olasılık yoğunluk fonksiyonu hesabında denklem (27)'de kullanılmaktadır:

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (27)$$

Gamma dağılımı  $x=0$  için tanımsız olduğundan yağış serisinde sıfır değerlerinin bulunması durumunda kümülatif olasılık yoğunluk fonksiyonu denklem (28) olarak güncellenmektedir:

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (28)$$

Burada q, yağışın olmama durumunu ifade etmektedir. Eğer seride yağışsız günlerin sayısı "m" olarak ifade edilirse q; m/n şeklinde tanımlanmaktadır. Kümülatif olasılık değerleri H(x), ortalaması 0 ve standart sapması 1 olan standart normal değişkene (Z) Abramowitz ve Stegun (1965) tarafından önerilen (29-32) denklemleri kullanılarak dönüştürülmektedir:

$0 < H(x) \leq 0,5$  için;

$$Z = SYİ = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad (29)$$

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(H(x))^2} \right)} \quad (30)$$

$0,5 < H(x) \leq 1$  için;

$$Z = SYİ = + \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad (31)$$

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{1 - (H(x))^2} \right)} \quad (32)$$

Burada c ve d katsayı değerleri olup;

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

$$d_1=1,432788, d_2= 0,189269, d_3= 0,001308 \text{ şeklinde tanımlanmaktadır.}$$

SYİ değerlerinin pozitif olduğu dönem sulak dönemi, negatif olduğu dönem ise kurak dönemi ifade etmektedir. SYİ yönteminde, aylık yağış verileri en az 30 yıllık kesintisiz dönem için düzenlenmektedir (Gümüş vd., 2016). SYİ değerleri Tablo 10’da gösterilen kategorilere göre sınıflandırılmaktadır (Şen & Almazroui, 2021).

**Tablo 10:** Kuraklık İndeksleri Sınıflandırma Sınırları

Sınıf	SYİ, SYEİ, ZSİ değeri	GYİ olasılık değeri	Sınıflandırma
1	$\geq 2,00$	$> 0,9772$	Aşırı Nemli
2	1,50...2,00	0,9332... 0,9772	Şiddetli Nemli
3	1,00...1,50	0,8413...0,9332	Orta Düzey Nemli
4	0,50...1,00	0,6915...0,8413	Hafif Nemli
5	0...0,50	0,5000...0,6915	Normal Nemli
6	-0,50...0	0,0000... - 0,3085	Normal Kurak
7	-1,00...-0,50	- 0,3085...- 0,1587	Hafif Kurak
8	-1,50...-1,00	- 0,1587... - 0,0668	Orta Düzey Kurak
9	-2...-1,50	- 0,0668... - 0,0228	Şiddetli Kurak
10	$\leq -2$	$< - 0,0228$	Aşırı Kurak

Bu tez çalışmasında Gamma ODF’nin yanı sıra hidrolojide yaygın olarak kullanılan Genelleştirilmiş Ekstrem Değer (GED), Lojistik, LogNormal, Normal ve Weibull dağılımları en uygun ODF’nin belirlenmesi için kullanılmıştır. Her bir istasyon ve zaman ölçeğine ait yağış serilerine en uygun ODF, EasyFit yazılımında yer alan uyum iyiliği testleri kullanılarak belirlenmiştir.

### 2.5.2.2. Standart yağış evapotranspirasyon indeksi (SYEİ)

SYEİ, kuraklığın değerlendirilmesinde hem yağışı hem de Potansiyel Evapotranspirasyonu (PET) dikkate almak için Vicente-Serrano vd. (2010) tarafından geliştirilmiştir. Bu nedenle, SYİ’den farklı olarak SYEİ, artan sıcaklıkların su talebi üzerindeki ana etkisini yakalamaktadır. Literatürde farklı meteorolojik parametrelerin kullanıldığı PET modelleri geliştirilmiş olmasına rağmen en yaygın kullanılanlardan biri ampirik bir yöntem olan Thornthwaite’dir. Thornthwaite (1948) tarafından geliştirilen yöntemde seçilen istasyonun bulunduğu enlem ve aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılmaktadır. PET değeri (33-36) denklemleri kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad (33)$$

$$I = \sum_1^{12} i \quad (34)$$

$$a = 0,49 + 0,0179 I - 0,0000771 I^2 + 0,000000675 I^3 \quad (35)$$

$$PET = 16d \left(\frac{10T}{I}\right)^a \quad (36)$$

Burada d değeri enleme ve aya göre değişmekte olan düzeltme faktörünü, T değeri seçilen ayın ortalama sıcaklığını (°C), a bir parametre değerini, i ise aylık sıcaklık indisini ifade etmektedir. İklimsel su dengesini hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır:

$$F_i = Y_i - PET_i \quad (37)$$

Burada  $F_i$  üç parametrelili Log-Lojistik dağılımına uydurulmuştur. (Vicente-Serrano vd., 2010). Bu adımdan sonra SYEİ değerleri, SYİ yöntemindeki benzer adımların uygulanması ve standart normal dağılıma dönüştürülmesiyle elde edilmektedir. Bu tez çalışmasında, SYEİ değerleri RStudio yazılımı “*spei*” kodu kullanılarak hesaplanmıştır. SYEİ, Tablo 10’da gösterilen kategorilere göre SYİ ile benzer şekilde sınıflandırılmaktadır.

### 2.5.2.3. Z-Skor indeksi (ZSİ)

Boyutsuz bir meteorolojik kuraklık indeksi olan Z-Skor İndeksi (ZSİ), her bir yağış değerinden orijinal yağış serisinin uzun vadeli ortalamasının çıkarılıp standart sapmaya bölünmesi ile elde edilmektedir. ZSİ hesabında yağış verilerinin Gamma, Log-Logistik, Log-Pearson Tip III gibi özel dağılımlara uydurulması gerekmemektedir. Basit hesaplama prosedürü ve etkinliği nedeniyle ZSİ kuraklık çalışmalarında yaygın olarak kullanılan indekslerden biridir (Akhtari vd., 2009; Noor vd., 2020). ZSİ, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$ZSİ = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (38)$$

Burada,  $x_i$  her bir yağış değerini,  $\bar{x}$  yağış serisine ait ortalama değeri ve  $\sigma$  yağış serisinin standart sapmasını ifade etmektedir. ZSİ, Tablo 10’da gösterilen kategorilere göre SYİ ve SYEİ’ye benzer şekilde sınıflandırılmaktadır.

### 2.5.2.4. Gerçek yağış indeksi (GYİ)

Şen ve Almazroui (2021) tarafından geliştirilen Gerçek Yağış İndeksi (GYİ), orijinal zaman serisinin ODF’sini standart normal ODF’ye dönüştürmek yerine, standart normal

ODF'nin kantillerini orijinal ODF'ye dönüştürmektedir. Bu sayede GYİ, her istasyona ve zaman ölçeğine özgü doğrudan yağış serilerine dayalı bir kuraklık sınıflandırması üretmektedir. GYİ yönteminde sınıflandırmalar standardizasyon veya normalizasyon prosedürleri olmadan gerçekleştirilmektedir. SYİ standart normal ODF değerlerine bağlıdır. Bu nedenle, SYİ değerlerinin ortalaması 0'a ve varyansı 1'e eşittir. GYİ hesaplama prosedüründeki temel adımlar aşağıda kısaca sunulmuştur (Şen & Almazroui, 2021):

1. Adım-En uygun ODF'nin belirlenmesi:

Çalışmanın amacına uygun olarak belirlenen farklı zaman ölçekleri için yağış serileri elde edildikten sonra en uygun kümülatif yoğunluk fonksiyonunun uydurulmasıdır. Bu adımda SYİ'de olduğu gibi sadece iki parametrelili Gamma değil farklı ODF'ler arasından seçim yapılabilmektedir.

2. Adım-Olasılıkların hesaplanması:

SYİ sınıflandırma değerleri göz önünde bulundurularak bunlara karşılık gelen kümülatif olasılıklar (p) hesaplanmaktadır. Bu olasılıklar Matlab gibi yazılımlar kullanılarak elde edilmektedir.

3. Adım-Kuraklık sınıflarının belirlenmesi:

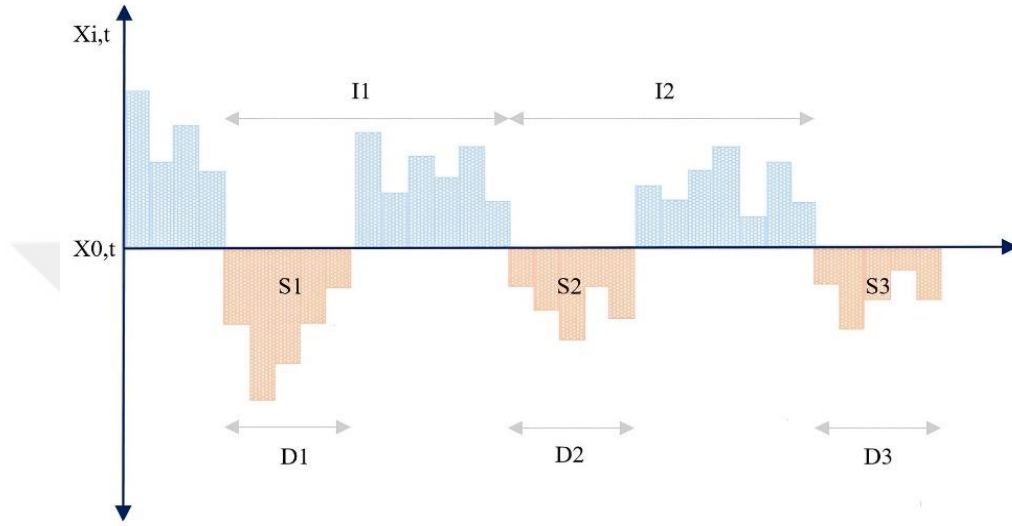
Orijinal yağış veri setinin ODF parametreleri ve kümülatif olasılık değerleri (p) kullanılarak orijinal yağış verileri için kuraklık sınıfları belirlenmektedir.

GYİ olasılık değerleri Tablo 10'da verilmiştir. Farklı çalışmalarda, kuraklık kategorileri çeşitli sınıf değerleri aracılığıyla tanımlanmıştır. Bu tez çalışmasında, Şen ve Almazroui (2021) tarafından GYİ ve SYİ'nin karşılaştırılmasında kullanılan kuraklık sınıfı değerleri, SYEİ ve ZSİ için de kullanılmıştır. Bu yaklaşım, çalışmada kullanılan tüm kuraklık indeksleri ile ortak bir karşılaştırma çerçevesi oluşturmayı amaçlamıştır.

### 2.5.3. Gidişler Analizi (Run Teorisi)

Gidişler analizi ya da run teorisi; kuraklık süresini, şiddetini, sıklığını ve kuraklık olayları arasındaki süreyi belirlemek için Yevjevich (1967) tarafından önerilmiştir. Kuraklığı, Şekil 11'de gösterildiği gibi  $x_t$  değişkeninin bir kesim seviyesi ( $x_0$ )'dan düşük olduğu bir zaman periyodu olarak tanımlamak mümkündür. Kesim seviyesi sabit bir değer olabileceği gibi zamanla ilişkili bir fonksiyon da olabilmektedir (Kwak vd., 2016). Kuraklık indeks değerlerinin kesim seviyesinin altına düşen değerleri bir kuraklık olayı olarak tanımlanmakta ve bu değerlerin art arda bu seviyenin altına düştüğü periyot ( $D_1, D_2, \dots$ ) ise kuraklık süresi (run uzunluğu) olarak tanımlanmaktadır. Her periyottaki kümülatif kıtlık ( $S_1, S_2, \dots$ ) ise kuraklık

şiddetidir (run toplamı). İki ardışık kuraklığın başlangıç noktaları arasındaki zaman aralığı,  $(I_1, I_2, \dots)$  kuraklık arası varış süresi olarak ifade edilmektedir. Bu tez çalışmasında SYİ, SYEİ ve ZSİ meteorolojik kuraklık indeksleri zaman serisi olarak ele alınmıştır. Bu zaman serileri üzerinde hem maksimum hem de ortalama kuraklık olaylarının süresini ve şiddetini hesaplamak için gidişler analizi uygulanmıştır. Kuraklık olayları kesim seviyesine dayandığından, uygun bir seviyenin seçilmesi önemlidir. Bu çalışmada kurak dönemler için kritik kesim seviyeleri -2; -1,5; -1; -0,5 ve 0'dır. Sulak dönemler için kritik kesim değerleri ise 0; 0,5; 1; 1,5 ve 2'dir.



**Şekil 11:** Gidişler Analizi (Run Teorisi)

#### 2.5.4. Trend Analizleri

Hidrometeorolojik zaman serilerindeki uzun vadeli değişikliklerin incelenmesi, iklim değişikliğinin etkilerinin anlaşılmasının yanı sıra doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi açısından da önemlidir. Bu tez çalışmasında SYİ, SYEİ, ZSİ ve yağış serilerindeki değişimler hem geleneksel parametrik olmayan Mann-Kendall (MK) testi hem de yenilikçi grafiksel yöntem Yenilikçi Trend Analizi (YTA) kullanılarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmada, kuraklık indekslerinin yanı sıra aynı zaman ölçeklerindeki yağış serilerinin de trendleri (eğilimleri) incelenmiştir. Bu sayede kuraklık olaylarında gözlenen değişimin doğrudan yağıştaki değişimden mi kaynaklandığı yoksa ikincil faktörlerden mi kaynaklandığı belirlenmiştir.

##### 2.5.4.1. Mann-Kendall (MK) testi

Mann (1945) ve Kendall (1975) tarafından geliştirilen parametrik olmayan Mann-Kendall (MK) testi, trend analizi çalışmalarında en yaygın kullanılan testlerden biridir. MK testi, kayıp verilerin varlığına müsaade ettiği ve verilerin belirli bir dağılıma uymasını

gerektirmediği için kullanışlı bir yöntemdir (Yu vd., 1993; Katipoğlu, 2020). Zaman serisinde trendin olup olmadığı sıfır hipotezi ( $H_0$ ) ile kontrol edilmektedir.

MK test istatistiği (S) negatif ve pozitif değerlerin toplamı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(y_j - y_i) \quad (39)$$

Bu eşitlikteki ( $y_j - y_i$ ) değeri denklem (40)'ta signum (işaret) fonksiyonu kullanılarak hesaplanmaktadır.  $y_j$  ve  $y_i$  sırası ile j ve i zaman serilerindeki veri değerleridir.

$$\text{Sgn} = (y_j - y_i) = \begin{cases} +1; \text{eğer } y_j > y_i \\ 0; \text{eğer } y_j = y_i \\ -1; \text{eğer } y_j < y_i \end{cases} \quad (40)$$

Asimptotik olarak normal bir dağılıma sahip ve ortalaması sıfır ( $\mu_s=0$ ) olan test istatistiğinin varyansı denklem (41)'de verildiği gibi hesaplanmaktadır. Zaman serisinde birbirine eşit gözlemlerin bulunması durumunda ise denklem (42)'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (41)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^k t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (42)$$

Burada n veri sayısını, k serinin bağlı gruplarının sayısını ve  $t_i$  gözlem alt kümelerindeki sayısal değeri eşit olan elemanların sayısını göstermektedir. Varyansı hesaplanan MK testinin standart normal değişkeni z, denklem (43) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{eğer } S > 0 \\ 0 & \text{eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{eğer } S < 0 \end{cases} \quad (43)$$

Eğer seçilen  $\alpha$  anlamlılık seviyesinde  $|z| \leq z_\alpha$  ise  $H_0$  hipotezi kabul edilerek zaman serisinde anlamlı bir trend olmadığı, tam tersi durumda ise  $H_0$  reddedilerek zaman serisinde anlamlı bir trend olduğu sonucuna varılmaktadır. MK testi, seride tek düze (monoton) artan veya azalan trendin olup olmadığını istatistiksel olarak değerlendirmektedir.

### 2.5.4.2. Modifiye edilmiş Mann-Kendall (mMK) testi

Yue ve Wang (2004), MK testinde zaman serisine ait verilerin rastgele dağılması gerektiğini belirtmişlerdir. Zaman serisinde içsel bağımlılığın ya da serisel korelasyonun varlığı, MK testinin gücünü etkilemektedir. Zaman serisinde pozitif seri korelasyonunun bulunması, gerçek bir trend olmasa dahi anlamlı bir trendin tespit edilme olasılığını artırmaktadır (Hırca & Eryılmaz Türkkın, 2022). Bu nedenle, MK testi uygulanmadan önce zaman serisinin içsel bağımlılığının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bir veri serisinde anlamlı bir içsel bağımlılık varsa, test istatistiklerinin hesaplanması değiştirilmeli ya da bu korelasyonun etkisini ortadan kaldırmak için “ön arındırma” adı verilen bir ön işlem uygulanmalıdır. Serinin içsel bağımlılığının belirlenmesinde lag-1 değerinin güven sınırları otokorelasyon grafiği veya otokorelasyon analizi ile denklem (44)’e göre kontrol edilmektedir.

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} [(x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})]}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (44)$$

Burada  $x_i$  seri değerlerini,  $\bar{x}$  serinin ortalamasını ve  $n$  gözlem sayısını ifade etmektedir.  $k$  ise öteleme sayısı olup 1 alınmaktadır.

$$|r_1| > 1,96/\sqrt{n} \quad (45)$$

Burada  $r_1$  lag-1 otokorelasyon katsayısını ifade etmektedir. Bu tez çalışmasında içsel bağımlılığın belirlendiği zaman serilerinde Hamed ve Rao (1998) tarafından önerilen modifiye edilmiş Mann-Kendall (mMK) testi uygulanmıştır. mMK testinin varyansı denklem (46)’da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \left[ 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{k=1}^{n-1} (n-k)(n-k-2)r_k \right] \quad (46)$$

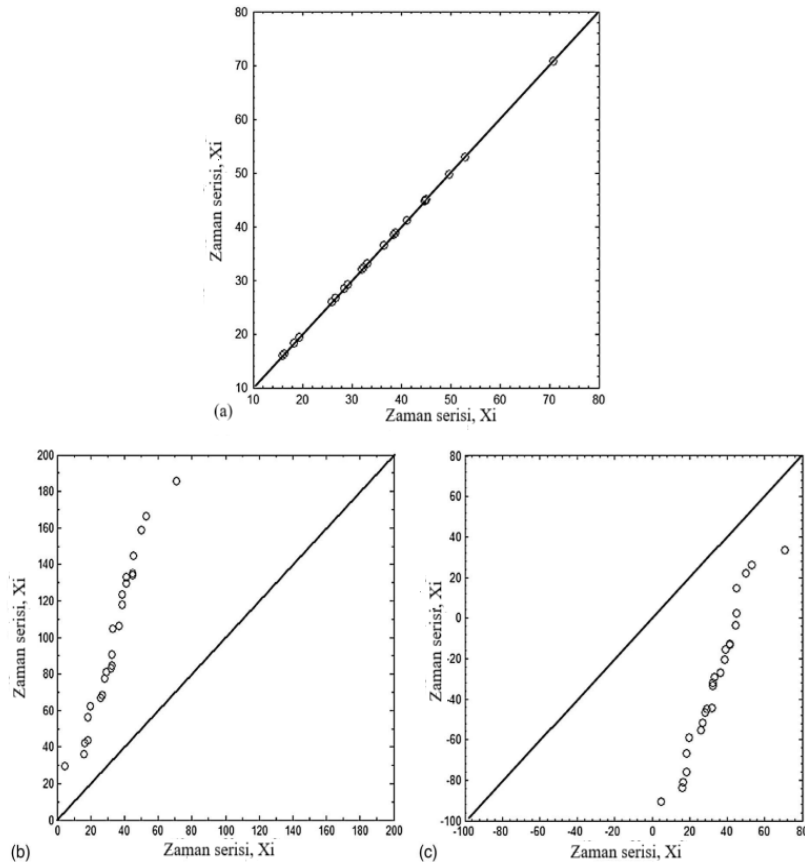
mMK test istatistiği (S) MK testinde olduğu gibi hesaplanmaktadır. Test istatistiğine bağlı olarak z değerleri elde edilmektedir.

### 2.5.4.3. Yenilikçi trend analizi (YTA)

Hidrometeorolojik değişkenlerin trendlerini belirlemek için kullanılan yöntemlerin, zaman serilerinin içsel bağımlılığının olmaması ve verilerin belirli bir kayıt uzunluğuna sahip olması gibi bazı sınırlamaları vardır. Şen (2012) tarafından geliştirilen Yenilikçi Trend Analizi (YTA) yönteminde ise herhangi bir varsayım ya da sınırlama bulunmamaktadır. Grafikselleştirilen bir yöntem olan YTA bu nedenle her tür zaman serisine uygulanabilmektedir.

YTA yönteminde, zaman serisi iki eşit parçaya ayrılarak alt seriler küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır. İkiye ayrılan zaman serisinin ilk alt serisi x-eksenine, ikinci alt serisi ise y-eksenine yerleştirilmektedir. Koordinat sistemine yerleştirilen bu veriler karşılıklı olarak işaretlenmektedir. Verilerin, grafik üzerine çizilen 1:1 (45°) doğrusu etrafındaki saçılımına göre trend hakkında yorum yapılmaktadır. Trend, YTA grafiğindeki verilerin saçılışına göre belirlendiğinden eğilimin varlığı sözel çıkarımlara dayanmaktadır.

YTA grafiği üzerinde görülebilecek trend durumları Şekil 12’de gösterilmektedir. YTA grafiğinde verilerin 1:1 doğrusunun yukarısında kalması zaman serisinde artan bir trend olduğunu, verilerin 1:1 doğrusunun tam üzerinde kalması trendin olmadığını ve verilerin 1:1 doğrusunun altında kalması ise azalan bir trend olduğunu göstermektedir. YTA yönteminin önemli avantajları; herhangi bir varsayım gerektirmemesi, grafiksel bir yöntem olduğu için trendin varlığını görsel olarak ortaya koyması ve grafiği alt kategorilere ayırarak serilerin sınıflandırılmasına imkan vermesidir.



**Şekil 12:** Zaman Serilerinin Trendi (a) Trendsiz Zaman Serisi; (b) Artan Trend; (c) Azalan Trend (Şen, 2012)

YTA grafiği verilerin saçılışı dikkate alınarak alt kategorilere ayrılabilir. Bu sayede veri içindeki kritik öneme sahip yüksek ve düşük değerlerin trend durumları daha gerçekçi biçimde ortaya konulabilmektedir (Akçay, 2018). Verilerin kaç kategoride

sınıflandırılacağı saçılım diyagramı elde edildikten sonra verilerin dağılımı ile izlediği düzen gözlemlenerek belirlenmelidir (Dabanlı, 2017). Örneğin yağış serisindeki yüksek değerler taşkın riskine düşük değerler ise kuraklık riskine işaret etmektedir. Bu tez çalışmasında YTA grafiği ile kuraklık indekslerinin trendleri belirlenirken kurak dönemler için -2; -1,5; -1; -0,5 ve 0, nemli dönemler için ise 0; 0,5; 1; 1,5 ve 2 değerleri kullanılarak alt kategoriler oluşturulmuştur. Yağış verilerine ait YTA grafiklerinde ise her bir istasyon ve zaman ölçeği için benzersiz kuraklık sınıf değerleri elde edilmesi nedeniyle grafiklerdeki sınıf değerler serinin kendisine özgüdür.

Bu tez çalışmasında, YTA grafiği üzerinde 1:1 doğrusuna paralel  $\pm\%5$  ve  $\pm\%10$  trend zarf eğrileri çizilerek yöntemin geliştirilmiş versiyonu kullanılmıştır. Trend zarfı eğrileri sayesinde sözel çıkarımlar niceliksel olarak yorumlanmış ve grafiğin objektif olarak değerlendirilmesi sağlanmıştır.

#### 2.5.4.4. Yenilikçi trend anlamlılık testi (YTAT)

YTA, trendin varlığını görsel olarak sunan ve sözel çıkarımlar sağlayan yenilikçi bir yöntemdir. Şen (2017) tarafından önerilen Yenilikçi Trend Anlamlılık Testi (YTAT) ise bir zaman serisinin trend varlığını belirlemede kullanılan YTA grafiğinin nicel olarak değerlendirilmesine dayanmaktadır (Gümüş vd., 2022). Trendi belirlemede yeni istatistiksel bir yaklaşım olan bu yöntemde; zaman serisi iki eşit gruba ayrılarak her alt serinin aritmetik ortalaması hesaplanmaktadır. Birinci serinin aritmetik ortalaması  $y_1$ , ikinci serinin aritmetik ortalaması  $y_2$  ve veri uzunluğu  $n$  olmak üzere; birinci dereceden moment  $E(s)$ , iki ortalama değer arasındaki çapraz korelasyon katsayısı  $\rho$ , eğimin varyansı  $\sigma_s^2$  ve eğimin standart sapması  $\sigma_s$  sırasıyla (47-51) denklemlerinde verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$E(s) = \frac{2}{n} \left[ E(\bar{y}_2) - E(\bar{y}_1) \right] \quad (47)$$

$$\sigma_s^2 = \frac{4}{n^2} \left[ E(\bar{y}_2^2) - 2E(\bar{y}_2\bar{y}_1) + E(\bar{y}_1^2) \right] \quad (48)$$

$$\rho_{\bar{y}_2\bar{y}_1} = \frac{E(\bar{y}_2\bar{y}_1) - E(\bar{y}_2)E(\bar{y}_1)}{\sigma_{\bar{y}_2}\sigma_{\bar{y}_1}} \quad (49)$$

$$\sigma_s^2 = \frac{8}{n^2} \frac{\sigma^2}{n} \left( 1 - \rho_{\bar{y}_2\bar{y}_1} \right) \quad (50)$$

$$\sigma_s = \frac{2\sqrt{2}}{n\sqrt{n}} \sigma \sqrt{1 - \rho_{\bar{y}_1\bar{y}_2}} \quad (51)$$

Trend eğiminin güven aralığı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

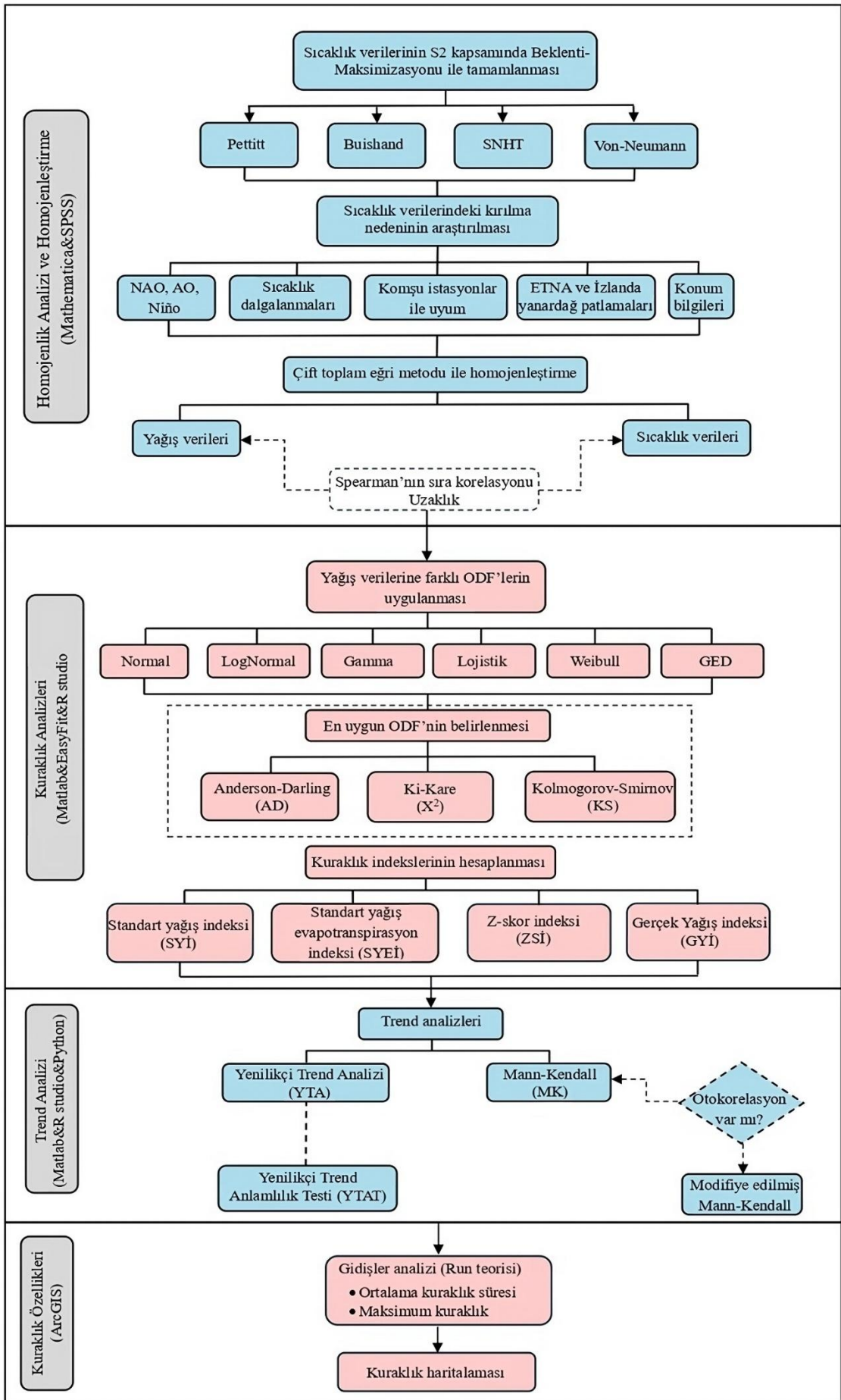
$$CL_{(1-\alpha)} = 0 \pm s_{kri} \sigma_s \quad (52)$$

Burada,  $s_{kri}$  standart normal dağılımda belirlenmiş bir anlamlılık düzeyindeki kritik z değerlerini ifade etmektedir. Trend eğiminin güven aralıklarında olması “trend yok”, alt aralık değerinden küçük olması “azalan trend”, üst aralık değerinden büyük olması ise “artan trend” olduğunu göstermektedir.

### 2.5.5. Kuraklık Haritalarının Oluşturulması

Meteorolojik parametrelerin bir alan boyunca her noktadan ölçülmesi hem maliyet açısından hem de teknik açıdan mümkün değildir. Kuraklık indeksleri yağış ve sıcaklık gibi meteorolojik parametreleri kullanmaktadır. Kuraklık olaylarının tüm yüzey boyunca mekânsal dağılımının belirlenmesinde bilinen noktalardaki kuraklık değerleri enterpolasyon yöntemlerinde kullanılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında ArcGIS 10.8 yazılımında yer alan Kriging yöntemi kullanılmıştır.

Kriging, örnek noktalar arasındaki mesafe veya yönün, yüzeydeki değişimi açıklamak için kullanılabilecek bir mekânsal korelasyonu yansıttığını varsaymaktadır. Kriging aracı, her bir konum için çıktı değerini belirlemek üzere, belirli sayıda noktaya veya belirli bir yarıçap içindeki tüm noktalara matematiksel bir fonksiyon uygulamaktadır. Kriging çok adımlı bir işlem olup verilerin keşfedici istatistiksel analizini, variogram modellemesini, yüzeyin oluşturulmasını ve (isteğe bağlı olarak) bir varyans yüzeyinin keşfedilmesini içermektedir. Çalışmanın kuraklık analizine ilişkin akış şeması Şekil 13’te sunulmuştur.



Şekil 13: Çalışmanın Kuraklık Analizine İlişkin Akış Şeması

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### 3. BULGULAR

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen kayıp veri metodolojisinin ana aşamaları ve kuraklık değerlendirmelerinde dikkate alınması gereken temel adımlar bir önceki bölümde açıklanmış olup bu bölümde kayıp veri ve kuraklık analizlerinden elde edilen bulgular detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

#### 3.1. KAYIP VERİ METODOLOJİSİ

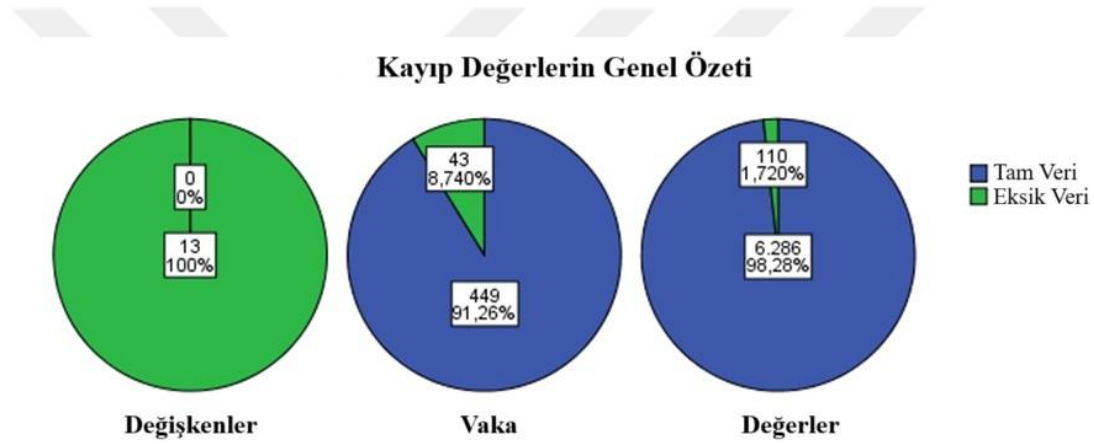
Bu tez çalışmasında Susurluk Havzası ve çevresinde yer alan 13 adet MGİ'nin 1981-2021 dönemine ait yağış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır. Bu MGİ'lerde eş zamanlı kayıp veriler bulunduğu için, kayıp verilerin etkin bir şekilde ele alınabilmesi amacıyla geliştirilen metodolojide gerçek veri setlerinden oluşturulan simüle veri setleri kullanılmıştır.

##### 3.1.1. Simüle Veri Setlerinin Oluşturulması

Hidroloji literatüründe kayıp veriler ele alınırken genellikle seçilen yöntem doğrudan zaman serisine uygulanarak eksiksiz veri seti elde edilmektedir. Ancak kayıp veri; kayıp veri oranı, kayıp veri deseni ve kayıp veri mekanizması olmak üzere üç temel unsur etrafında şekillenmektedir. Kayıp verilerin bu özellikleri incelenmediğinde, veriler arasındaki ilişkiler doğru bir şekilde temsil edilemediği için yanıltıcı tahmini değer atamaları meydana gelebilmektedir. Bu tez çalışmasında geliştirilen kayıp veri metodolojisinde, gerçek veri setlerinin kayıp veri miktarı, kayıp veri deseni ve kayıp veri mekanizması dikkate alınarak gerçek veri setlerinin yapısına uygun simüle veri setleri oluşturulmuştur. Kayıp veri analizleri simüle veri setleri üzerinde gerçekleştirilerek en uygun atama yöntemi belirlenmiştir. Bu yaklaşım ile gerçek veri setlerinin yapısına en uygun atama yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

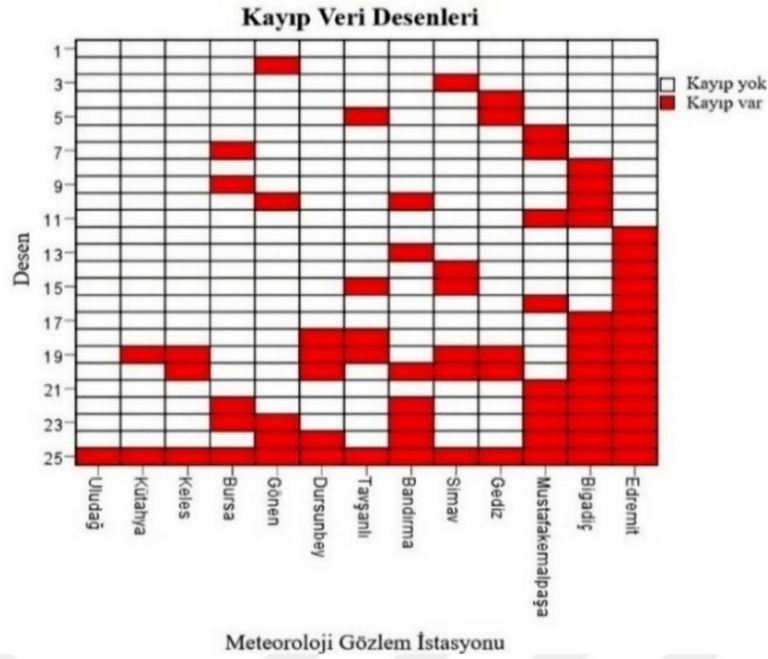
Hedef istasyondaki kayıp verilerin etkin bir şekilde tamamlanması bu istasyon ile benzer davranış gösteren ve tamamlayan olarak kullanılan anahtar istasyonun veri kalitesine bağlıdır. Farklı kayıp veri atama yöntemleri arasından en uygun olanının seçiminde genellikle hata metriklerinin de içerisinde yer aldığı değerlendirme kriterleri kullanılmaktadır. Hata metrikleri, gerçekte gözlenen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki farkları dikkate alarak tahminlerin doğruluğunu değerlendirmektedir. Ancak doğrudan gerçek veri setine uygulanan kayıp veri atama yöntemi için gözlenen değerler gerçekte bilinmemektedir. Bu nedenle kayıp veri metodolojisinde öncelikle kayıp verinin özellikleri dikkate alınarak simüle veri setleri oluşturulmuştur. Kayıp veri metodolojisinde veri analizinde kullanılan zaman serilerinin

oluşturulmasına yönelik ilk yaklaşım, istasyonun 1981-2021 dönemine ait kayıtlarını tek bir sütun halinde düzenlemektir. Tüm gözlem istasyonlarına ait zaman serilerinin yan yana yazılmasıyla gerçek bütüncül veri seti, 492x13'lük veri matrisi (41 yıl x 12 ay=492 ay ve 13 istasyon) elde edilmiştir. Gerçek bütüncül veri setinin kayıp değerlerine ilişkin genel özet Şekil 14'te verilmiştir. Şekil 14, kayıp verilerin bulunduğu istasyonların sayısını (sol), veri matrisindeki kayıp değerlerin bulunduğu vaka yani satır sayısını (orta) ve kayıp değer olan bireysel hücrelerin sayısını (sağ) gösteren üç pasta grafiğinden oluşmaktadır. Yeşil rengin eksikliği temsil ettiği dikkate alındığında değişkenler pasta grafiği (sol), 13 istasyonun tamamında en az bir kayıp verinin bulunduğunu göstermektedir. Vaka sayısını gösteren pasta grafiği (orta), 492 ayın 43 tanesinde (%8,74) en az bir istasyonun kayıp veriye sahip olduğunu göstermektedir. Değerler pasta grafiği (sağ), tüm verilerin yaklaşık %1,72'sinin kayıp olduğunu göstermektedir.



**Şekil 14:** Gerçek Bütüncül Veri Setine Ait Kayıp Değerlerin Genel Özeti

Gerçek bütüncül veri seti (492x13'lük veri matrisi) düşük kayıp veri oranına sahip olmasına rağmen kayıp verilerin konumu uygulanacak atama yöntemlerinin belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle kayıp değerlerin veri seti içindeki dağılımını gösteren kayıp veri deseninin oluşturulması gerekmektedir. Hidrolojide hedef istasyondaki kayıp veriler genellikle seçilen anahtar istasyonun verileri kullanılarak tamamlanmaktadır. Bu nedenle çoğu veri atama yönteminde (regresyon analizi, normal oran yöntemi, bazı makine öğrenmesi teknikleri vb.) kayıp verilerin tahmini, diğer istasyonlarda veriler mevcut olduğunda mümkündür. Ancak tüm istasyonlarda eş zamanlı kayıp veri bulunması durumunda, hedef ve anahtar istasyonun verileri arasında düzgün ilişki kurulamayabilir. Bu durumda anahtar istasyonun verilerine dayalı atama yöntemleri uygun olmayabilir. Bu nedenle gerçek bütüncül veri setine ait kayıp veri desenlerinin incelenmesi gerekmektedir. Bu inceleme hidrolojide genellikle göz ardı edilen önemli bir husustur. Şekil 15'te gerçek bütüncül veri setine ait kayıp veri deseni görsel olarak sunulmakta ve Tablo 11'de bu veri setlerinin kayıp veri oranları dahil olmak üzere bazı istatistiksel bilgileri yer almaktadır.



**Şekil 15:** Gerçek Bütüncül Veri Setinin Kayıp Veri Desenleri

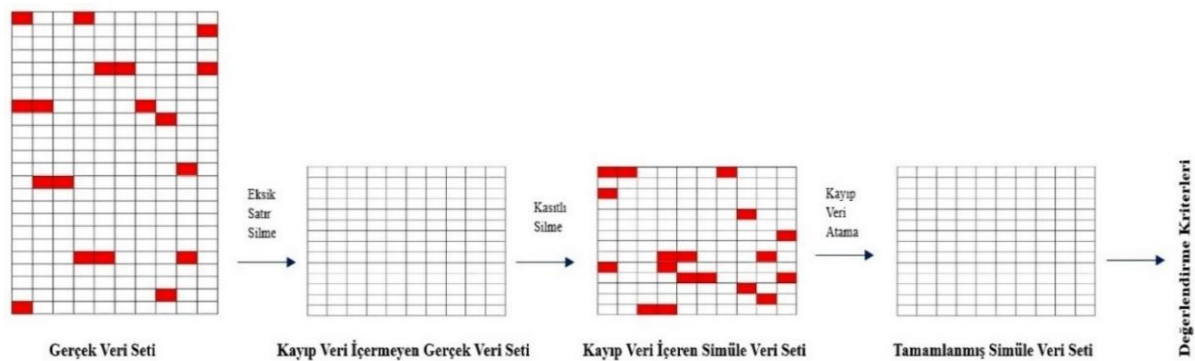
Şekil 15’te her satır, aynı kayıp veri desenine sahip bir grup vakayı temsil etmektedir. Bütüncül veri setinde 25 adet desen ortaya çıkmıştır. Desenler veya vaka grupları kayıp verilerin bulunduğu istasyona göre gösterilmiştir. Görselde meteoroloji gözlem istasyonlarının her biri içerdiği kayıp veri sayısına göre sıralanmıştır (x eksen). Tablo 11’de görüldüğü üzere Uludağ istasyonu en düşük kayıp veri yüzdesine sahiptir. Bu nedenle Uludağ istasyonu, kayıp veri desen tablosunda ilk sırada (solda) listelenmiştir. En yüksek kayıp veri yüzdesine ise Edremit ve Bigadiç istasyonları sahiptir. Ancak Edremit istasyonunda 14 kayıp veri deseni oluşması nedeniyle son sütunda (sağda), Bigadiç istasyonunda ise 13 kayıp veri deseni oluşması nedeniyle Edremit istasyonunun hemen solunda yer almıştır. Kayıp veri desen görselinde 1. desen her zaman kayıp veri içermeyen durumu ifade etmektedir. Örnek olması açısından 2. desen sadece Gönen istasyonunda kayıp verilere sahip vakaları yansıtırken 25. desen ise tüm istasyonlarda eş zamanlı kayıp verilerin varlığını göstermektedir. İstasyonlarda eş zamanlı veri kaybının olması, anahtar istasyonun kayıpsız veri setini gerektiren atama yöntemlerinin kullanılamamasına neden olmaktadır. Dolayısıyla bu tez çalışması kapsamında eşzamanlı kayıp verilere izin veren yöntemlerin ve istasyonların kendi kayıtlarının kullanıldığı sütun bazlı atama tekniklerinin ele alınmasına karar verilmiştir.

Gerçek bütüncül veri seti incelendiğinde, mevsim geçiş dönemlerinde de kayıp verilerin bulunması sütun bazlı atama yöntemlerindeki tahmin doğruluğunu etkileyebilmektedir. Daha açık bir ifade ile gerçek bütüncül veri seti üzerinde uygulanan yakın noktalar ortalaması yönteminde eylül ayındaki kayıp değerinin tamamlanmasında ekim ayının yanı sıra ağustos ayına ait veriler de kullanılmaktadır. Bu durum mevsimsel ve iklimsel farklılıkları nedeniyle eylül ayındaki yağışın gerçekte olduğundan daha düşük tahmin edilmesine neden olabilmektedir.

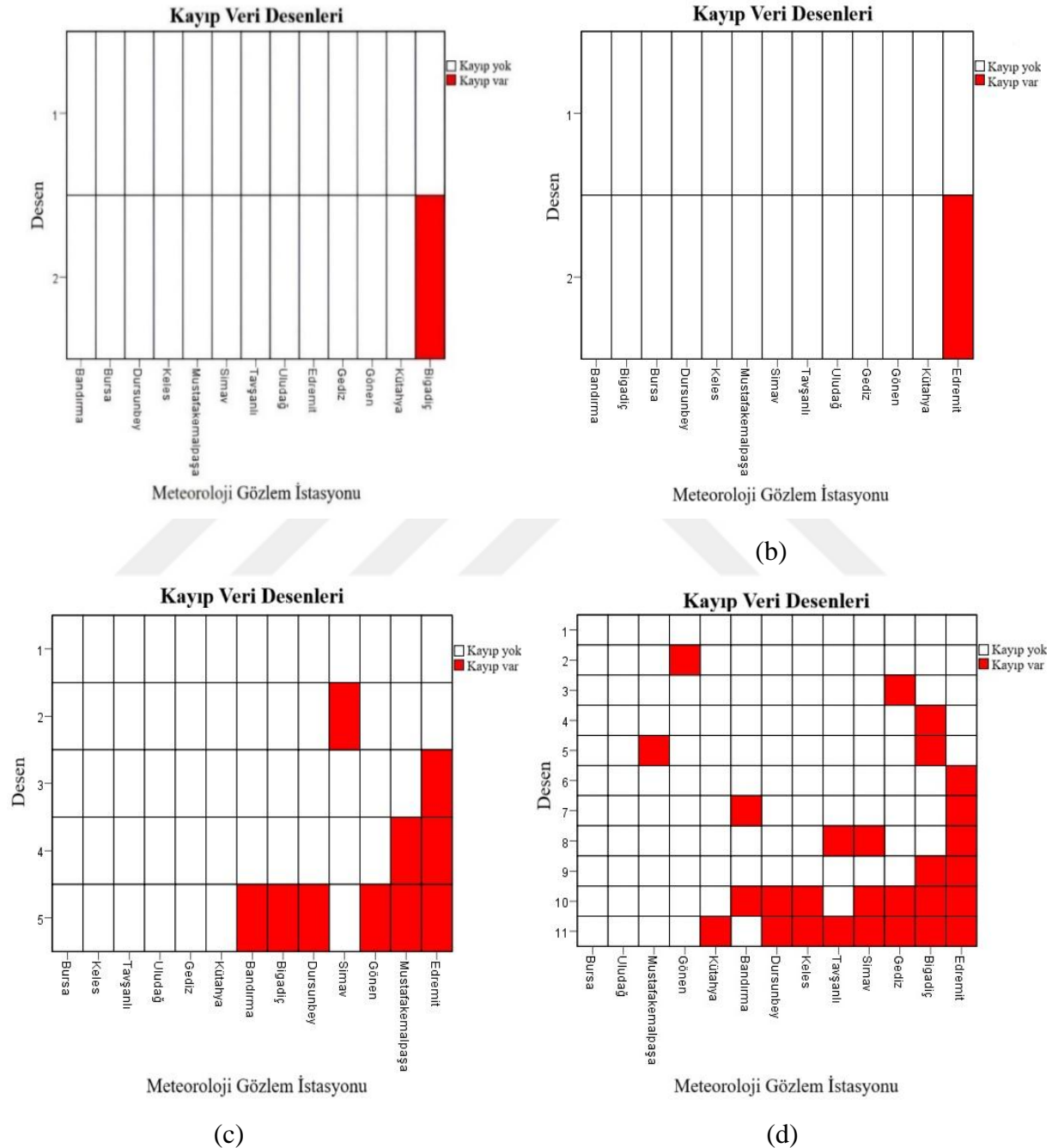
**Tablo 11:** Meteoroloji Gözlem İstasyonlarının Bilgileri

İstasyon Adı	Kayıp Veri (%)	Ortalama	Standart Sapma
Edremit	4,88	60,44	64,36
Bigadiç	4,88	43,63	39,56
Mustafakemalpaşa	2,24	58,79	49,22
Gediz	1,42	46,02	40,05
Simav	1,42	59,18	60,14
Bandırma	1,42	58,67	55,52
Tavşanlı	1,22	40,55	30,53
Dursunbey	1,22	45,56	38,48
Gönen	1,02	56,05	51,22
Bursa	1,02	58,02	55,04
Keles	0,81	59,52	47,53
Kütahya	0,61	45,29	35,45
Uludağ	0,20	115,83	103,28

Kullanılan atama yöntemleri dikkate alındığında, 492x13'lük veri matrisi üzerinden simüle veri seti oluşturmanın bu çalışma kapsamında doğru bir yaklaşım olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle kayıp veri metodolojisinde veri analizi için zaman serilerinin oluşturulmasındaki ikinci yaklaşım, 1981-2021 dönemine ait kayıtların aylık zaman dilimleri üzerinden simüle veri setlerinin oluşturulmasıdır. Simüle veri setlerinin oluşturulması, gerçek bütüncül veri setinin aylara göre ayrılarak gerçek veri setindeki kayıp verileri içeren satırların tüm istasyonlarda silinmesine dayanmaktadır. Daha sonra kayıp veri içermeyen gerçek veri setine, gerçek veri setinin ilk halindeki kayıp veriye sahip olan istasyonlar, kayıp veri sayıları ve kayıp veri desenleri göz önünde bulundurularak kasıtlı silme işlemi gerçekleştirilmiştir. Simüle veri setlerinin oluşturulmasındaki süreç Şekil 16'da şematik olarak gösterilmiştir. Bu süreç, 13 istasyon ve 9 ayda bulunan kayıp veri dikkate alınarak dikkate alınarak aylık bazda toplam 117 simüle veri setinin oluşturulmasıyla sonuçlanmıştır.

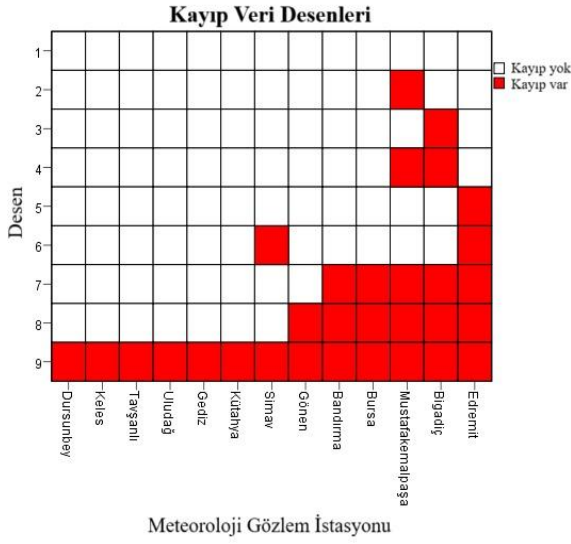
**Şekil 16:** Simüle Veri Setlerinin Oluşturulmasının Şematik Gösterimi

Simüle veri setlerinin oluşturulmasındaki kayıp veri miktarının ve kayıp veri desenlerinin işleme süreci yukarıda açıklanmıştır. Çalışmada önce gerçek veri setlerinin kayıp veri desenleri çıkartılmış ardından simüle veri setlerinde aynı işlem tekrarlanarak kontrol edilmiştir. Şekil 17’de ocak, mayıs, haziran ve temmuz aylarının, Şekil 18’de ise ağustos, eylül, ekim, kasım ve aralık aylarının gerçek veri setlerinin kayıp veri desenleri ve buna uygun olarak simüle veri setlerinin kayıp veri desenleri gösterilmiştir.

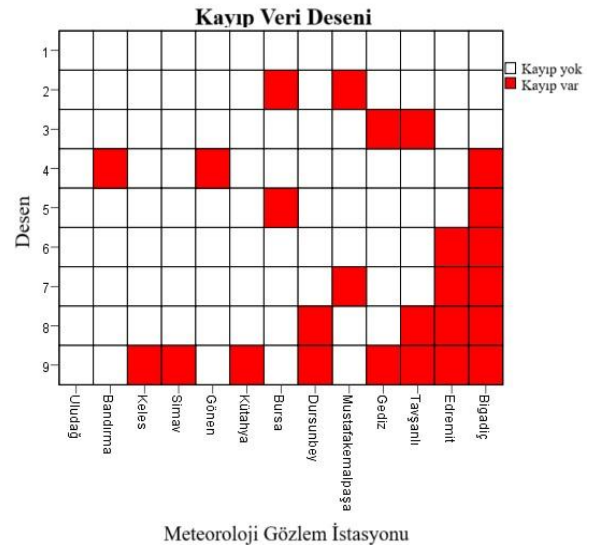


Şekil 17: Kayıp Veri Desenleri (a) Ocak (b) Mayıs (c) Haziran (d) Temmuz

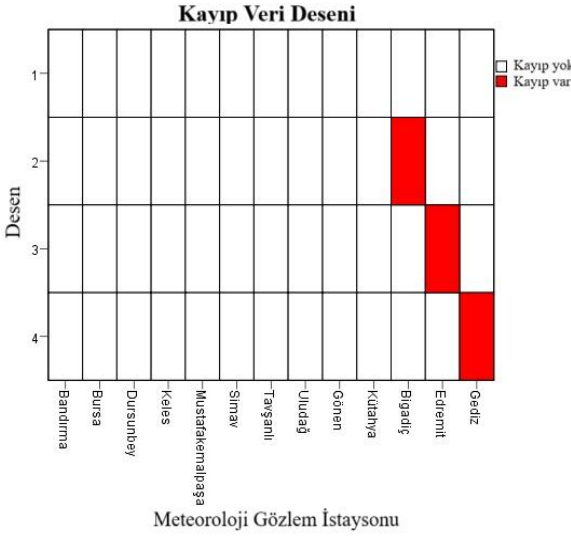
Şekil 17’de görüldüğü üzere ocak ayında sadece Bigadiç istasyonunda kayıp veri bulunmakta iken mayıs ayında sadece Edremit istasyonunda kayıp veri bulunmaktadır. Haziran ve temmuz aylarında ise en yüksek kayıp veri Edremit istasyonunda gözlemlenmiştir.



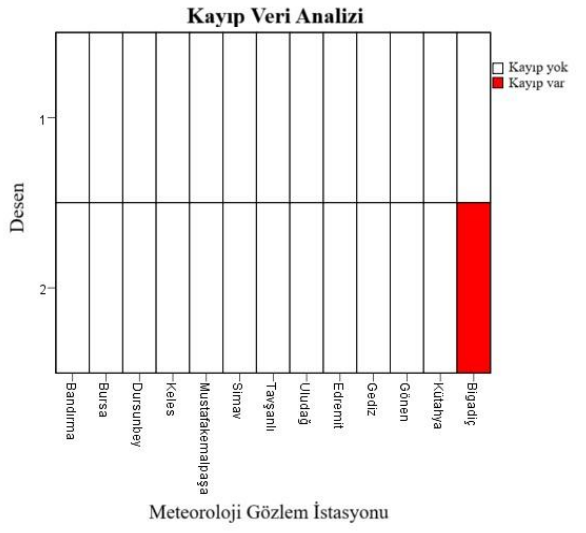
(a)



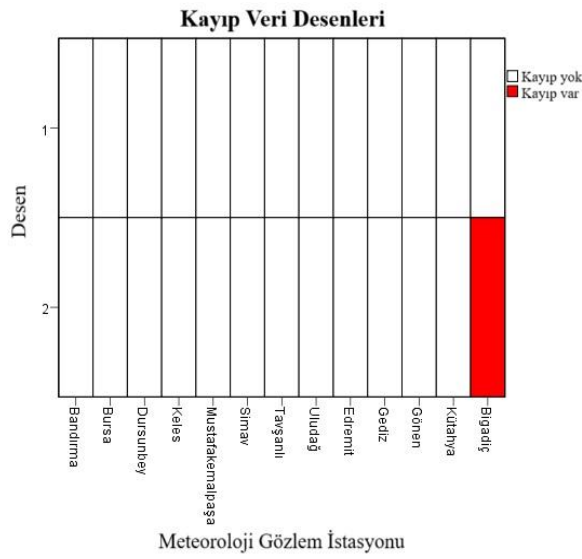
(b)



(c)



(d)



(e)

**Şekil 18:** Kayıp Veri Desenleri (a) Ağustos (b) Eylül (c) Ekim (d) Kasım (e) Aralık

Şekil 17’de ocak ve mayıs, Şekil 18’de ise kasım ve aralık aylarında bir istasyonda kayıp verinin bulunması basit atama tekniklerinin yanı sıra komşu istasyon verilerinin kullanıldığı atama yöntemlerinin de uygulanabilmesi açısından önemlidir. Bu durum ayrıca seçilecek atama yönteminin performansını, veri analizini ve istatistiksel testlerin doğruluğunu da artırmaktadır. Ancak haziran ve temmuz aylarında kayıp veriye sahip olan istasyon sayısının fazla olması, ağustos ayında ise tüm istasyonlarda eş zamanlı kayıp veri bulunması anahtar istasyon verilerinin kullanımını zorlaştırmaktadır. Gelişmiş yöntemlerde, genellikle komşu istasyonların eksiksiz veri setleri kullanıldığından, kayıp veriye sahip birden fazla istasyonun bulunduğu aylarda anahtar istasyon seçilememektedir. Çalışmada atama yöntemlerinin ortak bir karşılaştırma düzleminde değerlendirilebilmesi için tüm aylarda uygulanabilir olması gerekmektedir. Özellikle ağustos ayında eş zamanlı tüm istasyonlarda kayıp verilerin bulunması nedeniyle sütun bazlı ve eş zamanlı kayıp veri varlığına olanak tanıyan iteratif yöntemler bu çalışmada kullanılmıştır.

Kayıp veri; kayıp veri miktarı, kayıp veri deseni ve kayıp veri mekanizması etrafında şekillendiğinden gerçek veri setlerinin kayıp veri mekanizmaları belirlendikten sonra kayıp veri miktarı ve kayıp veri deseni dikkate alınarak oluşturulan simüle veri setlerinin kayıp veri mekanizmaları incelenmiştir. Kayıp veri mekanizmalarının belirlenmesinde SPSS yazılımında Little’ın MCAR testi kullanılmıştır. Test sonucunda, gerçek veri setlerindeki kayıp verilerin TROK mekanizmasına sahip olduğu belirlenmiş ve simüle veri setlerinin de benzer şekilde TROK mekanizmasına sahip olduğu doğrulanmıştır.

Kayıp verinin TROK mekanizmasına sahip olması, bir değer kaybı olma olasılığının hem gözlenen hem de gözlenmeyen verilerle ilgisi olmadığını anlamına gelmektedir. Bu durumda kayıp veri aşağıdaki özellikleri göstermektedir:

- Rastgele Dağılım Özelliğe Sahiptir: Veri setindeki kayıp değerler, gözlenen değerlerle veya kayıp değerlerin kendisiyle herhangi bir ayırt edilebilir desen veya bağlantı olmaksızın rastgele dağılmaktadır.
- Yanlılık Oluşturmaz:TROK mekanizması altında kayıp veriler veri analizinde herhangi bir yanlılık oluşturmaz. Kayıp veriler geri kalan verilerin genel özelliklerini yansıttığı için istatistiksel modelleme ve analizler doğru sonuçlar vermektedir.

TROK mekanizmasına sahip kayıp değerlerin bulunduğu veri setlerinde ortalama veya medyan ataması gibi basit atama teknikleri kullanılabilir (Bhandari vd., 2022). Ancak İEK mekanizmasına sahip veri setlerinde daha karmaşık modelleme ve istatistiksel yöntemler gerekmektedir.

**Tablo 12:** Gerçek ve Simüle Veri Setlerinin Karşılaştırılması

Kayıp Bulunan Ay	Gerçek Veri Setinin Yapısı			Simüle Veri Setinin Yapısı		
	Ortalama	Standart Sapma	Kayıp Veri Mekanizması	Ortalama	Standart Sapma	Kayıp Veri Mekanizması
Ocak	90,33	79,36	TROK	90,86	79,95	TROK
Mayıs	49,31	38,77	TROK	50,32	38,72	TROK
Haziran	36,89	33,98	TROK	38,26	34,14	TROK
Temmuz	16,45	23,77	TROK	19,05	26,78	TROK
Ağustos	14,32	22,01	TROK	16,56	25,04	TROK
Eylül	30,98	40,34	TROK	36,73	42,79	TROK
Ekim	63,82	64,42	TROK	66,61	65,38	TROK
Kasım	78,29	57,66	TROK	79,14	58,03	TROK
Aralık	98,00	71,38	TROK	99,85	71,17	TROK

### 3.1.2. Simüle Veri Setlerine Kayıp Veri Ataması

Simüle veri setlerindeki kayıp yağış verileri; seri ortalaması, yakın noktalar ortalaması, yakın noktaların medyan ataması, doğrusal interpolasyon, Hot-Deck (k=1; kNN), kNN ve BM algoritmaları dahil olmak üzere çeşitli atama yöntemleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Eksiksiz kayıtlara sahip anahtar istasyon gerektiren yöntemler, istasyonlarda eş zamanlı kayıp verilerin varlığı nedeniyle uygulanamamıştır.

Çalışmanın bir diğer önemli yönü olan istasyon seçimi ve normallik varsayımının BM algoritmasının performansı üzerindeki etkisi oluşturulan çeşitli senaryolarla araştırılmıştır. Senaryolar açıklanmadan önce bu senaryoların oluşturulmasındaki temel aşamalar ve senaryolarda yer alan bazı kavramlar aşağıda açıklanmıştır:

**Ham veri:** Zaman serisinde herhangi bir dönüştürme işleminin yapılmadığını ve serinin orijinal yapısının korunduğunu ifade etmektedir. Ham verilerin kullanıldığı senaryolarda, veriler analizden önce herhangi bir ön işleme tabi tutulmamıştır.

**Dönüştürülmüş veri:** Normallik varsayımının etkisini araştırmak amacıyla ham verilerin normal dağılıma uygunluğu normallik analizleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu aşamada Jarque-Bera testi nihai değerlendirme kriteri olarak kullanılmıştır. Ancak çarpıklık ve basıklık katsayıları ile Shapiro-Wilk testi de incelenmiştir. Normallik varsayımına ilişkin yapılan değerlendirme sonucunda, normal dağılıma uygun olmayan ham veriler belirlenmiştir. Literatürde, normallik varsayımını sağlayamayan veriler için çeşitli veri dönüştürme (transformasyon) yöntemleri önerilmektedir. Dolayısıyla dönüştürülmüş veri; ham verilerin transformasyon işleminden sonraki halini ifade etmektedir.

Tek korelasyon matrisi: Aylık olarak tasarlanan simüle veri setleri bir araya getirilerek simüle bütüncül veri seti oluşturulmuştur. Daha açık bir ifade ile gerçek bütüncül veri seti 492x13'lük veri matrisi olup, 43 satırda kayıp değer bulunmaktadır (Şekil 14). Bu nedenle aylık simüle veri setleri bir araya getirildiğinde 449x13'lük simüle bütüncül veri seti elde edilmiştir. Simüle bütüncül veri setinde (449x13'lük veri matrisi) yer alan verilerin önce normal dağılıma uygunluğu araştırılmıştır (Tablo 14). Ardından istasyonların normal dağılıma uygunluğu dikkate alınarak korelasyon türü (Pearson korelasyon katsayısı ya da Spearman'ın sıra korelasyon katsayısı) belirlenmiştir. Kayıp veri içeren istasyon en yüksek korelasyona sahip olduğu istasyon ile eşleştirilerek BM algoritması ile kayıp veri ataması yapılmıştır. Buradaki önemli husus; tek korelasyon matrisinin kullanıldığı senaryolarda kayıp verinin bulunduğu her ay aynı istasyonların eşleştirilmesidir. Örnek olması açısından Bandırma ve Gönen istasyonları birbirleri için en yüksek korelasyon değerlerine sahiptir (Şekil 19). Bu nedenle hem ağustos ayındaki hem de eylül ayındaki BM algoritması ile kayıp veri atamalarında iki istasyon birbirleri ile eşleştirilmiştir.

Her ay için ayrı istasyon eşleştirmesi: Ham veri setinde, verilerin normal dağılıma uygunluğu dikkate alınarak her ay için ayrı korelasyon analizleri yapılmıştır. Bu durumda normal dağılım varsayımını sağlayan istasyonlar arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için Pearson korelasyon katsayısı kullanılmıştır. Buna karşılık, tek bir istasyonun dahi normal dağılım varsayımını sağlamaması durumunda istasyonlar arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için Spearman'ın sıra korelasyon katsayısı kullanılmıştır. Dönüştürülmüş veri setlerinde ise normallik varsayımı zaten sağlandığından (Tablo 15), istasyonlar arasındaki ilişkinin belirlenmesinde Pearson korelasyon katsayısı ile dikkate alınmıştır. (Ekim ayı Bursa istasyonu hariç: Jarque-Bera testine göre  $p=0,030<0,05$ ;  $H_0$  hipotezi reddedilir).

Ham verilerin normallik analiz sonuçları (Tablo 13), ham verilerin kullanıldığı senaryo 2 kapsamında istasyonlar arasındaki ilişkinin belirlenmesinde kullanılacak korelasyonun seçimi için önemlidir. Dönüştürülmüş verilerin kullanıldığı senaryolarda ise transformasyon yapılacak verinin belirlenmesi için önemlidir (Tablo 15).

- Senaryo 1: Ham Veri Tek Korelasyon

Ham veri setinde kayıp veriye sahip olan her istasyon, tek korelasyon matrisinde en yüksek korelasyona sahip olduğu istasyonun verileri kullanılarak BM algoritması ile tamamlanmıştır. Bu senaryoda hedef istasyon her ay aynı anahtar istasyon ile eşleştirilmiştir (Şekil 19).

- Senaryo 2: Ham Veri Her Ay Ayı Korelasyon

Ham veri setinde kayıp veriye sahip her istasyon, normal dağılıma uygunlukları dikkate alınarak (Tablo 13), diğer istasyonlar ile olan ilişkileri Pearson korelasyon katsayısı veya Spearman'ın sıra korelasyon katsayısı kullanılarak incelenmiştir. Ham veri setindeki kayıp veriye sahip her istasyon, her ay için en yüksek korelasyona sahip olduğu istasyonun verileri kullanılarak BM algoritmasıyla tamamlanmıştır. Bu senaryoda, hedef istasyon her ay farklı bir anahtar istasyonla eşleştirilebilmektedir.

- Senaryo 3: Dönüştürülmüş Veri Tek Korelasyon

Ham veri setinde sadece normal dağılıma uygun olmayan veriler dönüştürülmüştür (Tablo 15). Kayıp veriye sahip olan her istasyon tek korelasyon matrisindeki en yüksek korelasyona sahip olduğu istasyonun verileri kullanılarak BM algoritması ile tamamlanmıştır. Bu senaryoda hedef istasyon her ay aynı anahtar istasyon ile eşleştirilmiştir (Şekil 19).

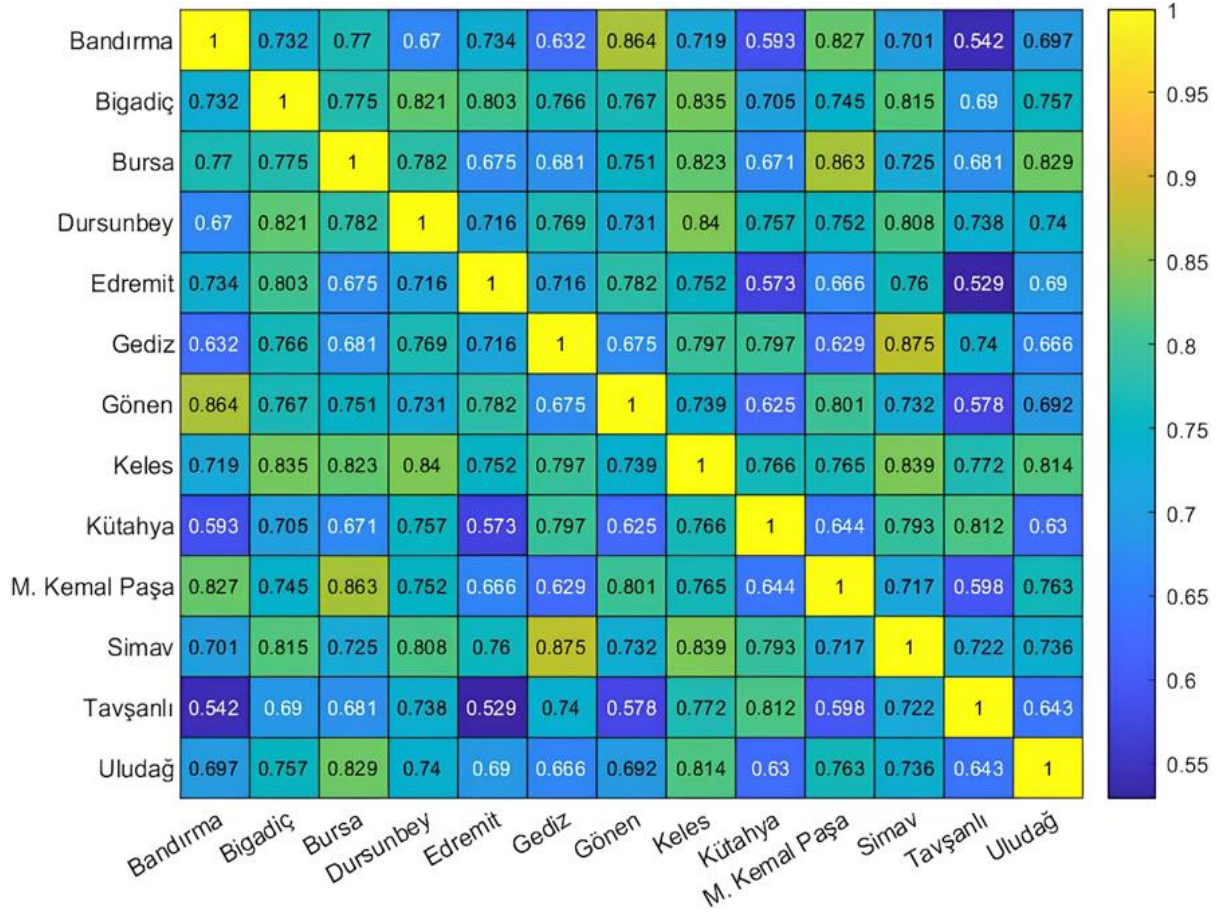
- Senaryo 4: Dönüştürülmüş Veri Her Ay Ayı Korelasyon

Ham veri setinde sadece normal dağılıma uygun olmayan veriler dönüştürülmüştür (Tablo 15). Ardından kayıp veriye sahip olan istasyon her ay en yüksek korelasyona sahip olduğu istasyonun verileri kullanılarak BM algoritması ile tamamlanmıştır. Bu senaryoda, hedef istasyon her ay farklı bir anahtar istasyonla eşleştirilebilmektedir.

Yukarıda açıklanan senaryolarda kullanılan normallik varsayımının değerlendirilmesinde çeşitli yaklaşımların bulunduğu daha önceki bölümlerde belirtilmiştir. Normallik varsayımının araştırılmasında bazı çalışmalarda çarpıklık ve basıklık katsayıları kullanılmakta iken (Basu vd., 2004; Guo, 2022), bazı çalışmalarda Shapiro-Wilk testi kullanılmakta (Mohammed & Scholz, 2023) ve bazı çalışmada ise Jarque-Bera testi kullanılmaktadır (Ünlükara vd., 2010; Ahani vd., 2012; Weslati vd., 2023). Bu tez çalışmasında, normallik varsayımının test edilmesinde hem Shapiro-Wilk hem de Jarque-Bera testleri kullanılmıştır. Her iki test de normallik varsayımını değerlendirirken farklı özelliklere odaklanmaktadır. Shapiro-Wilk testi özellikle küçük örneklerde etkilidir (Pituch & Stevens 2016). Öte yandan, Jarque-Bera testi ise verinin çarpıklık ve basıklık katsayılarını dikkate alarak normallik varsayımını değerlendirmektedir. Normallik varsayımının nihai değerlendirmesinde, verilerin dağılım özelliklerini dikkate alması nedeniyle Jarque-Bera testi kullanılmıştır.

Korelasyon analizi gerektiren her aşamadan önce, verilerin normal dağılıma uygun olup olmadığını belirlemek için normallik analizleri yapılmıştır. Simüle veri setlerinin normallik analiz sonuçlarını gösteren Tablo 13'e göre normal dağılıma uygun olmayan veri setlerine

dönüştürme işlemi uygulanmıştır. Dönüştürme işleminin başarısı, dönüştürülen verilere normallik analizlerinin yeniden uygulanmasıyla değerlendirilmiş ve sonuçları Tablo 15’te verilmiştir. Dönüştürme işleminden sonra normal dağılıma uymayan verilerin çarpıklık ve basıklık katsayıları ile Shapiro-Wilk ve Jarque-Bera test sonuçlarında belirgin bir iyileşme olduğu gözlenmiştir. Bu iyileşme, verilerin normal dağılıma uyduğunu ya da normal dağılıma daha yakın bir hale geldiğini göstermektedir.



**Şekil 19:** 449\*13 Matris Formunda Simüle Ham Verilerin Spearman’ın Sıra Korelasyon Analizi

**Tablo 13: Simüle Veri Setlerinin Normallik Analizi (Senaryo 2)**

Ay	Yöntem	Bandırma	Bigadiç	Bursa	Dursunbey	Edremit	Gediz	Gönen	Keles	Kütahya	Mustafakemalpaşa	Simav	Tavşanlı	Uludağ
Ocak	Çarpıklık	0,803	0,641	0,449	0,834	0,514	0,750	0,527	0,737	0,652	0,912	0,871	1,112	3,913
	Basıklık	0,706	-0,142	-0,930	0,264	-0,872	0,596	-0,634	-0,100	0,035	1,370	0,352	1,565	20,070
	Shapiro-Wilk	0,054	0,075	0,036	0,023	0,018	0,084	0,064	0,022	0,042	0,045	0,014	0,007	0,000
	Jarque-Bera	0,113	0,274	0,247	0,116	0,221	0,156	0,281	0,179	0,267	0,030	0,094	0,006	0,000
Mayıs	Çarpıklık	1,024	1,151	0,763	1,221	1,897	0,740	1,279	0,815	0,561	0,891	1,169	0,591	1,262
	Basıklık	0,409	1,079	-0,080	2,311	4,415	0,164	0,980	-0,016	-0,321	0,024	1,608	-0,432	1,723
	Shapiro-Wilk	0,002	0,001	0,032	0,006	0,000	0,024	0,000	0,013	0,168	0,006	0,005	0,050	0,003
	Jarque-Bera	0,038	0,010	0,160	0,001	0,000	0,184	0,004	0,126	0,325	0,085	0,004	0,270	0,002
Haziran	Çarpıklık	1,281	2,191	1,024	1,317	2,421	1,043	1,529	1,822	0,785	1,599	1,196	1,407	1,561
	Basıklık	0,959	5,335	1,267	1,975	5,691	0,321	2,798	3,972	0,058	4,221	0,852	1,387	3,167
	Shapiro-Wilk	0,000	0,000	0,024	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,001	0,001	0,000	0,000
	Jarque-Bera	0,008	0,000	0,026	0,001	0,000	0,045	0,000	0,000	0,173	0,000	0,015	0,002	0,000
Temmuz	Çarpıklık	0,504	2,658	0,854	1,670	2,298	2,039	0,729	0,787	1,504	2,598	1,857	0,917	2,363
	Basıklık	-1,009	8,387	0,167	2,503	5,503	4,703	-0,678	-0,391	2,275	8,739	3,646	0,124	6,986
	Shapiro-Wilk	0,007	0,000	0,022	0,000	0,000	0,000	0,002	0,009	0,001	0,000	0,000	0,006	0,000
	Jarque-Bera	0,312	0,000	0,193	0,000	0,000	0,000	0,221	0,233	0,001	0,000	0,000	0,172	0,000
Ağustos	Çarpıklık	2,063	2,350	2,069	1,440	1,785	2,427	3,115	3,840	1,558	0,967	2,537	2,093	3,530
	Basıklık	4,845	6,908	4,828	1,204	2,009	7,624	10,913	17,537	1,662	-0,386	7,652	4,437	15,368
	Shapiro-Wilk	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Jarque-Bera	0,000	0,000	0,000	0,009	0,003	0,000	0,000	0,000	0,003	0,181	0,000	0,000	0,000
Eylül	Çarpıklık	1,912	0,869	0,559	1,235	1,823	1,870	1,954	1,269	2,092	1,067	1,748	0,838	1,427
	Basıklık	3,390	-0,746	-0,450	0,996	3,001	3,198	3,453	1,410	5,252	0,265	3,177	-0,662	1,972
	Shapiro-Wilk	0,000	0,001	0,053	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001
	Jarque-Bera	0,000	0,174	0,403	0,025	0,000	0,000	0,000	0,012	0,000	0,077	0,000	0,155	0,002
Ekim	Çarpıklık	1,352	1,562	4,285	0,975	0,972	1,272	2,115	1,947	0,676	1,665	1,400	0,937	1,812
	Basıklık	2,247	2,331	20,758	0,813	-0,089	1,459	5,933	5,414	-0,218	3,965	2,325	1,252	3,291
	Shapiro-Wilk	0,002	0,000	0,000	0,020	0,001	0,001	0,000	0,000	0,080	0,000	0,001	0,017	0,000
	Jarque-Bera	0,000	0,000	0,000	0,049	0,066	0,004	0,000	0,000	0,240	0,000	0,000	0,038	0,000
Kasım	Çarpıklık	2,413	0,264	0,233	0,544	0,975	0,850	1,667	0,345	1,657	0,551	0,789	0,652	0,584
	Basıklık	9,470	-0,448	-1,110	0,090	1,880	1,275	4,973	-0,486	3,612	-0,055	0,623	0,141	0,037
	Shapiro-Wilk	0,000	0,689	0,062	0,404	0,035	0,034	0,001	0,477	0,000	0,258	0,107	0,156	0,338
	Jarque-Bera	0,000	0,638	0,296	0,400	0,008	0,049	0,000	0,527	0,000	0,379	0,128	0,270	0,346
Aralık	Çarpıklık	0,725	0,750	0,652	0,840	2,045	0,840	0,869	0,670	1,681	0,261	1,797	1,197	0,848
	Basıklık	0,329	0,989	0,694	0,251	6,627	0,376	1,005	0,523	4,692	-0,335	4,163	2,842	1,842
	Shapiro-Wilk	0,050	0,051	0,257	0,027	0,000	0,028	0,039	0,289	0,000	0,701	0,000	0,012	0,055
	Jarque-Bera	0,194	0,122	0,226	0,113	0,000	0,110	0,062	0,231	0,000	0,689	0,000	0,000	0,018

Çarpıklık/Basıklık  $\pm 1,5$  değerini aşmaktadır.

Shapiro-Wilk testi için  $H_0$  hipotezi reddedilmektedir.

Jarque-Bera testi için  $H_0$  hipotezi reddedilmektedir.

**Tablo 14:** 449\*13 Matris Formunda Simüle Ham Verilerin Normallik Analizi (Senaryo 1 ve Senaryo 3)

Yöntem	Bandırma	Bigadiç	Bursa	Dursunbey	Edremit	Gediz	Gönen	Keles	Kütahya	M. Kemal Paşa	Simav	Tavşanlı	Uludağ
Çarpıklık	1,514	1,025	5,119	1,118	1,874	1,145	1,412	1,020	1,285	1,100	1,995	1,092	3,017
Basıklık	3,324	0,855	55,990	1,420	6,061	1,521	2,773	1,033	3,184	1,457	6,343	1,710	23,218
Shapiro-Wilk	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Jarque-Bera	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Çarpıklık/Basıklık  $\pm$  1,5 değerini aşmaktadır.

Shapiro-Wilk testi için  $H_0$  hipotezi reddedilmektedir.

Jarque-Bera testi için  $H_0$  hipotezi reddedilmektedir.

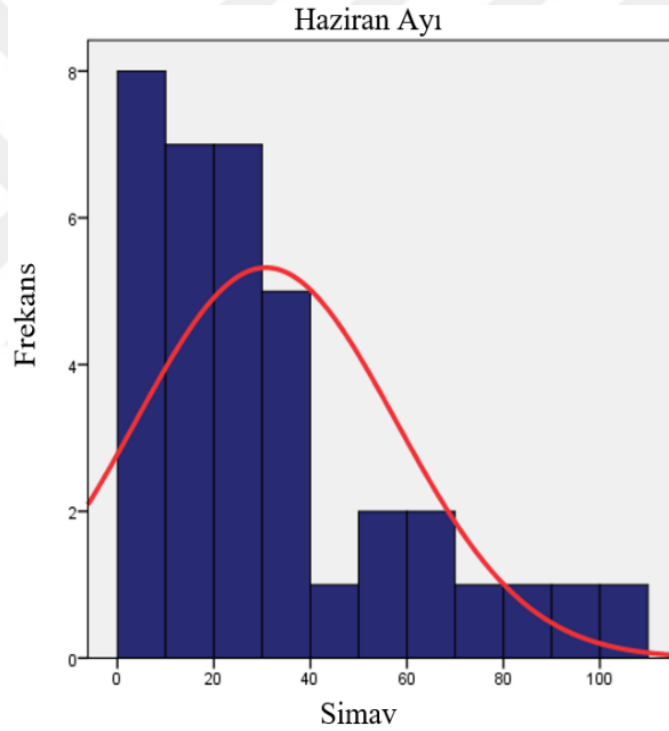
**Tablo 15:** Sadece Normal Dağılım Göstermeyen Simüle Verilerin Dönüştürülmüş Hallerinin Normallik Analizi (Senaryo 3 ve Senaryo 4)

Ay	Yöntem	Bandırma	Bigadiç	Bursa	Dursunbey	Edremit	Gediz	Gönen	Keles	Kütahya	Mustafakemalpaşa	Simav	Tavşanlı	Uludağ
Ocak	Çarpıklık										0,003		0,116	-0,253*
	Basıklık										-0,146		0,297	0,889*
	Shapiro-Wilk										0,710		0,630	0,349*
	Jarque-Bera										0,939		0,950	0,603*
Mayıs	Çarpıklık	0,174	0,328		0,313	0,585		0,351				0,287		0,333
	Basıklık	-0,539	-0,542		0,020	0,775		0,041				0,236		0,180
	Shapiro-Wilk	0,737	0,298		0,816	0,155		0,204				0,605		0,922
	Jarque-Bera	0,662	0,520		0,730	0,285		0,675				0,771		0,711
Haziran	Çarpıklık	0,347	0,875	0,099	0,310	-0,316*	0,346	0,446	0,809		0,250	0,233	0,673	0,598
	Basıklık	-0,469	0,740	-0,157	-0,449	0,075*	-0,978	0,105	1,343		0,210	-0,352	-0,140	0,980
	Shapiro-Wilk	0,381	0,036	0,910	0,195	0,614*	0,076	0,409	0,075		0,634	0,929	0,098	0,173
	Jarque-Bera	0,563	0,103	0,910	0,612	0,766*	0,326	0,577	0,071		0,845	0,731	0,261	0,249
Temmuz	Çarpıklık		1,014		0,501	1,247	0,655			0,363	0,746	0,598		0,764
	Basıklık		0,808		-0,378	0,673	-0,069			-0,216	0,392	-0,248		0,843
	Shapiro-Wilk		0,011		0,170	0,001	0,119			0,778	0,037	0,133		0,154
	Jarque-Bera		0,138		0,506	0,071	0,407			0,688	0,296	0,443		0,229
Ağustos	Çarpıklık	0,613	0,523	1,004	0,405	1,063	0,734	0,342*	-0,346*	0,474		0,999	0,743	-0,600*
	Basıklık	-0,067	0,133	0,411	-0,619	-0,139	0,694	-0,899*	0,168*	-0,028		0,929	0,547	0,000*
	Shapiro-Wilk	0,067	0,100	0,017	0,127	0,000	0,256	0,068*	0,311*	0,280		0,034	0,173	0,104*
	Jarque-Bera	0,466	0,640	0,144	0,524	0,156	0,300	0,476*	0,782*	0,607		0,115	0,306	0,455*
Eylül	Çarpıklık	1,060			0,334	0,625	0,753	1,017	0,329	0,756		0,889		0,500
	Basıklık	0,500			-0,562	0,068	0,527	0,974	-0,445	0,566		0,070		-0,389
	Shapiro-Wilk	0,007			0,516	0,242	0,142	0,018	0,127	0,258		0,016		0,156
	Jarque-Bera	0,070			0,590	0,452	0,268	0,068	0,633	0,251		0,157		0,457
Ekim	Çarpıklık	0,455	0,750	0,760*	0,210		0,544	0,178*	0,058*		0,319	0,303	-0,193	0,770
	Basıklık	-0,072	0,409	1,905*	-0,247		-0,048	-0,190*	-0,317*		0,966	0,415	0,187	1,125
	Shapiro-Wilk	0,686	0,114	0,121*	0,907		0,307	0,681*	0,896*		0,291	0,457	0,282	0,034
	Jarque-Bera	0,525	0,197	0,030*	0,789		0,418	0,848*	0,860*		0,508	0,740	0,895	0,103
Kasım	Çarpıklık	0,139**				-0,483	-0,467	0,472		0,159				
	Basıklık	1,875**				0,557	0,446	0,817		0,917				
	Shapiro-Wilk	0,172**				0,261	0,200	0,635		0,471				
	Jarque-Bera	0,147**				0,442	0,486	0,381		0,642				
Aralık	Çarpıklık				0,361					0,188		0,370	-0,226	-0,382
	Basıklık				1,510					1,126		0,875	0,933	0,811
	Shapiro-Wilk				0,492					0,342		0,395	0,522	0,286
	Jarque-Bera				0,209					0,497		0,475	0,583	0,488

\*Logaritmik dönüşümün sonucudur. \*\*Küp kök dönüşümünün sonucudur.

Çarpıklık/Basıklık  $\pm 1,5$  değerini aşmaktadır.Shapiro-Wilk testi için  $H_0$  hipotezi reddedilmektedir.Jarque-Bera testi için  $H_0$  hipotezi reddedilmektedir.

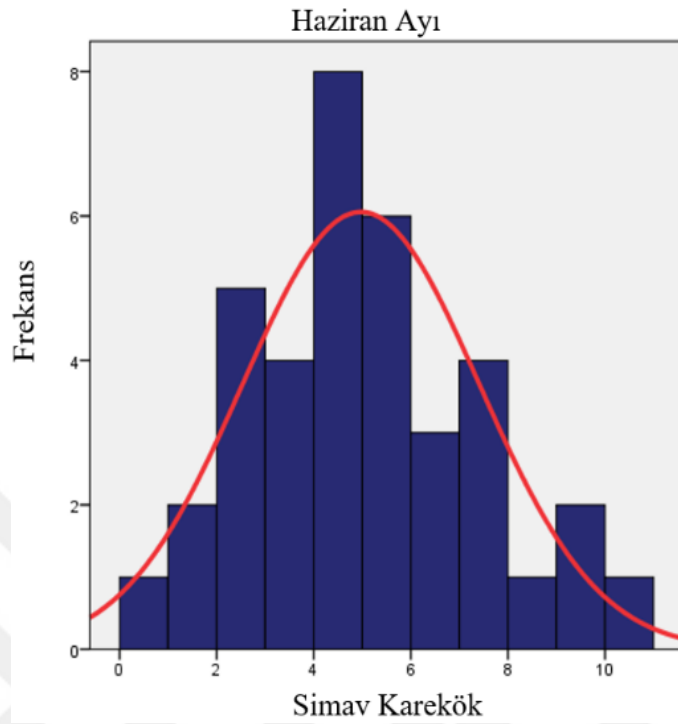
Tablo 13 incelendiğinde, simüle veri setlerinin çarpıklık ve basıklık katsayılarına göre yaklaşık %48'inin, Jarque-Bera testine göre %61,54'ünün, Shapiro-Wilk testine göre ise %81,20'sinin normal dağılım göstermediği ortaya çıkmaktadır. Hidrolojik verilerde aykırı değerler çoğu zaman kaçınılmazdır. Hidrolojik verilerin yüksek değişkenliğe sahip olması istatistiksel dağılımlarının çarpık olmasına neden olmaktadır. Bu durum, Tablo 13'te simüle veri setlerindeki çoğu verinin normal dağılmamasını açıklamaktadır. Hidrolojik verilerin bu özelliği nedeni ile analizlerde parametrik yöntemlerin kullanımı sakıncalı olmaktadır (Yolsal, 2016). Örnek olması açısından simüle haziran ayı Simav gözlem istasyonuna ait histogram Şekil 20'de verilmiştir. Histogram incelendiğinde, şeklin normal dağılımdan (çan eğrisi) uzak olduğu ve histogramın sağa çarpık yapıda olduğu görülmektedir. Dağılımın karakteristikleri incelendiğinde ise ortalama (30,78) > mod (26,80) > medyan (22,45) şeklinde olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 20:** Simav İstasyonu Haziran Ayı Aylık Toplam Yağışların Grafiği

Verilerin normal dağılıma uygun olduğu varsayımına dayanan senaryolarda, normallik varsayımını karşılamayan verilerin dönüştürme işlemleriyle dönüştürülmesi gerekmektedir. Yaygın olarak kullanılan dönüştürme yöntemlerinden bazıları karekök, logaritmik, küp kök ve ters dönüşümdür. Bu tez çalışmasında, normal dağılım göstermeyen veri setlerine ilk olarak karekök dönüşümü uygulanmıştır. Bu dönüşümün yetersiz kaldığı durumlarda sırası ile logaritmik ve küp kök dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Aynı örnek üzerinde, simüle haziran ayı Simav istasyonunun aylık toplam yağış verilerine uygulanan karekök dönüşümden sonra elde edilen histogram Şekil 21'de sunulmuştur. Şekil 21 incelendiğinde grafiğin çan eğrisi şeklinde

yapıya sahip olduğu görülmektedir. Dönüştürme işleminden sonra incelenen dağılım karakteristiklerinin ise ortalama, mod ve medyan değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 21:** Simav İstasyonu Haziran Ayı Aylık Toplam Dönüştürülmüş Yağışların Grafiği

Dönüştürme işleminin başarısı grafiksel incelemenin ötesinde Shapiro-Wilk ve Jarque-Bera testleri ile doğrulanmıştır. Tablo (13-15)'in genel bir değerlendirmesi yapıldığında, aşağıdaki bulgular ve çıkarımlar elde edilmiştir:

- Shapiro-Wilk normallik varsayımını sınavan en güçlü testtir. Çarpıklık ve basıklık katsayılarının  $\pm 1$  içinde olduğu birçok veri setinde bile Shapiro-Wilk testine göre normallik varsayımı karşılanamamıştır.
- Jarque-Bera test sonuçları ham veri setlerinin yaklaşık %38,46'sının normal dağılıma uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum yağış verilerinin doğası gereği genellikle çarpık ve düzensiz bir yapıya sahip olduğunun önemli bir göstergesidir.
- Literatürde normallik varsayımının değerlendirilmesi için çarpıklık ve basıklık katsayıları üzerine farklı eşik değerler ( $\pm 1,5$  ya da  $\pm 2$ ) bulunmaktadır. Bu tür eşik değerleri dikkate alarak yapılan bir değerlendirme pratik bir yaklaşım olmasına rağmen sezgisel bir bakış açısı sunmaktadır. Bu nedenle kapsamlı bir değerlendirme için normallik testlerinin kullanılması daha güvenilir sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında, çarpıklık ve basıklık katsayılarının  $\pm 1$

aralığında olduğu çoğu durumlarda, Jarque-Bera testine göre veri setlerinin normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda, normallik varsayımının sadece çarpıklık ve basıklık katsayıları dikkate alınarak değerlendirildiği çalışmalarda, daha geniş aralıklar yerine  $\pm 1$  değerinin dikkate alınması daha uygun bir yaklaşımdır.

- Bu tez çalışmada kullanılan normallik varsayımı değerlendirme yöntemlerini en güçlüden en zayıfa doğru Shapiro-Wilk, Jarque-Bera, çarpıklık ve basıklık katsayıları şeklinde sıralamak mümkündür.
- Dönüştürülen verilerin normallik analizi sonuçlarında iyileşme görülmektedir. Bu durum veri dönüştürme işlemlerinin başarılı olduğunu ve verilerin normalleştiğini ya da normal dağılıma yaklaştığını göstermektedir.

Kayıp veri atama yöntemlerinin performansları HKOK, OMH ve OYH kullanılarak değerlendirilmiştir (Tablo 16).

**Tablo 16:** Kayıp Veri Atama Yöntemlerinin Performans Değerlendirmesi

Yöntem	Gerçek Değerler ile Tahmini Değerler Arasındaki Karşılaştırma			
	HKOK	OMH	OYH	
Serisel Ortalama	27,05	17,20	-3,04	
Yakın Noktalar Ortalaması	30,07	18,50	-6,14	
Yakın Noktalar Medyan Ataması	31,96	18,58	-9,90	
Lineer İnterpolasyon	29,22	18,86	-2,27	
Hot-Deck (k=1 → kNN)	25,92	16,07	-2,15	
kNN2	23,31	14,77	-3,61	
kNN3	21,61	13,96	-3,94	
kNN4	22,71	14,81	-2,88	
kNN5	21,73	14,14	-3,93	
kNN6	22,13	14,46	-4,32	
kNN7	23,07	15,28	-2,77	
kNN8	23,60	15,56	-3,15	
kNN9	22,78	15,10	-3,71	
kNN10	25,26	15,61	-2,56	
EM	S1: Ham Veri Tek Korelasyon	22,98	14,20	-1,01
	S2: Ham Veri Ayrı Korelasyonu	23,11	14,46	-0,19
	S3: Dönüştürülmüş Veri Tek Korelasyon	23,02	13,24	-4,56
	S4: Dönüştürülmüş Veri Ayrı Korelasyon	23,81	14,10	-4,11

Tablo 16 kayıp veri atama yöntemlerinin performansları incelendiğinde, yöntemler arasında HKOK değerleri ile OMH değerlerinin birbirine nispeten yakın olduğu görülmektedir. OYH, tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ortalama sapmayı yansıtmaktadır. OYH'nin sıfıra yakın olması tahminlerin gerçek değerlere yakın olduğunu göstermektedir. Hata metrikleri ile yapılan değerlendirmede benzer sonuçların elde edilmesi nedeniyle nihai değerlendirmede OYH kullanılmıştır. Değerlendirme kriterleri sonucunda BM algoritmasının en uygun kayıp veri atama yöntemi olduğu ve senaryo 2'nin en başarılı senaryo olduğu belirlenmiştir. Yakın noktaların medyan ataması en kötü performansı gösterirken kNN, BM algoritmasından sonra en etkili yöntem olarak öne çıkmıştır.

Normallik varsayımının ve istasyon seçiminin BM algoritmasının performansı üzerindeki etkisi oluşturulan senaryolarla araştırılmıştır. BM algoritmasına ilişkin değerlendirmeler aşağıda özetlenmiştir:

- Bu tez çalışmasında BM algoritmasının uygulamasında birbirine yakın olan istasyonlar doğrudan eşleştirilmemiştir. Örneğin Uludağ istasyonu ile Bursa istasyonu birbirlerine yakın olmalarına rağmen çevresel koşulları ve yerel özellikleri bakımından aynı değildir. Her iki istasyon topoğrafik, meteorolojik ve hidrolojik açılardan birbirinden fiziksel olarak farklı yapıdadır. İstatistiksel bir yöntem olan korelasyon analizi fiziksel olayları içermeyen aynı birime (yağış) sahip iki zaman serisi arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Kayıp veri atama yöntemlerinin birçoğu istatistiksel analizlere dayandığı için istasyonları yalnızca konumlarına göre eşleştirmek doğru bir yaklaşım olmayabilir.
- Kayıp veri atama yöntemleri arasında maksimum benzerlik tabanlı olan BM algoritması, karşılıklı verilerin mertebelerinden etkilenmemektedir. Örneğin, karekök dönüşümü uygulanmış bir hedef istasyon ile logaritmik dönüşüm uygulanmış bir anahtar istasyon eşleştirildiğinde her iki istasyon kendi dönüşüm mertebelerine göre tamamlanmaktadır.
- Verilerin normal dağılıma uyduğu varsayımına dayanan senaryolarda, dönüşüm işlemlerinin ardından uygulanan BM algoritması ile kayıp veri atamalarında, tahminlerin yanlış sonuçlar ortaya koyduğu belirlenmiştir.
- Tüm kayıp veri atama yöntemlerinin performans değerlendirildiğinde, tahmin edilen değerlerin gerçek değerlerden daha düşük olduğunu gösteren negatif yanlılık gözlenmiştir.

Çalışmanın bulguları BM algoritmasının güçlü istatistiksel temeli, iteratif yaklaşımı ve model parametrelerini optimize etmesi sayesinde kayıp veri atamasında kullanışlı olduğunu ortaya koymaktadır.

### **3.1.3. Eksik Verilerin Tamamlanması**

#### **3.1.3.1. Eksik yağış verilerinin beklenti maksimizasyonu ile tamamlanması**

Senaryo 2'nin simüle veri setleri için en uygun kayıp veri atama yöntemi olduğu belirlendikten sonra gerçek veri setlerindeki kayıp değerlerin tamamlanması için söz konusu senaryo kullanılmıştır. Senaryo 2, ham verilerin orijinal yapısının korunduğu ve hedef istasyonun her ay en yüksek korelasyona sahip olduğu anahtar istasyon ile eşleştirilmesine dayanmaktadır. İstasyonlar arasındaki ilişkiyi ortaya koyan uygun korelasyon yöntemini seçmek için gerçek aylık yağış verilerine normallik analizleri uygulanmıştır. Elde edilen normallik analiz sonuçları Tablo 17'de verilmiştir. Nihai değerlendirmede kullanılan Jarque-Bera testi sonucuna göre normal dağılım varsayımını sağlayan (sağlamayan) istasyonlar arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için Pearson korelasyon katsayısı (Spearman'ın sıra korelasyon katsayısı) kullanılmıştır. Ardından hedef istasyonun en yüksek korelasyona sahip olduğu anahtar istasyonun verileri kullanılarak kayıp veriler BM algoritması ile tamamlanmıştır.

#### **3.1.3.2. Eksik sıcaklık verilerinin beklenti maksimizasyonu ile tamamlanması**

Bu tez çalışmasında, yağış verileri için en uygun tamamlama yöntemi olarak belirlenen BM algoritması, Senaryo 2 çerçevesinde eksik sıcaklık verilerinin tamamlanmasında kullanılmıştır. Bu kapsamda yağış verilerinde olduğu gibi öncelikle gerçek aylık ortalama sıcaklık verine normallik analizleri uygulanarak sonuçlarına Tablo 18'de yer verilmiştir. Jarque-Bera test sonucuna göre kayıp değere sahip aylardaki tüm sıcaklık verilerinin normal dağılıma uyduğu belirlenmiştir. Bu nedenle tüm istasyonlar arasındaki ilişkinin belirlenmesinde Pearson korelasyon katsayısı dikkate alınmıştır. Ardından hedef istasyonun en yüksek korelasyona sahip olduğu anahtar istasyonun verileri kullanılarak kayıp veriler BM algoritması ile tamamlanmıştır.

**Tablo 17: Gerçek Yağış Veri Setlerinin Normallik Analizi**

Ay	Yöntem	Bandırma	Bigadiç	Bursa	Dursunbey	Edremit	Gediz	Gönen	Keles	Kütahya	Mustafakemalpaşa	Simav	Tavşanlı	Uludağ
Ocak	Çarpıklık	0,842	0,582	0,454	0,867	0,555	0,773	0,565	0,762	0,678	0,943	0,879	1,137	3,960
	Basıklık	0,760	-0,380	-0,874	0,300	-0,823	0,695	-0,612	-0,014	0,120	1,484	0,347	1,689	20,595
	Shapiro-Wilk	0,036	0,068	0,045	0,014	0,013	0,070	0,040	0,022	0,033	0,037	0,010	0,005	0,000
	Jarque-Bera	0,083	0,290	0,255	0,091	0,198	0,124	0,244	0,156	0,232	0,019	0,085	0,004	0,000
Mayıs	Çarpıklık	1,042	1,171	0,752	1,206	1,877	0,765	1,309	0,809	0,532	0,928	1,103	0,592	1,250
	Basıklık	0,442	1,113	-0,090	2,233	4,374	0,169	1,059	-0,020	-0,341	0,084	1,500	-0,440	1,691
	Shapiro-Wilk	0,001	0,000	0,032	0,005	0,000	0,015	0,000	0,011	0,187	0,004	0,009	0,041	0,003
	Jarque-Bera	0,030	0,007	0,160	0,001	0,000	0,157	0,003	0,123	0,345	0,065	0,006	0,259	0,001
Haziran	Çarpıklık	1,236	2,074	1,050	1,252	2,445	1,046	1,918	1,803	0,816	1,489	1,286	1,540	1,406
	Basıklık	0,825	4,741	1,265	1,649	6,032	0,160	4,209	4,040	0,099	3,494	1,204	1,815	2,892
	Shapiro-Wilk	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,001	0,000	0,000	0,001
	Jarque-Bera	0,007	0,000	0,014	0,002	0,000	0,031	0,000	0,000	0,121	0,000	0,003	0,000	0,000
Temmuz	Çarpıklık	0,781	2,936	1,206	1,952	2,164	2,294	1,090	0,965	1,407	3,022	1,869	1,006	2,790
	Basıklık	-0,536	10,867	0,913	3,879	4,666	6,125	0,175	-0,002	1,985	11,932	3,886	0,551	9,724
	Shapiro-Wilk	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
	Jarque-Bera	0,117	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,026	0,060	0,000	0,000	0,000	0,044	0,000
Ağustos	Çarpıklık	2,378	3,481	2,115	1,600	2,015	2,348	3,263	4,195	1,898	1,128	2,950	2,590	3,839
	Basıklık	6,785	14,459	5,719	1,895	3,422	7,611	12,365	22,038	3,367	0,156	10,891	7,383	19,065
	Shapiro-Wilk	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Jarque-Bera	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,034	0,000	0,000	0,000
Eylül	Çarpıklık	2,169	1,125	0,703	1,382	2,150	2,069	2,022	1,497	2,322	1,216	1,929	1,125	1,661
	Basıklık	4,734	1,157	-0,472	1,460	4,284	4,373	4,080	2,107	6,638	0,750	4,023	0,079	2,750
	Shapiro-Wilk	0,000	0,001	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Jarque-Bera	0,000	0,023	0,175	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,025	0,000
Ekim	Çarpıklık	1,378	1,474	4,353	0,938	0,921	1,245	2,025	1,871	0,581	1,691	1,274	0,913	1,853
	Basıklık	2,350	2,224	21,725	0,782	-0,281	1,596	5,654	5,194	-0,466	4,096	2,085	1,215	3,527
	Shapiro-Wilk	0,001	0,000	0,000	0,023	0,000	0,002	0,000	0,000	0,076	0,000	0,002	0,015	0,000
	Jarque-Bera	0,000	0,000	0,000	0,048	0,064	0,002	0,000	0,000	0,264	0,000	0,000	0,034	0,000
Kasım	Çarpıklık	2,402	0,310	0,214	0,583	1,000	0,887	1,702	0,389	1,695	0,567	0,824	0,664	0,618
	Basıklık	9,404	-0,434	-1,073	0,100	1,878	1,374	5,099	-0,472	3,772	0,026	0,717	0,114	0,039
	Shapiro-Wilk	0,000	0,624	0,083	0,315	0,025	0,029	0,000	0,368	0,000	0,226	0,083	0,117	0,223
	Jarque-Bera	0,000	0,589	0,314	0,340	0,006	0,031	0,000	0,474	0,000	0,357	0,094	0,247	0,296
Aralık	Çarpıklık	0,674	0,696	0,646	0,841	2,051	0,844	0,825	0,658	1,638	0,262	1,777	1,205	0,811
	Basıklık	0,268	0,922	0,609	0,240	6,636	0,360	0,905	0,449	4,519	-0,402	4,112	2,791	1,669
	Shapiro-Wilk	0,067	0,062	0,227	0,024	0,000	0,024	0,044	0,270	0,000	0,604	0,000	0,011	0,051
	Jarque-Bera	0,235	0,155	0,233	0,106	0,000	0,102	0,080	0,240	0,000	0,652	0,000	0,000	0,027

Çarpıklık/Basıklık  $\pm 1,5$  değerini aşmaktadır.

Shapiro-Wilk testi için  $H_0$  hipotezi reddedilmektedir.

Jarque-Bera testi için  $H_0$  hipotezi reddedilmektedir.

**Tablo 18:** Aylık Ortalama Sıcaklık Verilerinin Normallik Analizi

Ay	Yöntem	Bandırma	Bigadiç	Bursa	Dursunbey	Edremit	Gediz	Gönen	Keles	Kütahya	Mustafakemalpaşa	Simav	Tavşanlı	Uludağ
Ocak	Çarpıklık	-0,253	-0,163	-0,126	-0,215	0,079	-0,336	-0,207	-0,267	-0,482	-0,094	-0,350	-0,458	-0,140
	Basıklık	-1,006	-1,178	-1,055	-0,921	-0,740	-0,729	-1,217	-0,461	-0,867	-1,222	-0,813	-0,536	0,475
	Shapiro-Wilk	0,085	0,069	0,050	0,193	0,202	0,111	0,024	0,529	0,013	0,031	0,159	0,126	0,964
	Jarque-Bera	0,329	0,287	0,355	0,396	0,571	0,413	0,247	0,616	0,237	0,272	0,360	0,372	0,880
Eylül	Çarpıklık	0,235	0,266	0,448	0,499	0,234	0,252	0,256	0,441	0,355	0,125	0,398	0,180	0,622
	Basıklık	0,618	1,170	1,186	0,939	0,274	-0,002	0,682	0,509	0,245	0,617	0,153	1,790	-0,209
	Shapiro-Wilk	0,667	0,217	0,163	0,387	0,945	0,985	0,349	0,511	0,311	0,260	0,667	0,024	0,103
	Jarque-Bera	0,731	0,407	0,264	0,304	0,834	0,803	0,679	0,498	0,668	0,836	0,605	0,155	0,268
Ekim	Çarpıklık	0,196	0,377	0,165	0,138	0,107	-0,081	0,095	0,153	0,127	0,253	0,033	0,150	0,175
	Basıklık	-0,769	-0,322	-0,486	-0,995	-1,002	-1,133	-0,501	-1,000	-0,997	-0,371	-0,946	-1,080	-0,806
	Shapiro-Wilk	0,164	0,535	0,342	0,182	0,234	0,143	0,722	0,164	0,296	0,546	0,360	0,135	0,229
	Jarque-Bera	0,497	0,554	0,694	0,387	0,392	0,321	0,726	0,379	0,389	0,676	0,441	0,334	0,487
Kasım	Çarpıklık	0,313	-0,303	0,171	0,131	0,003	0,116	0,010	0,051	-0,210	0,032	0,076	0,018	-0,082
	Basıklık	0,044	0,431	0,162	0,168	-0,348	-0,276	-0,346	0,122	0,407	-0,085	0,328	0,004	-0,367
	Shapiro-Wilk	0,634	0,839	0,891	0,929	0,927	0,855	0,696	0,902	0,513	0,959	0,617	0,931	0,848
	Jarque-Bera	0,726	0,720	0,911	0,947	0,841	0,843	0,842	0,991	0,836	0,957	0,964	0,983	0,813
Aralık	Çarpıklık	-0,179	-0,224	-0,067	-0,131	-0,440	0,003	-0,242	-0,283	-0,180	-0,069	-0,141	-0,146	-0,497
	Basıklık	-0,768	-0,699	-0,723	-0,681	-0,177	-0,351	-0,759	-0,275	-0,509	-0,841	-0,652	-0,601	0,522
	Shapiro-Wilk	0,615	0,484	0,700	0,770	0,336	0,949	0,293	0,507	0,328	0,262	0,569	0,211	0,101
	Jarque-Bera	0,509	0,529	0,586	0,591	0,502	0,839	0,472	0,683	0,669	0,505	0,604	0,635	0,420

■ Çarpıklık/Basıklık  $\pm 1,5$  değerini aşmaktadır.

■ Shapiro-Wilk testi için  $H_0$  hipotezi reddedilmektedir.

**Tablo 19:** Aylık Ortalama Sıcaklık Verilerinin Pearson Korelasyon Analiz Sonuçları

Ay	İstasyon	Bandırma	Bigadiç	Bursa	Dursunbey	Edremit	Gediz	Gönen	Keles	Kütahya	Mustafakemalpaşa	Simav	Tavşanlı	Uludağ
Ocak	Bigadiç	0,918	1	0,951	0,949	0,924	0,886	0,968	0,885	0,913	0,959	0,911	0,91	0,741
Eylül	Mustafakemalpaşa	0,956	0,932	0,957	0,91	0,862	0,761	0,95	0,854	0,903	1	0,904	0,906	0,742
Ekim	Bigadiç	0,892	1	0,954	0,962	0,866	0,846	0,962	0,911	0,947	0,979	0,941	0,923	0,797
Kasım	Bigadiç	0,876	1	0,945	0,948	0,872	0,85	0,947	0,906	0,95	0,972	0,958	0,934	0,799
Aralık	Bigadiç	0,89	1	0,943	0,954	0,858	0,885	0,957	0,901	0,945	0,979	0,925	0,923	0,583

## 3.2. KURAKLIK ANALİZLERİ

Kuraklık analizi çalışmalarının ilk aşaması, kullanılacak hidrometeorolojik verilerin homojenlik (türdeşlik) testleri kullanılarak homojenlik kontrolünün yapılmasıdır. Homojenliğin bozulduğu verilerde meydana gelen değişimlerin veribilgi (metadata) aracılığıyla incelenerek değişimin doğal nedenlerden mi yoksa yapay nedenlerden mi kaynaklandığı belirlenmelidir (Demircan, 2019).

### 3.2.1. Homojenlik Testlerinin Sonuçları

Çalışmanın bu aşamasında yıllık toplam yağış verilerinin homojenliğini değerlendirmek amacıyla Pettitt, Buishand Aralık, SNHT ve Von Neumann Oran Testleri kullanılmıştır. Bu testlere ait kritik değerler Bölüm 2.5.1.4.'de yer alan Tablo 9'da sunulmuştur. Homojenlik testlerinin 1981-2021 çalışma dönemine ait kritik değerleri ise enterpolasyon tekniği ile hesaplanarak Tablo 20'de verilmiştir.

**Tablo 20:** Hidrometeorolojik Veriler için Kritik Değer Tablosu

%5 Anlamlılık seviyesi için kritik değerler			
Pettitt Testi	Buishand Aralık Testi	Standart Normal Homojenlik Testi	Von Neumann Oran Testi
173,8	1,532	8,135	1,495

#### 3.2.1.1. Yağış verilerinin homojenlik testi

Kayıp veri analizleri sonucunda tamamlanan yağış serilerinin sonraki iklim değişikliği, kuraklık ve meteorolojik analizlerde kullanılabilmesi için veri kalitesinin güvenilir olması gerekmektedir. Hidrometeorolojik verinin homojen olması sistematik bir değişim ya da anormal bir sapmanın olmadığı anlamına gelmektedir. Homojen olmayan hidrometeorolojik veri serilerinde ise ani değişimler veya tutarsızlıklar gözlenmektedir. Kırılmanın doğal nedenlerden mi yoksa yapay nedenlerden mi kaynaklandığı veribilgi (metadata) incelemesi ile belirlenmektedir. İstasyonlarda eş zamanlı meydana gelen kırılma iklimsel değişimin yansıması olarak kabul edilmektedir (Katipoğlu, 2020).

Bu çalışmada homojenlik testleri için test istatistikleri Mathematica ile hesaplanarak %95 güven aralığında değerlendirilmiştir. Homojenlik testlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 21'de verilmiştir. Söz konusu tabloda görüldüğü üzere istasyonların yıllık toplam yağış verilerinin yaklaşık %85'i homojendir. Bu bulgu, iklim değişikliği ve hidrolojik modelleme çalışmalarında tahminlerin ve uzun vadeli eğilimlerin güvenilir bir şekilde değerlendirilebilmesi için güçlü bir temel sunmaktadır. Ayrıca bu tez çalışmasında geliştirilen

kayıp veri metodolojisi kapsamındaki kayıp veri atama işleminin başarılı olduğunu ve istasyon verilerinde tutarsızlık bulunmadığını ortaya koymasından da önemlidir.

**Tablo 21:** Yıllık Toplam Yağış Verilerinin Homojenlik Analiz Sonuçları\*

İstasyonlar	Pettitt	Buishand	SNHT	VonNeum	Homojenlik
Bandırma	118	1,197	4,406	1,948	Sınıf 1: Homojen
Bigadiç	96	1,026	2,794	1,535	Sınıf 1: Homojen
Bursa	96	1,216	2,711	1,845	Sınıf 1: Homojen
Dursunbey	126	1,129	3,170	1,765	Sınıf 1: Homojen
Edremit	118	1,251	6,137	1,645	Sınıf 1: Homojen
Gediz	82	0,783	4,291	2,023	Sınıf 1: Homojen
Gönen	184 (2008)*	1,546 (2008)*	6,461	1,454*	Sınıf 3: A. Şüpheli
Keles	72	0,751	6,272	1,848	Sınıf 1: Homojen
Kütahya	148	1,277	4,946	1,931	Sınıf 1: Homojen
Mustafakemalpaşa	138	1,093	3,301	1,957	Sınıf 1: Homojen
Simav	220 (2012)*	1,209	10,865*	1,413*	Sınıf 3: A. Şüpheli
Tavşanlı	220*	1,335	7,078	1,824	Sınıf 1: Homojen
Uludağ	168	0,988	4,500	1,670	Sınıf 1: Homojen

“\*\*” simgesi homojen olmayan sonuçları göstermektedir.

Çalışmada kullanılan istasyonların homojenliği değerlendirildiğinde, kırılmalar sadece Simav ve Gönen istasyonlarında ve farklı yıllarda gerçekleştiği için yapay kırılma olarak değerlendirilmiştir. Bu nedenle Simav ve Gönen istasyonlarına ait verilerin düzeltilmesi (homojenliğinin sağlanması) gerekmektedir.

### Yağış verilerinin homojen hale getirilmesi

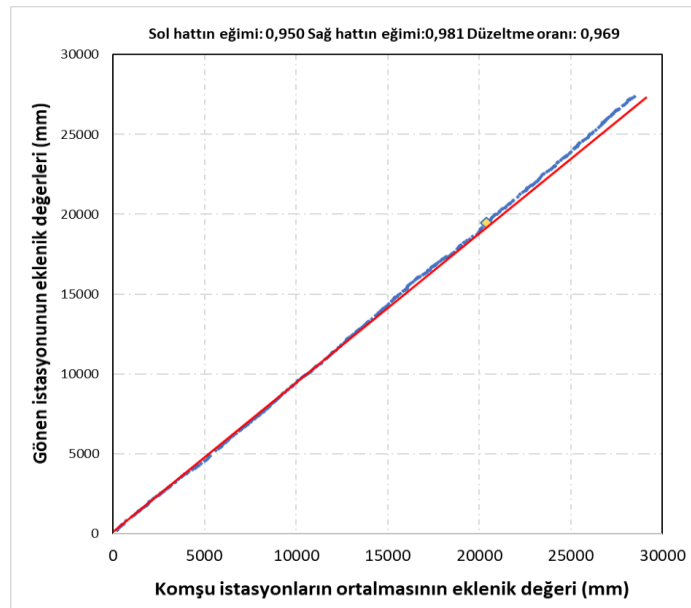
Hidrometeorolojik verilerde tespit edilen kırılmalar iklimin doğal değişiminden kaynaklanmıyorsa çift toplam eğri yönteminde hesaplanan düzeltme faktörü katsayısı ile homojen hale getirilmelidir. Searcy ve Hardison (1960), çalışmalarında gösterilenden farklı olarak bazı araştırmacıların çift toplam eğri yöntemini kullanırken zamanda geriye doğru kümülatif toplamları elde ettiklerini ve grafik üzerinde de bu şekilde göstermeyi tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Aynı çalışmada bu tür bir toplamın, farklı başlangıç tarihine sahip olan kayıtların tutarlılık açısından test edilmesinde uygun olduğunu ancak yeni verilerin tabloya veya grafiğe eklenmesini engellediğini de vurgulamışlardır. Bu tez çalışmasında, kümülatif toplamlar Searcy ve Hardison (1960) tarafından belirtildiği şekilde hesaplanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda Simav ve Gönen istasyonlarının aylık toplam yağış verilerindeki sapmalar, homojen ve sürekli verilere sahip istasyonlar (üç adet) kullanılarak çift

toplam eğri yöntemi ile düzeltilmiştir. Düzeltilen yeni yağış verilerinin kullanıldığı yağış serilerine yeniden homojenlik testi uygulanarak homojenlikleri kontrol edilmiştir.

Çift toplam eğri yönteminde yüksek korelasyona sahip olan istasyonların seçilebilmesi amacıyla öncelikle Gönen istasyonunun normallik analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda; çarpıklık ve basıklık katsayılarının (sırasıyla 1,437; 2,792) belirlenen eşik değer ( $\pm 1,5$ ) aralığında olmadığı, Shapiro-Wilk ve Jarque-Bera test sonuçlarının ise  $p < 0,05$  olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, Gönen istasyonuna ait aylık toplam yağış verilerinin normal dağılıma uymadığını ortaya koymuştur. Bu nedenle Gönen istasyonu ile diğer istasyonlar arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için Spearman'ın sıra korelasyon katsayısı kullanılmıştır. Farklı eşleştirme analizleri sonrasında Gönen istasyonuna ait verilerin çift toplam eğri yöntemi ile düzeltilmesinde yüksek korelasyona sahip Bandırma (0,878), Mustafakemalpaşa (0,831) ve Edremit (0,810) istasyonlarının kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir.

Şekil 22'de meydana gelen eğim değişikliği Gönen istasyonunun aylık yağış verilerinde tutarsızlık olduğunu göstermektedir. İklim değişikliği tüm istasyonları eş zamanlı etkileyeceği için eğim değişikliğine neden olmamaktadır. Bu nedenle gözlenen kırılma sistematik bir hatadan meydana gelmiştir. Yağış verilerindeki bu tutarsızlığı düzeltmek için eğim değişikliğinden sonraki veriler sol hattın eğim uzantısına getirilmiştir. Bu kapsamda eğim değişikliğinden sonraki verileri düzeltmek için sol hattın eğimi sağ hattın eğimine bölünerek düzeltme oranı elde edilmiştir. Düzetilecek yağış verileri ile bu oran çarpılarak tüm verilerin tek bir hat üzerinde toplanması sağlanmıştır.



**Şekil 22:** Gönen Gözlem İstasyonunun Çift Toplam Eğri

Gönen istasyonuna benzer şekilde Simav istasyonuna ait aylık toplam yağış verileri çift toplam eğri yöntemi ile düzeltilmiştir. Düzeltilen yeni yağış verilerinin kullanıldığı yağış

serilerinin homojenlik analiz sonuçları Tablo 22’de verilmiştir. Söz konusu tablodan görüldüğü üzere yağış verilerinin düzeltilmesinden sonra elde edilen yağış serileri homojendir.

**Tablo 22:** Düzenlenen Yağış Verilerinin Homojenlik Analizleri\*

İstasyonlar	Pettitt	Buishand	SNHT	Von-Neumann	Homojenlik Sınıfı
Gönen	156	1,399	6,926	1,494*	Sınıf 1: Homojen
Simav	138	1,182	8,446	1,521	Sınıf 1: Homojen

“\*” simgesi homojen olmayan sonuçları göstermektedir.

### 3.2.1.2. Sıcaklık verilerinin homojenlik testi

Aylık ortalama sıcaklık verilerindeki kayıp değerler tamamlandıktan sonra yıllık ortalama sıcaklık serileri elde edilmiştir. Yıllık ortalama sıcaklık serilerinin homojenlik testleri için test istatistikleri %95 güven aralığına göre Mathematica yazılımında hesaplanmıştır. İstasyonların yıllık ortalama sıcaklık verilerinin homojenlik test sonuçları ve kırılma yılları Tablo 23’te verilmiştir. Söz konusu tabloda, sadece Bigadiç istasyonuna ait sıcaklık verilerinin Von-Neumann testi kapsamında homojen olduğu belirlenmiştir.

**Tablo 23:** Yıllık Ortalama Sıcaklık Verilerinin Homojenlik Analiz Sonuçları\*

İstasyon	Pettitt	Buishand	SNHT	VonNeumann	Homojenlik
Bandırma	343 (2006)	2,37 (2006)	24,14 (2006)	0,59	Sınıf 3: A. Şüpheli
Bigadiç	282 (1997)	1,55 (1997)	10,80 (1993)	1,87*	Sınıf 3: A. Şüpheli
Bursa	312 (2006)	2,11 (2006)	19,18 (2006)	0,92	Sınıf 3: A. Şüpheli
Dursunbey	321 (1997)	2,06 (1997)	17,06 (2006)	1,14	Sınıf 3: A. Şüpheli
Edremit	395 (1998)	2,58 (1998)	27,28 (1997)	0,56	Sınıf 3: A. Şüpheli
Gediz	372 (1997)	2,36 (1997)	22,41 (1997)	0,71	Sınıf 3: A. Şüpheli
Gönen	371 (1997)	2,44 (1997)	24,85 (1997)	0,76	Sınıf 3: A. Şüpheli
Keles	295 (2006)	2,06 (2006)	18,35 (2011)	1,01	Sınıf 3: A. Şüpheli
Kütahya	353 (2003)	2,25 (2006)	22,24 (2006)	0,93	Sınıf 3: A. Şüpheli
Mustafakemalpaşa	334 (1997)	2,22 (2006)	21,32 (2006)	0,90	Sınıf 3: A. Şüpheli
Simav	378 (1997)	2,43 (1997)	23,89 (1997)	0,82	Sınıf 3: A. Şüpheli
Tavşanlı	338 (2000)	2,14 (2000)	18,19 (2000)	1,03	Sınıf 3: A. Şüpheli
Uludağ	358 (2006)	2,27 (2006)	22,16 (2006)	0,96	Sınıf 3: A. Şüpheli

“\*” simgesi homojen olan sonuçları göstermektedir.

### 3.2.1.3. Sıcaklık verilerindeki homojen olmama durumunun araştırılması

Homojenlik testleri, hidrometeorolojik veri serilerindeki tutarsızlıkları tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. Homojen olmayan veri serilerindeki kırılmaların veribilgi (metadata) kullanılarak iklim değişikliğinden kaynaklanıp kaynaklanmadığı incelenmelidir. Veri serilerindeki kırılmaya neden olan yapay etkiler arasında istasyon konumunun ve

istasyonda kullanılan alet-ölçüm sisteminin değişmesi gibi etkenler yer almakta iken doğal etkiler arasında ise sıcaklık dalgalanmaları, atmosferik salınımlar ve volkanik patlamalar yer almaktadır. Dolayısıyla birden fazla istasyonda aynı anda türdeşlik kırılmasının meydana gelmesi genellikle iklimdeki doğal değişimler ile ilişkilendirilmektedir.

Yıllık ortalama sıcaklık verilerinin homojenlik test sonuçları incelendiğinde (Tablo 23) kırılmaların 1997 ve 2006 yıllarında yoğunlaştığı görülmektedir. Dolayısıyla farklı yıllarda meydana gelen bu kırılmaların doğal etkilerden kaynaklanıp kaynaklanmadığının detaylı olarak araştırılması gerekmektedir. Doğal etkiler arasında yer alan salınımlar, atmosferdeki dolaşımı ve birbirlerini etkileyebilmektedir. Bu etkinin şiddeti ve etki zamanı, salınım indekslerinin şiddetine ve meydana geldikleri bölgeler arasındaki uzaklığa bağlı olarak değişmektedir. Demircan (2019) Türkiye için en çok çalışan salınım indekslerinden birinin Kuzey Atlantik Salınımı (KAS) indeksi olduğunu belirtmiştir.

Sıcaklık, meydana gelen doğa olaylarına en hızlı tepki veren iklim parametrelerinden biridir. Örneğin, yanardağ patlamalarından sonra atmosferde oluşan aerosoller, öncelikle bölgesinde olmak üzere patlamanın şiddetine bağlı olarak hatta küresel ölçekte, sıcaklıkların düşmesine neden olabilmektedir (Demircan, 2019).

Sıcaklık verilerindeki doğal kırılmalar iklimde meydana gelen gerçek olayların yansımaları olduğundan düzeltilmemesi (homojenleştirilmemesi) gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında veri serilerindeki kırılmaların doğal sebeplerden kaynaklı olup olmadığının belirlenmesinde literatürdeki farklı yaklaşımlar birlikte ele alınmıştır. Nihai değerlendirme aşağıda belirtilen incelemelerin ardından yapılmıştır.

- Kırılma öncesi ve sonrası dönemlerdeki sıcaklık dalgalanmalarının incelenmesi,
- Söz konusu yıllarda yanardağ patlamalarının meydana gelip gelmediğinin belirlenmesi,
- Sıcaklık verileri ile KAS indeksi arasındaki ilişkinin incelenmesi,
- Komşu istasyonların aylık ortalama sıcaklık değişimlerinin karşılaştırılması,
- İstasyonların kurulum tarihlerindeki ve günümüzdeki konum bilgileri (enlem, boylam ve rakım) kullanılarak yer değişikliği olup olmadığının araştırılmasıdır.

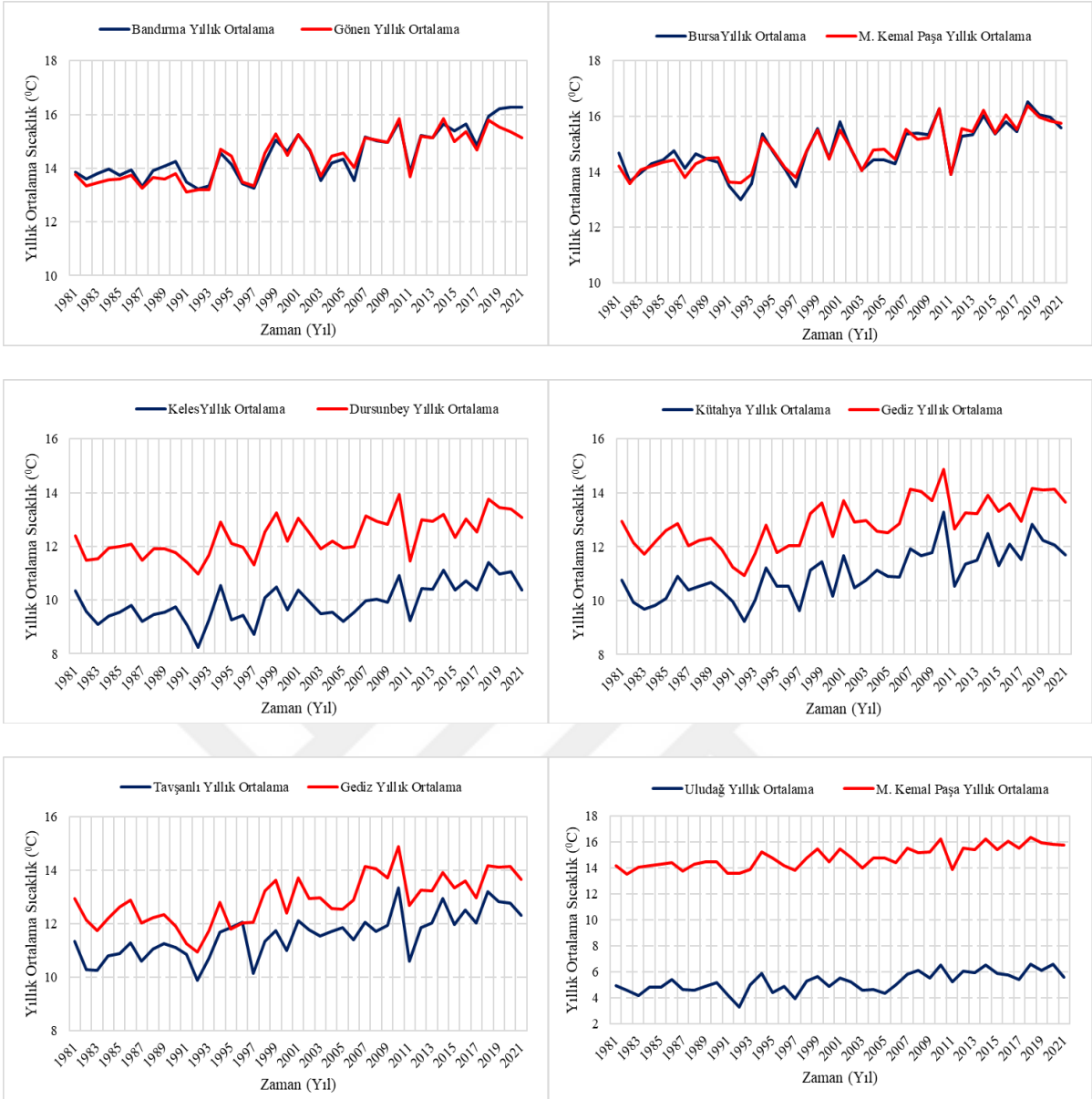
İklim değişikliği kısa veya uzun dönemli sıcaklık dalgalanmalarına, nem ve yağış değişiklikleri gibi olağandışı hava olaylarına neden olmaktadır (Xia vd., 2012; Katipoğlu, 2020). Demircan (2019) tarafından yapılan Türkiye genelindeki ortalama sıcaklıklardaki türdeşliğin incelendiği çalışmada 1993 yılında Anadolu'nun iç kesimlerinde ve 1997 yılında ise kıyı kesimlerinde ortalama sıcaklıkların arttığı belirlenmiştir. Türkeş (2000), 1997 ve 1998 yıllarındaki rekor sıcaklık artışlarında 1997/98 yıllarındaki güçlü El Niño olayının önemli bir

etkisi olduğunu ifade etmiştir. Bu doğrultuda, 1997 yılında meydana gelen kırılmaların, doğal faktörlerden kaynaklanan kırılmalar olduğu kabul edilmiştir. 2006 yılında ise Papua Yeni Gine'deki Tavurvur yanardağındaki meydana gelen patlama, ortalama sıcaklıkların üzerinde kümülatif bir soğutma etkisi oluşturmuştur (Kahn, 2014).

Kuzey Atlantik bölgesinde KAS'ın neden olduğu basınç sistemlerindeki değişim, Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz iklimini etkilemektedir (Demircan, 2018). Çalışmanın bu aşamasında, 1981-2021 dönemine ait KAS indeks değerleri ile aynı döneme ait aylık ortalama sıcaklık verileri arasındaki ilişki korelasyon katsayıları ile incelenmiştir. Bu kapsamda öncelikle aylık ortalama sıcaklık verileri ile KAS indeksinin normallik analizleri yapılmıştır. KAS indeksinin normallik sınaması sonucunda verilerin normal dağılıma uyduğu ( $p>0,05$ ) kabul edilmesine rağmen aylık ortalama sıcaklık verilerinin normal dağılıma uymaması ( $p<0,05$ ) nedeniyle KAS indeksi ile sıcaklık verileri arasındaki ilişki Spearman'ın sıra korelasyon katsayısı ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tüm istasyonların aylık ortalama sıcaklık verileri ile KAS indeksi arasında anlamlı ve negatif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Bozyurt ve Özdemir (2014) tarafından yapılan çalışmada da minimum sıcaklıklar ile KAS indeksi arasında anlamlı ve negatif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

1997 yılında meydana gelen kırılmaların doğal nedenlerden kaynaklandığı yukarıda belirtilmiştir. 2006 yılında meydana gelen kırılmaların detaylı olarak incelenebilmesi amacıyla bu kırılmaların meydana geldiği istasyonlara komşu olan ve doğal kırılmaya sahip olan istasyonların sıcaklık değişimleri karşılaştırılmıştır. Şekil 23'te sunulan karşılaştırma grafikleri sonucunda istasyonların benzer davranış gösterdikleri belirlenmiştir.

Ayrıca 2006 yılında kırılmaların gözlemlendiği istasyonların konum bilgileri MGM'den temin edilerek bu istasyonlarda zaman içinde herhangi bir konum değişikliği olmadığı belirlenmiştir. Son olarak 2006 yılında kırılmanın meydana geldiği Bandırma, Keles ve Tavşanlı istasyonları yüksek korelasyona ve doğal kırılmaya sahip istasyonlar ile çift toplam eğri yöntemi ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, söz konusu istasyonların doğal kırılmaya sahip olan istasyonlar ile yüksek düzeyde uyumlu olduklarını ortaya koymuştur.



**Şekil 23:** Yıllık Ortalama Sıcaklıkların Karşılaştırılması

Yukarıdaki bulgular doğrultusunda, sıcaklığın atmosferdeki bir dizi faktörden (su buharı, sera gazları, volkanik küller vb.) ve ölçümün yapıldığı yerin coğrafik yapısından (yükseklik, deniz kıyısı, kara içi, bitki örtüsü ve su kaynağı yanı vb.) etkilendiğini belirtmek mümkündür. Sanayi devrimi sonrası sera gazlarındaki artışa eş zamanlı olarak sıcaklık değerleri günümüze kadar artış göstermektedir. Sıcaklıklardaki bu artışlar volkanik patlamalar benzeri sebeplerle kısa süreliğine kesintiye uğramaktadır. Sıcaklıklardaki bu doğal değişimler homojenlik testlerinde kırılma olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kırılmalar, ölçüm yerlerinde herhangi bir yapay etki tespit edilmediği ve küresel ölçekte iklimi etkileyen doğal faktörlerle açıklanabildiği sürece iklimin doğal değişimi olarak değerlendirilmelidir. 1993, 2006 ve 2011 öncesinde meydana gelen volkanik patlamalar dikkate alındığında, çalışma kapsamındaki sıcaklık değişimlerinin doğal iklim salınımları olarak değerlendirilmesine ve homojenleştirilmemesine karar verilmiştir.

### 3.2.2. Meteorolojik Kuraklık Analizleri

Kuraklık, genellikle uzun süreli yağış yetersizliği ile ilişkilendirilen bir iklim olayıdır. Kuraklık indeksleri kuraklık olaylarının tanımlanması, izlenmesi ve analiz edilmesi için kullanılan tek veya çok parametrelili göstergelerdir. Bu tez çalışmasında, Susurluk havzası ve çevresinde yer alan 13 MGI'nin 1981-2021 dönemine ait yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak 6 farklı zaman ölçeğinde 4 farklı meteorolojik kuraklık indeksi hesaplanmıştır. Bu sayede kuraklığın zaman içerisindeki değişiminin ve kuraklık karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılan girdi değerleri elde edilmiştir.

#### 3.2.2.1. Standart yağış indeksinin hesaplanması

Bu çalışmada meteorolojik kuraklığın değerlendirilmesinde kullanılan indekslerden biri DMÖ tarafından önerilen SYİ'dir. SYİ, farklı zaman ölçeklerinde hesaplanabilmesi sayesinde zamansal esneklik ve yalnızca yağış verilerini kullanması sayesinde uygulama kolaylığı sağlamaktadır. SYİ'nin orijinal hesabında Gamma ODF kullanılmaktadır. Ancak yağış verilerini tek bir ODF ile tanımlamak doğru bir yaklaşım olmayabilir. Çünkü yağış karakterizasyonu; rakım, topoğrafya, coğrafi etkiler, bitki örtüsü, deniz akıntıları, denize yakınlık ve uzaklık gibi parametrelere göre değişiklik göstermektedir. Bu değişiklikler, yağışların karmaşık bir etkileşim ağına sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle bu tez çalışmasında SYİ hesabında yağış verileri için en uygun ODF'ler kullanılmıştır.

#### En uygun olasılık dağılım fonksiyonunun (ODF) belirlenmesi

Bu tez çalışmasında en uygun ODF'nin belirlenmesinde EasyFit veri analiz ve simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Farklı ODF'ler arasından en uygun ODF'nin belirlenebilmesi amacıyla yağış serilerine Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling ve Ki-kare ( $\chi^2$ ) uyum iyiliği testleri uygulanmıştır. Bu aşamada hidrolojide yaygın olarak kullanılan Gamma, LogNormal, GED, Weibull, Normal ve Lojistik dağılımları ele alınmıştır. Uyum iyiliği testleri %95 güven aralığında değerlendirilmiştir.

Çalışmada kullanılan uyum iyiliği testleri en uygun olasılık dağılım fonksiyonunu 1 olarak puanlamaktadır. Her bir yağış serisi için nihai değerlendirmede ölçek puan toplamı etkili olmuştur. Bu kapsamda en düşük puana sahip olan olasılık dağılım fonksiyonu en uygun ODF olarak seçilmiştir. Ancak bu değerlendirmede ODF'ler bazı yağış serileri için eşit ölçek puanlarına sahip olabilmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında ampirik ODF ile teorik ODF karşılaştırması yapılmıştır. Çalışmada kullanılan ODF'ler ve parametreleri Tablo 24'te verilmiştir.

**Tablo 24:** Çalışmada Kullanılan Olasılık Dağılım Fonksiyonları ve Parametreleri

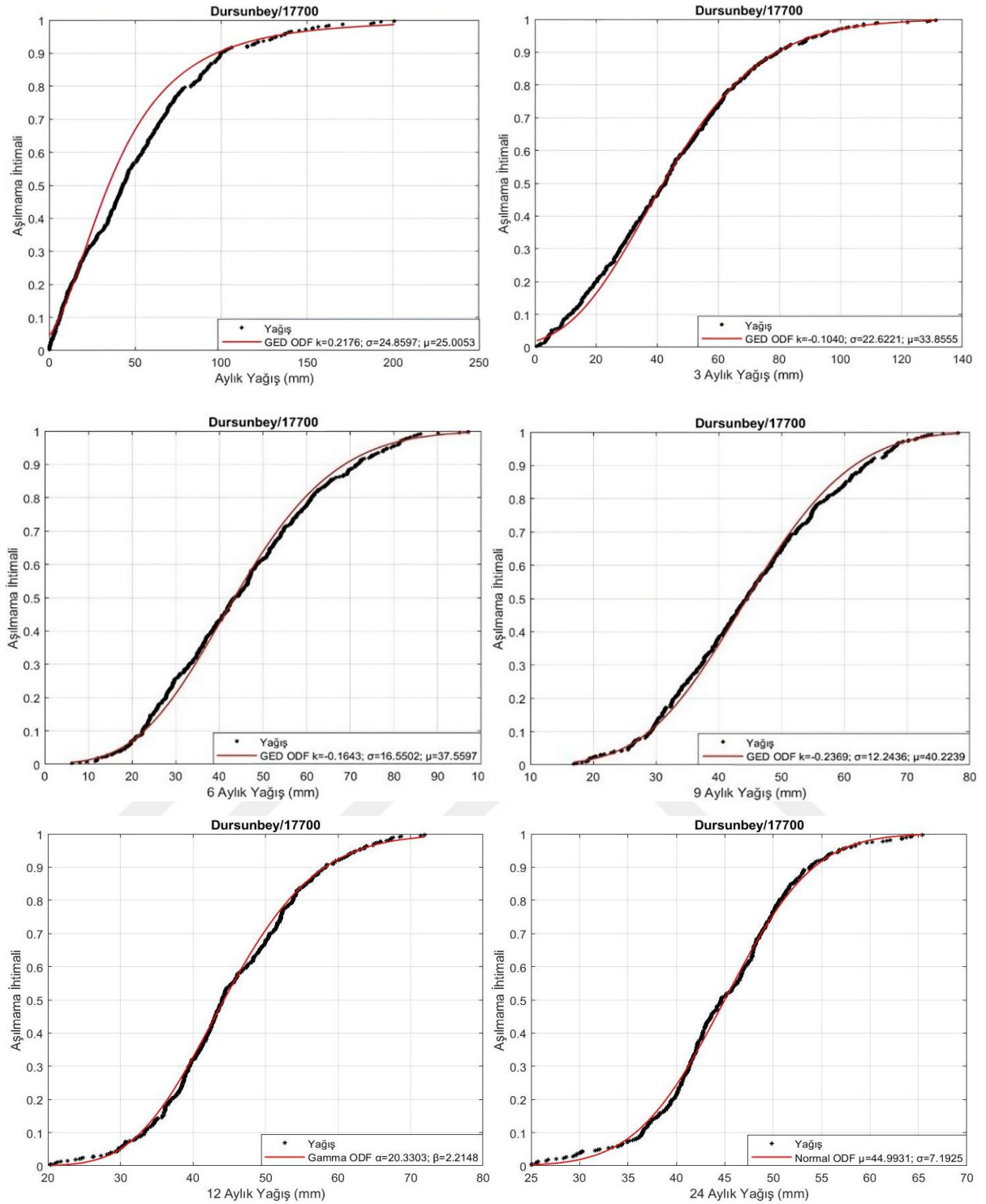
Dağılım Tipi	Olasılık Dağılım Fonksiyonu	Parametreler
Normal (NORM)	$f(x \mu,\sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$	$\mu$ = ortalama (yer parametresi) $\sigma$ = standart sapma (ölçek parametresi)
Log Normal (LN)	$f(x \mu,\sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\log x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$	$\mu$ = ortalama (yer parametresi) $\sigma$ = standart sapma (ölçek parametresi)
Gen. Ekstrem Değer (GED)	$f(x k,\mu,\sigma) = \left(\frac{1}{\sigma}\right) \exp\left(-\left(1+k\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right)^{\frac{-1}{k}}\right) \left(1+k\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right)^{-1-\frac{1}{k}}$	$k$ =şekil parametresi $\sigma$ = ölçek parametresi $\mu$ = yer parametresi
Gamma	$f(x \alpha,\beta) = \frac{1}{\beta^\alpha\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}$	$\alpha$ = şekil parametresi $\beta$ = ölçek parametresi
Weibull (WBL)	$f(x \alpha,\beta) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-(x/\alpha)^\beta}$	$\alpha$ = şekil parametresi $\beta$ = ölçek parametresi
Lojistik (LOGS)	$f(x \mu,\sigma) = \frac{\exp\left\{\frac{x-\mu}{\sigma}\right\}}{\sigma(1+\exp\left\{\frac{x-\mu}{\sigma}\right\})^2}$	$\mu$ = ortalama $\sigma$ = ölçek parametresi

Ampirik Olasılık Diyagramı: Her bir yağış serisinin artan sıraya göre sıralanması ile ampirik olasılıklar (aşılmama ihtimali),  $p$ , denklem (53) kullanılarak hesaplanmaktadır. Sıralı veriler, karşılık gelen olasılık değerleriyle çizilerek azalmayan bir dağılım diyagramını oluşturmaktadır (Topçu & Karaçor, 2023).

$$p = \frac{m}{n+1} \quad (53)$$

Burada  $m$  sıralı verinin mertebe değerini ve  $n$  gözlem sayısını ifade etmektedir.

Teorik Olasılık Diyagramı: Uyum iyiliği testleri sonucunda belirlenen en uygun ODF, ampirik dağılım diyagramına yerleştirilerek teorik ODF'nin uyumu kontrol edilmektedir. Örnek olması açısından çalışmada kullanılan istasyonlardan havzanın merkezine yakın bir konumda bulunan Dursunbey istasyonunun tüm zaman ölçeklerine ait ampirik ve teorik diyagramları Şekil 24'te sunulmuştur. Ayrıca çalışmada kullanılan diğer istasyonlardan kuzeydeki Bandırma, güneydeki Gediz, batıdaki Edremit ve doğudaki Keles istasyonlarına ait olasılık diyagramları Ek 3'te verilmiştir.



**Şekil 24:** Bandırma İstasyonunun Farklı Zaman Ölçekleri için Teorik ve Ampirik ODF Uyumları

Şekil 24'te teorik ve ampirik ODF'lerin birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Çalışmada kullanılan istasyonların tüm zaman ölçekleri için elde edilen en uygun ODF'ler Tablo 25'te verilmiştir. Söz konusu tablodan elde edilen sonuçlara göre, çalışmada kullanılan istasyonların yağış serilerine en iyi uyan dağılımın GED (%71,79) olduğu belirlenmiştir. GED dağılımını sırasıyla Weibull (%10,26), LogNormal (%5,13), Lojistik (%5,13), Gamma (%3,85) ve Normal (%3,85) dağılımları takip etmektedir. SYİ hesabının orijinalinde Gamma ODF

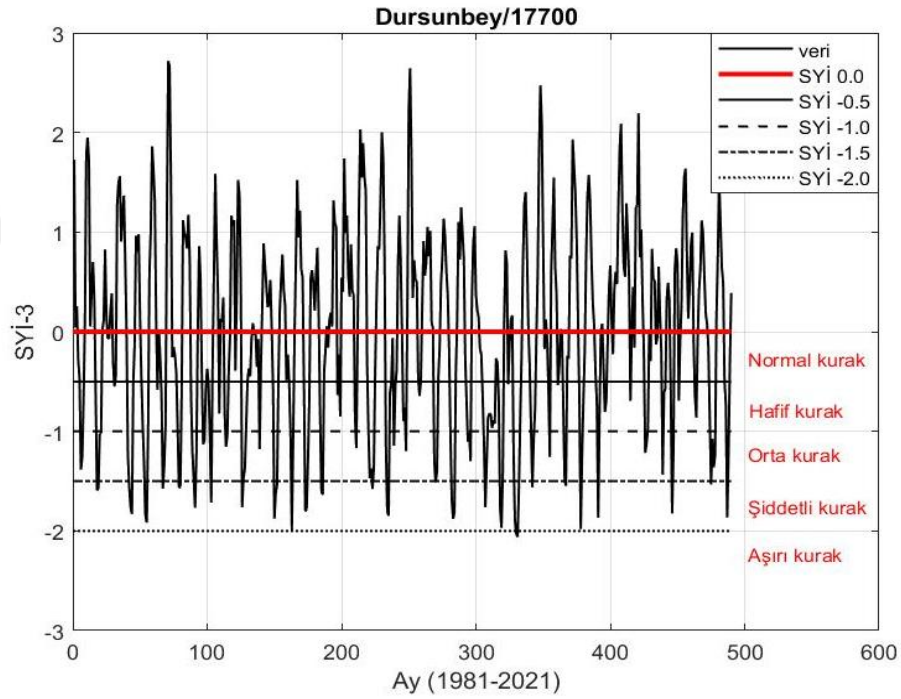
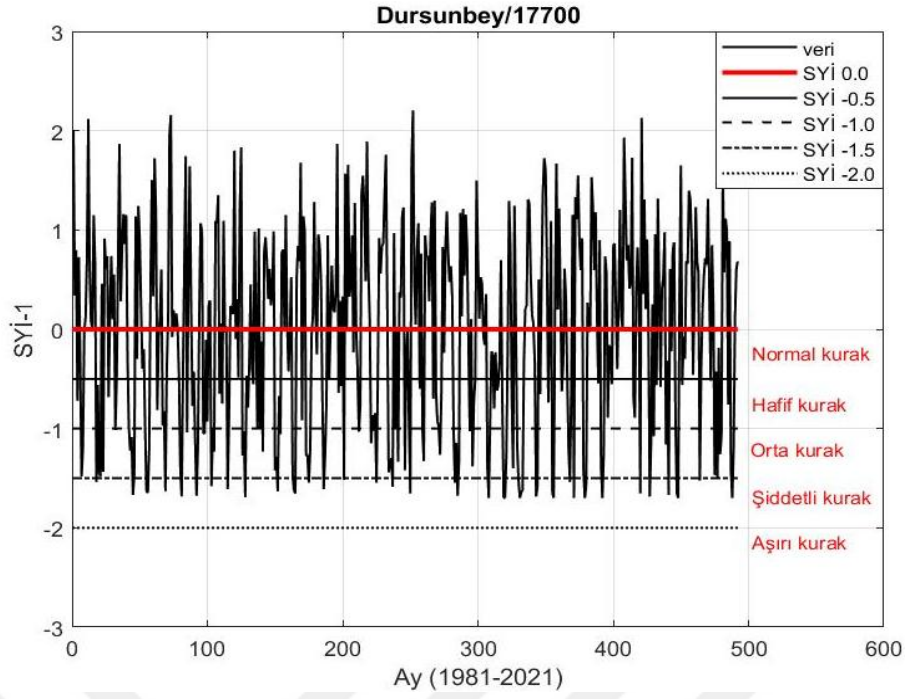
kullanılmasına rağmen Susurluk Havzası yağışlarını GED ODF'nin Gamma ODF'den daha iyi temsil ettiği belirlenmiştir. Bu bulgu, Katipoğlu (2020) tarafından yapılan çalışmada elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Ayrıca GED dağılımı, tüm istasyonların aylık yağış serileri için en uygun ODF olarak belirlenmiştir.

**Tablo 25:** Tüm İstasyonlar için En Uygun Olasılık Dağılım Fonksiyonları

İstasyon	Aylık	3 Aylık	6 Aylık	9 Aylık	12 Aylık	24 Aylık
Bandırma	GED	Weibull	Weibull	GED	Normal	Lojistik
Bigadiç	GED	GED	GED	GED	GED	GED
Bursa	GED	Weibull	GED	GED	GED	GED
Dursunbey	GED	GED	GED	GED	Gamma	Normal
Edremit	GED	Weibull	GED	GED	GED	GED
Gediz	GED	GED	GED	GED	GED	Normal
Gönen	GED	Weibull	GED	GED	GED	Lojistik
Keles	GED	GED	GED	GED	Lojistik	GED
Kütahya	GED	Weibull	GED	Gamma	GED	GED
Mustafakemalpaşa	GED	GED	GED	GED	GED	LogNormal
Simav	GED	Weibull	LogNormal	LogNormal	GED	GED
Tavşanlı	GED	GED	GED	GED	Lojistik	GED
Uludağ	GED	Weibull	Gamma	GED	GED	LogNormal

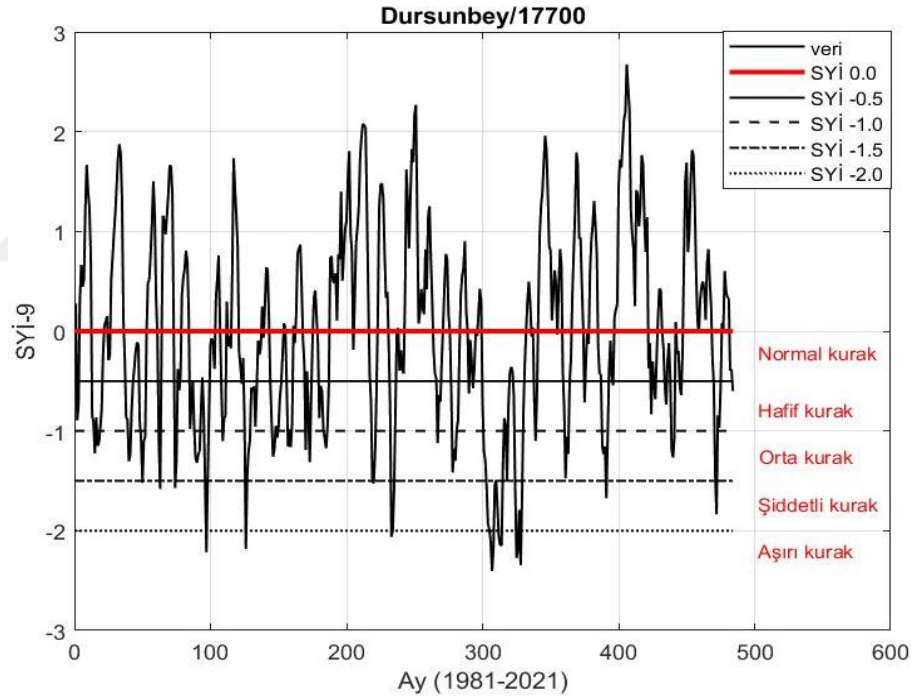
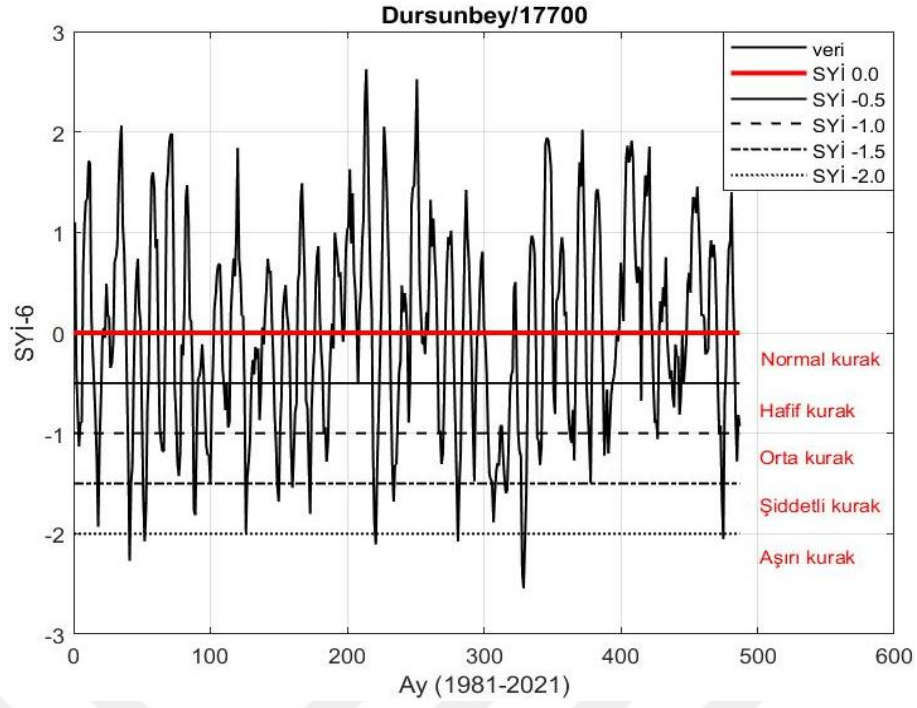
Çalışmada kullanılan tüm istasyonlar için SYİ değerleri 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman ölçekleri için hesaplanmıştır. Örnek olması açısından Dursunbey istasyonuna ait farklı zaman ölçeklerindeki SYİ değerlerinin zamanla değişim grafiği normal ( $-0,5 < SYİ \leq 0,0$ ), hafif ( $-1,0 < SYİ \leq -0,5$ ), orta ( $-1,5 < SYİ \leq -1,0$ ), şiddetli ( $-2,0 < SYİ \leq -1,5$ ) ve aşırı kurak ( $-2,0 \leq SYİ$ ) sınıfları dikkate alınarak Şekil 25-27 arasında gösterilmiştir.

Söz konusu şekillerden görüldüğü üzere SYİ değerleri “0” etrafında salınım yapmaktadır. SYİ'nin 0'ın üzerindeki değerleri nemli dönemleri, 0'ın altındaki değerleri ise kurak dönemleri göstermektedir. SYİ-1 değerleri incelendiğinde aşırı kurak dönemlere rastlanmamaktadır. SYİ-3 değerleri incelendiğinde ise sınırlı sayıda olmakla birlikte aşırı kurak dönem meydana gelmiştir. SYİ-1 değerlerine göre şiddetli kurak dönemlerin genellikle farklı yıllarda ve özellikle yaz aylarında meydana geldiği belirlenmiştir. En nemli dönem ise Aralık 2001'de (2,20) meydana gelmiş olup bu tarihte bölgenin uzun dönem (1981-2021) aylık ortalamasının yaklaşık dört katı kadar daha fazla yağış aldığı tespit edilmiştir. SYİ-3 değerlerinde ise önemli şiddetli kuraklık dönemlerinin ardışık olarak üçer aylık dönemlerde 1984, 1993 ve 2004 yıllarında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, aşırı kurak dönemlerin de birbirini takiben Ağustos 2008 ve Eylül 2008 tarihlerinde yaşandığı görülmüştür.



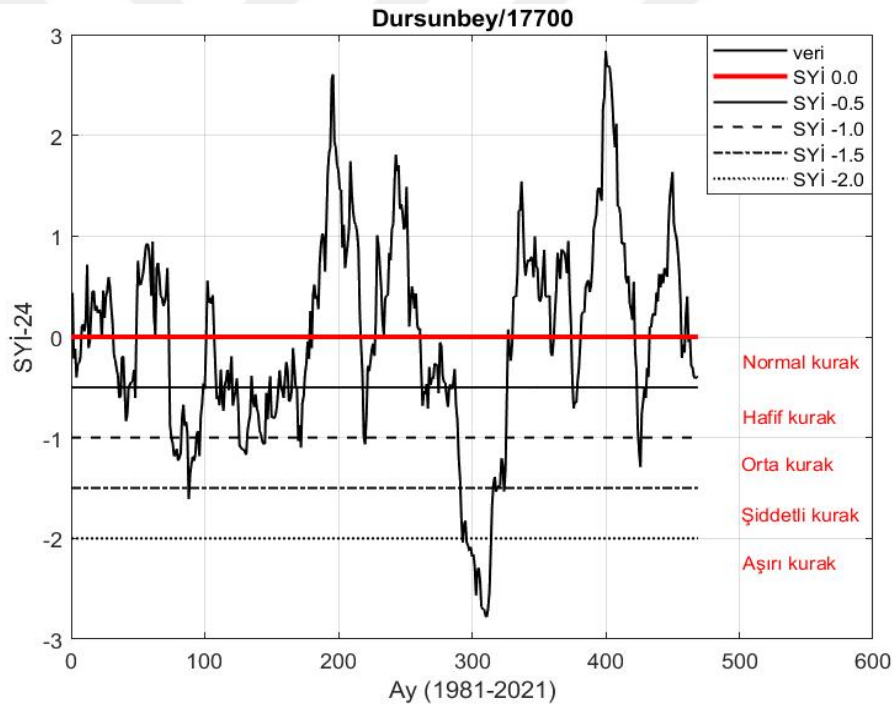
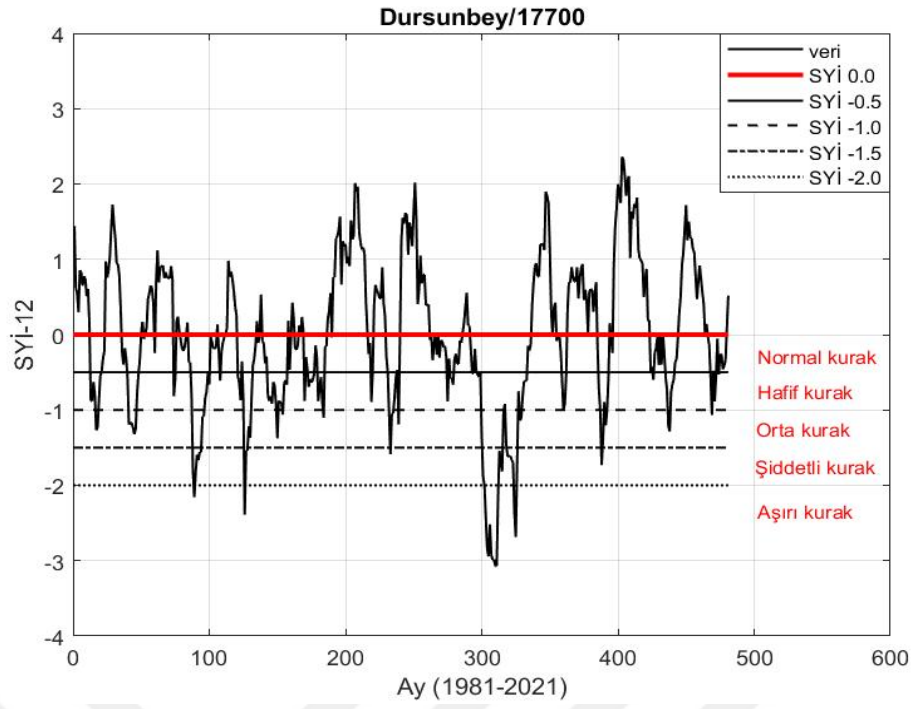
**Şekil 25:** Kısa Zaman Aralıklarında SYİ Değerlerinin Zamanla Değişimi

SYİ-6 değerleri incelendiğinde 1984, 1985, 1999, 2004, 2008 ve 2020 yıllarında aşırı kurak dönemler gözlenmiştir. En şiddetli aşırı kuraklığın Ekim 2008 tarihinde meydana geldiği belirlenmiştir. Ayrıca çalışma dönemi boyunca meydana gelen 8 aşırı kurak ayın 3 tanesi Eylül 2008-Kasım 2008 döneminde meydana gelmiştir. SYİ-9 değerleri incelendiğinde ise aşırı kurak dönemlerin 1989, 1992, 2001, 2007 ve 2008 yıllarında yaşandığı tespit edilmiştir. Orta zaman aralıkları itibari ile kurak dönem sayısı nemli (sulak) dönem sayısını geçtiği gözlenmiştir. Bununla birlikte kuraklık olayları daha sık ve daha uzun süreli hale gelmiştir.



**Şekil 26:** Orta Zaman Aralıklarında SYİ Değerlerinin Zamanla Değişimi

SYİ-12 değerlerine göre çalışma dönemi boyunca 14 ayda aşırı kurak dönem gözlenmiş olup bunların 10 tanesi 2007 yılında meydana gelmiştir. Aşırı kurak dönem sayısının arttığı SYİ-24 değerlerinde, Temmuz 2007-Ocak 2009 dönemi boyunca sürekli olarak aşırı kurak dönem gözlenmiştir. 2008 yılı boyunca aşırı kurak dönemin meydana gelmesi üzerine yapılan incelemede, çalışma dönemi boyunca 273 mm yağış ile yıllık toplam en düşük yağışın 2008 yılında meydana geldiği belirlenmiştir. SYİ-12 ve SYİ-24 değerleri karşılaştırıldığında, her iki seride de en az orta düzey kuraklık sınıfına sahip 66 ay olduğu tespit edilmiştir.

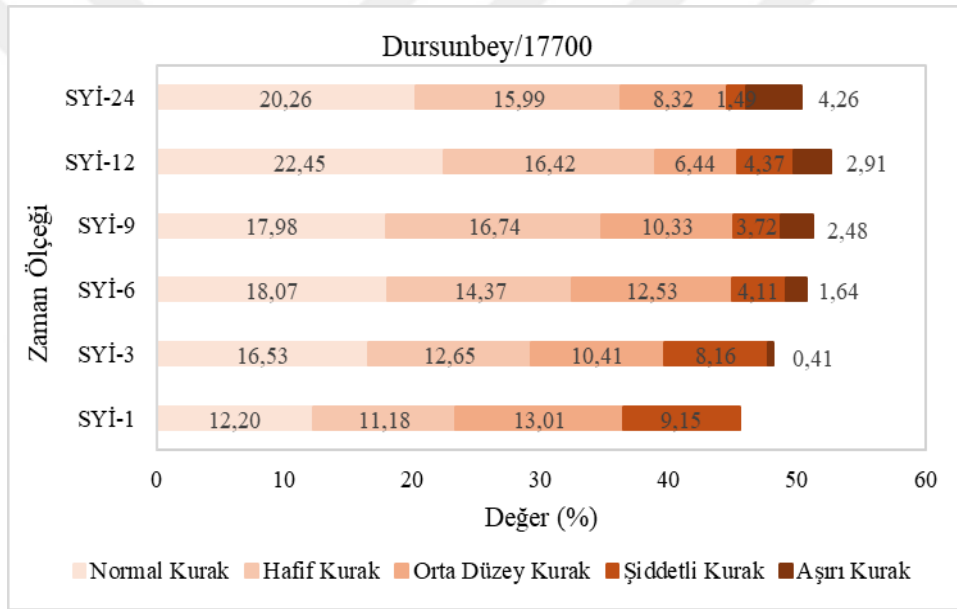


**Şekil 27:** Uzun Zaman Aralıklarında SYİ Değerlerinin Zamanla Değişimi

### **SYİ değerlerine ait kuraklık sınıfları ve karakteristikleri**

Kuraklık şiddetinin ve kuraklık süresinin belirlenmesi su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından oldukça önemlidir. Kuraklık şiddeti kuraklığın etki boyutunu, kuraklık süresi ise etki ettiği süreyi belirtmektedir. Dolayısıyla havza ölçeğinde etkin kuraklık yönetim planlamalarında kuraklık karakteristiklerinin bilinmesi doğru stratejilerin geliştirilmesini desteklemektedir. Bu bağlamda çalışma dönemi boyunca meydana gelen kurak dönem sayısı, maksimum ve ortalama kuraklık olaylarının süresi (ay), maksimum ve ortalama

kuraklık olaylarının şiddeti gibi önemli kuraklık parametreleri bir önceki bölümde hesaplanan SYİ indeks değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Belirtilen kuraklık parametrelerinin hesaplanmasında gidişler analizi (run teorisi) Matlab programı kullanılarak yapılmıştır. Gidişler analizindeki run uzunluğu, özellikle kuraklık sürelerinin önem taşıdığı su temini ve sulama ihtiyaçlarının planlamasında, kuraklık şiddeti (run toplamı) ise hidroelektrik ve atık su projelerinde kullanılmaktadır. Gidişler analizinde gözlem süresindeki maksimum run uzunluğu (en uzun kurak dönem) veya toplam eksikliği en büyük olan kurak dönem, su kaynakları sistemlerinin en zorlu koşullarda işleyeceği dönemi ifade etmektedir (Tosunoğlu, 2014). Bu çalışma kapsamında tüm istasyonların 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman ölçeğinde hesaplanan SYİ değerleri için Tablo 10'da verilen sınıflandırma dikkate alınarak rölatif frekans analizi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede farklı zaman ölçeklerinde kuraklık olaylarının dağılımı belirlenmiştir.



**Şekil 28:** Dursunbey MGİ SYİ Değerleri için Rölatif Frekans Yüzde Değerleri

Çalışmanın amacı doğrultusunda nemli kategoriye yer verilmeyerek kurak kategori tek başına ele alınmıştır. Örnek olması açısından Dursunbey istasyonu için elde edilen rölatif frekans yüzdelerine Şekil 28'de yer verilmiştir. Dursunbey istasyonu için SYİ değerlerinin rölatif frekans analizi sonuçlarına göre en sık görülen kuraklık sınıfları normal ve hafif kuraklık iken şiddetli ve aşırı kurak sınıfları daha az meydana gelmektedir. Ayrıca tüm zaman ölçeklerinde orta düzey kurak sınıfına ait rölatif frekans değerleri, şiddetli ve aşırı kurak sınıflarına ait rölatif frekans değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kapsamlı olarak incelendiğinde ise orta düzey kurak sınıfının maksimum rölatif frekans değeri %13,01 olarak aylık zaman ölçeğinde, minimum rölatif frekans değeri ise %6,44 ile 12 aylık zaman ölçeğinde meydana gelmiştir. 1, 3, 6, 9 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde zaman aralığı arttıkça genellikle

şiddetli kurak sınıfında rölatif frekans yüzdelerinde azalma söz konusudur. Aşırı kuraklık sınıfında ise zaman ölçeği arttıkça SYİ değerlerinin rölatif frekans yüzdelerinin arttığı belirlenmiştir.

Su kaynakları üzerinde daha belirgin etkilere neden olabilecek orta düzey, şiddetli ve aşırı kurak sınıflarına ait maksimum rölatif frekans değerleri çalışmada kullanılan diğer istasyonlar için aşağıda belirtilmiştir. Bigadiç istasyonu için maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kuraklık sınıfı için %12,32 ile 6 aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %9,96 ile aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için kısa zaman aralıklarında (1 ve 3 aylık zaman ölçeklerinde) herhangi bir değer gözlenmemiştir. Benzer durum Gönen istasyonu için de geçerli olup aylık zaman ölçeğinde aşırı kurak sınıfı için herhangi bir değer gözlenmemiştir. Bununla birlikte Gönen istasyonu için maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %12,04 ile 3 aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %10,57 ile aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %3,62 ile 24 aylık zaman ölçeğinde görülmektedir. Bursa istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %11,09 ile 24 aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %10,57 ile aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %3,33 ile 12 aylık zaman ölçeğinde görülmektedir. Mustafakemalpaşa istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %12,04 ile 3 aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %8,94 ile aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %2,70 ile 12 aylık zaman ölçeğinde görülmüştür. Uludağ istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %9,86 ile 6 aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %9,76 ile aylık zaman ölçeğinde, aşırı kuraklık sınıfı için %4,16 ile 12 aylık zaman ölçeğinde meydana gelmiştir. Kütahya istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %9,96 ve şiddetli kurak sınıfı için %9,55 ile aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %2,05 ile 6 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir. Simav istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %10,98 ve şiddetli kurak sınıfı için %9,96 ile aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %2,87 ile 6 aylık zaman ölçeğinde meydana gelmiştir. Tavşanlı istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %11,85 ile 12 aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %8,13 ile aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %3,20 ile 24 aylık zaman ölçeğinde görülmüştür. Çalışmada kullanılan istasyonlardan kuzeydeki Bandırma, güneydeki Gediz, batıdaki Edremit ve doğudaki Keles istasyonlarına ait detaylı kuraklık rölatif frekans değerleri Ek 4'te verilmiştir.

Yukarıdaki bulgulara göre; orta düzey kurak sınıfına ait maksimum rölatif frekans değerlerinin, şiddetli ve aşırı kuraklık sınıflarının maksimum rölatif frekans değerlerine kıyasla

daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Orta düzey kurak sınıfına ait maksimum rölatif frekans değerleri farklı zaman ölçeklerinde görülse de ağırlıklı olarak kısa zaman aralıklarında (aylık ve 3 aylık zaman ölçeklerinde) aşırı kurak sınıfına ait maksimum rölatif frekans değerleri de yine farklı zaman ölçeklerinde görülse de ağırlıklı olarak uzun zaman aralıklarında (12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde) görölmektedir. İnceleme sonucunda en sık görölen kuraklık sınıfı sırası ile normal, hafif, orta düzey ve nispeten şiddetli kurak iken aşırı kurak sınıflara ise daha az rastlanmaktadır. Ancak kuraklığın tehlike boyutunun anlaşılabilmesi için SYİ değerlerine gidişler analizi uygulanarak çalışma dönemi için kurak dönemlerin başlangıç, bitiş, süre ve şiddet değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.



**Tablo 26:** Tüm İstasyonların SYİ Değerlerine Ait Kuraklık Karakteristikleri

İstasyon	Kuraklık Periyodu	Kurak Sayısı	Maksimum Kuraklık				Ortalama Kuraklık	
			Başlangıç	Bitiş	Süre (Ay)	Şiddeti	Süre (Ay)	Şiddeti
Bandırma/17114	Aylık	84	Mart 2006	Ağustos 2006	6	-9,05	2,67	-2,47
	3 Aylık	51	Aralık 2006	Ekim 2007	11	-11,94	4,65	-4,01
	6 Aylık	39	Nisan 2006	Şubat 2008	23	-28,04	6,36	-5,11
	9 Aylık	34	Nisan 2006	Ocak 2009	34	-45,27	6,75	-5,73
	12 Aylık	20	Şubat 2006	Ocak 2009	36	-56,24	12,83	-9,54
	24 Aylık	19	Ocak 2006	Ağustos 2009	44	-72,26	13,29	-9,99
Bigadiç/17698	Aylık	94	Nisan 2016	Aralık 2016	9	-8,14	2,36	-2,23
	3 Aylık	52	Haziran 2016	Mayıs 2017	12	-13,70	4,65	-3,96
	6 Aylık	40	Temmuz 2016	Ocak 2018	19	-24,48	6,20	-5,07
	9 Aylık	33	Temmuz 2016	Nisan 2018	22	-33,06	7,58	-5,95
	12 Aylık	22	Eylül 2016	Kasım 2018	27	-39,96	10,55	-8,45
	24 Aylık	18	Ekim 2004	Ocak 2009	52	-57,46	13,94	-10,16
Bursa/17166	Aylık	106	Ocak 1989	Eylül 1989	9	-7,51	2,24	-1,94
	3 Aylık	55	Şubat 1989	Eylül 1989	8	-8,20	4,24	-3,30
	6 Aylık	38	Haziran 2006	Kasım 2007	18	-16,36	6,29	-5,17
	9 Aylık	38	Temmuz 1988	Kasım 1989	17	-22,17	6,21	-5,14
	12 Aylık	30	Aralık 2018	Aralık 2020	25	-28,80	8,17	-6,20
	24 Aylık	19	Aralık 2016	Aralık 2021	61	-65,43	11,47	-9,98
Dursunbey/1770	Aylık	89	Mayıs 2008	Ekim 2008	6	-7,99	2,53	-2,33
	3 Aylık	53	Mayıs 2006	Ekim 2007	18	-16,96	4,44	-3,80
	6 Aylık	39	Haziran 2006	Şubat 2008	21	-23,53	6,37	-5,19
	9 Aylık	37	Ağustos 2006	Nisan 2009	33	-46,86	6,83	-5,36
	12 Aylık	29	Mart 2006	Kasım 2009	45	-66,17	8,64	-6,56
	24 Aylık	16	Eylül 2004	Ocak 2010	65	-84,88	15,33	-11,59
Edremit/17145	Aylık	82	Mayıs 1984	Ekim 1984	6	-8,36	2,57	-2,51
	3 Aylık	46	Haziran 1984	Ekim 1984	5	-8,52	4,76	-4,43
	6 Aylık	41	Mayıs 1989	Kasım 1990	19	-18,96	5,78	-4,91
	9 Aylık	38	Ağustos 1989	Mart 1991	20	-25,77	6,34	-5,05
	12 Aylık	32	Mart 1989	Nisan 1991	26	-33,49	7,53	-5,86
	24 Aylık	14	Şubat 1989	Ocak 1994	60	-62,36	16,86	-13,55
Gediz/17750	Aylık	99	Mayıs 2013	Eylül 2013	5	-6,89	2,36	-2,11
	3 Aylık	52	Şubat 1989	Ekim 1989	9	-10,47	4,56	-3,94
	6 Aylık	39	Ağustos 1988	Aralık 1989	17	-16,01	6,41	-5,17
	9 Aylık	37	Ekim 2013	Ekim 2015	25	-28,45	6,59	-5,34
	12 Aylık	36	Ocak 2014	Aralık 2015	24	-35,35	6,50	-5,26
	24 Aylık	22	Aralık 1988	Eylül 1995	82	-75,20	10,55	-8,44
Gönen/17674	Aylık	84	Aralık 2006	Eylül 2007	10	-8,74	2,92	-2,44
	3 Aylık	49	Ocak 2007	Ekim 2007	10	-11,64	4,67	-4,14
	6 Aylık	39	Mayıs 2006	Kasım 2007	19	-21,31	6,10	-5,17
	9 Aylık	38	Eylül 2005	Ocak 2009	41	-51,18	6,37	-5,16
	12 Aylık	26	Aralık 2005	Şubat 2009	39	-65,31	9,46	-7,14
	24 Aylık	18	Nisan 2005	Ağustos 2009	53	-69,15	14,22	-10,08

İstasyon	Kuraklık Periyodu	Kurak Sayısı	Maksimum Kuraklık			Ortalama Kuraklık		
			Başlangıç	Bitiş	Süre (Ay)	Şiddeti	Süre (Ay)	Şiddeti
Keles/17695	Aylık	85	Temmuz 2020	Aralık 2020	6	-7,94	2,81	-2,42
	3 Aylık	51	Mayıs 2006	Ekim 2007	18	-14,84	4,69	-4,05
	6 Aylık	42	Haziran 2006	Ocak 2008	20	-19,39	5,76	-4,78
	9 Aylık	33	Ağustos 2006	Mart 2008	20	-27,62	7,58	-6,06
	12 Aylık	40	Kasım 2006	Ağustos 2008	22	-31,74	5,83	-4,77
	24 Aylık	19	Ocak 2007	Ağustos 2009	32	-46,07	12,74	-9,89
Kütahya/1755	Aylık	100	Haziran 2001	Ekim 2001	5	-7,32	2,41	-2,06
	3 Aylık	57	Şubat 1989	Ekim 1989	9	-9,60	4,25	-3,39
	6 Aylık	40	Temmuz 2013	Mayıs 2014	11	-12,25	5,95	-4,94
	9 Aylık	37	Haziran 1993	Mart 1995	22	-18,12	6,57	-5,29
	12 Aylık	28	Mart 2006	Ocak 2009	35	-35,69	8,79	-6,92
	24 Aylık	20	Eylül 2004	Ocak 2010	65	-63,94	11,55	-9,58
MKP 17675	Aylık	92	Mayıs 2015	Aralık 2015	8	-7,88	2,58	-2,25
	3 Aylık	49	Temmuz 2015	Ocak 2016	7	-9,01	5,04	-4,19
	6 Aylık	41	Mayıs 2006	Kasım 2007	19	-18,09	5,80	-4,95
	9 Aylık	36	Temmuz 2006	Şubat 2008	20	-24,63	6,53	-5,42
	12 Aylık	39	Kasım 2004	Ağustos 2008	46	-55,30	5,82	-4,74
	24 Aylık	20	Nisan 2005	Ağustos 2009	53	-70,11	11,80	-9,33
Simav/17748	Aylık	93	Mart 1984	Ekim 1984	6	-7,66	2,45	-2,21
	3 Aylık	48	Şubat 1989	Ekim 1989	9	-9,69	5	-4,01
	6 Aylık	44	Ağustos 2006	Kasım 2007	16	-13,72	5,43	-4,41
	9 Aylık	37	Temmuz 2019	Aralık 2021	30	-24,40	6,49	-5,20
	12 Aylık	25	Ocak 1988	Ocak 1993	61	-65,14	9,80	-7,89
	24 Aylık	13	Aralık 1988	Aralık 1994	73	-84,42	17,62	-14,74
Tavşanlı/17704	Aylık	105	Ocak 1989	Eylül 1989	9	-8,21	2,25	-1,94
	3 Aylık	58	Mart 2006	Mayıs 2007	15	-12,37	3,90	-3,43
	6 Aylık	41	Nisan 2006	Şubat 2008	23	-21,05	6,05	-4,78
	9 Aylık	35	Eylül 1987	Kasım 1989	27	-35,62	6,80	-5,49
	12 Aylık	30	Aralık 1987	Mart 1990	28	-34,44	8,17	-6,16
	24 Aylık	21	Temmuz 1985	Nisan 1991	70	-77,82	11,76	-8,67
Uludağ/17676	Aylık	95	Haziran 2020	Aralık 2020	7	-6,54	2,59	-2,14
	3 Aylık	48	Nisan 2020	Aralık 2020	9	-8,18	4,88	-3,87
	6 Aylık	36	Haziran 2006	Aralık 2007	19	-18,52	6,78	-5,46
	9 Aylık	34	Ağustos 2006	Mart 2008	20	-25,25	7,00	-5,65
	12 Aylık	29	Aralık 20018	Kasım 2021	36	-33,16	7,97	-6,26
	24 Aylık	18	Ocak 2017	Aralık 2021	60	-74,49	12,39	-10,15

Tablo 26 incelendiğinde kuraklık periyodunun uzaması ile meydana gelen ortalama ve maksimum kuraklık sayısı azalmakta bununla birlikte kuraklık süresi ve şiddeti artmaktadır. 1981-2021 dönemi için aylık değerlendirmede en şiddetli kuraklığın Bandırma istasyonunda (-9,05) Mart 2006–Ağustos 2006 döneminde, 3 aylık değerlendirmede Dursunbey istasyonunda (-16,96) Mayıs 2006-Ekim 2007 döneminde, 6 aylık değerlendirmede Bandırma istasyonunda (-28,04) Nisan 2006-Şubat 2008 döneminde, 9 aylık değerlendirmede Gönen istasyonunda

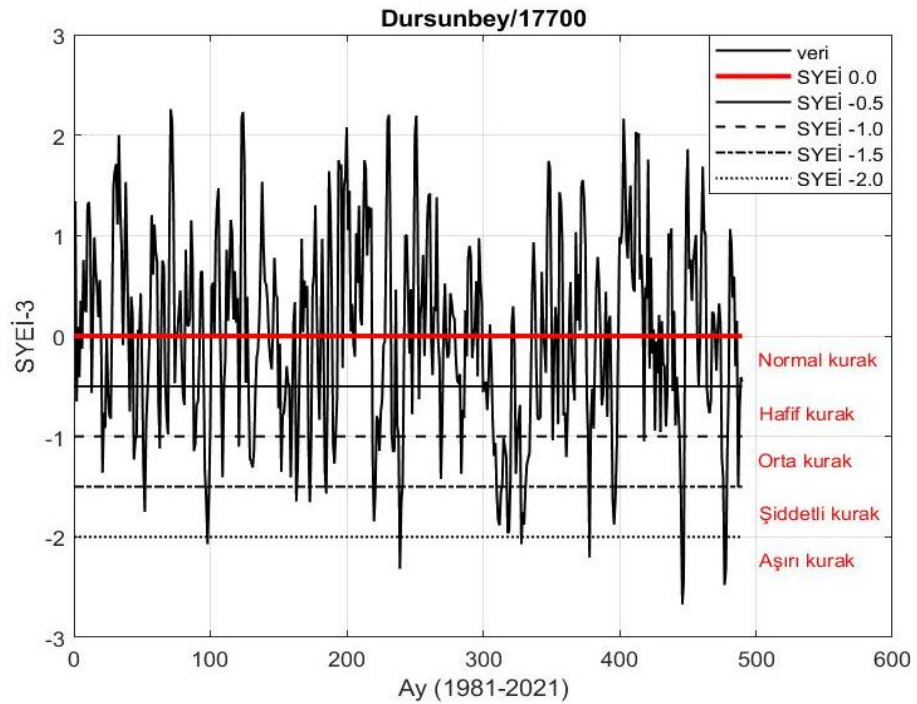
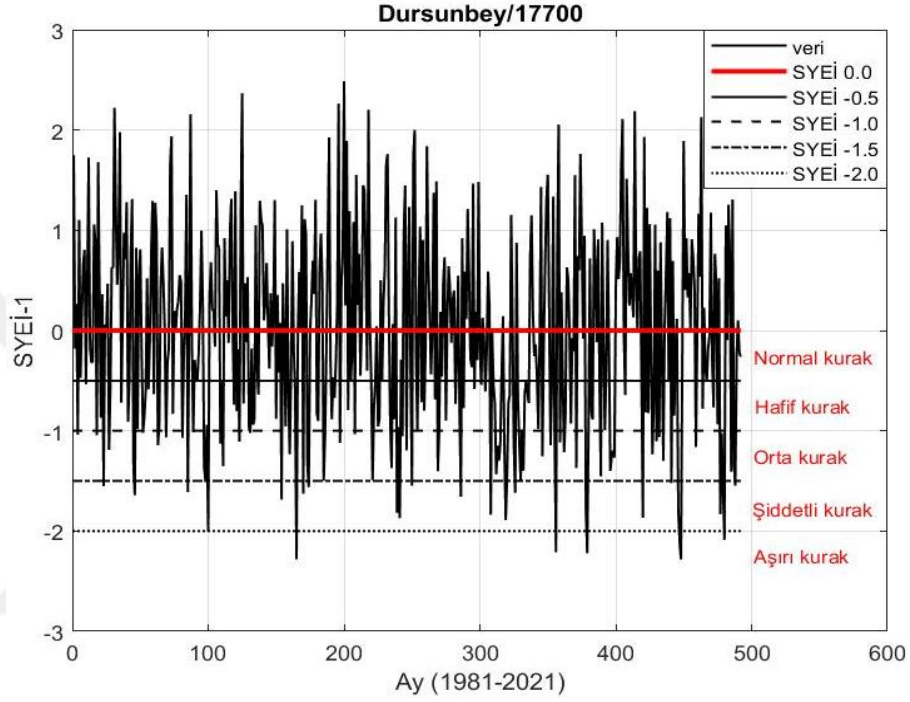
(-51,18) Eylül 2005- Ocak 2009 döneminde, 12 aylık değerlendirmede Dursunbey istasyonunda (-66,17) Mart 2006-Kasım 2009 döneminde ve 24 aylık değerlendirmede ise Dursunbey istasyonunda (-84,88) Eylül 2004–Ocak 2010 döneminde meydana gelmiştir. Tablo 26'ya göre aylık değerlendirmelerde maksimum kuraklık dönemlerinin istasyonlar arasında farklılık gösterdiği ve 1 yıldan kısa sürdüğü belirlenmiştir. 6 aylık değerlendirmelerde maksimum kuraklığın çoğu istasyonda 2006-2008 yıllarında meydana geldiği tespit edilmiştir. 24 aylık değerlendirmelerde meydana gelen maksimum kuraklık olaylarının uzun süreli (yaklaşık 3-7 yıl) olduğu belirlenmiştir.

### 3.2.2.2. Standart yağış evapotranspirasyon indeksinin hesaplanması

SYİ'de girdi parametresi olarak sadece yağış verisi kullanılmaktadır. Ancak kuraklık sadece yağış ile ilişkili olmayıp evapotranspirasyon, toprak nemi ve sıcaklık gibi diğer çevresel faktörle de ilişkilidir. SYİ'deki bu eksiklikleri gidermek amacıyla Vicente-Serrano vd. (2010) tarafından PET değerini de dikkate alan SYEİ yöntemi önerilmiştir. PET hesabı için farklı yöntemler kullanılsa da literatürde en yaygın kullanılan yöntemler; Thornthwaite, Hargreaves-Samani ve Penman-Monteith'dir.

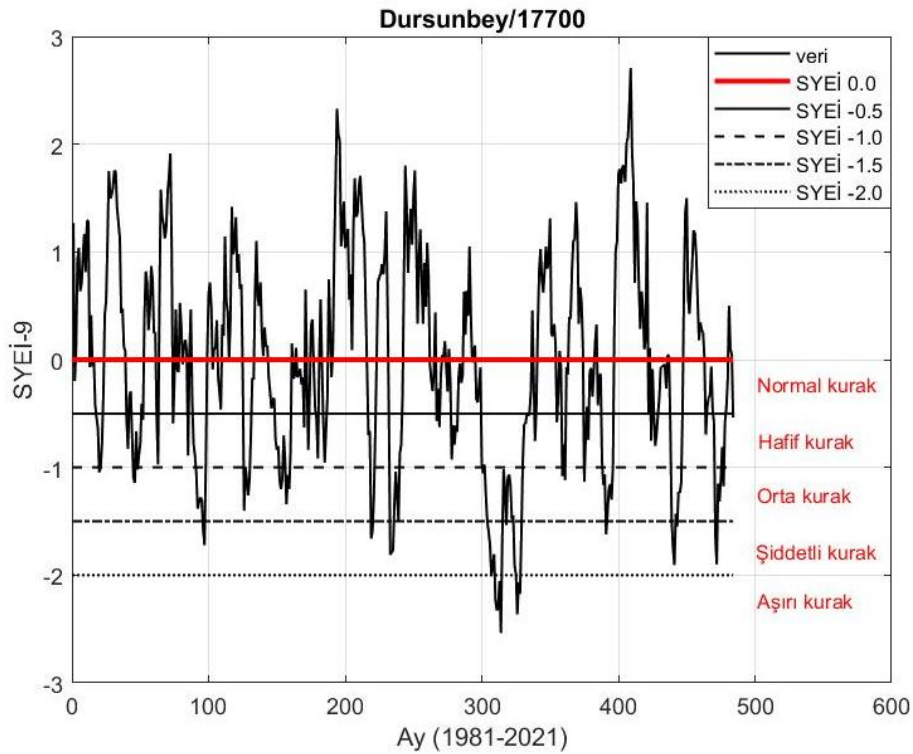
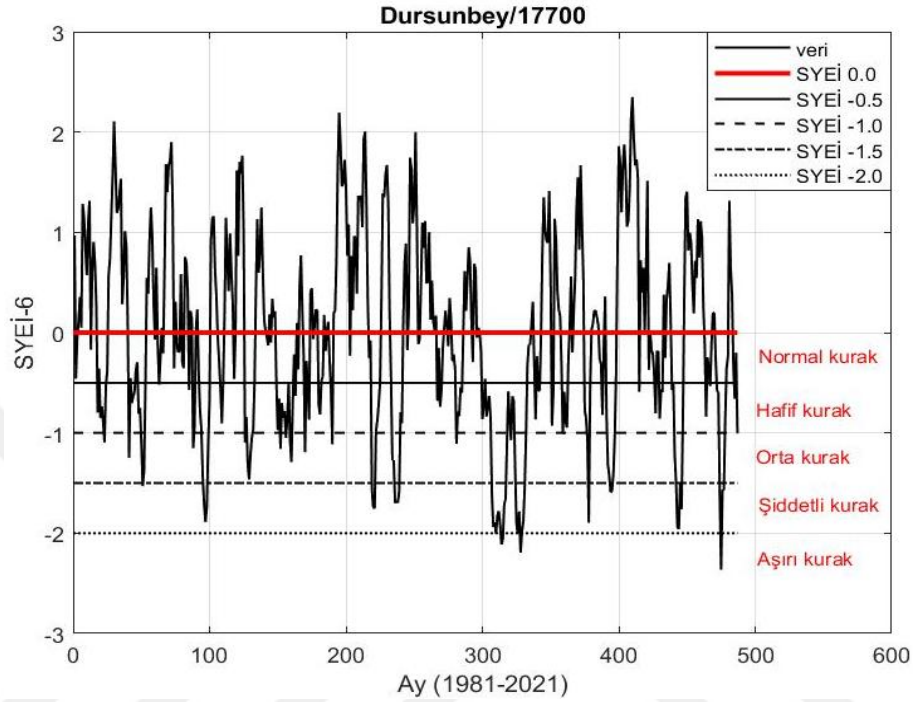
Bu yöntemlerden Penman-Monteith; sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve güneş ışınımı başta olmak üzere çok sayıda çevresel veriye ihtiyaç duymaktadır. Hargreaves-Samani yönteminde sıcaklık verileri ve güneş radyasyonu kullanılmaktadır. Thornthwaite yönteminde ise aylık ortalama sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve istasyonun enlem bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada kullanılan istasyonlarda güneş radyasyonu, rüzgâr hızı, buhar basıncı ve bağıl nem gibi meteorolojik parametreler yetersizdir. SYEİ yönteminin orijinal versiyonunda kullanılması ve kullanım kolaylığı nedeniyle bu tez çalışmasında PET hesabında Thornthwaite denkleminin kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışma kapsamında PET ve SYEİ hesabı RStudio'da "spei" komutu kullanılarak gerçekleştirilmiştir (SPEI, 2024). SYEİ, yağış (Y) ve PET arasındaki fark verileri olan iklimsel su dengesine (D) dayanmaktadır. İki parametrelili dağılımlarda, (x) değişkeninin alt sınır değeri 0'dır. Bu durumda değişken sadece sıfır veya pozitif değerler olarak değişim aralığı ( $0 < x < \infty$ ) şeklinde olmaktadır. Bununla birlikte iklimsel su dengesi sıfırla sınırlı olmayıp PET değerinin yağışı aşması durumunda negatif değer alabilmektedir (Stagge vd., 2015). Üç parametrelili dağılımlar ise dağılımdaki konum parametresi ( $\gamma$ ) sayesinde daha esnektir. Konum parametresi, dağılımın başlangıç noktasını (alt sınırını) belirleyerek (x) değişkeninin negatif değerler almasına olanak tanımaktadır. Bu durumda (x) değişkeni için değişim aralığı ( $\gamma < x < \infty$ ) şeklinde olmaktadır. PET değerleri, yağış değerlerini aşabileceğinden SYEİ hesabında üç parametrelili bir dağılım kullanılmaktadır. Vicente-Serrano vd. (2010), SYEİ değerlerinin elde edilmesinde iklimsel su dengesi serilerinin (D) standartlaştırılmasında

Pearson Tip III, lognormal ve GED gibi 3 parametrelili dağılımlar yerine 3 parametrelili Log-Logistik dağılımının seçilmesini önermişlerdir. Bu tez çalışmasında kullanılan tüm istasyonlar için SYEİ değerleri 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman ölçekleri için hesaplanmıştır. Örnek olması açısından Dursunbey istasyonuna ait farklı zaman ölçeklerindeki SYEİ değerlerinin zamanla değişim grafiği normal ( $-0,5 < SYEİ \leq 0,0$ ), hafif ( $-1,0 < SYEİ \leq -0,5$ ), orta ( $-1,5 < SYEİ \leq -1,0$ ), şiddetli ( $-2,0 < SYEİ \leq -1,5$ ) ve aşırı kurak ( $-2,0 \leq SYEİ$ ) sınıfları dikkate alınarak Şekil 29-31 arasında gösterilmiştir.



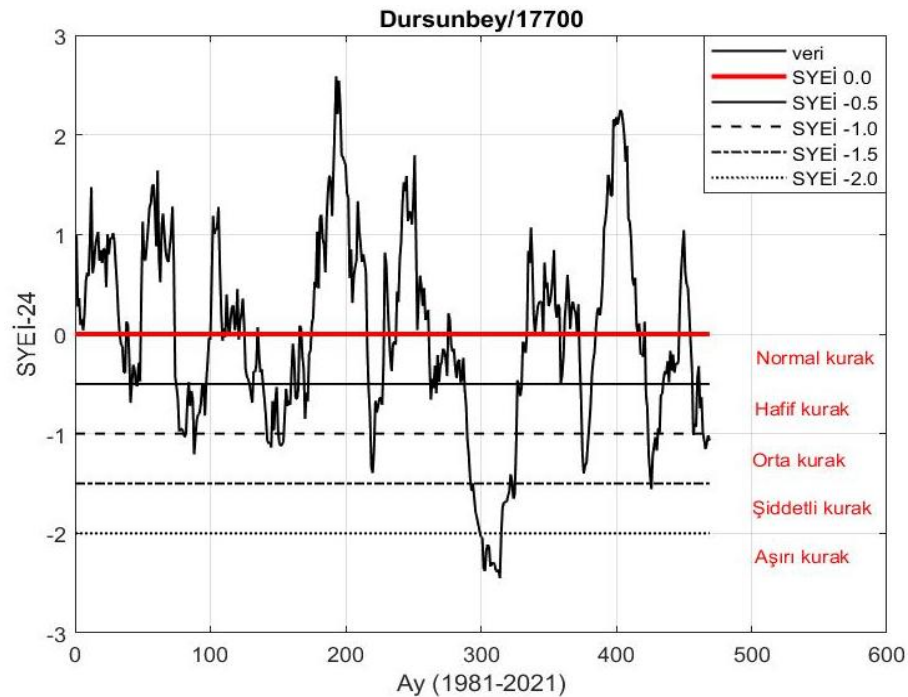
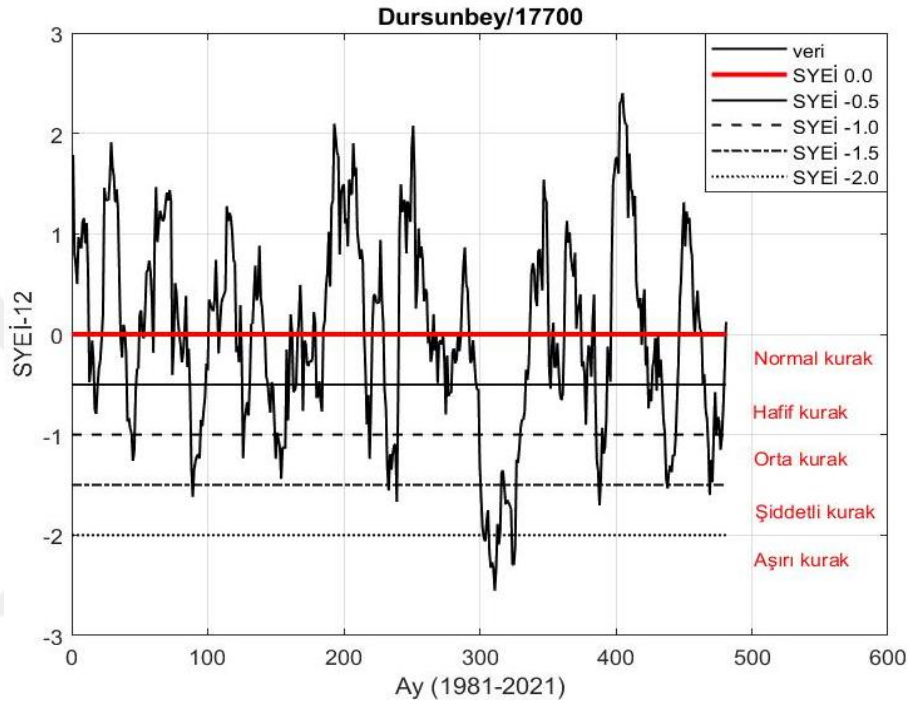
**Şekil 29:** Kısa Zaman Aralıklarında SYEİ Değerlerinin Zamanla Değişimi

Dursunbey istasyonu için SYEİ-1 değerleri incelendiğinde, SYİ değerlerinden farklı olarak aşırı kurak ay gözlenmektedir. SYEİ-1 ve SYEİ-3 zaman serilerinde en kurak ay Nisan 2018'dir (sırasıyla -2,28; -2,67). SYEİ-1 değerlerine göre Mart 2018-Nisan 2018 döneminde aşırı kurak dönem gözlenmiştir. SYEİ-3 değerlerinde ise Nisan 2018-Mayıs 2018 ve Kasım 2020-Aralık 2020 dönemlerinde aşırı kurak dönem gözlenmiştir.



Şekil 30: Orta Zaman Aralıklarında SYEİ Değerlerinin Zamanla Değişimi

Dursunbey istasyonunun SYEİ-6 değerlerinin Ağustos 2006-Ocak 2009 dönemi boyunca hafif kurak ile aşırı kurak sınıfı arasında salınım yaptığı belirlenmiştir. SYEİ-9 değerlerinde ise Kasım 2006-Ocak 2009 dönemi boyunca orta kurak ile aşırı kurak sınıfı arasında salınım yaptığı tespit edilmiştir. Bu bulgular, Dursunbey istasyonu için kuraklık periyodunun uzamasıyla birlikte benzer kuraklık süresine sahip olursa bile kuraklık şiddetinin arttığını göstermektedir. SYEİ-6 değerlerine göre en kurak dönem (-2,36) Aralık 2020’de ve SYEİ-9 değerlerine göre Ekim 2007’de (-2,53) gözlenmiştir.

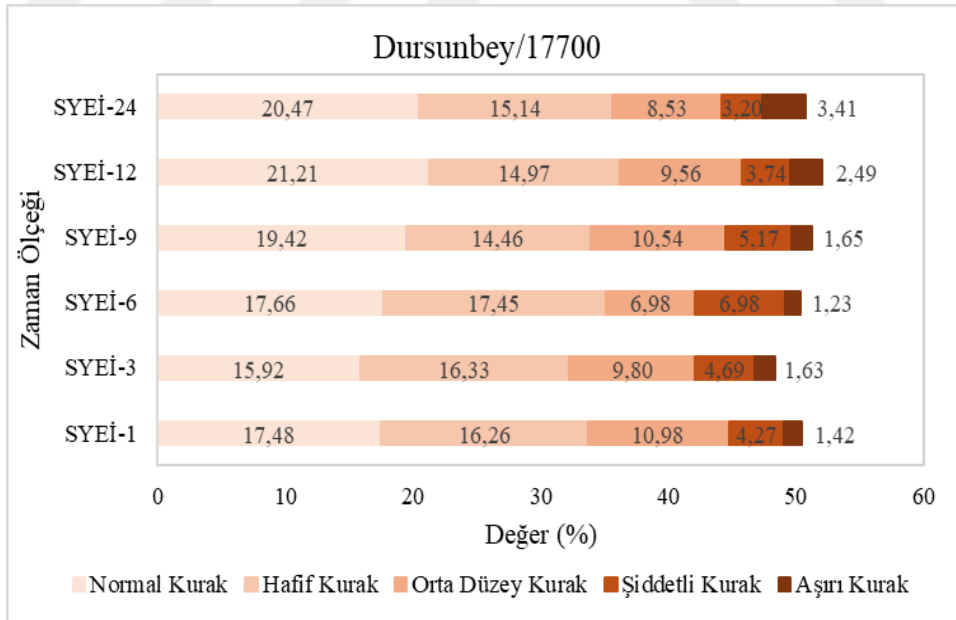


**Şekil 31:** Uzun Zaman Aralıklarında SYEİ Değerlerinin Zamanla Değişimi

Dursunbey istasyonu için SYEİ değerlerinde zaman periyodu uzadıkça aşırı kurak dönem sayısının arttığı belirlenmiştir. SYEİ-12 değerlerine göre Kasım 2006-Nisan 2009 döneminde en az orta düzey kuraklık olayları gözlenmiştir. SYEİ-24 değerleri dikkate alındığında ise benzer dönemde (Kasım 2007-Şubat 2009) kesintisiz aşırı kurak dönem gözlenmiştir.

### SYEİ değerlerine ait kuraklık sınıfları ve karakteristikleri

Çalışmanın bu aşamasında SYEİ değerlerini kuraklık sınıflarına ayırarak meydana gelme sıklıkları incelenmiş ve ardından gidişler analizi ile kritik kuraklık karakteristikleri elde edilmiştir. Şekil 32’de rölatif frekans yüzdeleri sunulan Dursunbey istasyonuna ait farklı zaman ölçeklerindeki SYEİ değerleri için kurak ve nemli (sulak) dönemler yüzdesi şu şekildedir: 1 aylık değerlendirmede kurak dönem %50,41 iken nemli dönem %49,59; 3 aylık değerlendirmede kurak dönem %48,37 iken nemli dönem %51,63; 6 aylık değerlendirmede kurak dönem %50,31 iken nemli dönem %49,69; 9 aylık değerlendirmede kurak dönem %51,24 iken nemli dönem %48,76; 12 aylık değerlendirmede kurak dönem %51,98 iken nemli dönem %48,02 ve 24 aylık değerlendirmede ise kurak dönem %50,75 iken %49,25 olarak belirlenmiştir. Bu dağılımlar Dursunbey istasyonunda kurak ve nemli dönemlerin birbirine oldukça yakın olduğunu göstermektedir.



**Şekil 32:** Dursunbey MGİ SYEİ Değerleri için Rölatif Frekans Yüzde Değerleri

Şekil 32’de Dursunbey istasyonundaki çeşitli kuraklık sınıflarındaki meydana gelme sıklığı incelenmiştir. Rölatif frekans değerleri incelendiğinde meydana gelme sıklıkları çoktan aza doğru; normal kurak, hafif kurak, orta kurak, şiddetli kurak ve aşırı kurak şeklindedir. Kapsamlı olarak incelendiğinde ise orta düzey kurak sınıfının maksimum rölatif frekans değeri

%10,98 olarak aylık zaman ölçeğinde, minimum rölatif frekans değeri ise %6,98 ile 6 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir. 1, 3, 9, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde zaman aralığı arttıkça aşırı kurak sınıfta rölatif frekans yüzdelerinde artış söz konusudur.

SYEİ değerlerinin çeşitli kuraklık sınıflarında meydana gelme sıklıkları orta düzey kurak sınıftan itibaren aşağıda verilmiştir. Bigadiç istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %11,43 ile 3 aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %6,18 ile 24 aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %2,08 ile 12 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir. Bursa istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %12,80 aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %5,76 ile 24 aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %1,44 ile 6 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir. Gönen istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %11,43 ile 3 aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %5,61 ile 12 aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %4,48 ile 24 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir. Kütahya istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %13,21 ile aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %4,96 ile 9 aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %1,64 ile 6 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir. Mustafakemalpaşa istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %12,80 ile aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %7,68 ile 24 aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %1,66 ile 12 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir. Simav istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %16,63 ile 24 aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %5,92 ile 3 aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %1,24 ile 9 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir. Tavşanlı istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %10,66 ile 24 aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %5,69 ile aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %2,35 ile 24 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir. Uludağ istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %11,30 ile 24 aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %8,10 ile 24 aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %2,07 ile 9 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir.

Yukarıdaki bulgular farklı istasyonlardaki kuraklık olaylarının sıklığının, zaman ölçeğine ve kuraklık şiddetine göre değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Genel olarak, orta dereceli kuraklıklar kısa vadeli olaylar olarak daha yaygınken, şiddetli ve aşırı kuraklık olayları uzun vadeli (yıllık) süreçlerde daha belirgin hale gelmiştir. Kuraklığın etki boyutunun anlaşılabilmesi için SYEİ değerleri gidişler analizine tabi tutularak kurak dönemlerin başlangıç bitiş, süre ve şiddet değerleri incelenerek Tablo 27’de sunulmuştur.

**Tablo 27:** Tüm İstasyonların SYEI Değerlerine Ait Kuraklık Karakteristikleri

İstasyon	Kuraklık Periyodu	Kurak Sayısı	Maksimum Kuraklık				Ortalama Kuraklık	
			Başlangıç	Bitiş	Süre (Ay)	Şiddeti	Süre (Ay)	Şiddeti
Bandırma/17114	Aylık	115	Ekim 2006	Eylül 2007	12	-12,99	2,19	-1,73
	3 Aylık	65	Aralık 2006	Eylül 2007	10	-18,02	3,78	-3,07
	6 Aylık	40	Mart 2006	Ağustos 2008	30	-42,16	6,43	-5,43
	9 Aylık	32	Mart 2006	Ocak 2009	35	-48,06	7,59	-6,25
	12 Aylık	28	Mart 2006	Şubat 2009	36	-52,52	8,57	-6,93
	24 Aylık	24	Ocak 2006	Ağustos 2009	44	-65,36	9,96	-7,84
Bigadiç/17698	Aylık	112	Nisan 2016	Nisan 2017	13	-10,88	2,18	-1,77
	3 Aylık	63	Nisan 2016	Mayıs 2017	14	-17,60	3,89	-3,19
	6 Aylık	45	Haziran 2004	Eylül 2007	40	-34,82	5,53	-4,34
	9 Aylık	33	Nisan 2016	Kasım 2018	32	-35,66	7,48	-5,95
	12 Aylık	22	Mart 2004	Ocak 2009	59	-55,21	11,27	-8,92
	24 Aylık	19	Eylül 2004	Ocak 2009	53	-65,74	12,21	-9,76
Bursa/17166	Aylık	117	Haziran 2012	Kasım 2012	6	-7,11	2,21	-1,72
	3 Aylık	63	Ağustos 2018	Nisan 2020	21	-18,51	3,83	-3,11
	6 Aylık	38	Kasım 2015	Nisan 2020	54	-53,89	6,39	-5,06
	9 Aylık	26	Aralık 2015	Ağustos 2021	69	-74,45	9,54	-7,51
	12 Aylık	27	Aralık 2015	Aralık 2021	73	-87,02	8,96	-7,09
	24 Aylık	18	Ağustos 2016	Aralık 2021	65	-94,16	12,67	-10,28
Dursunbey/17700	Aylık	121	Ağustos 2006	Nisan 2007	9	-8,58	2,05	-1,63
	3 Aylık	71	Ağustos 2006	Ekim 2007	15	-20,35	3,34	-2,75
	6 Aylık	51	Mart 2006	Nisan 2009	38	-47,03	4,80	-3,83
	9 Aylık	40	Nisan 2006	Ağustos 2009	41	-55,06	6,20	-4,84
	12 Aylık	30	Nisan 2006	Kasım 2009	44	-62,53	8,33	-6,36
	24 Aylık	20	Ocak 2006	Ağustos 2010	56	-75,99	11,90	-9,24
Edremit/17145	Aylık	116	Ekim 2006	Ağustos 2007	11	-8,89	2,15	-1,69
	3 Aylık	70	Kasım 2006	Eylül 2007	11	-14,32	3,49	-2,76
	6 Aylık	51	Ekim 2019	Mart 2021	18	-24,10	4,71	-3,72
	9 Aylık	37	Ekim 2019	Haziran 2021	21	-27,87	6,35	-5,07
	12 Aylık	31	Kasım 2006	Ocak 2009	27	-33,18	7,84	-6,01
	24 Aylık	23	Şubat 2017	Aralık 2021	59	-66,51	10,17	-8,11
Gediz/17750	Aylık	118	Kasım 2006	Eylül 2007	11	-10,35	2,13	-1,78
	3 Aylık	67	Mayıs 2006	Ekim 2007	18	-18,86	3,73	-2,93
	6 Aylık	46	Şubat 2019	Mayıs 2021	28	-27,49	5,39	-4,22
	9 Aylık	39	Ağustos 2006	Şubat 2009	31	-41,05	6,31	-4,96
	12 Aylık	34	Kasım 2006	Kasım 2009	37	-44,28	7,32	-5,63
	24 Aylık	19	Mart 2007	Eylül 2011	55	-61,61	11,84	-9,94
Gönen/17674	Aylık	111	Kasım 2006	Ağustos 2007	10	-13,15	2,32	-1,77
	3 Aylık	68	Aralık 2006	Eylül 2007	10	-17,13	3,65	-2,97
	6 Aylık	44	Aralık 2006	Ocak 2009	26	-37,48	5,48	-4,47
	9 Aylık	39	Mayıs 2005	Şubat 2009	46	-61,13	6,36	-4,95
	12 Aylık	31	Ağustos 2005	Mart 2009	44	-67,87	7,74	-6,01
	24 Aylık	26	Nisan 2005	Ocak 2010	58	-78,79	8,96	-6,77

İstasyon	Kuraklık Periyodu	Kurak Sayısı	Maksimum Kuraklık			Ortalama Kuraklık		
			Başlangıç	Bitiş	Süre (Ay)	Şiddeti	Süre (Ay)	Şiddeti
Keles/17695	Aylık	121	Ekim 2006	Eylül 2007	12	-9,07	2,07	-1,63
	3 Aylık	61	Kasım 2006	Ekim 2007	12	-13,44	4,13	-3,25
	6 Aylık	41	Mayıs 2006	Kasım 2007	19	-21,90	5,95	-4,89
	9 Aylık	39	Ağustos 2006	Ekim 2008	27	-29,47	6,05	-5,07
	12 Aylık	35	Kasım 2006	Ocak 2009	27	-33,40	6,46	-5,49
	24 Aylık	20	Aralık 2016	Aralık 2021	61	-70,91	11,20	-9,77
Kütahya/1755	Aylık	127	Aralık 1988	Nisan 1989	5	-6,22	1,93	-1,55
	3 Aylık	68	Kasım 2000	Ekim 2001	12	-14,21	3,62	-2,88
	6 Aylık	42	Ağustos 2012	Ağustos 2014	25	-24,56	5,83	-4,63
	9 Aylık	37	Nisan 2006	Şubat 2009	35	-38,59	6,68	-5,32
	12 Aylık	25	Nisan 2006	Nisan 2009	37	-44,27	9,68	-7,86
	24 Aylık	13	Eylül 2004	Aralık 2011	88	-93,93	17,62	-14,81
MKP 17675	Aylık	113	Aralık 2006	Eylül 2007	10	-10,41	2,14	-1,73
	3 Aylık	66	Aralık 2006	Eylül 2007	10	-15,03	3,79	-3,05
	6 Aylık	41	Mart 2006	Kasım 2007	21	-25,63	6,07	-4,83
	9 Aylık	34	Ekim 2004	Şubat 2009	53	-51,63	7,35	-5,76
	12 Aylık	32	Kasım 2004	Mayıs 2009	55	-57,95	7,59	-5,95
	24 Aylık	28	Nisan 2005	Ağustos 2009	53	-67,37	8,39	-6,56
Simav/17748	Aylık	115	Kasım 2006	Eylül 2007	11	-11,12	2,10	-1,70
	3 Aylık	63	Aralık 2006	Ekim 2007	11	-15,28	3,94	-3,18
	6 Aylık	49	Kasım 2018	Mayıs 2021	31	-32,15	5,10	-4,01
	9 Aylık	36	Şubat 2019	Aralık 2021	35	-41,55	6,72	-5,41
	12 Aylık	24	Ocak 2018	Aralık 2021	48	-54,02	10,63	-8,13
	24 Aylık	15	Ocak 2014	Aralık 2021	96	-106,9	15,73	-13,23
Tavşanlı/17704	Aylık	123	Mart 2006	Ağustos 2006	6	-7,68	2,09	-1,59
	3 Aylık	64	Temmuz 2000	Ekim 2001	16	-14,51	3,73	-3,02
	6 Aylık	47	Ocak 2006	Şubat 2008	26	-26,54	5,09	-4,10
	9 Aylık	44	Mart 2006	Nisan 2008	26	-32,84	5,41	-4,35
	12 Aylık	34	Nisan 2006	Ağustos 2008	29	-38,18	6,94	-5,53
	24 Aylık	30	Nisan 2006	Temmuz 2009	40	-51,57	7,77	-6,07
Uludağ/17676	Aylık	125	Haziran 2016	Mayıs 2017	10	-7,44	1,98	-1,58
	3 Aylık	69	Aralık 2008	Ağustos 2009	9	-13,76	3,45	-2,81
	6 Aylık	42	Mayıs 2006	Kasım 2009	43	-44,17	5,67	-4,53
	9 Aylık	31	Ağustos 2006	Aralık 2009	41	-49,51	7,68	-6,16
	12 Aylık	25	Eylül 2016	Kasım 2021	63	-67,86	9,24	-7,49
	24 Aylık	17	Ocak 2017	Aralık 2021	60	-81,02	12,82	-11,05

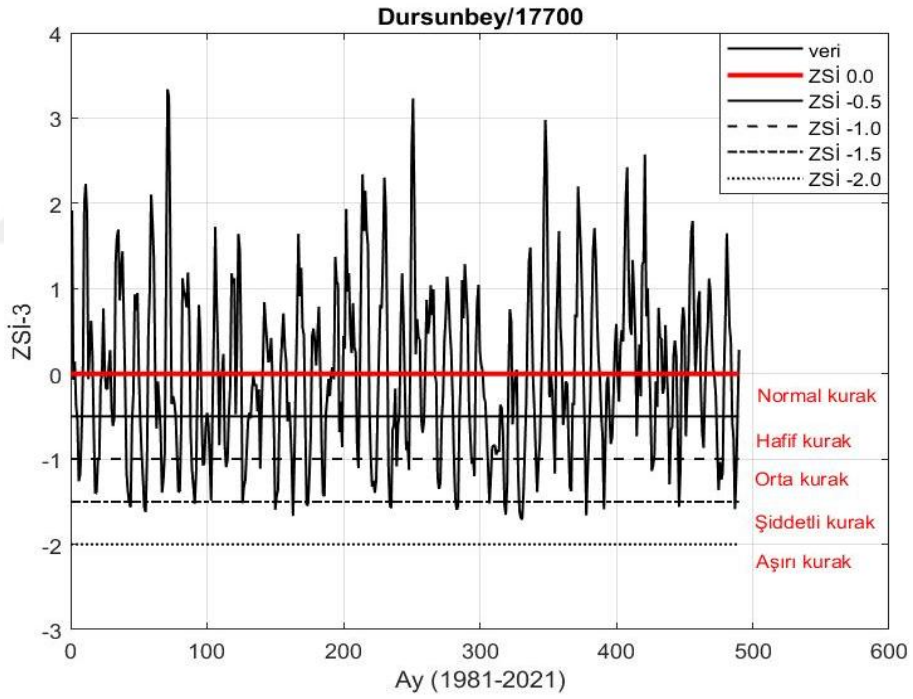
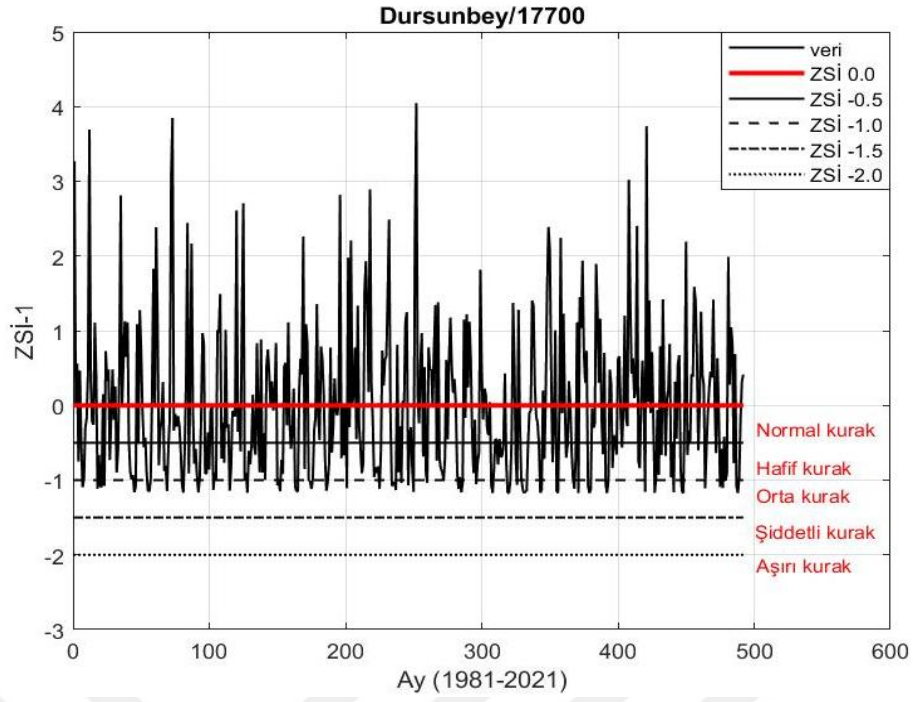
Tablo 27’de kuraklık periyodunun uzadıkça kuraklık sayısının azaldığı bununla birlikte kuraklık süresinin ve şiddetinin arttığı görülmektedir. SYEİ’nin aylık değerlendirmelerine göre en şiddetli kuraklık -13,15 ile Gönen istasyonunda Kasım 2006-Ağustos 2007 döneminde meydana gelmiştir. 3 aylık değerlendirmelere göre -20,35 ile Dursunbey istasyonunda Ağustos 2006-Ekim 2007 döneminde meydana gelmiştir. 6 aylık değerlendirmede -53,89 ile Bursa istasyonunda Kasım 2015-Nisan 2020 döneminde meydana gelmiştir. 9 aylık değerlendirmede

ise 74,45 ile Dursunbey istasyonunda meydana gelmiştir. 12 aylık değerlendirmede -87,02 Bursa istasyonunda meydana gelmiştir. 24 aylık değerlendirmede ise -106,9 ile Simav istasyonunda meydana gelmiştir.

SYEİ değerlerinin gidişler analizi sonucuna göre, en uzun kuraklık olayı (4 yıl süre ile) Simav 24 aylık zaman ölçeğinde meydana gelmiştir. Aylık maksimum kuraklıkların en çok 2006-2007 yıllarında, 3 aylık maksimum kuraklıkların ise ağırlıklı olarak yine 2006-2007 yıllarında meydana geldiği belirlenmiştir. 24 aylık değerlendirmeler de özellikle havzanın kuzeydoğusunda yer alan Bursa, Uludağ ve Keles istasyonlarının 2016-2021 döneminde maksimum kuraklık olayları meydana gelmiştir. SYEİ'nin tüm zaman ölçeklerindeki genel değerlendirmesinde maksimum kuraklık olaylarının 2004 yılı sonrasında meydana geldiği belirlenmiştir.

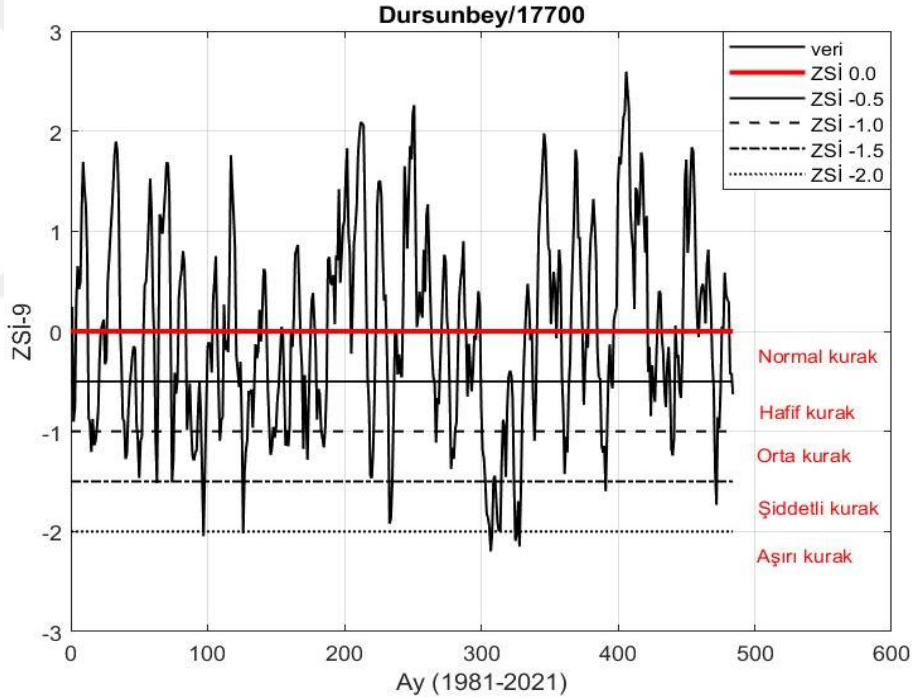
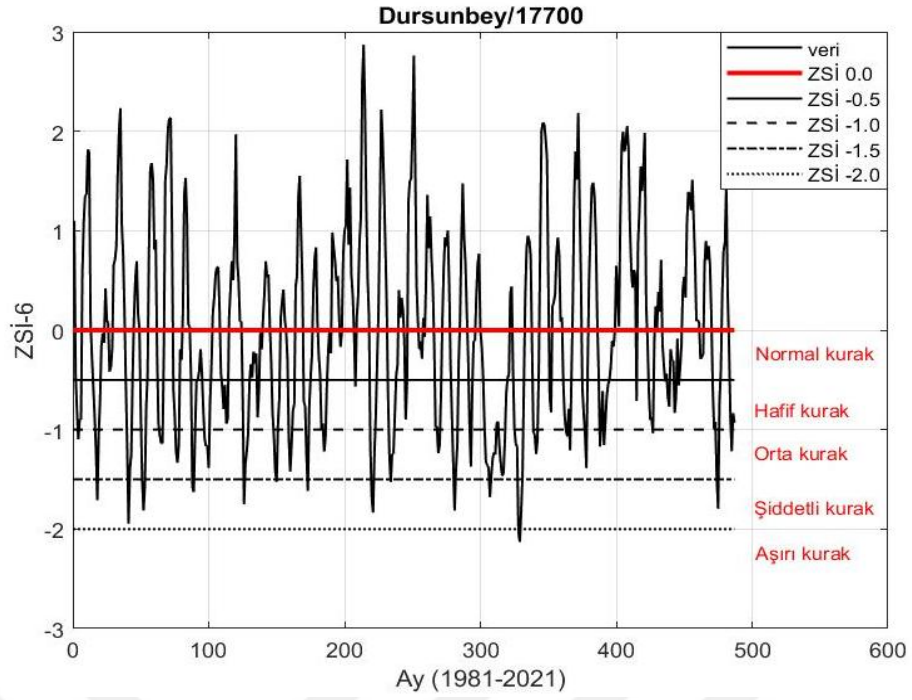
### **3.2.2.3. Z-Skoru indeksinin hesaplanması**

Boyutsuz bir kuraklık indeksi olan ZSİ metodunda, orijinal yağış verileri doğrudan kullanılmaktadır. Belirlenen zaman dilimi boyunca, yağış verisine herhangi bir ODF uydurulmaksızın yağış miktarının ortalamadan farkı hesaplanmakta ve bu fark, verinin standart sapmasına bölünerek ZSİ değeri elde edilmektedir. Örnek olması açısından Dursunbey istasyonuna ait farklı zaman ölçeklerindeki ZSİ değerlerinin zamanla değişim grafiği normal ( $-0,5 < ZSİ \leq 0,0$ ), hafif ( $-1,0 < ZSİ \leq -0,5$ ), orta ( $-1,5 < ZSİ \leq -1,0$ ), şiddetli ( $-2,0 < ZSİ \leq -1,5$ ) ve aşırı kurak ( $-2,0 \leq ZSİ$ ) sınıfları dikkate alınarak Şekil 33-35 arasında gösterilmiştir.



**Şekil 33:** Kısa Zaman Aralıklarında ZSİ Değerlerinin Zamanla Değişimi

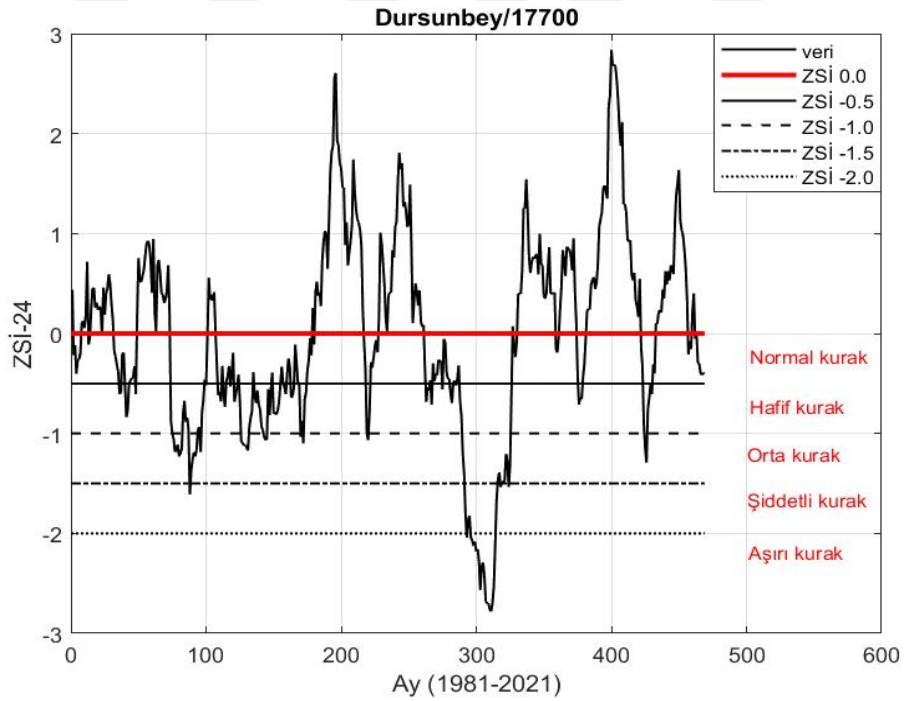
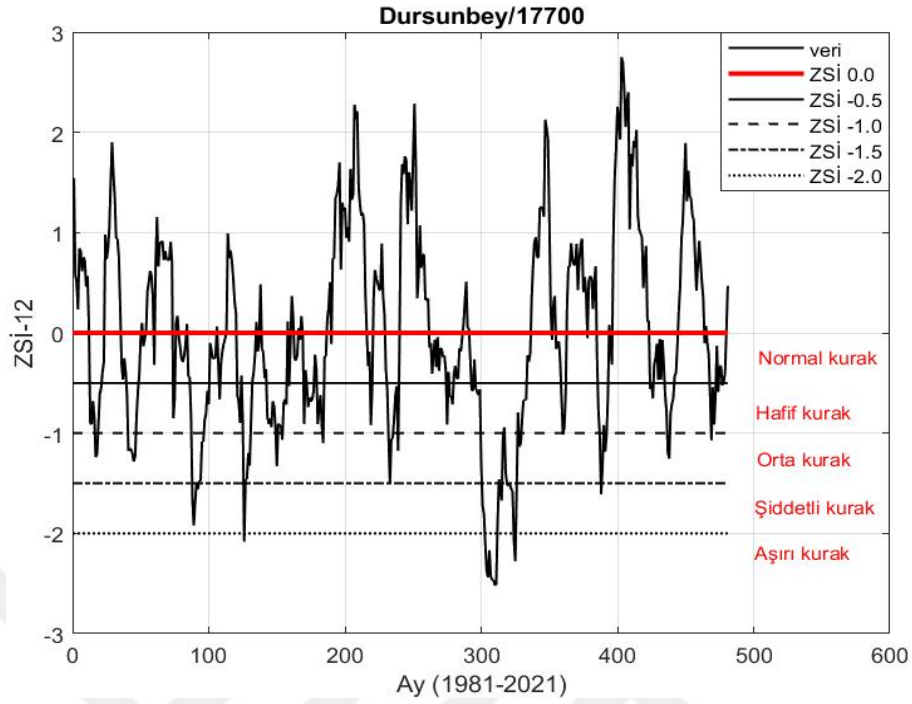
Dursunbey istasyonu için ZSİ-1 değerlerinin normal, hafif ve orta kurak sınıfında salınım yaptığı belirlenmiştir. ZSİ-1 değerlerinin normal, hafif ve orta kuraklık seviyelerinde dalgalanması, bölgede yağış miktarının daha ciddi kuraklık sınıflarına (şiddetli ve aşırı kuraklık) ulaşacak kadar yetersiz kalmadığını ifade etmektedir. ZSİ-3 değerleri ise çalışma dönemi boyunca 24 ay şiddetli kurak dönemin yaşandığını ortaya koymuştur. Temmuz 2008-Eylül 2008 dönemi en uzun şiddetli kuraklığın yaşandığı dönem olarak belirlenmiştir. Ayrıca ZSİ-3 değerlerinde en kurak ay Eylül 2008 (-1,71) olarak tespit edilmiştir.



**Şekil 34:** Orta Zaman Aralıklarında ZSİ Değerlerinin Zamanla Değişimi

Dursunbey İstasyonu için ZSİ-6 değerleri incelendiğinde tüm kuraklık sınıfları gözlenmekte olup en kurak ay -2,13 kuraklık şiddeti ile Ekim 2008'dir. ZSİ-9 değerlendirmelerinde ise şiddetli kuraklık olaylarının sayısında artış yaşandığı belirlenmiştir. Dursunbey istasyonu için ZSİ-12 ve ZSİ-24 değerlendirmelerinde aşırı kurak olaylarının sayısı ve şiddeti arttığı belirlenmiştir. ZSİ-12 değerlerinde şiddetli kurak ay sayısının aşırı kurak ay sayısından fazla olduğu, ZSİ-24 değerlerinde ise aşırı kurak ay sayısının şiddetli kurak ay sayısından fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, uzun vadede daha kalıcı ve şiddetli aşırı

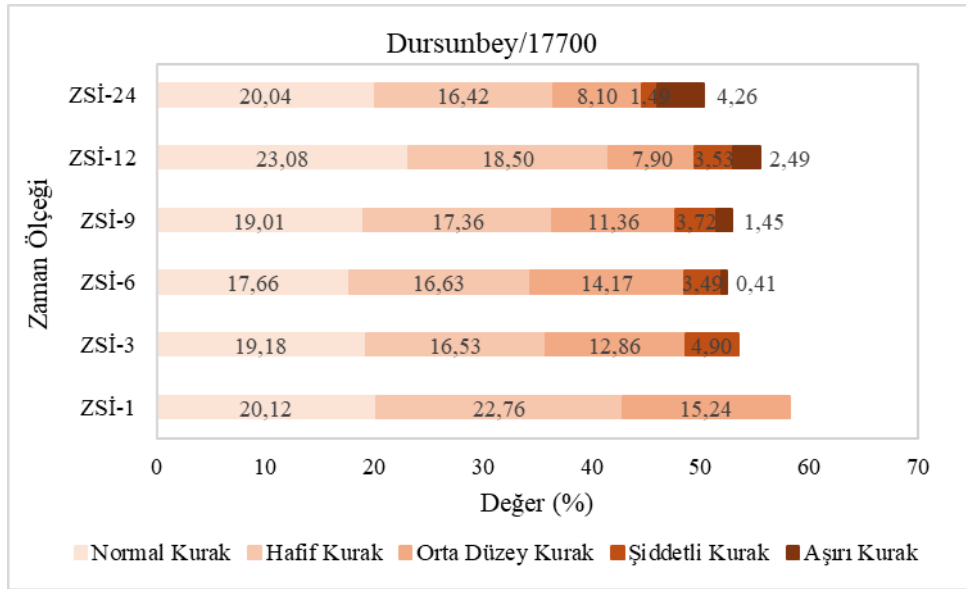
kuraklıkların yaşanma riskinin arttığını ve iklim değişikliğine bağlı olarak uzun vadeli kuraklıkların daha belirgin hale geldiğine işaret edebilir.



**Şekil 35:** Uzun Zaman Aralıklarında ZSİ Değerlerinin Zamanla Değişimi

### **ZSİ değerlerine ait kuraklık sınıfları ve karakteristikleri**

Çalışmanın bu aşamasında ZSİ değerleri kritik kuraklık sınıflarına ayırarak meydana gelme sıklıkları incelenmiş ve ardından gidişler analizi ile kuraklık karakteristikleri elde edilmiştir.



**Şekil 36:** Dursunbey MGİ ZSİ Değerleri için Rölatif Frekans Yüzde Değerleri

Şekil 36 incelendiğinde Dursunbey istasyonu için ZSİ-1 değerlerinde şiddetli ve aşırı kurak sınıfında herhangi bir değer gözlenmez iken ZSİ-3 değerlerinde ise aşırı kurak sınıfında değer gözlenmemektedir. Kuraklık periyodu uzadıkça aşırı kurak sınıfına ait rölatif frekans yüzdesi de artmaktadır. Orta düzey sınıfının maksimum rölatif frekans değeri 1 aylık zaman ölçeğinde, minimum değeri ise 12 aylık zaman ölçeğinde elde edilmektedir.

ZSİ değerlerinin çeşitli kuraklık sınıflarında meydana gelme sıklıkları orta düzey kurak sınıfından itibaren aşağıda verilmiştir. Bigadiç istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %17,35 ile 3 aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %3,08 ile 6 aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %2,29 ile 12 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir. Bursa istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %13,43 ile 24 aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %2,46 ile 6 aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %0,21 ile 9 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir. Gönen istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %18,78 ile 3 aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %3,90 ile 6 aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %4,48 ile 24 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir. Gönen istasyonunun 24 aylık zaman ölçeğindeki aşırı kurak sınıfına ait maksimum rölatif frekans değeri SYEİ ile aynı yüzdeye sahiptir. Kütahya istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %15,04 ile aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %4,93 ile 6 aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %0,41 ile 9 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir. Mustafakemalpaşa istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %15,65 ile aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %6,18 ile 24 aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %1,03 ile 9 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir. Simav istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %12,65 ile 3

aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %4,69 ile 24 aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %0,21 ile 9 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir. Tavşanlı istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %15,65 ile aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %5,17 ile 9 aylık zaman ölçeğinde, aşırı kurak sınıfı için %1,92 ile 24 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir. Uludağ istasyonuna ait maksimum rölatif frekans değerleri; orta düzey kurak sınıfı için %13,88 ile 3 aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %4,37 ile 12 aylık zaman ölçeğinde elde edilmiştir. Uludağ istasyonunda ZSİ değerleri için aşırı kuraklık tespit edilememiştir.

Yukarıdaki bilgiler doğrultusunda, ZSİ değerleri için orta düzey kurak sınıfı genellikle kısa zaman aralıklarında (1-3 ay) meydana gelmektedir. Ayrıca en sık görülen kuraklık sınıfı orta düzey iken aşırı ve şiddetli kuraklık sınıflarına ise daha az rastlandığı belirlenmiştir. 1981-2021 dönemine ait ZSİ değerlerine gidişler analizi uygulanarak hesaplanan maksimum ve ortalama kuraklık karakteristikleri Tablo 28'de sunulmuştur.

Tablo 28 incelendiğinde aylık ve 3 aylık zaman ölçeklerinde maksimum kuraklıklar özellikle 1989, 2006-2007 yıllarında meydana gelmiştir. 6 aylık zaman ölçeklerinde maksimum kuraklıklar ağırlıklı olarak 2006, 2007 ve 2008 yıllarında gözlemlenmiştir. 9,12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde maksimum kuraklık olayları 2006, 2007, 2008, 2009 yıllarında gözlenmektedir. Aylık değerlendirmelerde maksimum kuraklık -9,51 kuraklık şiddeti ile Bigadiç istasyonunda Nisan 2016-Nisan 2017 döneminde meydana gelmiştir. 3 aylık maksimum kuraklık -16,54 kuraklık şiddeti ile Bigadiç istasyonunda Haziran 2016-Kasım 2017 döneminde gözlemlenmiştir. 6 aylık değerlendirmelerde maksimum kuraklığın -25,61 kuraklık şiddeti ile Bandırma istasyonunda meydana geldiği belirlenmiştir. 9 aylık değerlendirmelerde ise -47,64 kuraklık şiddeti ile Gönen istasyonunda gözlemlenmiştir. 12 aylık değerlendirmelerde -60,54 kuraklık şiddeti ve 24 aylık değerlendirmeler ise -84,89 kuraklık şiddeti ile Dursunbey istasyonunda meydana gelmiştir.

**Tablo 28:** Tüm İstasyonların ZSİ Değerlerine Ait Kuraklık Karakteristikleri

İstasyon	Kuraklık Periyodu	Kurak Sayısı	Maksimum Kuraklık				Ortalama Kuraklık	
			Başlangıç	Bitiş	Süre (Ay)	Şiddeti	Süre (Ay)	Şiddeti
Bandırma/17114	Aylık	88	Ekim 2006	Eylül 2007	12	-8,21	3,40	-2,13
	3 Aylık	47	Aralık 2006	Ekim 2007	11	-10,67	5,68	-4,25
	6 Aylık	40	Nisan 2006	Şubat 2008	23	-25,61	6,50	-5,04
	9 Aylık	36	Nisan 2006	Ocak 2009	34	-42,86	6,50	-5,43
	12 Aylık	20	Şubat 2006	Ocak 2009	36	-56,24	12,20	-9,54
	24 Aylık	20	Ocak 2006	Ağustos 2009	44	-74,34	11,20	-8,94
Bigadiç/17698	Aylık	89	Nisan 2016	Nisan 2017	13	-9,51	3,26	-2,22
	3 Aylık	49	Haziran 2016	Kasım 2017	18	-16,54	5,33	-4,11
	6 Aylık	39	Temmuz 2016	Ocak 2018	19	-21,70	6,79	-4,95
	9 Aylık	34	Temmuz 2016	Nisan 2018	22	-29,06	7,74	-5,78
	12 Aylık	22	Nisan 2004	Ocak 2009	58	-45,58	11,86	-8,53
	24 Aylık	18	Eylül 2004	Ocak 2009	53	-54,28	13,56	-10,00
Bursa/17166	Aylık	99	Ocak 1989	Eylül 1989	9	-5,98	2,83	-1,67
	3 Aylık	52	Şubat 1989	Eylül 1989	8	-7,70	5,10	-3,49
	6 Aylık	41	Mayıs 2006	Aralık 2007	20	-15,07	6,51	-4,59
	9 Aylık	37	Temmuz 2006	Şubat 2008	20	-18,19	7,35	-5,01
	12 Aylık	24	Kasım 2018	Aralık 2021	38	-28,58	11,88	-7,28
	24 Aylık	24	Ekim 2016	Aralık 2021	63	-55,86	11,29	-7,40
Dursunbey/1770	Aylık	92	Temmuz 2006	Nisan 2007	10	-7,12	3,11	-2,09
	3 Aylık	51	Mayıs 2006	Kasım 2007	19	-16,41	5,14	-3,89
	6 Aylık	38	Mayıs 2006	Şubat 2008	22	-22,53	6,71	-5,30
	9 Aylık	36	Ağustos 2006	Nisan 2009	33	-44,76	7,11	-5,52
	12 Aylık	28	Mart 2006	Kasım 2009	45	-60,54	9,54	-6,92
	24 Aylık	16	Eylül 2004	Ocak 2010	65	-84,89	14,75	-11,59
Edremit/17145	Aylık	83	Ocak 1989	Ekim 1989	10	-6,40	3,73	-2,24
	3 Aylık	48	Mayıs 2006	Eylül 2007	17	-10,78	5,98	-4,00
	6 Aylık	40	Mayıs 1989	Kasım 1990	19	-17,01	6,80	-4,82
	9 Aylık	35	Ağustos 1989	Mart 1991	20	-21,88	7,60	-5,33
	12 Aylık	28	Şubat 1989	Nisan 1991	27	-27,01	9,57	-6,44
	24 Aylık	16	Şubat 1989	Aralık 1994	71	-58,78	17,38	-11,60
Gediz/17750	Aylık	93	Ocak 1989	Ekim 1989	9	-7,48	3,10	-2,10
	3 Aylık	47	Şubat 1989	Ekim 1989	9	-9,41	5,60	-4,21
	6 Aylık	38	Ağustos 1988	Ocak 1990	18	-15,13	7,00	-5,26
	9 Aylık	36	Ağustos 2006	Ocak 2009	30	-28,61	7,06	-5,48
	12 Aylık	35	Ocak 2014	Aralık 2015	24	-33,93	7,03	-5,41
	24 Aylık	22	Aralık 1988	Eylül 1995	82	-75,20	10,55	-8,44
Gönen/17674	Aylık	85	Kasım 2006	Eylül 2007	11	-7,75	3,53	-2,26
	3 Aylık	50	Ocak 2007	Ekim 2007	10	-9,97	5,24	-3,94
	6 Aylık	41	Mayıs 2006	Aralık 2007	20	-19,91	6,32	-4,86
	9 Aylık	37	Ağustos 2005	Ocak 2009	42	-47,64	6,89	-5,27
	12 Aylık	31	Ağustos 2005	Şubat 2009	43	-59,04	8,68	-5,98
	24 Aylık	17	Nisan 2005	Ağustos 2009	53	-71,23	15,35	-10,56

İstasyon	Kuraklık Periyodu	Kurak Sayısı	Maksimum Kuraklık			Ortalama Kuraklık		
			Başlangıç	Bitiş	Süre (Ay)	Şiddeti	Süre (Ay)	Şiddeti
Keles/17695	Aylık	88	Ocak 1989	Eylül 1989	9	-6,92	3,28	-2,22
	3 Aylık	52	Mayıs 2006	Ekim 2007	18	-14,81	4,87	-3,92
	6 Aylık	43	Haziran 2006	Şubat 2008	21	-18,96	6	-4,64
	9 Aylık	36	Ağustos 2006	Mart 2008	20	-26,21	7,17	-5,58
	12 Aylık	40	Kasım 2006	Ağustos 2008	22	-32,87	5,83	-4,65
	24 Aylık	19	Ocak 2007	Ağustos 2009	32	-43,12	13,16	-9,95
Kütahya/1755	Aylık	98	Mart 1986	Kasım 1986	9	-6,31	2,86	-1,97
	3 Aylık	58	Şubat 1989	Ekim 1989	9	-9,32	4,43	-3,37
	6 Aylık	40	Haziran 2006	Şubat 2008	21	-13,20	6,33	-4,89
	9 Aylık	34	Ekim 2005	Şubat 2009	41	-29,23	7,62	-5,71
	12 Aylık	25	Mart 2006	Mart 2009	37	-33,17	10,56	-7,60
	24 Aylık	16	Ocak 1989	Ağustos 1996	92	-78,48	16,25	-11,77
MKP 17675	Aylık	94	Mayıs 2015	Aralık 2015	8	-6,74	3,04	-2,07
	3 Aylık	48	Haziran 2015	Ocak 2016	8	-8,31	5,60	-4,23
	6 Aylık	41	Mayıs 2006	Kasım 2007	19	-17,53	6,15	-4,92
	9 Aylık	39	Mayıs 2006	Şubat 2008	22	-23,33	6,38	-4,99
	12 Aylık	37	Kasım 2004	Ağustos 2008	46	-51,00	7,00	-4,94
	24 Aylık	19	Nisan 2005	Ağustos 2009	53	-64,49	12,89	-9,67
Simav/17748	Aylık	90	Ocak 1989	Eylül 1989	9	-6,84	3,31	-2,03
	3 Aylık	51	Şubat 1989	Ekim 1989	9	-8,21	5,51	-3,66
	6 Aylık	35	Ağustos 2018	Mart 2021	32	-17,05	8,23	-5,51
	9 Aylık	30	Ekim 1987	Nisan 1991	43	-36,85	9,33	-6,42
	12 Aylık	28	Ocak 1988	Ocak 1993	61	-60,40	9,36	-6,96
	24 Aylık	18	Aralık 1988	Aralık 1994	73	-77,61	13,67	-10,46
Tavşanlı/17704	Aylık	112	Ocak 1989	Eylül 1989	9	-7,37	2,47	-1,70
	3 Aylık	59	Mart 2006	Mayıs 2007	15	-12,32	4,08	-3,32
	6 Aylık	43	Nisan 2006	Şubat 2008	23	-20,91	5,95	-4,57
	9 Aylık	34	Eylül 1987	Aralık 1989	28	-33,38	7,53	-5,65
	12 Aylık	34	Aralık 1987	Mart 1990	28	-35,05	7,47	-5,49
	24 Aylık	20	Haziran 1985	Nisan 1991	71	-73,44	13,15	-9,14
Uludağ/17676	Aylık	91	Haziran 2016	Mart 2017	10	-6,25	3,25	-1,97
	3 Aylık	47	Mayıs 2006	Kasım 2007	19	-13,58	5,74	-3,93
	6 Aylık	39	Haziran 2006	Şubat 2008	21	-16,77	6,82	-4,77
	9 Aylık	35	Eylül 2018	Mart 2021	33	-24,56	7,60	-5,18
	12 Aylık	32	Eylül 2016	Kasım 2021	63	-54,13	8,44	-5,33
	24 Aylık	18	Ocak 2017	Aralık 2021	60	-66,89	13,22	-9,63

Coşkun vd., (2020) tarafından yürütülen çalışmada Susurluk Havzası'nın yıllık ve mevsimsel ortalama sıcaklık değerlerinde artış meydana geldiği belirtilmiştir. Yıllık yağış verilerinde ise anlamlı bir trende rastlanmamıştır. Sıcaklık değerlerindeki artışa rağmen yağış değerlerinde bir değişiklik olmaması buharlaşma ve transpirasyon oranlarında artışa neden olabilmektedir. Bu durum PET değerini doğrudan etkilemektedir. Nitekim Tablo 29 incelendiğinde maksimum kuraklık karakteristiklerinin tamamı PET hesabına dayalı SYEI

indeksinde meydana gelmesi bu durumu desteklemektedir. SYİ ve ZSİ indeks değerlerinden orta (6-9 aylık) ve uzun (12-24 ay) zaman aralıklarında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Her iki indeks de 6 aylık değerlendirmelerde en hassas Bandırma istasyonu olduğunu, 9 aylık değerlendirmelerde Gönen, 12 ve 24 aylık değerlendirmelerde ise Dursunbey istasyonu olduğunu ortaya koymaktadır. Susurluk Havzası'nın maksimum kuraklık özellikleri dikkate alınarak genel bir değerlendirme yapılacak olursa, havzada kuraklığa en duyarlı istasyonlar Dursunbey, Gönen ve Bandırma istasyonlarıdır. Söz konusu istasyonların Balıkesir ilinde yer alması ve SYİ indekslerinde tüm zaman ölçekleri için bu istasyonlarda maksimum kuraklık olaylarının meydana gelmesi Balıkesir'in kuraklık risk analizi yapılması gereken önemli bir il olduğunu ortaya koymaktadır. Maksimum kuraklıkların başlangıç ve bitiş tarihleri incelendiğinde ise meydana gelen kuraklıkların büyük bir kısmının 2006 ve 2009 yıllarında meydana geldiği belirlenmiştir.

**Tablo 29:** Susurluk Havzası'nda Meydana Gelen Maksimum Kuraklık Karakteristikler

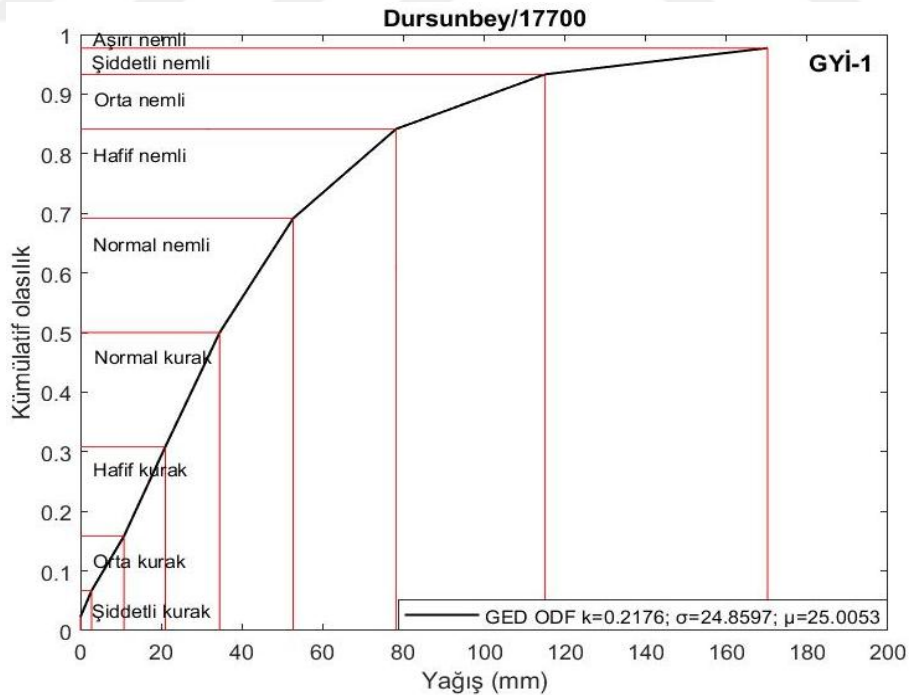
İndeks	İstasyon	Zaman Ölçeği	Başlangıç	Bitiş	Süre (Ay)	Şiddeti
SYİ	Bandırma	Aylık	Mart 2006	Ağustos 2006	6	-9,05
	Dursunbey	3 Aylık	Mayıs 2006	Ekim 2007	18	-16,96
	Bandırma	6 Aylık	Nisan 2006	Şubat 2008	23	-28,04
	Gönen	9 Aylık	Eylül 2005	Ocak 2009	41	-51,18
	Dursunbey	12 Aylık	Mart 2006	Kasım 2009	45	-66,17
	Dursunbey	24 Aylık	Eylül 2004	Ocak 2010	65	-84,88
SYEİ	Gönen	Aylık	Kasım 2006	Ağustos 2007	10	-13,15
	Dursunbey	3 Aylık	Ağustos 2006	Ekim 2007	15	-20,35
	Bursa	6 Aylık	Kasım 2015	Nisan 2020	54	-53,89
	Dursunbey	9 Aylık	Nisan 2006	Ağustos 2009	41	-55,06
	Bursa	12 Aylık	Aralık 2015	Aralık 2021	73	-87,02
	Simav	24 Aylık	Ocak 2014	Aralık 2021	96	-106,9
ZSİ	Bigadiç	Aylık	Nisan 2016	Nisan 2017	13	-9,51
	Bigadiç	3 Aylık	Haziran 2016	Kasım 2017	18	-16,54
	Bandırma	6 Aylık	Nisan 2006	Şubat 2008	23	-25,61
	Gönen	9 Aylık	Ağustos 2005	Ocak 2009	42	-47,64
	Dursunbey	12 Aylık	Mart 2006	Kasım 2009	45	-60,54
	Dursunbey	24 Aylık	Eylül 2004	Ocak 2010	65	-84,89

### 3.2.2.4. Gerçek yağış indeksinin hesaplanması

Geleneksel SYİ, sadece orijinal veri serisi simetrik veya normal (Gauss) ODF'ye sahip olduğunda güvenilir sonuç vermektedir (Şen & Almazroui, 2021). Aksi takdirde, SYİ sınıflandırmaları yetersiz kalmaktadır. SYİ hesabındaki bu sınırlamaya rağmen, Şen ve Almazroui (2021) tarafından önerilen GYİ, orijinal zaman serisinin ODF'sini standart normal ODF'ye dönüştürmek yerine, standart normal ODF'nin kantillerini orijinal ODF'ye dönüştürmektedir.

GYİ hesabında ilk adım, yağış serilerine en iyi uyan kümülatif olasılık fonksiyonunun belirlenmesidir. Bu tez çalışmasında, kullanılan istasyonların farklı zaman ölçeklerindeki yağış serilerine en iyi uyan olasılık dağılım fonksiyonları Tablo 25'te sunulmuştur. SYİ sınıf sınır değerleri, standartlaştırılmış normal ODF'deki olasılıklara dönüştürülerek, GYİ sınıf sınırlarına ait olasılık değerleri belirlenmiştir (Tablo 10).

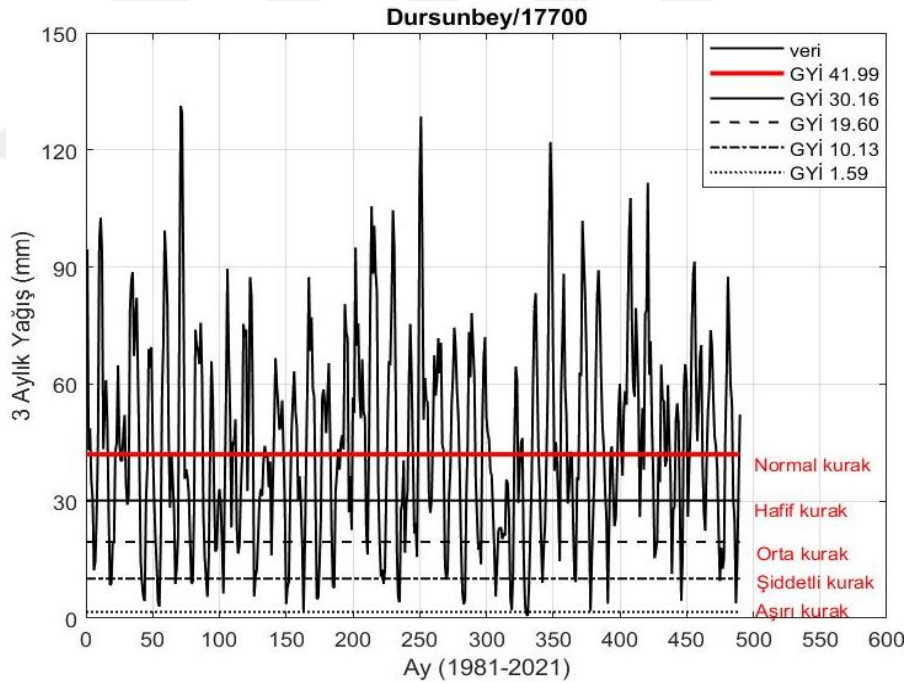
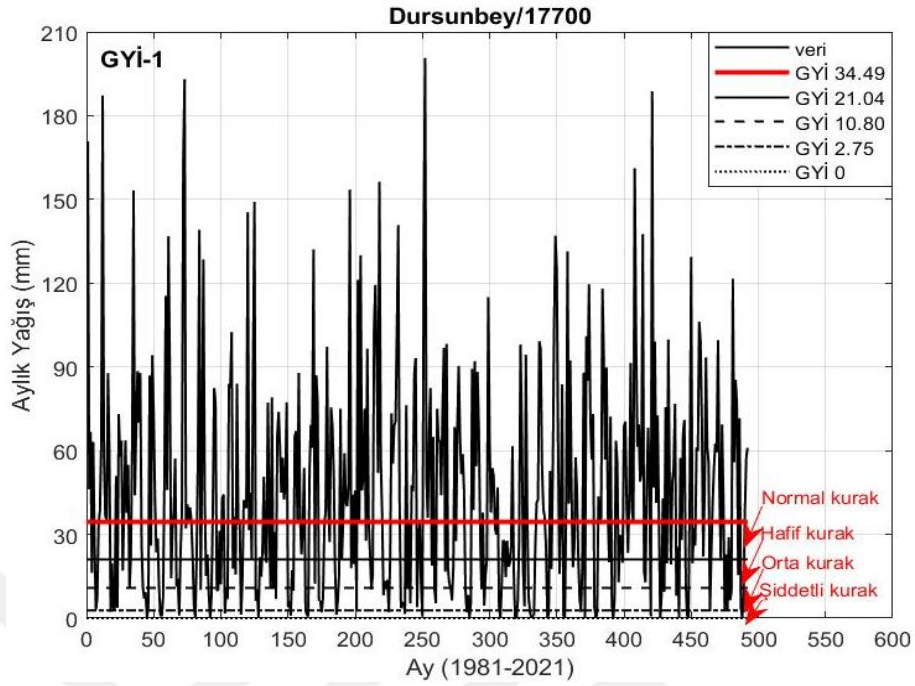
Verilerin orijinal olasılık dağılım fonksiyonunun dağılım parametreleri kullanılarak kuru ve nemli (sulak) dönem sınıflandırmasına karşılık gelen gerçek yağış değerlerini elde etmek amacıyla GYİ olasılıkları hesaplanmaktadır. Örnek olması açısından, Dursunbey istasyonunun 1 aylık zaman ölçeğindeki yağış değerlerine karşılık gelen kümülatif olasılık sınıf değerleri Şekil 37'de sunulmuştur.



Şekil 37: Dursunbey Aylık GYİ Değerlerine Karşılık Gelen Olasılık Değerleri

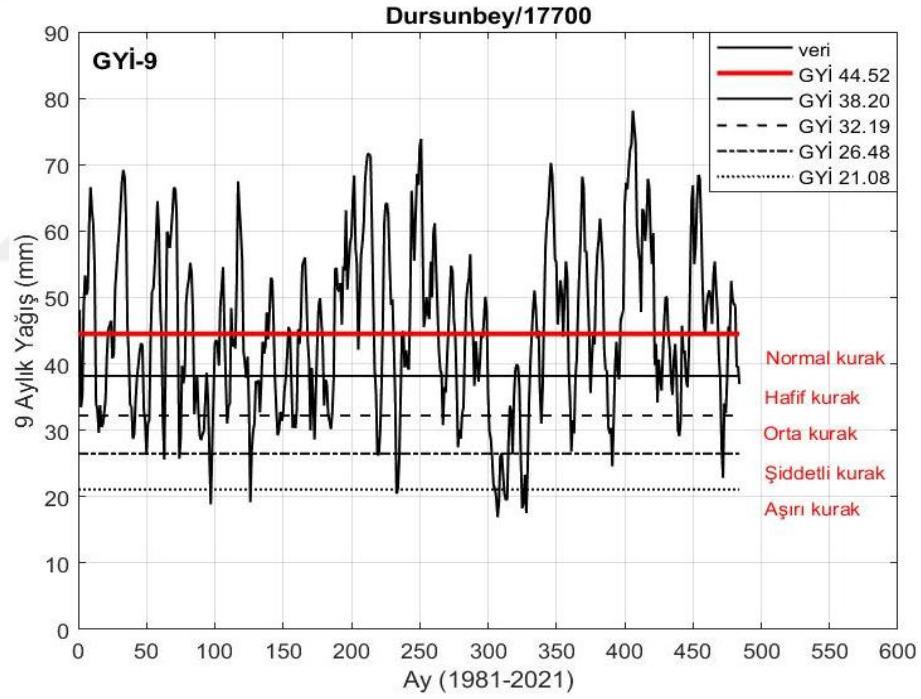
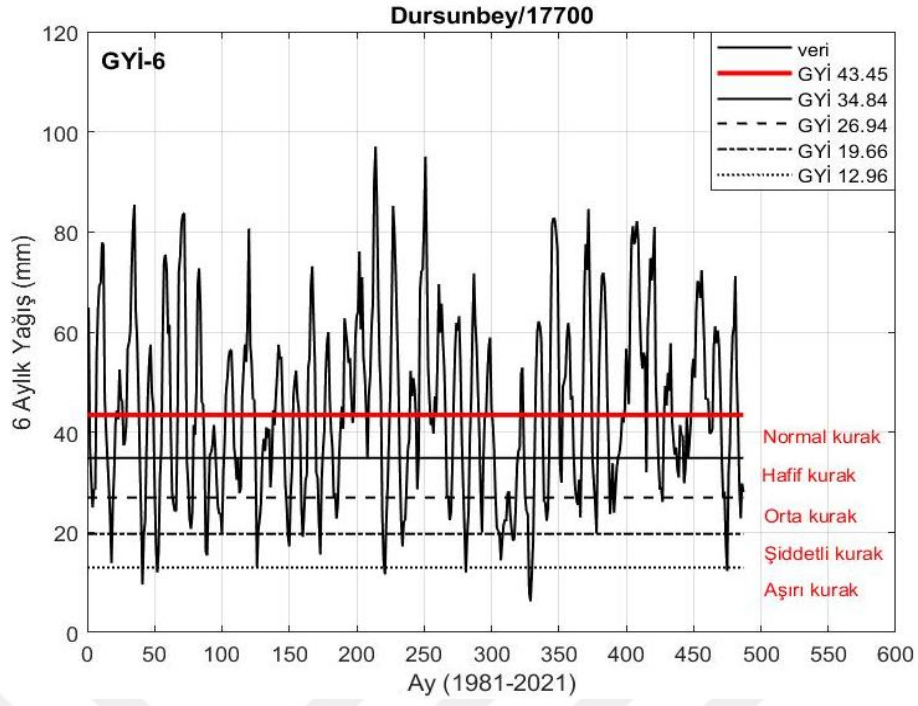
GYİ yönteminde, orijinal yağış verilerinin kullanılması nedeniyle zamanla değişim grafiğinde yağış serisi yer almaktadır. Bu grafik yağışın zamansal değişimini gösterirken, grafikteki sınıf değerleri her istasyona ve her zaman ölçeğine özgü GYİ hesabı ile elde edilen

sınır değerleri göstermektedir. Dursunbey istasyonu için farklı zaman ölçeklerindeki yağış serileri ve bunlara karşılık gelen sınıf değerleri Şekil 38-40’da sunulmuştur.



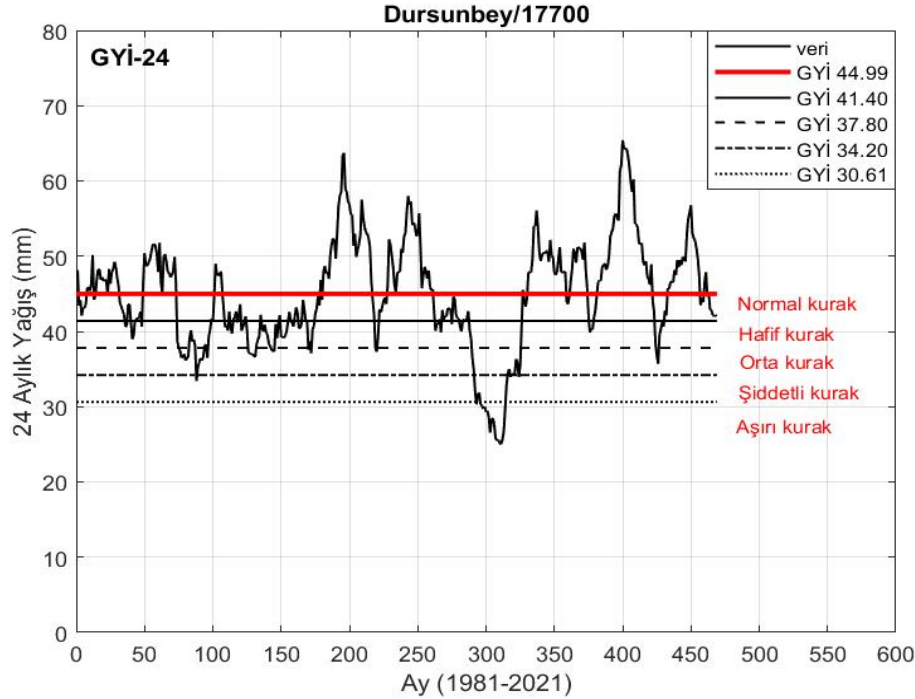
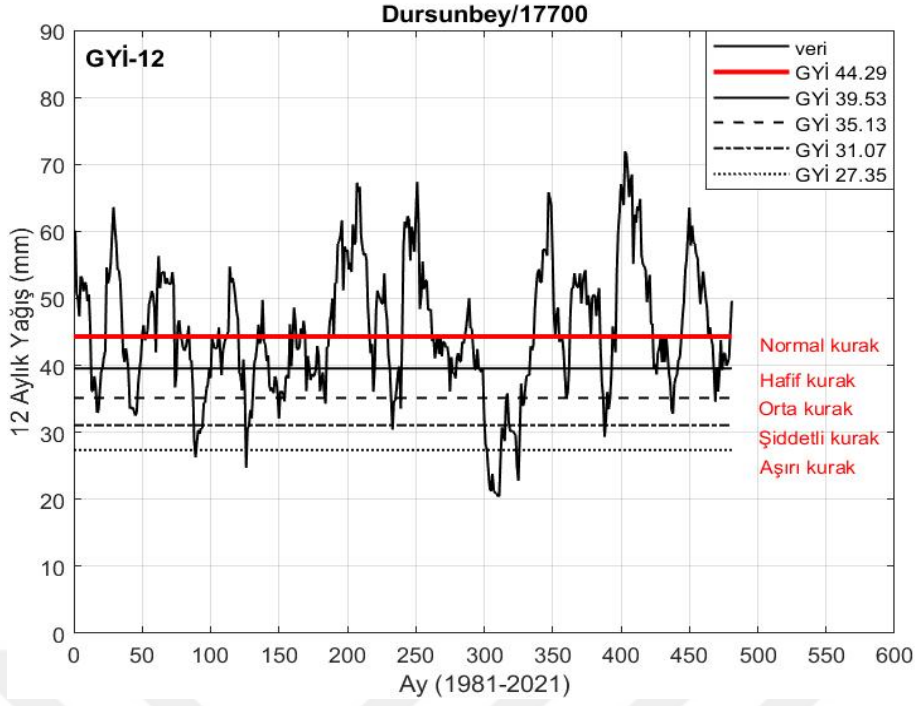
**Şekil 38:** Kısa Zaman Aralıklarında Yağış Serilerinin Zamanla Değişimi

Şekil 38’de Dursunbey istasyonu için 1 aylık zaman ölçeğindeki yağış değerlerinin 34,49 mm’nin altına düşmesi durumunda bölge için kurak dönemin başladığı görülmektedir. İstasyonun 1 aylık zaman ölçeği için 34,49 mm-21,04 mm yağış değerleri “normal kurak”; 21,04 mm-10,80 mm yağış değerleri “hafif kurak”; 10,80 mm-2,75 mm yağış değerleri “orta derecede kurak”; 2,75 mm-0 mm yağış değerleri ise “şiddetli kurak” sınıflandırmaları için eşik değerlerdir.



**Şekil 39:** Orta Zaman Aralıklarında Yağış Serilerinin Zamanla Değişimi

Dursunbey istasyonu 6 ve 9 aylık zaman ölçeklerine ait yağış serileri için GYİ eşik değerleri birbirine oldukça yakındır. Bu durum, istasyonun her iki zaman ölçeğinde de benzer bir kuraklık modeli sergilediğini ve farklı zaman dilimlerinin benzer kuraklık seviyeleri ortaya koyduğunu göstermektedir. Her iki GYİ grafiğinde tüm kuraklık sınıflandırmaları açıkça görülebilmektedir. İstasyonun 9 aylık zaman ölçeğindeki yağış değerlerinin 21,08 mm'nin altına düşmesi durumunda bölgede aşırı kurak dönem görülmekte iken 6 aylık zaman ölçeğinde 19,66 mm'nin altına düşmesi durumunda şiddetli kurak dönem meydana gelmektedir.



**Şekil 40:** Uzun Zaman Aralıklarında Yağış Serilerinin Zamanla Değişimi

Uzun zaman aralıklarındaki GYİ grafikleri incelendiğinde, dikey eksenlerdeki kuraklık sınıfı değerleri ve yağış değişim aralıkları 24 aylık zaman ölçeğinde 12 aylık zaman ölçeğine göre daha düşüktür. Her iki zaman ölçeği için de 44 mm'lik yağış kurak dönemden nemli döneme geçiş miktarını temsil etmektedir. Buna göre 44 mm'den düşük yağış kurak dönemi, 44 mm'den fazla yağış ise nemli (sulak) dönemi işaret etmektedir. Tablo 30'da tüm istasyonların farklı zaman ölçeklerindeki yağış serileri için hesaplanan GYİ eşik değerleri verilmiştir. Dursunbey 24 Aylık yağış verileri normal dağılıma uyumludur. Bu nedenle, SYİ ve GYİ 'deki zaman serisi desenleri birbirlerine çok benzer olması beklenmektedir.

**Tablo 30:** Bandırma, Bigadiç, Bursa ve Dursunbey İstasyonları için Hesaplanan GYİ Eşik Değerleri

Parametreler	2	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-2
SYİ varyantı	2	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-2
GYİ olasılığı	0,9772	0,9332	0,8413	0,6915	0,5000	0,3085	0,1587	0,0668	0,0228
Bandırma/17114									
Aylık	292,6466	170,0329	102,6732	63,2746	38,7008	22,4991	11,2806	3,1591	0
3 Aylık	152,4901	122,4937	95,1768	70,9770	50,2078	33,2196	20,2177	11,0969	5,4075
6 Aylık	114,3839	99,2095	84,2072	69,5920	55,5735	42,4926	30,7738	20,8398	13,0626
9 Aylık	95,1093	85,3774	75,4763	65,8117	56,5946	47,9342	39,8532	32,3079	25,2760
12 Aylık	83,8011	77,2633	70,7095	64,1626	57,6106	51,0586	44,5117	37,9579	31,4201
24 Aylık	77,1080	71,2738	66,2438	61,7707	57,5798	53,3889	48,9158	43,8858	38,0516
Bigadiç/17698									
Aylık	234,0843	130,9922	76,6435	45,9241	27,2986	15,305	7,1635	1,3683	0
3 Aylık	109,5073	87,0650	67,7650	51,3841	37,4735	25,6104	15,4090	6,5252	0
6 Aylık	88,2013	73,6726	60,6457	49,1988	39,1942	30,4546	22,7854	15,9904	9,9381
9 Aylık	72,2401	63,6840	55,4506	47,7779	40,7367	34,3300	28,5116	23,2032	18,3538
12 Aylık	64,8746	58,8019	52,7291	46,8856	41,3786	36,2555	31,5149	27,1201	23,0496
24 Aylık	59,5167	54,3365	49,4810	45,0539	41,0643	37,4888	34,2829	31,3896	28,7714
Bursa/17116									
Aylık	201,5146	139,966	97,3173	67,0678	44,9333	28,2617	15,3494	5,0648	0
3 Aylık	137,1175	113,4088	91,1325	70,6718	52,3531	36,5999	23,7995	14,1504	7,5890
6 Aylık	115,0413	95,3993	78,8874	65,1354	53,6391	43,9625	35,7326	28,6329	22,4534
9 Aylık	99,6279	84,9553	72,8327	62,8808	54,6600	47,8090	42,0311	37,0823	32,8015
12 Aylık	91,7457	79,4776	69,5857	61,6280	55,1642	49,8525	45,4254	41,6716	38,4527
24 Aylık	85,6268	74,6428	66,3795	60,1041	55,2447	51,4075	48,3149	45,7667	43,6350
Dursunbey/17700									
Aylık	170,2157	115,0836	78,1558	52,6921	34,4899	21,0447	10,8006	2,7546	0
3 Aylık	104,4003	86,6245	70,1558	55,2849	41,9908	30,1563	19,6049	10,1283	1,5882
6 Aylık	84,0668	73,3488	62,8	52,7832	43,4465	34,8401	26,9378	19,6602	12,958
9 Aylık	70,7461	64,4611	57,809	51,0987	44,522	38,2	32,1863	26,4783	21,0827
12 Aylık	67,1139	60,8315	54,9306	49,4239	44,2915	39,5278	35,1256	31,0654	27,349
24 Aylık	59,3715	55,7822	52,1843	48,5901	44,9931	41,3961	37,8019	34,204	30,6147

**Tablo 31:** Edremit, Gediz, Gönen ve Keles İstasyonları için Hesaplanan GYİ Eşik Değerleri

Parametreler									
SYİ varyantı	2	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-2
GYİ olasılığı	0,9772	0,9332	0,8413	0,6915	0,5000	0,3085	0,1587	0,0668	0,0228
Edremit/17145									
Aylık	543,5956	232,2196	110,3384	56,5252	29,927	15,4787	6,9778	1,6207	0
3 Aylık	181,2234	138,0974	100,9769	70,1674	45,6662	27,3549	14,7725	7,0178	2,8763
6 Aylık	139,5561	110,4629	86,7553	67,5148	51,7718	38,7559	27,8519	18,5655	10,5723
9 Aylık	108,1329	91,9842	77,7659	65,4596	54,838	45,6563	37,6699	30,647	24,4324
12 Aylık	96,6845	83,4795	72,343	63,0431	55,2513	48,6806	43,0836	38,2487	34,0357
24 Aylık	85,3603	75,5981	67,5178	60,8744	55,3797	50,7959	46,9266	43,6099	40,7392
Gediz/17750									
Aylık	189,6879	122,0427	79,6985	52,0959	33,2625	19,8809	10,0131	2,4757	0
3 Aylık	114,7633	91,3528	71,4937	54,829	40,8105	28,9491	18,8167	10,0428	2,3815
6 Aylık	91,0038	76,8608	64,0736	52,7591	42,8131	34,0829	26,3909	19,552	13,4425
9 Aylık	73,4254	66,035	58,5806	51,3562	44,5071	38,1037	32,1536	26,6178	21,4745
12 Aylık	65,8347	60,8382	55,5589	50,241	45,035	40,0355	35,2838	30,7768	26,519
24 Aylık	59,4272	55,9011	52,3665	48,8356	45,3019	41,7682	38,2373	34,7027	31,1766
Gönen/17674									
Aylık	247,1584	152,5053	96,4761	61,6096	38,7174	22,965	11,6581	3,2177	0
3 Aylık	141,2419	114,3254	89,6127	67,5127	48,3354	32,4433	20,0891	11,2586	5,6251
6 Aylık	109,5636	93,2909	78,1328	64,3836	52,046	41,0288	31,1801	22,3148	14,31
9 Aylık	90,0111	80,4276	70,981	61,9997	53,6196	45,8881	38,784	32,2375	26,2053
12 Aylık	82,4622	74,6038	67,1001	60,152	53,8097	48,0646	42,8666	38,1394	33,8329
24 Aylık	73,1991	67,5707	62,7181	58,4027	54,3596	50,3165	46,0011	41,1485	35,5201
Keles/17695									
Aylık	206,2947	143,92	100,462	69,4981	46,7554	29,5719	16,2278	5,5754	0
3 Aylık	133,7896	111,5974	90,9066	72,1248	55,2609	40,1938	26,7188	14,5849	3,6251
6 Aylık	108,4484	94,5468	81,0795	68,4589	56,8231	46,1948	36,511	27,6512	19,538
9 Aylık	89,8436	81,8821	73,7367	65,7486	58,1009	50,8919	44,1467	37,834	31,9389
12 Aylık	81,2999	74,6048	68,8324	63,6992	58,8898	54,0804	48,9472	43,1748	36,4797
24 Aylık	73,1269	69,4629	65,6776	61,9354	58,3286	54,9095	51,6952	48,6749	45,8446

Coğrafi özellikler ve atmosferik koşullar yağış serilerinin farklı karakteristik özelliklerine sahip olmasına neden olmaktadır. SYİ prosedüründe, iki parametrelili Gamma ODF'si temel olarak orijinal yağış zaman serisi kayıtlarını standartlaştırılmış normal (Gauss) ODF'ye dönüştürmek için kullanılmaktadır. Ancak GYİ, yağış serisinin orijinal ODF'sinde herhangi bir dönüşüm olmaksızın gerçek veriler üzerinde işlem yaparak gerçek veri değerleri üzerinde sınıflandırmalar sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında Susurluk Havzası ve çevresinde yer alan istasyonların 1, 3, 6, 9, 12, ve 24 aylık zaman aralıklarındaki yağış verilerinin kuraklık eşik değerleri hesaplanarak Tablo 30-33'te sunulmuştur.

Söz konusu tablolar incelendiğinde zaman ölçeği arttıkça GYİ sınıf değerleri birbirine yaklaştığı belirlenmiştir. Aylık yağış verilerinin daha fazla rastgeleliği ve dalgalanmalara sahip iken zaman ölçeği ilerledikçe ortalaması alınan yağış değerlerinin ani değişimi daha az belirgin hale gelmektedir. Bu nedenle kuraklık periyodu uzadıkça kuraklık sınıfları arasındaki değişim aralığının azaldığı düşünülmektedir.

Örnek olması açısından aylık zaman ölçeği incelendiğinde, Edremit istasyonunun en yüksek GYİ yağış değişim aralığına sahip olan istasyon olduğu belirlenmiştir. Edremit istasyonunun aylık yağış verilerindeki değişim (varyasyon) katsayısı da 1,06 ile yüksektir (Tablo 7). En düşük sınıf aralığının ise Tavşanlı (~125 mm-0 mm) istasyonu olduğu tespit edilmiştir. 24 aylık zaman ölçeğinde yağış aralığı en yüksek olan istasyon Uludağ olup en düşük olan istasyon ise Tavşanlı istasyonudur.

Bu tez çalışması kapsamında yağış serilerinden elde edilen kuraklık sınıfı değerleri, farklı iklim değişikliği ve kuraklık analizi çalışmalarında referans değer olarak kullanılabilmesi açısından oldukça önemlidir.

**Tablo 32: Kütahya, Mustafakemalpaşa, Simav ve Tavşanlı İstasyonları için Hesaplanan GYİ Eşik Değerleri**

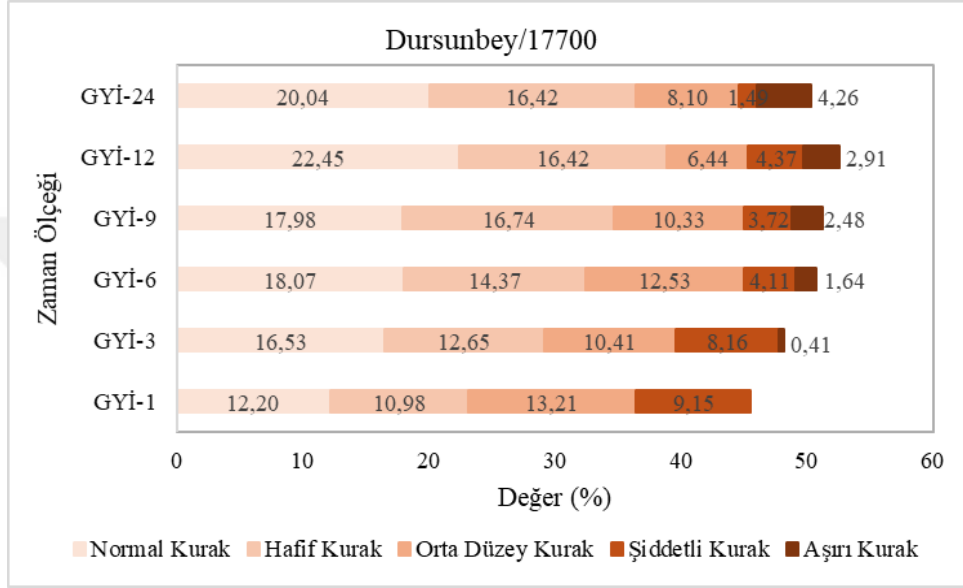
Parametreler									
SYİ varyantı	2	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-2
GYİ olasılığı	0,9772	0,9332	0,8413	0,6915	0,5000	0,3085	0,1587	0,0668	0,0228
Kütahya/17155									
Aylık	146,7744	105,8002	75,8622	53,6717	36,8303	23,7532	13,3618	4,9021	0,000
3 Aylık	96,9338	82,4022	68,3414	54,9805	42,5332	31,3128	21,6676	13,8876	8,1495
6 Aylık	81,8486	70,9102	60,7261	51,4924	43,2097	35,8155	29,2071	23,2599	17,8908
9 Aylık	70,7416	63,2774	56,3272	49,9029	43,9783	38,5431	33,5847	29,0763	25,0143
12 Aylık	67,1857	60,0964	53,8339	48,3985	43,6965	39,6240	36,0761	32,9519	30,1840
24 Aylık	59,9157	55,1837	50,9512	47,2394	44,0007	41,1755	38,6992	36,5073	34,5567
Mustafakemalpaşa/17675									
Aylık	218,7153	147,5697	100,0511	67,3617	44,0398	26,841	13,755	3,4889	0
3 Aylık	134,845	111,1068	89,4821	70,2275	53,2136	38,2144	24,9505	13,1208	2,5243
6 Aylık	108,4922	94,1009	80,2123	67,2379	55,3075	44,434	34,5451	25,5119	17,2513
9 Aylık	91,3003	81,9841	72,8863	64,3034	56,3464	49,0446	42,3657	36,2347	30,6042
12 Aylık	83,062	75,7081	68,7582	62,3781	56,5956	51,3887	46,7013	42,4566	38,604
24 Aylık	74,5355	69,7005	65,1684	60,9354	56,9743	53,2707	49,8105	46,5717	43,5506
Simav/17748									
Aylık	342,8264	189,6056	110,2683	66,0884	39,6302	22,7672	11,4188	3,4003	0
3 Aylık	173,4041	137,0681	104,5432	76,2981	52,6152	33,7711	19,8164	10,4072	4,8103
6 Aylık	155,0604	119,2628	91,6707	70,4819	54,1794	41,6476	32,0212	24,6129	18,9307
9 Aylık	116,6852	98,1375	82,5031	69,3723	58,3232	49,034	41,2299	34,6615	29,1519
12 Aylık	100,9243	88,5196	77,5249	67,9561	59,6595	52,4599	46,1775	40,6378	35,724
24 Aylık	90,1124	81,5847	73,7204	66,6464	60,3425	54,7457	49,7669	45,3038	41,2884
Tavşanlı/17704									
Aylık	125,6052	92,0568	66,9757	48,0274	33,4175	21,9226	12,6864	5,0957	0
3 Aylık	84,0186	71,3984	59,42	48,384	38,352	29,296	21,1265	13,7153	6,9783
6 Aylık	69,1963	61,6588	53,9978	46,5261	39,4052	32,7184	26,4818	20,6612	15,2385
9 Aylık	63,9185	57,5601	51,2427	45,1969	39,5247	34,2677	29,4186	24,9354	20,7927
12 Aylık	59,4578	53,6299	48,6052	44,1369	39,9504	35,7639	31,2956	26,2709	20,443
24 Aylık	55,048	50,9975	47,051	43,3351	39,8955	36,7435	33,8635	31,2223	28,7988

**Tablo 33:** Uludağ İstasyonu için Hesaplanan GYİ Eşik Değerleri

Parametreler									
SYİ varyantı	2	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-2
GYİ olasılığı	0,9772	0,9332	0,8413	0,6915	0,5000	0,3085	0,1587	0,0668	0,0228
Uludağ/17676									
Aylık	423,8897	286,5022	195,3061	132,891	88,5509	55,9679	31,2505	11,9088	0
3 Aylık	283,175	232,7168	185,6308	142,7242	104,6644	72,2922	46,3313	27,0681	14,215
6 Aylık	231,7421	195,4616	162,9531	134,1996	108,989	87,169	68,555	52,8939	39,9933
9 Aylık	207,4054	176,3999	150,2828	128,4947	110,2551	94,8848	81,7997	70,502	60,6617
12 Aylık	189,9005	165,4165	144,4895	126,8181	111,875	99,1763	88,2889	78,8318	70,5515
24 Aylık	164,0435	149,7789	136,7243	124,8196	113,9432	104,0145	94,9579	86,6814	79,1439

## GYİ eşik değerlerine ait kuraklık sınıfları ve karakteristikleri

Şekil 41’de görüldüğü üzere, Dursunbey istasyonunun farklı zaman ölçeklerindeki yağış değerleri için maksimum rölatif frekans değeri; orta düzey kurak sınıfı için %13,21 ile aylık zaman ölçeğinde, şiddetli kurak sınıfı için %9,15 ile aylık zaman ölçeğinde ve aşırı kurak sınıfı için %4,26 ile 24 aylık zaman ölçeğinde meydana gelmiştir. Kuraklık indeksi değerlerine benzer şekilde, GYİ sınıfı değerlerinde de en sık görülen kuraklık olayları sırasıyla normal, hafif, orta, şiddetli ve aşırı kuraklık sınıflarıdır.



Şekil 41: Dursunbey MGİ GYİ Değerleri için Rölatif Frekans Yüzde Değerleri

### 3.3. KURAKLIK İNDEKSLERİNİN TREND ANALİZLERİ

Trend (eğilim), zamana bağlı bir değişkenin gözlem dönemi boyunca artma veya azalma eğilimi olarak tanımlanmaktadır. Bir bölgedeki zaman içinde azalan yağış, su temini ve sulama planlarını yeniden gözden geçirilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle hidrometeorolojik verilerin zaman içerisindeki değişimlerinin incelenmesi su kaynakları yönetimi açısından önemlidir. Kuraklık indekslerindeki zamansal değişikliklerin incelenmesi ise uzun vadeli iklim değişikliklerinin ve kuraklık risklerinin anlaşılması açısından önemlidir. Bu tez çalışmasında, farklı zaman ölçeklerindeki yağış serilerinin ve kuraklık indekslerinin zaman içindeki değişimi non-parametrik trend belirleme yöntemlerinden Mann-Kendall (MK) testi ve grafiksel yöntem olan Yenilikçi Trend Analiz Yöntemi (YTA) ile incelenmiştir.

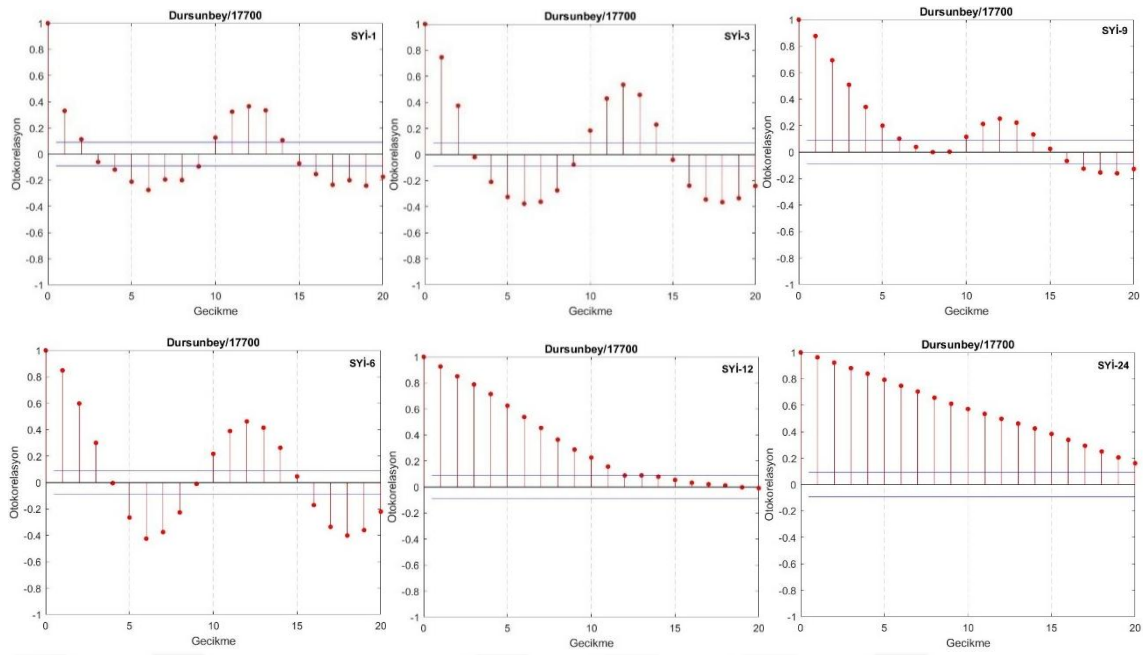
Mann-Kendall testi, gözlenen değişkenin değerlerinde trendin varlığını sıfır hipotezine ( $H_0$ ) göre kontrol etmektedir. Test sonucunda “kabul” veya “red” kararı verilmesi belirlenen anlamlılık düzeyine bağlıdır. Tahminin anlamlılık düzeyinin belirlenmesinde %90, %95 ve %99 gibi güven aralıkları kullanılmaktadır. Bu çalışmada anlamlılık düzeyi ( $p$ ) 0,05 olarak

belirlenmiş ve analizlerde %95 güven aralığı dikkate alınmıştır. p değeri 0,05'in altında olduğunda, karşılaştırma sonucunda anlamlı bir farklılık olduğu kabul edilmektedir. Çalışma kapsamında;

$p < 0,05$  ise  $H_0$  reddedilerek verilerde belirgin bir eğilim olduğu kabul edilmiştir.

Otokorelasyon kavramı, zaman serisindeki ardışık veri noktaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin bulunması durumunu ifade etmektedir. Pozitif otokorelasyon, bir veri noktasının yüksek olması durumunda onu izleyen veri noktalarının da yüksek olma eğiliminde olduğu, negatif otokorelasyon ise tam tersini ifade etmektedir. Yue ve Wang (2004), Mann-Kendall testinin geçerli olabilmesi için verilerin rastgele dağılması gerektiğini belirtmiştir. Ancak hidrometeorolojik zaman serileri genellikle serisel korelasyon göstermektedir. MK testi, içsel bağımlılığa (otokorelasyon) duyarlı olduğu için bu durum testin gücünü etkileyebilmektedir. Bu nedenle MK testinin uygulanmasından önce mutlaka içsel bağımlılık testleri yapılmalı ve lag-1 değerleri hesaplanmalıdır.

Bu tez çalışmasında, MK testi öncesinde tüm istasyonlarda serisel korelasyonun varlığı %95 güven sınırlarında otokorelasyon fonksiyon grafiği yardımıyla görsel olarak incelenmiştir. Otokorelasyon fonksiyon grafiği kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda ilk 20 lag-1 değeri çizdirilmiştir. Bu analiz, içsel bağımlılığın etkilerini gözlemleyerek MK testi ile elde edilen trend sonuçlarının güvenilirliğini artırmaya yönelik bir ön adım teşkil etmektedir. Otokorelasyon fonksiyon grafikleri incelendiğinde çalışmada kullanılan serilerin büyük bir bölümünde otokorelasyon tespit edilmiştir. Modifiye edilmiş Mann-Kendall (mMK) testi, zaman serilerindeki otokorelasyon etkisini dikkate alan bir trend analiz yöntemidir. Bu testin hesabında serinin içsel bağımlılığı dikkate alınarak varyans değeri düzeltilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada yağış ve kuraklık indeks serilerinin zaman içindeki değişimini incelemek için mMK testi uygulanmıştır. Dursunbey SYİ değerlerine ait otokorelasyon grafiği örnek olması amacıyla Şekil 42'de sunulmuştur.



**Şekil 42:** Dursunbey İstasyonu SYİ İndeks Değerleri için lag-1 Grafikleri

Tablo 34’te çalışma kapsamında kullanılan istasyonların Mann-Kendall/Modifiye edilmiş Mann-Kendall test sonuçlarına yer verilmiştir. Yağış serilerindeki trend yorumlaması kuraklık serilerindeki trend yorumlamasından farklıdır. Yağış verilerinde artan bir trendin varlığı yağış miktarının zaman içinde arttığını gösterirken, tersi durumda azalan bir trendin varlığı yağış miktarının zaman içinde azaldığını göstermektedir. Kuraklık indekslerinde kuraklığa neden olan değerler genellikle negatif değerlerle ilişkilendirilmektedir. Bu bağlamda kuraklık indekslerinde azalan bir trendin varlığı, indeks değerinin daha negatif bir değere doğru ilerlediğini ve kuraklık olaylarının şiddetinin arttığını göstermektedir. Bu bilgiler doğrultusunda, Tablo 34 incelendiğinde, Bandırma istasyonuna ait 24 aylık SYİ değerlerinde anlamlı artan bir trendin bulunması 24 aylık zaman ölçeğinde kuraklık riskinin azaldığı anlamına gelmektedir. Bu durum aynı zaman ölçeğindeki yağış verilerinin ve ZSİ değerlerinin anlamlı artan trendleri ile desteklenmektedir. Bununla birlikte SYEİ indeks değerleri ise tüm zaman ölçeklerinde anlamlı azalan trende sahiptir. Dolayısıyla bölge SYEİ kuraklık indeksi altında değerlendirildiğinde kuraklık olayların şiddetlendiği görülmektedir. SYEİ’nin hesaplama prosedüründe PET değerinin kullanılması sadece yağış verilerini girdi parametresi olarak kullanan SYİ ve ZSİ’den farklı sonuç üretmesine neden olmuştur. Bigadiç istasyonunda hiçbir kuraklık indeksi için anlamlı bir trende rastlanmamıştır. Bu durum, Bigadiç istasyonundaki iklim koşullarının ve yağış-dönemsel değişkenliklerinin, kullanılan kuraklık indeksleriyle anlamlı bir eğilim göstermediğini ortaya koymaktadır. Bursa istasyonunda ise kısa ve orta zaman aralıklarında SYEİ değerlerinde azalan trend belirlenmiştir. Dursunbey istasyonunda 24 aylık zaman ölçeğinde SYİ, ZSİ ve yağış verilerinde anlamlı artan trende rastlanmaktadır.

**Tablo 34: Mann-Kendall (MK)/Modifiye Edilmiş Mann-Kendall (mMK) z Değerleri**

Yöntem	Zaman Ölçeği	Bandırma	Bigadiç	Bursa	Dursunbey	Edremit	Gediz	Gönen	Keles	Kütahya	M.kemalpaşa	Simav	Tavşanlı	Uludağ
SYİ	1 Aylık	0,321	0,229	-0,218	0,780	0,458	-0,635	0,763	0,138	1,206	0,737	0,267	1,019	-0,813
	3 Aylık	0,782	0,058	0,005	0,801	0,792	-0,343	1,229	0,100	1,937	0,877	-0,012	<b>4,115*</b>	-1,415
	6 Aylık	1,230	0,261	0,283	1,393	1,503	-0,666	<b>2,034*</b>	0,163	<b>3,342*</b>	1,681	-0,234	<b>3,865*</b>	-1,930
	9 Aylık	1,710	0,630	0,388	1,324	1,383	-0,666	<b>2,570*</b>	0,446	<b>2,871*</b>	1,716	-0,410	<b>3,076*</b>	-1,696
	12 Aylık	1,421	0,325	0,242	1,532	1,238	-0,333	1,921	0,283	<b>3,278*</b>	<b>2,991*</b>	-0,382	<b>3,453*</b>	-1,437
	24 Aylık	<b>2,922*</b>	0,384	0,808	<b>1,973*</b>	1,185	-0,145	<b>3,389*</b>	0,479	<b>3,330*</b>	<b>2,867*</b>	-0,227	<b>4,471*</b>	-1,000
SYEİ	1 Aylık	<b>-3,728*</b>	<b>-1,651</b>	<b>-3,820*</b>	-1,900	<b>-2,658*</b>	<b>-3,275*</b>	<b>-2,623*</b>	-1,821	<b>-1,569</b>	-1,558	<b>-2,545*</b>	-1,082	-1,922
	3 Aylık	<b>-4,398*</b>	-1,461	<b>-2,656*</b>	-1,706	<b>-3,032*</b>	<b>-3,037*</b>	-1,874	-1,936	-1,444	-1,527	<b>-2,155*</b>	-0,435	<b>-1,994*</b>
	6 Aylık	<b>-3,266*</b>	-1,311	<b>-2,151*</b>	-1,434	<b>-2,702*</b>	<b>-6,467*</b>	<b>-3,945*</b>	-1,718	<b>-9,632*</b>	-1,829	<b>-2,238*</b>	-0,260	<b>-2,747*</b>
	9 Aylık	<b>-2,574*</b>	-0,974	<b>-2,046*</b>	-1,426	<b>-2,535*</b>	<b>-5,060*</b>	<b>-3,766*</b>	-1,832	<b>-2,600*</b>	<b>-3,300*</b>	<b>-1,975*</b>	-0,325	<b>-2,334*</b>
	12 Aylık	<b>-2,577*</b>	-1,138	-1,680	-1,910	<b>-2,663*</b>	<b>-4,675*</b>	<b>-3,858*</b>	-1,492	<b>-1,998*</b>	<b>-4,954*</b>	-1,922	-0,200	-1,945
	24 Aylık	<b>-2,492*</b>	-1,250	-0,973	-1,696	<b>-2,418*</b>	<b>-3,740*</b>	<b>-2,048*</b>	-1,691	-1,271	<b>-3,656*</b>	-1,554	0,257	-1,292
ZSİ	1 Aylık	0,322	0,229	-0,201	0,809	0,462	-0,632	0,808	0,138	1,112	0,743	0,269	1,019	-0,812
	3 Aylık	0,777	0,057	0,005	0,801	0,800	-0,342	1,232	0,100	<b>2,123*</b>	0,877	-0,011	<b>4,149*</b>	-1,409
	6 Aylık	1,225	0,260	0,284	1,390	1,499	-0,667	<b>2,025*</b>	0,163	<b>3,163*</b>	1,676	-0,235	<b>3,890*</b>	<b>-2,025*</b>
	9 Aylık	1,727	0,629	0,381	1,328	1,424	-0,665	<b>2,585*</b>	0,443	<b>2,598*</b>	1,766	-0,409	<b>3,071*</b>	-1,737
	12 Aylık	1,423	0,325	0,214	1,531	1,377	-0,334	1,930	0,278	<b>3,813*</b>	<b>3,025*</b>	-0,382	<b>3,529*</b>	-1,442
	24 Aylık	<b>2,991*</b>	0,387	0,805	<b>1,973*</b>	1,147	-0,143	<b>3,415*</b>	0,479	<b>3,250*</b>	<b>2,809*</b>	-0,227	<b>4,503*</b>	-1,011
Yağış	1 Aylık	0,322	0,229	-0,201	0,809	0,462	-0,632	0,808	0,138	1,112	0,743	0,269	1,018	-0,812
	3 Aylık	0,777	0,058	0,005	0,801	0,800	-0,342	1,231	0,100	<b>2,123*</b>	0,877	-0,012	<b>4,1448*</b>	-1,409
	6 Aylık	0,221	0,260	0,283	1,391	1,500	-0,667	<b>2,025*</b>	0,163	<b>3,164*</b>	1,676	-0,235	<b>4,057*</b>	<b>-2,025*</b>
	9 Aylık	1,728	0,630	0,381	1,328	1,423	-0,665	<b>2,585*</b>	0,443	<b>2,598*</b>	1,767	-0,408	<b>3,070*</b>	-1,737
	12 Aylık	1,421	0,325	0,241	1,531	1,378	-0,334	1,927	0,277	<b>3,815*</b>	<b>3,022*</b>	-0,383	<b>3,527*</b>	-1,442
	24 Aylık	<b>2,993*</b>	0,388	0,806	<b>1,973</b>	1,148	-0,145	<b>3,414*</b>	0,478	<b>3,250*</b>	<b>2,808*</b>	-0,227	<b>4,506*</b>	-1,012

\*p&lt;0,05 istatistiksel olarak anlamlıdır.

Edremit istasyonunda tüm zaman ölçeklerinde SYEİ değerleri için anlamlı azalan trend belirlenmiştir. Gediz istasyonundaki yağış verileri ve indeks değerleri tüm zaman ölçeklerinde azalan bir eğilim göstermektedir. Ancak, bu azalma eğilimleri arasında sadece SYEİ değerleri istatistiksel olarak anlamlıdır. Kütahya istasyonunda ZSİ değerleri ve yağış verileri benzer eğilimler göstermektedir. ZSİ hesabında yağış serisinde dönüşüm veya normalizasyon gibi ek adımlar uygulanmadığından yağış verilerindeki değişim doğrudan ZSİ'ye yansiyabilmektedir. Mustafakemalpaşa istasyonunda ise SYİ, ZSİ ve yağış değerleri Bandırma ve Gönen istasyonlarında da olduğu gibi benzer eğilim göstermektedir. Tavşanlı istasyonunda 1 aylık zaman ölçeği haricinde SYİ, ZSİ ve yağış değerleri artan bir eğilim göstererek kuraklık olaylarının hafiflediğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte SYEİ değerlerinde ise anlamlı bir trende rastlanmamıştır. Uludağ istasyonunda SYEİ değerlerinde 3, 6 ve 9 aylık zaman ölçeklerinde, ZSİ ve yağış değerlerinde ise sadece 6 aylık zaman ölçeğinde anlamlı azalan trend belirlenmiştir.

SYİ ve SYEİ indeksleri arasındaki farklılıklar, kuraklık ve su dengesi analizlerinde önemli bilgiler sağlamaktadır. SYİ sadece yağış verileri kullanmakta iken SYEİ hem yağış hem de evapotranspirasyonu dikkate almaktadır. Bu nedenle yağış trendlerinde bir değişiklik olmasa dahi artan sıcaklıklar ve evapotranspirasyon nedeniyle SYEİ'de belirgin bir azalan trend gözlenebilmektedir. Bu durum, iklim değişikliği ve artan sıcaklıkların su kaynakları üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için her iki indeksin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. SYEİ, su dengesindeki değişiklikleri daha kapsamlı bir şekilde analiz ederek iklim değişikliğinin etkilerini daha net bir şekilde ortaya koyabilmektedir. SYİ ve SYEİ'deki farklı sonuçların nedenlerinden bir diğeri bölgesel iklim özellikleri ve toprak yapısının evapotranspirasyon oranlarını etkileyebilmesi olduğu düşünülmektedir. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde artan sıcaklıklar, evapotranspirasyonu önemli ölçüde artırarak su dengesi üzerindeki etkileri daha belirgin hale getirmektedir.

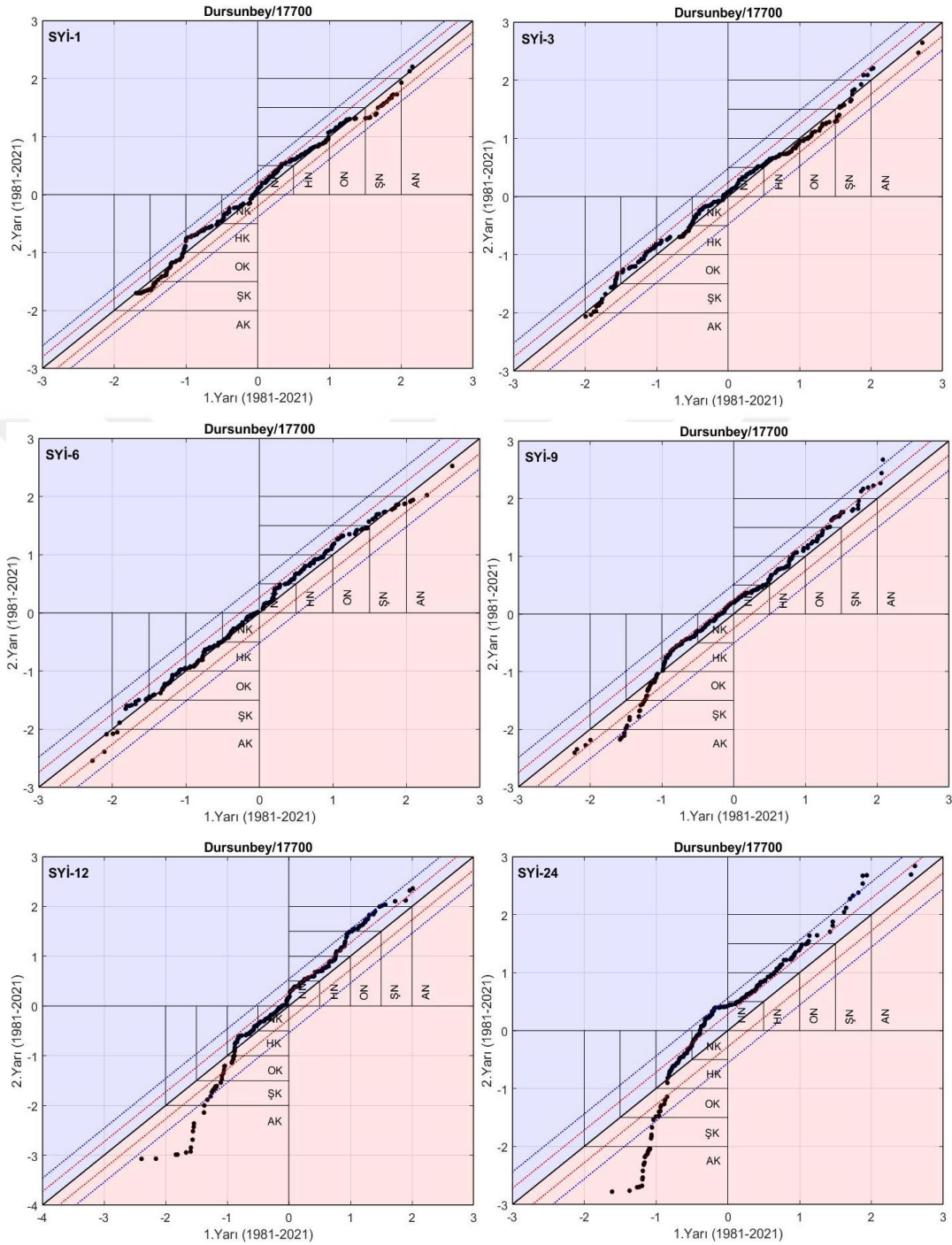
Yenilikçi Trend Analiz (YTA) yöntemi grafiksel bir trend belirleme yöntemi olup Şen (2012) tarafından önerilmiştir. Yöntem, zaman serisinin iki eşit sıralı alt serisinin kartezyen koordinat sisteminde karşılıklı işaretlenmesine dayanmaktadır. YTA, grafiksel bir yöntem olarak zaman serilerinin alt kategorilere ayrılmasına ve sözel çıkarımlar yapılmasına olanak tanısa da istatistiksel olarak net bir sonuç elde edilmesine olanak tanımamaktadır. Şen (2017) tarafından önerilen Yenilikçi Trend Anlamlılık Testi (YTAT) sayesinde grafik, nicel olarak değerlendirilebilmektedir. Bu çalışmada kuraklık indekslerinin ve yağış serilerinin trend durumu YTA'nın gelişmiş bir versiyonu ile araştırılmıştır. YTA şablonuna  $\pm\%5$  ve  $\pm\%10$  trend zarf eğrileri eklenerek verilerin kartezyen koordinat sistemindeki genel eğiliminin

değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Literatürde koordinat sistemine zarf eğrileri eklemek için çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır: (1) Her bir veri değerinden bulunduğu seri ortalamasının %5 ve %10 kadar eklenip çıkartılarak yeni veri serileri elde edilir. Bu seriler kartezyen koordinat sisteminde işaretlenerek zarf eğrileri olarak kullanılır. (2) 1:1 çizgisi y ekseninde  $\pm\%5$  ve  $\pm\%10$  kaydırılarak oluşturulan yeni çizgiler trend zarf eğrisi olarak kullanılır. Bu çalışma kapsamında her iki yöntemde tercih edilmemiştir. 1. Yöntemde serinin ortalaması üzerinden işlem yapılmaktadır. Ancak bu çalışmada incelenen veriler kuraklık indeksleri olduğundan ve standartlaştırma prosedürlerine tabi tutulduğundan ortalamaları 0'dır. Dolayısıyla böyle bir uygulamada zarf eğrileri 1:1 çizgisinin hemen üzerine düşmektedir. 2. Yöntem ise YTA şablonunun sınır değerlerinden geçen 1:1 çizgisinin y ekseninde kaydırılmasına dayanmaktadır. Ancak bu durumda YTA sınır değerleri değiştirildiğinde serinin eğilim yüzdesi de değişeceğinden net bir değerlendirme sağlamayacaktır. Bu nedenle bu çalışmada üçüncü bir yöntem olarak serinin en büyük ve en küçük değer farkının %5'i ve %10'u hesaplanmıştır. Ardından 1:1 doğrusu bu değerler kadar kaydırılmıştır. Bu yöntemde YTA şablonunun sınır değerlerinin değişmesi halinde verinin trend zarf eğrisine göre konumu değişmemektedir.

Bu tez çalışmasında kuraklık indekslerinin ve yağış verilerinin kuraklık sınıf değerleri YTA grafiği üzerinde işaretlenerek alt kategoriler oluşturulmuştur. Sözel trend yorumlarına ek olarak grafiğin istatistiksel anlamlılığını belirlemek için YTAT hesaplamaları yapılmıştır. Örnek olması açısından Dursunbey istasyonuna ait farklı zaman ölçeklerindeki SYİ, SYEİ, ZSİ ve yağış serileri için oluşturulan YTA grafikleri sırası ile Şekil 43-46'da sunulmuştur. Bu grafiklerin istatistiksel anlamlılıkları YTAT ile hesaplanarak sonuçlar Tablo 35'te sunulmuştur. Ayrıca çalışmada kullanılan kuzeydeki Bandırma, güneydeki Gediz, batıdaki Edremit ve doğudaki Keles istasyonlarına ait kuraklık indekslerinin YTA grafikleri Ek 5'te verilmiştir.

Şekil 43'e göre Dursunbey istasyonu için öne çıkan bulgular şu şekildedir: 1 aylık zaman ölçeği için çizilen SYİ-1 grafiğinde aşırı kurak sınıfta herhangi bir SYİ değerlerine rastlanmamıştır. Bu durum SYİ'nin rölatif frekans değerlerinin yer aldığı Şekil 28'de de görülebilmektedir. Bununla birlikte şiddetli kurak sınıftaki değerlerde (-) %5'e varan azalan trend belirlenmiştir. Dolayısıyla şiddetli kurak sınıf değerlerinde meydana gelen kuraklık olaylarının şiddetinin arttığı belirlenmiştir. Hafif kurak sınıf değerlerinde artan bir trendin varlığı bu sınıf değerlerindeki kuraklık olaylarının şiddetinin azaldığını göstermektedir. SYİ-3 grafiği incelendiğinde özellikle orta kurak sınıftaki değerlerde (+) %5'e varan artan trend gözlenmektedir. SYİ6 grafiğinde aşırı kurak uç değerlerde (-) %5 azalan trend gözlenmekte iken aşırı nemli grubundaki uç değerlerinde azalan trend bölgesinde yer alması bölgenin aşırı hava olaylarına karşı şiddetlendiğini göstermektedir. Bununla birlikte grafiğin genelinde

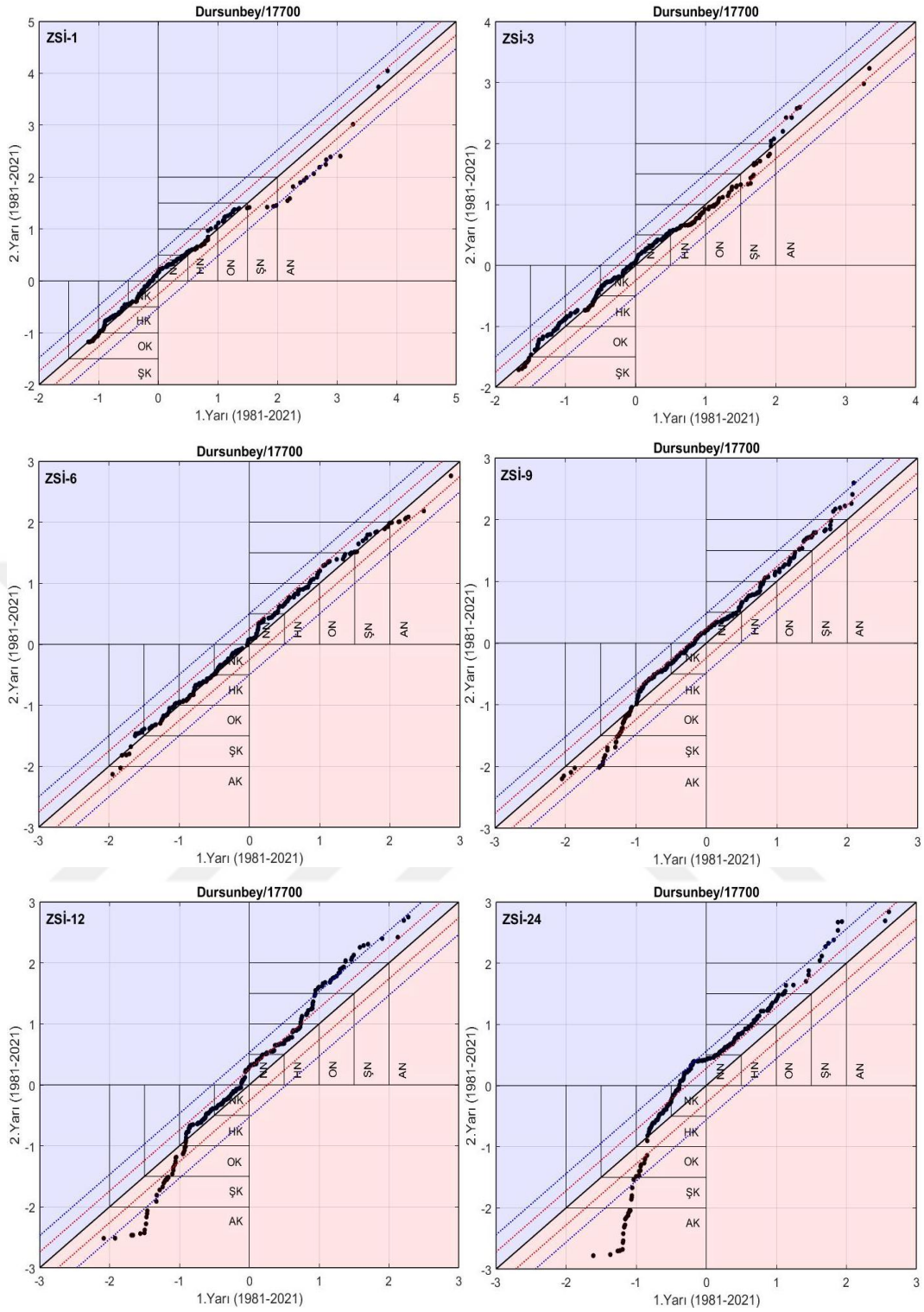
normal, hafif ve orta kurak sınıf değerlerinde trende rastlanmamakta, şiddetli kurak sınıfında ise artan bir trend söz konusudur. Aynı grafikte normal, hafif ve orta nem sınıflarındaki değerlerde ise artış eğilimi söz konusudur.



**Şekil 43:** Dursunbey İstasyonu SYİ Değerleri için YTA Grafikleri

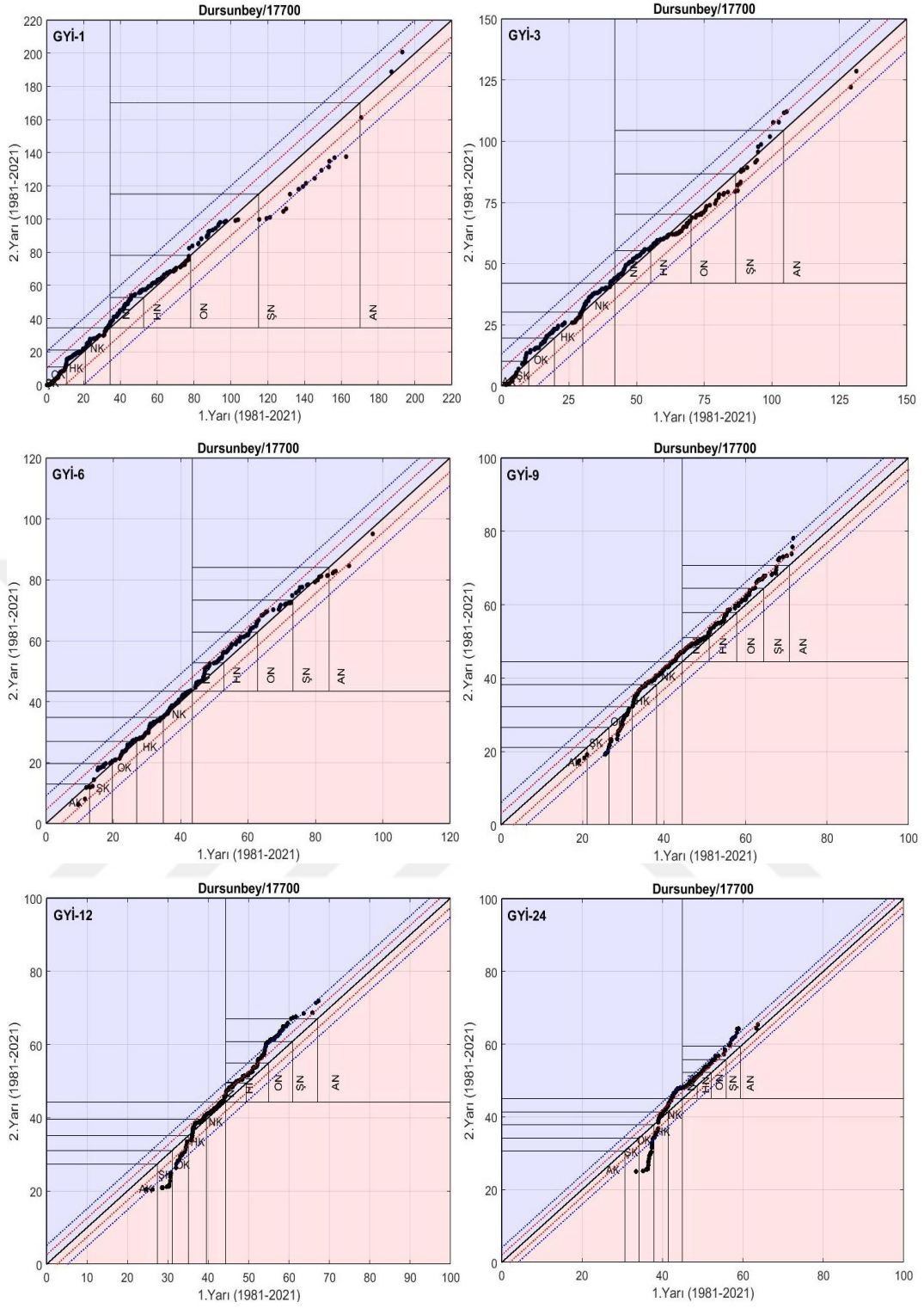
SYİ-9 grafiğinde hafif kurak ve üzeri tüm alt kategorilerdeki artan trend görülmektedir. Orta, şiddetli ve aşırı kurak sınıf değerlerinde ise azalan trend görülmektedir. SYİ-12 grafiğinde orta kurak sınıftan itibaren şiddetli ve aşırı kurak sınıf değerlerinde azalan trend meydana gelmekte iken hafif kurak sınıftan aşırı nemli sınıfına doğru tüm alt kategorilerde artan trend söz konusudur. Bölgenin bu davranışı SYİ-24'te açık bir şekilde görülmektedir.





**Şekil 45:** Dursunbey İstasyonu ZSİ Değerleri için YTA Grafikleri

Şekil 45'te ZSİ-1 grafiğinde şiddetli ve aşırı nemli sınıf değerlerinde azalan trend gözlenmekte iken ZSİ-6 grafiğinde normal, hafif, orta ve şiddetli nemli sınıf değerlerinde artan trend, aşırı nemli sınıfında ise azalan bir trend söz konusudur. Aynı grafiğin aşırı kurak sınıfı haricindeki diğer sınıflarda ise trende rastlanmamıştır. ZSİ-12 ve ZSİ-24 grafikleri ise SYİ-12 ve SYİ-24 benzer davranış göstererek orta, şiddetli ve aşırı kurak sınıf değerleri haricinde grafiklerdeki tüm alt kategorilerdeki değerlerde artan trend görülmektedir.



**Şekil 46:** Dursunbey İstasyonu Yağış Değerleri için YTA Grafikleri

Şekil 46’da, her bir yağış serisi için en uygun ODF dikkate alınarak hesaplanan GYİ sınıf değerleri YTA grafiklerinde işaretlenmiştir. Her bir yağış serisinin eşik değerleri Tablo 30’da verilmiştir. Bu grafiklerde öne çıkan sonuçlar şu şekildedir: GYİ-1 grafiğinde şiddetli nem sınıfındaki yağış değerlerinde (-) %10 civarı azalan trende sahiptir. GYİ-6 grafiğinde aşırı kurak sınıfı haricinde kurak sınıflarda trend gözlenmez iken normal, hafif ve orta nem sınıflarındaki değerlerde artan trend görülmektedir. GYİ-9, GYİ-12 ve GYİ-24 grafiklerinde

hafif kurak sınıftan aşırı nemli sınıfa kadar olan kategorilerdeki yağış değerlerinde artan trend söz konusu iken orta, şiddetli ve aşırı kurak sınıfa ait yağış değerlerinde ise azalan trend söz konusudur. Dursunbey istasyonunun bu özelliği SYİ ve ZSİ grafiklerinde de görülmektedir.

**Tablo 35:** Dursunbey İstasyonu için YTAT Sonuçları

İstasyon	Veri	Eğim (s)	Alt limit	Üst limit	Trend
Dursunbey/17700	SYİ-1	0,000144	-0,000037	0,000037	+
	SYİ-3	0,000175	-0,000032	0,000032	+
	SYİ-6	0,000278	-0,000028	0,000028	+
	SYİ-9	0,000442	-0,000052	0,000052	+
	SYİ-12	0,000385	-0,000066	0,000066	+
	SYİ-24	0,000644	-0,000127	0,000127	+
	SYEİ-1	-0,000583	-0,000019	0,000019	-
	SYEİ-3	-0,000676	-0,000032	0,000032	-
	SYEİ-6	-0,000819	-0,000036	0,000036	-
	SYEİ-9	-0,000917	-0,000032	0,000032	-
	SYEİ-12	-0,001155	-0,000039	0,000039	-
	SYEİ-24	-0,001601	-0,000082	0,000082	-
	ZSİ-1	0,000065	-0,000050	0,000050	+
	ZSİ-3	0,000132	-0,000033	0,000033	+
	ZSİ-6	0,000287	-0,000029	0,000029	+
	ZSİ-9	0,000462	-0,000047	0,000047	+
	ZSİ-12	0,000565	-0,000051	0,000051	+
	ZSİ-24	0,000644	-0,000127	0,000127	+
	Yağış-1	0,002504	-0,001916	0,001916	+
	Yağış-3	0,003424	-0,000848	0,000848	+
	Yağış-6	0,005212	-0,000534	0,000534	+
	Yağış-9	0,005904	-0,000604	0,000604	+
	Yağış-12	0,005527	-0,000498	0,000498	+
	Yağış-24	0,004629	-0,000911	0,000911	+

Tablo 35'te Dursunbey istasyonu için YTAT test sonuçlarına yer verilmiştir. Test sonuçlarına göre SYİ, ZSİ ve yağış serilerindeki tüm zaman ölçeklerinde artan trend belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan diğer istasyonların YTAT sonuçlarına Tablo 36-47'de verilmiştir.

Tablo 36 incelendiğinde, Bandırma istasyonunda sadece SYEİ değerlerinde azalan bir trend gözlemlenmektedir. Bu durum, Mann-Kendall (MK) testinin sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Ancak MK'da sadece 24 aylık SYİ, ZSİ ve yağış serilerinde anlamlı artan trend tespit edilmesine rağmen, YTAT'de tüm zaman ölçeklerinde anlamlı artan trend tespit edilmiştir. Bu noktada YTAT, pozitif MK z değerine sahip tüm serileri artan trend olarak belirlemiştir. Ayrıca incelenen serinin MK z değeri anlamlı trende ne kadar yakınsa YTAT'taki s değerinin de o kadar büyük olduğu tespit edilmiştir. Tablo 37 incelendiğinde ise Bigadiç aylık SYİ serileri haricinde azalan trend olduğu belirlenmiştir.

**Tablo 36:** Bandırma İstasyonu için YTAT Sonuçları

İstasyon	Veri	Eğim (s)	Alt limit	Üst limit	Trend
Bandırma/17700	SYİ-1	0,000015	-0,000024	0,000024	0
	SYİ-3	0,000193	-0,000030	0,000030	+
	SYİ-6	0,000516	-0,000047	0,000047	+
	SYİ-9	0,000791	-0,000059	0,000059	+
	SYİ-12	0,001166	-0,000055	0,000055	+
	SYİ-24	0,001716	-0,000090	0,000090	+
	SYEİ-1	-0,001161	-0,000029	0,000029	-
	SYEİ-3	-0,001106	-0,000037	0,000037	-
	SYEİ-6	-0,000930	-0,000026	0,000026	-
	SYEİ-9	-0,000920	-0,000033	0,000033	-
	SYEİ-12	-0,000897	-0,000039	0,000039	-
	SYEİ-24	-0,001178	-0,000056	0,000056	-
	ZSİ-1	0,000193	-0,000050	0,000050	+
	ZSİ-3	0,000343	-0,000035	0,000035	+
	ZSİ-6	0,000593	-0,000047	0,000047	+
	ZSİ-9	0,000872	-0,000053	0,000053	+
	ZSİ-12	0,001166	-0,000055	0,000055	+
	ZSİ-24	0,001537	-0,000097	0,000097	+
	Yağış-1	0,010706	-0,002749	0,002749	+
	Yağış-3	0,012998	-0,001314	0,001314	+
	Yağış-6	0,015550	-0,001231	0,001231	+
	Yağış-9	0,015311	-0,000937	0,000937	+
	Yağış-12	0,015273	-0,000717	0,000717	+
	Yağış-24	0,014549	-0,000916	0,000916	+

**Tablo 37:** Bigadiç İstasyonu için YTAT Sonuçları

İstasyon	Veri	Eğim (s)	Alt limit	Üst limit	Trend
Bigadiç/17698	SYİ-1	0,000042	-0,000033	0,000033	+
	SYİ-3	-0,000078	-0,000029	0,000029	-
	SYİ-6	-0,000095	-0,000044	0,000044	-
	SYİ-9	-0,000163	-0,000084	0,000084	-
	SYİ-12	-0,000303	-0,000128	0,000128	-
	SYİ-24	-0,000634	-0,000144	0,000144	-
	SYEİ-1	-0,000627	-0,000029	0,000029	-
	SYEİ-3	-0,000630	-0,000028	0,000028	-
	SYEİ-6	-0,000687	-0,000024	0,000024	-
	SYEİ-9	-0,000847	-0,000030	0,000030	-
	SYEİ-12	-0,001038	-0,000051	0,000051	-
	SYEİ-24	-0,001590	-0,000089	0,000089	-
	ZSİ-1	-0,000118	-0,000039	0,000039	-
	ZSİ-3	-0,000132	-0,000030	0,000030	-
	ZSİ-6	-0,000105	-0,000050	0,000050	-
	ZSİ-9	-0,000114	-0,000078	0,000078	-
	ZSİ-12	-0,000192	-0,000119	0,000119	-
	ZSİ-24	-0,000441	-0,000145	0,000145	-
	Yağış-1	-0,004618	-0,001532	0,001532	-
	Yağış-3	-0,003621	-0,000818	0,000818	-
	Yağış-6	-0,002053	-0,000979	0,000979	-
	Yağış-9	-0,001552	-0,001061	0,001061	-
	Yağış-12	-0,001998	-0,001235	0,001235	-
	Yağış-24	-0,003412	-0,001123	0,001123	-

**Tablo 38:** Bursa İstasyonu için YTAT Sonuçları

İstasyon	Veri	Eğim (s)	Alt limit	Üst limit	Trend
Bursa/17116	SYİ-1	0,000011	-0,000046	0,000046	0
	SYİ-3	0,000222	-0,000094	0,000094	+
	SYİ-6	0,000367	-0,000049	0,000049	+
	SYİ-9	0,000654	-0,000068	0,000068	+
	SYİ-12	0,000791	-0,000085	0,000085	+
	SYİ-24	0,000905	-0,000077	0,000077	+
	SYEİ-1	-0,000871	-0,000043	0,000043	-
	SYEİ-3	-0,001079	-0,000052	0,000052	-
	SYEİ-6	-0,001095	-0,000058	0,000058	-
	SYEİ-9	-0,001071	-0,000075	0,000075	-
	SYEİ-12	-0,001174	-0,000065	0,000065	-
	SYEİ-24	-0,001106	-0,000074	0,000074	-
	ZSİ-1	0,012042	-0,010923	0,010923	+
	ZSİ-3	0,013036	-0,004651	0,004651	+
	ZSİ-6	0,015038	-0,001821	0,001821	+
	ZSİ-9	0,015596	-0,001636	0,001636	+
	ZSİ-12	0,015956	-0,001887	0,001887	+
	ZSİ-24	0,016500	-0,000985	0,000985	+
	Yağış-1	0,012042	-0,010923	0,010923	+
	Yağış-3	0,013036	-0,004651	0,004651	+
	Yağış-6	0,015038	-0,001821	0,001821	+
	Yağış-9	0,015596	-0,001636	0,001636	+
	Yağış-12	0,015956	-0,001887	0,001887	+
	Yağış-24	0,016500	-0,000985	0,000985	+

**Tablo 39:** Edremit İstasyonu için YTAT Sonuçları

İstasyon	Veri	Eğim (s)	Alt limit	Üst limit	Trend
Edremit/17145	SYİ-1	0,000145	-0,000041	0,000041	+
	SYİ-3	0,000272	-0,000040	0,000040	+
	SYİ-6	0,000356	-0,000037	0,000037	+
	SYİ-9	0,000545	-0,000035	0,000035	+
	SYİ-12	0,000647	-0,000059	0,000059	+
	SYİ-24	0,001108	-0,000078	0,000078	+
	SYEİ-1	-0,001099	-0,000040	0,000040	-
	SYEİ-3	-0,001288	-0,000039	0,000039	-
	SYEİ-6	-0,001342	-0,000034	0,000034	-
	SYEİ-9	-0,001381	-0,000030	0,000030	-
	SYEİ-12	-0,001641	-0,000037	0,000037	-
	SYEİ-24	-0,001992	-0,000079	0,000079	-
	ZSİ-1	0,000187	-0,000081	0,000081	+
	ZSİ-3	0,000241	-0,000055	0,000055	+
	ZSİ-6	0,000381	-0,000039	0,000039	+
	ZSİ-9	0,000589	-0,000035	0,000035	+
	ZSİ-12	0,000804	-0,000055	0,000055	+
	ZSİ-24	0,001427	-0,000070	0,000070	+
	Yağış-1	0,011927	-0,005179	0,005179	+
	Yağış-3	0,010965	-0,002501	0,002501	+
	Yağış-6	0,012123	-0,001232	0,001232	+
	Yağış-9	0,012392	-0,000735	0,000735	+
	Yağış-12	0,012709	-0,000866	0,000866	+
	Yağış-24	0,015901	-0,000785	0,000785	+

Tablo 38 incelendiğinde, Bursa istasyonuna ait aylık SYİ değerlerinde anlamlı bir trend tespit edilmemiştir. Tablo 38 ve Tablo 39'un genel değerlendirmesinde YTAT yöntemi ile SYİ, ZSİ ve yağış serilerinde anlamlı artan trend tespit edilirken, sadece SYEİ serilerinde azalan

trend gözlenmiştir. Edremit istasyonunun MK test sonuçlarında SYİ, ZSİ ve yağış serilerinin tamamında z değerleri pozitif olmakla birlikte anlamlı değildir. Bununla birlikte SYEİ serilerinde anlamlı azalan bir trend belirlenmiştir.

**Tablo 40:** Gediz İstasyonu için YTAT Sonuçları

İstasyon	Veri	Eğim (s)	Alt limit	Üst limit	Trend
Gediz/17750	SYİ-1	-0,000216	-0,000019	0,000019	-
	SYİ-3	-0,000132	-0,000038	0,000038	-
	SYİ-6	-0,000112	-0,000025	0,000025	-
	SYİ-9	-0,000046	-0,000042	0,000042	-
	SYİ-12	-0,000114	-0,000072	0,000072	-
	SYİ-24	-0,000260	-0,000084	0,000084	-
	SYEİ-1	-0,001171	-0,000040	0,000040	-
	SYEİ-3	-0,001546	-0,000039	0,000039	-
	SYEİ-6	-0,001901	-0,000044	0,000044	-
	SYEİ-9	-0,002232	-0,000061	0,000061	-
	SYEİ-12	-0,002529	-0,000077	0,000077	-
	SYEİ-24	-0,003607	-0,000050	0,000050	-
	ZSİ-1	-0,000057	-0,000018	0,000018	-
	ZSİ-3	-0,000074	-0,000052	0,000052	-
	ZSİ-6	-0,000038	-0,000028	0,000028	-
	ZSİ-9	-0,000009	-0,000035	0,000035	0
	ZSİ-12	-0,000059	-0,000071	0,000071	0
	ZSİ-24	-0,000260	-0,000084	0,000084	-
	Yağış-1	-0,002285	-0,000731	0,000731	-
	Yağış-3	-0,002068	-0,001443	0,001443	-
	Yağış-6	-0,000735	-0,000550	0,000550	-
	Yağış-9	-0,000125	-0,000467	0,000467	0
	Yağış-12	-0,000590	-0,000712	0,000712	0
	Yağış-24	-0,001837	-0,000593	0,000593	-

Tablo 40'a göre, 9 aylık ve 12 aylık zaman ölçeklerinde hem ZSİ hem de yağış serilerinde anlamlı bir trende rastlanamamıştır. MK test sonuçlarına göre, Gediz istasyonunda tüm serilerde negatif z değeri hesaplanmış olmasına rağmen sadece SYEİ serilerinde anlamlı azalan trend gözlemlenmiştir. YTAT yöntemi ile trend tespiti yapılmayan seriler daha detaylı incelendiğinde, 9 ve 12 aylık ZSİ serilerinin z değerlerinin sırasıyla -0,665 ve -0,334 olduğu; yağış serilerinde ise yine 9 ve 12 aylık z değerlerinin sırasıyla -0,665 ve -0,334 olduğu görülmektedir.

Gönen istasyonuna ait YTAT sonuçlarının yer aldığı Tablo 41 incelendiğinde SYEİ serilerinde anlamlı azalan trend belirlenmekte iken SYİ, ZSİ ve yağış serilerinde anlamlı artan trend belirlenmiştir.

**Tablo 41:** Gönen İstasyonu için YTAT Sonuçları

İstasyon	Veri	Eğim (s)	Alt limit	Üst limit	Trend
Gönen/17674	SYİ-1	0,000241	-0,000021	0,000021	+
	SYİ-3	0,000356	-0,000029	0,000029	+
	SYİ-6	0,000581	-0,000036	0,000036	+
	SYİ-9	0,000860	-0,000044	0,000044	+
	SYİ-12	0,001050	-0,000070	0,000070	+
	SYİ-24	0,001959	-0,000131	0,000131	+
	SYEİ-1	-0,000869	-0,000039	0,000039	-
	SYEİ-3	-0,000829	-0,000034	0,000034	-
	SYEİ-6	-0,000882	-0,000024	0,000024	-
	SYEİ-9	-0,000944	-0,000036	0,000036	-
	SYEİ-12	-0,001082	-0,000064	0,000064	-
	SYEİ-24	-0,001239	-0,000057	0,000057	-
	ZSİ-1	0,000202	-0,000039	0,000039	+
	ZSİ-3	0,000354	-0,000035	0,000035	+
	ZSİ-6	0,000621	-0,000039	0,000039	+
	ZSİ-9	0,000938	-0,000041	0,000041	+
	ZSİ-12	0,001273	-0,000063	0,000063	+
	ZSİ-24	0,001806	-0,000122	0,000122	+
	Yağış-1	0,010223	-0,001970	0,001970	+
	Yağış-3	0,012329	-0,001208	0,001208	+
	Yağış-6	0,014973	-0,000941	0,000941	+
	Yağış-9	0,015267	-0,000666	0,000666	+
	Yağış-12	0,015583	-0,000771	0,000771	+
	Yağış-24	0,016572	-0,001119	0,001119	+

**Tablo 42:** Keles İstasyonu için YTAT Sonuçları

İstasyon	Veri	Eğim (s)	Alt limit	Üst limit	Trend
Keles/17695	SYİ-1	0,000092	-0,000034	0,000034	+
	SYİ-3	0,000091	-0,000024	0,000024	+
	SYİ-6	0,000220	-0,000058	0,000058	+
	SYİ-9	0,000368	-0,000043	0,000043	+
	SYİ-12	0,000537	-0,000049	0,000049	+
	SYİ-24	0,000743	-0,000071	0,000071	+
	SYEİ-1	-0,000346	-0,000027	0,000027	-
	SYEİ-3	-0,000489	-0,000022	0,000022	-
	SYEİ-6	-0,000541	-0,000033	0,000033	-
	SYEİ-9	-0,000701	-0,000035	0,000035	-
	SYEİ-12	-0,000837	-0,000024	0,000024	-
	SYEİ-24	-0,001164	-0,000038	0,000038	-
	ZSİ-1	0,000024	-0,000036	0,000036	0
	ZSİ-3	0,000056	-0,000028	0,000028	+
	ZSİ-6	0,000193	-0,000060	0,000060	+
	ZSİ-9	0,000353	-0,000041	0,000041	+
	ZSİ-12	0,000499	-0,000055	0,000055	+
	ZSİ-24	0,000816	-0,000062	0,000062	+
	Yağış-1	0,001152	-0,001704	0,001704	0
	Yağış-3	0,001853	-0,000915	0,000915	+
	Yağış-6	0,004380	-0,001355	0,001355	+
	Yağış-9	0,005208	-0,000604	0,000604	+
	Yağış-12	0,005288	-0,000588	0,000588	+
	Yağış-24	0,005641	-0,000429	0,000429	+

**Tablo 43:** Kütahya İstasyonu için YTAT Sonuçları

İstasyon	Veri	Eğim (s)	Alt limit	Üst limit	Trend
Kütahya/17155	SYİ-1	0,000280	-0,000023	0,000023	+
	SYİ-3	0,000656	-0,000051	0,000051	+
	SYİ-6	0,001066	-0,000037	0,000037	+
	SYİ-9	0,001500	-0,000038	0,000038	+
	SYİ-12	0,001710	-0,000041	0,000041	+
	SYİ-24	0,002218	-0,000045	0,000045	+
	SYEİ-1	-0,000631	-0,000038	0,000038	-
	SYEİ-3	-0,000755	-0,000030	0,000030	-
	SYEİ-6	-0,000811	-0,000041	0,000041	-
	SYEİ-9	-0,000872	-0,000065	0,000065	-
	SYEİ-12	-0,001052	-0,000063	0,000063	-
	SYEİ-24	-0,001775	-0,000073	0,000073	-
	ZSİ-1	0,000435	-0,000047	0,000047	+
	ZSİ-3	0,000689	-0,000060	0,000060	+
	ZSİ-6	0,001112	-0,000043	0,000043	+
	ZSİ-9	0,001576	-0,000041	0,000041	+
	ZSİ-12	0,001891	-0,000047	0,000047	+
	ZSİ-24	0,002424	-0,000048	0,000048	+
	Yağış-1	0,015396	-0,001653	0,001653	+
	Yağış-3	0,015863	-0,001387	0,001387	+
	Yağış-6	0,017765	-0,000689	0,000689	+
	Yağış-9	0,018184	-0,000478	0,000478	+
	Yağış-12	0,017574	-0,000434	0,000434	+
	Yağış-24	0,015452	-0,000304	0,000304	+

Kütahya İstasyonu'na ait YTAT sonuçlarını içeren Tablo 43 incelendiğinde, SYEİ verilerinde anlamlı bir azalan trend gözlemlenirken, diğer serilerde anlamlı artan bir trend tespit edilmiştir. MK test sonuçları ile yapılan karşılaştırmada ise, SYİ serilerinde 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman dilimlerinde, ZSİ ve yağış serilerinde ise 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde anlamlı artan trend belirlenmiştir.

Mustafakemalpaşa YTAT sonuçlarının yer aldığı Tablo 44'e göre tüm serilerde anlamlı artan bir trend belirlenmiştir. MK test sonuçları ile karşılaştırıldığında SYİ, ZSİ ve yağış serilerinde 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde anlamlı artan trend belirlenmiştir.

Simav istasyonu YTAT sonuçlarının sunulduğu Tablo 45 ve Tavşanlı istasyonu YTAT sonuçlarının yer aldığı Tablo 46 incelendiğinde SYEİ serilerinde anlamlı azalan bir trend belirlenirken diğer serilerde ise anlamlı artan trend belirlenmiştir.

**Tablo 44:** Mustafakemalpaşa İstasyonu için YTAT Sonuçları

İstasyon	Veri	Eğim (s)	Alt limit	Üst limit	Trend
Mustafakemalpaşa/17675	SYİ-1	0,000174	-0,000029	0,000029	+
	SYİ-3	0,000280	-0,000025	0,000025	+
	SYİ-6	0,000520	-0,000040	0,000040	+
	SYİ-9	0,000750	-0,000056	0,000056	+
	SYİ-12	0,000998	-0,000062	-0,000062	+
	SYİ-24	0,001346	-0,000082	0,000082	+
	SYEİ-1	0,000175	-0,000030	0,000030	+
	SYEİ-3	0,000280	-0,000026	0,000026	+
	SYEİ-6	0,000521	-0,000040	0,000040	+
	SYEİ-9	0,000795	-0,000056	0,000056	+
	SYEİ-12	0,000998	-0,000062	0,000062	+
	SYEİ-24	0,001346	-0,000082	0,000082	+
	ZSİ-1	0,000184	-0,000036	0,000036	+
	ZSİ-3	0,000337	-0,000025	0,000025	+
	ZSİ-6	0,000595	-0,000044	0,000044	+
	ZSİ-9	0,000902	-0,000059	0,000059	+
	ZSİ-12	0,001254	-0,000066	0,000066	+
	ZSİ-24	0,001597	-0,000076	0,000076	+
	Yağış-1	0,009034	-0,001754	0,001754	+
	Yağış-3	0,011245	-0,000836	0,000836	+
	Yağış-6	0,013755	-0,001026	0,001026	+
	Yağış-9	0,013725	-0,000906	0,000906	+
	Yağış-12	0,013858	-0,000734	0,000734	+
	Yağış-24	0,012538	-0,000598	0,000598	+

**Tablo 45:** Simav İstasyonu için YTAT Sonuçları

İstasyon	Veri	Eğim (s)	Alt limit	Üst limit	Trend
Simav/17748	SYİ-1	0,000209	-0,000025	0,000025	+
	SYİ-3	0,000372	-0,000048	0,000048	+
	SYİ-6	0,000597	-0,000062	0,000062	+
	SYİ-9	0,000714	-0,000044	0,000044	+
	SYİ-12	0,000833	-0,000031	0,000031	+
	SYİ-24	0,001236	-0,000126	0,000126	+
	SYEİ-1	-0,000749	-0,000045	0,000045	-
	SYEİ-3	-0,000752	-0,000040	0,000040	-
	SYEİ-6	-0,000840	-0,000050	0,000050	-
	SYEİ-9	-0,000743	-0,000048	0,000048	-
	SYEİ-12	-0,000855	-0,000052	0,000052	-
	SYEİ-24	-0,000993	-0,000099	0,000099	-
	ZSİ-1	0,000158	-0,000050	0,000050	+
	ZSİ-3	0,000279	-0,000053	0,000053	+
	ZSİ-6	0,000485	-0,000050	0,000050	+
	ZSİ-9	0,000745	-0,000034	0,000034	+
	ZSİ-12	0,000972	-0,000033	0,000033	+
	ZSİ-24	0,001404	-0,000129	0,000129	+
	Yağış-1	0,009973	-0,003173	0,003173	+
	Yağış-3	0,012476	-0,002353	0,002353	+
	Yağış-6	0,015329	-0,001575	0,001575	+
	Yağış-9	0,015865	-0,000716	0,000716	+
	Yağış-12	0,015912	-0,000537	0,000537	+
	Yağış-24	0,017254	-0,001582	0,001582	+

**Tablo 46:** Tavşanlı İstasyonu için YTAT Sonuçları

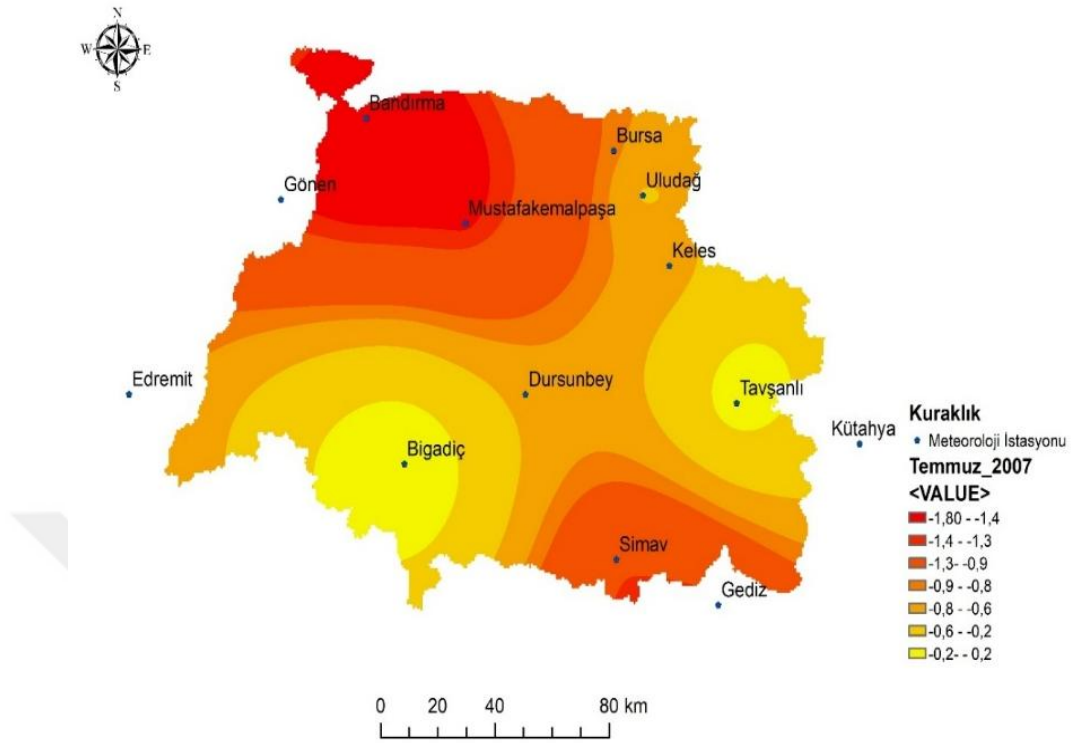
İstasyon	Veri	Eğim (s)	Alt limit	Üst limit	Trend
Tavşanlı/17704	SYİ-1	0,000377	-0,000026	0,000026	+
	SYİ-3	0,000758	-0,000031	0,000031	+
	SYİ-6	0,001208	-0,000030	0,000030	+
	SYİ-9	0,001590	-0,000041	0,000041	+
	SYİ-12	0,001874	-0,000033	0,000033	+
	SYİ-24	0,002455	-0,000046	0,000046	+
	SYEİ-1	-0,000417	-0,000041	0,000041	-
	SYEİ-3	-0,000349	-0,000030	0,000030	-
	SYEİ-6	-0,000364	-0,000038	0,000038	-
	SYEİ-9	-0,000418	-0,000033	0,000033	-
	SYEİ-12	-0,000517	-0,000041	0,000041	-
	SYEİ-24	-0,00088	-0,000050	0,000050	-
	ZSİ-1	0,000524	-0,000030	0,000030	+
	ZSİ-3	0,000817	-0,000030	0,000030	+
	ZSİ-6	0,001245	-0,000028	0,000028	+
	ZSİ-9	0,001632	-0,000042	0,000042	+
	ZSİ-12	0,001887	-0,000034	0,000034	+
	ZSİ-24	0,002472	-0,000044	0,000044	+
	Yağış-1	0,015960	-0,000924	0,000924	+
	Yağış-3	0,015744	-0,000587	0,000587	+
	Yağış-6	0,017045	-0,000383	0,000383	+
	Yağış-9	0,017784	-0,000454	0,000454	+
	Yağış-12	0,017476	-0,000314	0,000314	+
	Yağış-24	0,016349	-0,000291	0,000291	+

**Tablo 47:** Uludağ İstasyonu için YTAT Sonuçları

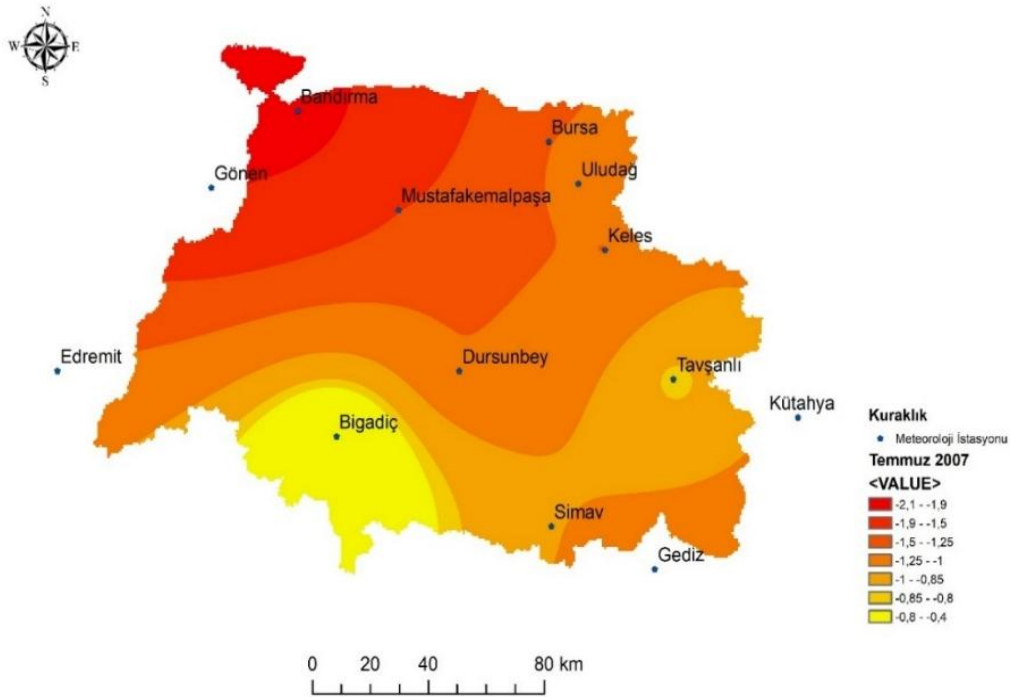
İstasyon	Veri	Eğim (s)	Alt limit	Üst limit	Trend
Uludağ/17676	SYİ-1	-0,000348	-0,000037	0,000037	-
	SYİ-3	-0,000435	-0,000093	0,000093	-
	SYİ-6	-0,000642	-0,000093	0,000093	-
	SYİ-9	-0,000978	-0,000065	0,000065	-
	SYİ-12	-0,001301	-0,000071	0,000071	-
	SYİ-24	-0,001244	-0,000105	0,000105	-
	SYEİ-1	-0,000579	-0,000026	0,000026	-
	SYEİ-3	-0,001034	-0,000026	0,000024	-
	SYEİ-6	-0,001317	-0,000053	0,000053	-
	SYEİ-9	-0,001475	-0,000060	0,000060	-
	SYEİ-12	-0,001674	-0,000064	0,000064	-
	SYEİ-24	-0,001838	-0,000104	0,000104	-
	ZSİ-1	-0,000166	-0,000135	0,000135	-
	ZSİ-3	-0,000267	-0,000139	0,000139	-
	ZSİ-6	-0,000336	-0,000125	0,000125	-
	ZSİ-9	-0,000418	-0,000107	0,000107	-
	ZSİ-12	-0,000535	-0,000131	0,000131	-
	ZSİ-24	-0,000650	-0,000128	0,000128	-
	Yağış-1	-0,017145	-0,013911	0,013911	-
	Yağış-3	-0,019032	-0,009927	0,009927	-
	Yağış-6	-0,017143	-0,006379	0,006379	-
	Yağış-9	-0,015534	-0,003982	0,003982	-
	Yağış-12	-0,016202	-0,003972	0,003972	-
	Yağış-24	-0,014504	-0,002866	0,002866	-



şiddetli kuraklıkların yaşandığı dönemlerden biri olan Temmuz 2007'nin kuraklık haritaları örnek olması açısından Şekil 48-49'de sunulmuştur.



Şekil 48: 2007 Yılı Temmuz Ayına Ait 3 Aylık SYİ Değerlerinin Kriging ile Oluşturulan Kuraklık Risk Haritası



Şekil 49: 2007 Yılı Temmuz Ayına Ait 6 Aylık SYİ Değerlerinin Kriging ile Oluşturulan Kuraklık Risk Haritası

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ham halde temin edilen hidrometeorolojik veri setleri kullanılarak kapsamlı bir kuraklık analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma, kayıp veri ve kuraklık analizleri olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Kayıp veri bölümünde, hidroloji literatüründe kayıp verinin ele alınma stratejileri üzerine bir metodoloji geliştirilerek bu alanda literatüre katkı sunulması hedeflenmiştir. Kuraklık analizleri bölümünde ise kuraklık değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan kuraklık indekslerinin yanı sıra akademik literatüre yeni dahil edilen (Şen & Almazroui, 2021) ve uygulaması oldukça sınırlı olan bir kuraklık indeksi de ele alınmıştır. Ardından, kuraklığın zaman içindeki değişimi hem istatistiksel hem de grafiksel yöntemler kullanılarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

### Sonuç

Bu tez çalışması kapsamında, uyum parametreleri olarak adlandırılan istasyonlara ait zamansallık, konumsallık ve benzerlik özellikleri incelenmiştir. Ardından, çalışmaya havza dışından yüksek uyumlu istasyonların dahil edilebilmesi amacıyla söz konusu uyum parametreleri dikkate alınarak istasyon seçimi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, havza dışı istasyonların seçiminde hassas bir uyum analizi sunarak sürecin daha sağlıklı gerçekleşmesini sağlamıştır.

Meteorolojik kayıtlar, çeşitli nedenlerle kesintiye uğrayabilmektedir. Aynı konumda bir meteoroloji istasyonu işleme kapatıldığında, aynı dönemde başka bir meteoroloji istasyonu işleme açılabilir. Bu gibi durumlarda uzun süreli veri setlerinin elde edilebilmesi için iki farklı yağış serisinin birleştirilmesi gerekmektedir. Veri kayıtlarının birleştirilmesi sırasında gözlemlerin alındığı istasyonların konumsal karşılaştırmaları ve iki seri arasındaki aylık ortalama ile standart sapma değerleri arasındaki ilişki önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada daha tutarlı ve güvenilir uzun dönemli kayıtların oluşturulmasını sağlamak için bu faktörler dikkate alınmıştır.

Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından kayıp verilerin doğru bir şekilde tahmin edilmesi oldukça önemlidir. Bu araştırmanın temel amaçlarından biri hidroloji literatürü için kayıp veri tahminine yönelik bir metodolojinin geliştirilmesidir. Bu çerçevede, hidrolojide genellikle göz ardı edilen ve kayıp veri içeren gerçek veri setlerinin kayıp veri sayısı, kayıp veri deseni ve kayıp veri mekanizması göz önünde bulundurularak, benzer özelliklere sahip simüle veri setleri oluşturulmuştur. Bu yaklaşım ile kayıp veri analizlerinin daha güvenilir sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır.

Kayıp veri atamasında kullanılacak yöntem, veri setinin temel özelliklerini koruyacak

ve ilgili bölgenin yağış özellikleriyle uyumlu olacak şekilde seçilmelidir. Bu tez çalışmasında basit atama yaklaşımlarının, makine öğrenmesi tekniğinin ve model tabanlı tahmin yönteminin bir karşılaştırması sunulmuştur. Önerilen kayıp veri metodolojisinin uygulamasında Susurluk Havzası'nın 1981- 2021 dönemine ait aylık toplam yağış verileri kullanılmıştır. Model tabanlı atama yöntemi olan beklenti maksimizasyonu (BM) algortimasında istasyon seçiminin ve normallik varsayımının yöntem performansı üzerindeki etkisinin araştırılabilmesi amacıyla çeşitli senaryolar oluşturulmuştur.

Normallik varsayımının değerlendirilmesinde çarpıklık ve basıklık katsayıları ile Jarque-Bera ve Shapiro-Wilk testleri birlikte incelenmiştir. Nihai değerlendirmelerde ise Jarque-Bera testi kullanılmıştır. Jarque-Bera testi genellikle orta ila uzun kuyruklu dağılımlar için uygundur. Literatürdeki bazı çalışmalarda, normallik varsayımının incelenmesinde yalnızca çarpıklık ve basıklık katsayılarının farklı eşik değerleri dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada, çarpıklık ve basıklık katsayılarının  $\pm 1$  içinde olduğu çoğu durumda yağış serilerinin Jarque-Bera testine göre normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle sadece çarpıklık ve basıklık katsayıları üzerinden yapılacak normallik varsayımının değerlendirmesinde daha geniş aralıklar yerine  $\pm 1$  değerinin dikkate alınması önerilmektedir.

BM algoritmasının performansını etkileyen istasyon seçimi incelendiğinde, coğrafi olarak yakın istasyonlar arasındaki korelasyon analizleri, coğrafi yakınlığın tek başına yağış serilerinde güçlü bir korelasyon sağlama garantisi sunmadığını ortaya koymuştur. Bu çalışma, istasyonların eşleştirilmesinde coğrafi faktörlerin yanı sıra verilerin istatistiksel ilişkilerinin de göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamaktadır.

Çalışma kapsamında kayıp veri analizlerinde en uygun atama yönteminin BM algortiması olduğu belirlenmiş ve bunu kNN algortiması takip etmiştir. Değerlendirme kriterlerine göre en başarısız yöntemin ise yakın noktaların medyan ataması olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca BM algoritmasında dönüştürülen verilerin kullanımı yanlış sonuçlara neden olduğu da belirlenmiştir.

Kayıp yağış ve sıcaklık verilerinin tamamlanmasının ardından veri serilerinin türdeşliği Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT), Pettitt, Buishand Aralık ve Von Neumann Oran Testi olmak üzere dört farklı mutlak homojenlik testi ile %95 güven düzeyinde incelenmiştir. Değerlendirme sonucunda, çalışmada kullanılan 13 istasyondan yalnızca Simav ve Gönen istasyonlarının homojen olmadığı, diğer tüm istasyonların ise homojen olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda değerlendirildiğinde kayıp veri analiz süreci başarılı bir şekilde sonuçlandırılmıştır.

Sıcaklık verilerinin incelenmesinde ise tüm istasyonlarda kırılmaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında kırılmaların doğal yani iklimsel nedenlerden mi yoksa yapay yani sistematik durumdan mı kaynaklandığını belirlemek amacıyla veri serileri çeşitli yaklaşımlarla incelenmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda tüm istasyonlarda iklimsel nedenlerden dolayı doğal kırılmaların meydana geldiği kabul edilmiştir.

Nüfus artışı, sanayileşme ve tarımsal üretim gibi faktörler su talebini artırırken, olağanüstü hava olayları ve iklim değişiklikleri su arzı ve talebi arasındaki dengeyi olumsuz etkilemektedir. Bu dengesizlik başta kuraklık olmak üzere aşırı iklim olaylarına neden olmaktadır. Zaman içinde, kuraklık olaylarını etkili bir şekilde izlemek ve değerlendirmek için geliştirilen sayısal yöntemlerle birlikte birçok farklı kuraklık indeksi önerilmiştir. Ancak bu kuraklık indekslerinden bazıları sadece belirli iklim bölgelerinde değerlendirilmiş olup diğer iklim koşullarındaki performansları bilinmemektedir. Bu nedenle, seçilen kuraklık indekslerinin bölgenin kuraklık durumunu doğru bir şekilde yansıtabilmesi için çalışma alanının iklim koşullarıyla uyumlu olması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca kuraklık tek bir gösterge ile anlaşılacak kadar karmaşık bir olgu olduğu için kuraklık indekslerinin hesaplanması tek başına yeterli değildir. Kuraklığın zaman içindeki değişiminin ve kuraklık karakteristiklerinin belirlenmesi, kuraklığın daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır.

Susurluk Havzası'ndaki 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde yağış verilerine 0,05 anlamlılık seviyesinde Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling ve Ki-kare ( $\chi^2$ ) uyum iyiliği testleri yapılmıştır. Ölçek puan toplaması ile bu zaman ölçeklerindeki en uygun olasılık dağılım fonksiyonları belirlenmiştir. Bu bağlamda hidrolojide sıklıkla kullanılan GED, normal, lojistik, logaritmik, LogNormal ve Weibull dağılımları arasından seçim yapılmıştır. Analizler sonucunda havza için en uyumlu olasılık dağılım fonksiyonunun GED olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında meteorolojik kuraklıkların belirlenmesinde SYİ, SYEİ, ZSİ ve GYİ kullanılmıştır. Kullanılan indekslerin her biri farklı bir amaç doğrultusunda çalışmaya dahil edilmiştir. SYİ hesabında sadece yağış parametresi kullanıldığından uygulama kolaylığı sağlamaktadır. Bununla birlikte SYİ'de veri setinde ihtimal standartlaştırması yapılmaktadır. Benzer şekilde ZSİ de sadece yağış verisi kullanmakta ancak istatistiksel standartlaştırmaya dayanmaktadır. SYEİ hesabında yağış verilerine ek olarak sıcaklık verileri de kullanılmaktadır. Bu nedenle SYEİ, SYİ ve ZSİ'ye kıyasla değişen iklim koşullarına daha duyarlı olması nedeniyle tercih edilmiştir. Ayrıca bu çalışmanın önemli bir özelliği de GYİ'nin uygulamadaki ilk örneklerinden biri olmasıdır. Bu tez çalışmasında GYİ hesabında Gamma haricinde farklı ODF'lerin de kullanılması çalışmanın yenilikçi bir yönü olarak öne çıkmaktadır.

GYİ sonuçları, zaman ölçeği arttıkça GYİ sınıf değerlerinin birbirine yaklaştığını ortaya koymuştur. Bu durumun nedeni, aylık yağış verilerinde daha fazla rastgelelik ve dalgalanma söz konusu iken zaman ölçeği ilerledikçe ortalaması alınan yağış değerlerindeki ani değişimin daha az belirgin hale gelmesidir.

Bu tez çalışması kapsamında kuraklık karakteristiklerinin belirlenmesinde gidişler analizi kullanılmıştır. Bu analizler Susurluk Havzası'ndaki maksimum kuraklık olaylarının özellikle 2006-2010 yıllarında meydana geldiğini, SYEİ'nin 12 ve 24 aylık maksimum kuraklık olaylarının ise 2014-2021 dönemine ait olduğunu belirlemiştir. Meydana gelen maksimum kuraklık olaylarının tarihleri incelendiğinde özellikle son yıllarda kuraklık olaylarının şiddetinin arttığı ve süresinin uzadığı belirlenmiştir. Gidişler analizi sonucunda havzada uzun süreli ve şiddetli kuraklıkların meydana gelmesi, su kaynaklarının etkin bir şekilde yönetilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Meteorolojik kuraklık indekslerinin maksimum kuraklık olayları en uzun süre bakımından karşılaştırıldığında aylık, 3 aylık, 6 aylık, 9 aylık, 12 aylık ve 24 aylık kuraklık periyotlarında sırasıyla ZSİ'de 13 ay, SYİ'de 18 ay, SYEİ'de 54 ay, ZSİ'de 42 ay, SYEİ'de 73 ay ve SYEİ'de 96 ay süren kuraklık olayları tespit edilmiştir. SYEİ'nin çoğunlukla diğer kuraklık indekslerinden daha yüksek değerlere sahip olduğu ve şiddetli ve aşırı kuraklık olaylarının tespitinde daha hassas olduğu sonucuna varılmıştır.

Havzada maksimum kuraklık olaylarının meydana gelme sıklığı incelendiğinde Dursunbey istasyonu özellik uzun dönem aralıklarında en şiddetli kuraklıkların meydana geldiği istasyon olarak belirlenmiştir.

Meteorolojik kuraklık indekslerinin trendlerinin değerlendirilmesinde Mann-Kendall (MK), Modifiye edilmiş Mann-Kendall (mMK), Yenilikçi Trend Analizi (YTA) ve Yenilikçi Trend Anlamlılık testleri (YTAT) 0,05 anlamlılık düzeyinde incelenmiştir. Trend analizleri sonucunda, SYİ değerlerinin aylık zaman ölçeği haricinde Tavşanlı istasyonunun tamamında artan trend belirlenmiştir. Kütahya istasyonunda ise aylık ve 3 aylık zaman ölçekleri haricinde artan bir trend görülmektedir. Gönen istasyonunda ise 6, 9 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde artan trend belirlenmiştir. SYEİ trend analiz sonuçlarında Bandırma, Edremit ve Gediz istasyonlarının tamamında azalan trend tespit edilmiştir. ZSİ için yapılan değerlendirmelerde sadece Uludağ istasyonunda 6 aylık zaman ölçeğinde anlamlı azalan bir trend gözlenmiştir. SYİ, ZSİ ve yağış serilerinde trendin belirlenmediği çoğu durumda SYEİ indeksine göre azalan trend belirlenmiştir. SYEİ, PET değerlerini de dikkate alması nedeniyle kuraklık tespiti açısından en etkili indeks olarak belirlenmiştir.

Çalışmada SYİ, ZSİ ve yağış serilerinin Mann-Kendall test sonuçlarında birbirleri ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Havza genelinde maksimum rölatif frekans değeri normal ve hafif kurak sınıflarından elde edilmekte olup bunu sırasıyla orta kurak, şiddetli ve aşırı kurak sınıfları takip etmektedir.

Trend belirlemede kullanılan MK ve YTA karşılaştırıldığında, herhangi bir varsayım içermeyen YTA, kuraklık olaylarını şiddetine göre alt kategorilere ayırma imkânı sunmaktadır. Bu sayede MK testinden farklı olarak monoton trend değerlendirmesinin ötesinde daha detaylı yorumlama olanağı sağlamaktadır. Ancak YTA'nın tek başına kullanılması bazı zaman serilerinde trendin belirlenmesini güçleştirmektedir. Verilerin 1:1 çizgisinin hem altında hem üzerinde saçılım gösterdiği durumlarda grafiğin genel değerlendirmesinde YTAT kullanılması daha güvenilir sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır. YTAT'nin trend belirlenmede daha hassas olduğu YTAT tabloları ile desteklenmektedir.

MK test sonuçları ile YTA ve YTAT sonuçları kıyaslandığında MK testinin anlamlı bir trend belirlemediği birçok zaman serisinde, YTAT'de anlamlı trend tespit etmiştir. Bu anlamlılık YTA grafikleri ile desteklenmektedir. Sonuç olarak YTAT'nin MK yöntemine kıyasla trend belirlemede daha hassas olduğu değerlendirilmiştir.

## Öneriler

Bu tez çalışmasında sunulan kayıp veri metodolojisine bağlı kalınarak istatistiksel teknikler ve yapay zekâ tabanlı tekniklerin avantajlarını birleştiren hibrit modellerin birlikte ele alınması kayıp veri analizlerinden daha başarılı sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.

Kayıp veri problemi gözleme dayalı pek çok farklı disiplinde olduğu gibi hidrolojide de sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Susurluk Havzası'nda kayıp veri oranı düşük olsa da (<%5) istasyonlar arası eş zamanlı kayıp veri varlığı bazı makine öğrenmesi tekniklerinin kullanılamamasına neden olmuştur. Bu nedenle farklı havzalarda bu tekniklerinde kullanıldığı uygulamaların bu çalışma sonucunda elde edilen performans değerleri ile karşılaştırılması, karar destek modellerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlayacaktır.

Hidroloji analizlerinde istasyonlar (değişkenler) arasındaki ilişkinin belirlenmesinde çoğu zaman Pearson korelasyon katsayısı kullanılmaktadır. Ancak bu korelasyon katsayısının normallik varsayımı gerektirmesi gibi bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Çoğu çalışmada, bu ön inceleme dikkate alınmamakta ya da sadece çarpıklık ve basıklık katsayıları üzerinden değerlendirme yapılmaktadır. Normallik varsayımının kontrolünde normallik testlerinin kullanılması, daha güvenilir sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır.

Diğer iklim çalışmalarında olduğu gibi kuraklık analizlerinde de kullanılacak verilerin türdeş (homojen) olması gerekmektedir. Bu aşamada bu çalışma kapsamında da kullanılan iki aşamalı homojenlik kontrollerinin gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

Homojen olmayan veri serilerinin doğrudan çalışma dışı bırakılmak yerine, veribilgi (metadata) değerlendirmelerinin yapılarak kırılmaların doğal nedenlerden mi yoksa sistematik bir nedenden mi kaynaklandığının belirlenmesi oldukça önemlidir.

Bu tez çalışmasında kullanılan SYEI değerlerinde çoğu zaman anlamlı azalan trend belirlenmiştir. Dolayısıyla yağışlarda meydana gelen değişimin incelenmesinin yanı sıra bu çalışmanın bulgularına dayanarak sıcaklık verilerindeki değişimin incelenmesi oldukça önemlidir.

Bu tez çalışmasında, SYI hesabında hidrolojide yaygın olarak kullanılan farklı ODF'ler arasından her bir yağış serisi için en uyumlu olanı belirlenmiştir. Benzer şekilde, SYEI hesabında da farklı üç parametrelili ODF'lerin kuraklık tespitindeki etkilerinin incelenmesi önerilmektedir. Bu sayede SYEI'nin yerel koşullara uygun ve dinamik faktörlere daha duyarlı hale gelmesi sağlanabilir.

Bu tez çalışmasının devamında, farklı ve güncel kuraklık indeksleri hesaplanarak havzanın risk haritalarının üretilmesi önerilmektedir. Ayrıca, kuraklık indeksleri ile KAS, AO, SO vb. arasındaki ilişkilerin araştırılması halinde kuraklık olgusu ile atmosferik salınımlar arasındaki ilişkinin daha doğru bir şekilde modellenmesi sağlanabilecektir.

## KAYNAKÇA

- Abramowitz, M., & Stegun I. A. (1965). *Handbook of mathematical functions: with formulas, graphs, and mathematical tables*. Courier Corporation.
- Achite, M., Bazrafshan, O., Katipoğlu, O. M., & Azhdari, Z. (2023). Evaluation of hydro-meteorological drought indices for characterizing historical droughts in the Mediterranean climate of Algeria. *Natural Hazards*, 118(1), 427-453. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06012-y>
- Ahani, H., Kherad, M., Kousari, M. R., Rezaeian-Zadeh, M., Karampour, M. A., Ejraee, F., & Kamali, S. (2012). An investigation of trends in precipitation volume for the last three decades in different regions of Fars province, Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 109(3), 361-382. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0572-z>
- Awan, S. E., Bennamoun, M., Soheli, F., Sanfilippo, F., & Dwivedi, G., 2022. A reinforcement learning-based approach for imputing missing data. *Neural Computing and Applications*, 34, 9701–9716. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-06958-3>
- Akbulut, S., & Menteşe, S. (2022). Meteorolojik kuraklığın tespiti: Edirne (edirne, ipsala ve uzunköprü istasyonları) örneği. *TÜCAUM 2022 Uluslararası Coğrafya Sempozyumu* içinde (s. 517-531). Ankara: Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi.
- Akçay, F. (2018). *Doğu karadeniz havzası aylık ve yıllık ortalama akımlarının eğilim (trend) analizi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 511679)
- Akhtari, R., Morid, S., Mahdian, M. H., & Smakhtin, V. (2009). Assessment of areal interpolation methods for spatial analysis of SPI and EDI drought indices. *International Journal of Climatology*, 29(1), 135-145. <https://doi.org/10.1002/joc.1691>
- Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6(6), 661-675. <https://doi.org/10.1002/joc.3370060607>
- Allison, P. D. (2009). *Missing data*. In R. E. Millsap & A. Maydeu-Olivares (Eds.), *The Sage handbook of quantitative methods in psychology* Sage Publications Ltd. <https://doi.org/10.4135/9780857020994.n4>
- Altınışık, U. (2015). *Doğu karadeniz havzası akımlarının incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 398112)
- Atcılı, A. (2022, 4 Ocak). KNN (k-en yakın komşu). *Medium*. <https://medium.com> adresinden edinilmiştir.
- Ay, M., & Kişi, Ö. (2017). Kızılırmak nehrinde bazı istasyonlardaki akımların trend analizi. *İMO Teknik Dergi*, 7779-7794, Yazı 473.
- Basu, G. C., Bhattacharjee, U., & Ghosh, R. (2004). Statistical analysis of rainfall distribution and trend of rainfall anomalies districtwise during monsoon period over West Bengal. *Mausam*, 55, 409–418. <https://doi.org/10.54302/mausam.v55i3.1172>
- Bayçınar, M. (2019). *Konya kapalı havzası örneğinde faktör analizi ile kuraklık indislerinin ortak kullanımının değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 632401)

- Baygöl, A. (2007). *Kayıp veri analizinde sıklıkla kullanılan etkin yöntemlerin değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 195017)
- Bettahar, A., & Şener, Ş. (2022). Analysis of meteorological drought indices in the Wadi Righ area (Southern Algeria). *Sustainable Water Resources Management*, 8(5). <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00740-y>
- Bhandari, N., Walambe, R., Kotecha, K., & Khare, S. P. (2022). A comprehensive survey on computational learning methods for analysis of gene expression data. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2022.907150>
- Buishand, T. A. (1982). Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of hydrology*, 58(1-2), 11-27. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(82\)90066-X](https://doi.org/10.1016/0022-1694(82)90066-X)
- Burchfield, E. K., & Gilligan, J. (2016). Agricultural adaptation to drought in the Sri Lankan dry zone. *Applied Geography*, 77, 92–100.
- Caldera, H. P. G. M., Piyathisse, V. R. P. C., & Nandalal, K. D. W. (2016). A comparison of methods of estimating missing daily rainfall data. *Engineer: Journal of the Institution of Engineers*, 49(4). <https://doi.org/10.4038/engineer.v49i4.7232>
- Chen, Y.C. (2022). Pattern graphs: A graphical approach to nonmonotone missing data. *Annals of Statistics*, 50(1). <https://doi.org/10.1214/21-aos2094>
- Cihan, P. (2018). A comparison of five methods for missing value imputation in data sets. *International Scientific and Vocational Studies Journal*, 2(2), 80-85.
- Conrad V, Pollak L. W. (1950). *Methods in climatology*. London, England: Harvard University Press.
- Coşkun, M., Gözalan, S., Öztekin, M., & Dündar, Ö. (2024). Susurluk Çayı Havzasının ortalama sıcaklık ve toplam yağış verilerinin trend analizi. *The Journal of Social Sciences*, 49, 24-39.
- CRED. (2023). *Disasters in numbers* Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. [https://files.emdat.be/reports/2023\\_EMDAT\\_report.pdf](https://files.emdat.be/reports/2023_EMDAT_report.pdf)
- Çavuş, Y. (2019). *Critical drought severity-duration-frequency curves based on precipitation deficit* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 556604)
- Çüm, S., Demir, E. K., Gelbal, S., & Kışla, T. (2018). Kayıp veriler yerine yaklaşık değer atamak için kullanılan gelişmiş yöntemlerin farklı koşullar altında karşılaştırılması. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 45, 230-249.
- Dabanlı, İ. (2017). *Türkiye'de iklim değişikliğinin yağış-sıcaklığa etkisi ve kuraklık analizi: Akarcay örneği* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 451037)
- De silva, R. P., Dayawansa, N. D. K., & Ratnasiri, M. D. (2007). A comparison of methods used in estimating missing rainfall data. *Journal of Agricultural Sciences*, 3, 101–108.
- Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Yazıcı, B., Gürkan, H., Tuvan, A., & Akçakaya, A. (2014). Türkiye'de yeni senaryolara göre iklim değişikliği projeksiyonları. *Coğrafya Sempozyumu* içinde (s. 1-10). Ankara: Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi.

- Demircan, M. (2019). *Sıcaklık verilerindeki kırılma tarihleriyle iklim indekslerinin ilişkisi* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 546789)
- Demirtaş, H. (2018). Flexible imputation of missing data. *Journal of Statistical Software, Book Reviews*, 85(4), 1–5. <https://doi.org/10.18637/jss.v085.b04>
- Dempster, A. P., Laird, N. M., & Rubin, D. B. (1977). Maximum likelihood estimation from incomplete data via the EM algorithm (with discussion), *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 39(1),1–38.
- Dariane, A. B., & Borhan, M. I. (2024). Comparison of classical and machine learning methods in estimation of missing streamflow data. *Water Resources Management*, 38(4), 1453-1478.
- Duhan, D., & Pandey, A., 2013. Statistical analysis of long term spatial and temporal trends of precipitation during 1901–2002 at Madhya Pradesh, India. *Atmospheric Research*, 122, 136-149.
- Dong, Y., & Peng, C.Y. (2013). Principled missing data methods for researchers. *Springer Plus*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-222>
- Dursun, Ö. F., & Karabatak, M. (2009). Fırat havzası'ndaki eksik akım verilerinin korelasyon ve yapay sinir ağları metotları ile tahmin edilmesi. *Engineering Sciences*, 4(1), 30-40.
- Efe, R., Ghazanfar, S., & Ozturk, M. (Eds.). (2012). *Environment and ecology in the Mediterranean region*. Cambridge Scholars Publishing.
- Egigu, M. (2020). Techniques of filling missing values of daily and monthly rainfall data: a review. *SF Journal of Environmental and Earth Science*, 3(1), 1-5.
- Emmanuel, T., Maupong, T., Mpoeleng, D., Semong, T., Mphago, B., & Tabona, O. (2021). A survey on missing data in machine learning. *Journal of Big Data*, 8, 1-37. <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00516-9>
- En-Nagre, K., Aqnouy, M., Ouarka, A., Naqvi, S. A. A., Bouizrou, I., El Messari, J. E. S., ... & El-Askary, H. (2024). Assessment and prediction of meteorological drought using machine learning algorithms and climate data. *Climate Risk Management*, 45, 100630. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2024.100630>
- Firat, M., Dikbas, F., Koc, A. C., & Gungor, M. (2012). Analysis of temperature series: Estimation of missing data and homogeneity test. *Meteorological Applications*, 19(4), 397-406. <https://doi.org/10.1002/met.271>
- Gao, Y., Merz, C., Lischeid, G., & Schneider, M. (2018) A review on missing hydrological data processing. *Environmental Earth Sciences* 77(2), 47. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7228-6>
- Gao, Y., Taie Semiromi, M., & Merz, C. (2023). Efficacy of statistical algorithms in imputing missing data of streamflow discharge imparted with variegated variances and seasonalities. *Environmental Earth Sciences*, 82(20), 476. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-11139-z>
- George, D., & Mallery, M. (2010). *SPSS for windows step by step: a simple guide and reference*. Boston: Pearson.

- Görmez, B. (2021). Adli bilişimde makine öğrenmesi: makine öğrenmesi algoritmaları ile terör olaylarının tahmin edilmesi çalışması (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 683494)
- Guenang, G. M., & Kamga, F. M. (2014). Computation of the standardized precipitation index (SPI) and its use to assess drought occurrences in Cameroon over recent decades. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 53(10), 2310-2324. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-14-0032.1>
- Guo, T. (2022). Extreme precipitation strongly impacts the interaction of skewness and kurtosis of annual precipitation distribution on the qinghai–tibetan plateau. *Atmosphere*, 13(11), 1857. <https://doi.org/10.3390/atmos13111857>
- Gümüş, V., Başak, A., & Oruç, N. (2016). Standartlaştırılmış yağış indeksi (SYİ) yöntemi ile Şanlıurfa istasyonunun kuraklık analizi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 1(1), 36-44.
- Gümüş, V., Şimşek, O., & Açar, M. K. (2022). Artvin ve rize istasyonlarına ait aylık toplam yağış verilerinin trendinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 204-216. <https://doi.org/10.46578/humder.1207593>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2013). *Multivariate data analysis*. Harlow: pearson education limited.
- Hamed, K. H., & Rao, A. R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of hydrology*, 204(1-4), 182-196. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X)
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1, 96–99.
- Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wihite, D. A., & Vanyarkho, O. V. (1999). Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(3), 429-438. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1999\)080<0429:MTDUTS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1999)080<0429:MTDUTS>2.0.CO;2)
- Hırca, T., & Eryılmaz Türkkkan, G. (2022). Comparison of statistical methods to graphical method in precipitation trend analysis, a case study: Coruh Basin, Turkey. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 46(6), 4605-4617. <https://doi.org/10.1007/s40996-022-00869-y>
- Hırca, T., & Eryılmaz Türkkkan, G. (2024). Assessment of different methods for estimation of missing rainfall data. *Water Resources Management*, 38, 5945–5972. <https://doi.org/10.1007/s11269-024-03936-3>
- Hopkins, S., Dettori, J. R., & Chapman, J. R. (2018). Parametric and nonparametric tests in spine research: Why do they matter?. *Global Spine Journal*, 8(6), 652-654. <https://doi.org/10.1177/2192568218782679>
- IPCC, 2023: Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
- Işıkoğlu, M. A., & Atar, B. (2020). Investigation of the effect of missing data handling methods on measurement invariance of multi-dimensional structures. *Journal of Measurement*

*and Evaluation in Education and Psychology*, 11(3), 311-323.  
<https://doi.org/10.21031/epod.749370>

- Jain, V. K., Pandey, R. P., Jain, M. K., & Byun, H. R. (2015). Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin. *Weather and Climate Extremes*, 8, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.05.002>
- Javadinejad, S., Dara, R., & Jafary, F. (2020). Evaluation of hydro-meteorological drought indices for characterizing historical and future droughts and their impact on groundwater. *Resources Environment and Information Engineering*, 2(1), 71-83.
- Kalaycıoğlu, O. (2017). An application of sensitivity analysis in the presence of non-random missing data using selection models. *Journal of Statisticians: Statistics and Actuarial Sciences*, 10(2):76-85.
- Kang, H. (2013). The prevention and handling of the missing data. *Korean Journal of Anesthesiology*, 64, 402-406. <https://doi.org/10.4097/kjae.2013.64.5.402>
- Kapluhan, E., 2013. Türkiye’de kuraklık ve kuraklığın tarıma etkisi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 27, 487-510.
- Kartal, V., & Nones, M. (2024). Assessment of meteorological, hydrological and groundwater drought in the Konya closed basin, Türkiye. *Environmental Earth Sciences*, 83(9). <https://doi.org/10.1007/s12665-024-11587-1>
- Katipoğlu, O. M. (2020). *Fırat Havzası ’ndaki meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların analizi* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 654113)
- Katipoğlu, O. M. (2022). Prediction of missing temperature data using different machine learning methods. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(1), 21.
- Kaur, P., Joshi, J. C., & Aggarwal, P. (2024). Estimation of missing weather variables using different data mining techniques for avalanche forecasting. *Natural Hazards*, 120(6), 5075-5098.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods*. Charles Griffin.
- Kim, J.O., & Curry, J. (1977). The treatment of missing data in multivariate analysis. *Sociological Methods & Research*, 6(2), 215-40.
- Koç, O. (2019). *Winkler temele oturan ve rijit dairesel blok aracılığıyla yüklenen biri fonksiyonel derecelendirilmiş iki tabakanın temas problemi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 620430)
- Koçak, D. (2018). The effects of model based missing data methods on guessing parameter in case of ignorable missing data. *Pegem Journal of Education & Instruction/Pegem Eğitim ve Öğretim*, 8(1), 155-172. <https://doi.org/10.14527/pegegog.2018.007>
- Kwak, J., Kim, S., Jung, J., Singh, V. P., Lee, D. R., & Kim, H. S. (2016). Assessment of meteorological drought in Korea under climate change. *Advances in Meteorology*. 1879024. <https://doi.org/10.1155/2016/1879024>
- Lacerda, M., Ardington, C., & Leibbrandt, M. (2007) *Sequential regression multiple imputation for incomplete multivariate data using Markov chain Monte Carlo*. A Southern Africa Labour and Development Research Unit Working Paper Number 13. Cape Town: SALDRU, University of Cape Town

- Lantz, B. (2013). *Machine Learning with R: Learn How to Use R to Apply Powerful Machine Learning Methods and Gain and Insight into Real-world Applications*. Packt Publishing.
- Lanen, H., Vogt, J., & Andreu, J. (2017). *Climatological risk: droughts* [e-kitap sürümü], [https://drmkc.jrc.ec.europa.eu/portals/0/Knowledge/ScienceforDRM/ch03\\_s03/ch03\\_s03\\_subch0309.pdf](https://drmkc.jrc.ec.europa.eu/portals/0/Knowledge/ScienceforDRM/ch03_s03/ch03_s03_subch0309.pdf)
- Little, R. J., & Rubin, D. B. (2019) *Statistical analysis with missing data*. Wiley Series in Probability and Statistics.
- Liu, C., Yang, C., Yang, Q., & Wang, J. (2021). Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (spi) and standardized precipitation evapotranspiration index (spei) in sichuan province, china. *Scientific Reports*, *11*, 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80527-3>.
- Loh, W. S., Ling, L., Chin, R. J., Lai, S. H., Loo, K. K., & Seah, C. S. (2024). A comparative analysis of missing data imputation techniques on sedimentation data. *Ain Shams Engineering Journal*, *15*(6), 102717.
- Madley-Dowd, P., Hughes, R., Tilling, K., Heron, J., 2019. The proportion of missing data should not be used to guide decisions on multiple imputation. *Journal of Clinical Epidemiology*, *110*, 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2019.02.016>
- Malan, L., Smuts, C. M., Baumgartner, J., & Ricci, C. (2020). Missing data imputation via the expectation-maximization algorithm can improve principal component analysis aimed at deriving biomarker profiles and dietary patterns. *Nutrition Research*, *75*, 67-76.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, *13*(3), 245-259.
- Marcelino, C. G., Leite, G. M., Celes, P., & Pedreira, C. E. (2022). Missing data analysis in regression. *Applied Artificial Intelligence*, *36*(1), 2032925.
- Mathematica. (2017). Wolfram research, inc., mathematica, Version 11.2. Champaign, IL. <http://wolfram.com> adresinden edinilmiştir.
- Matlab. (2021a). The MathWorks Inc. <https://www.mathworks.com> adresinden edinilmiştir.
- Mengü, G. P., Anaç, S., & Özçakal, E. (2011). Kuraklık yönetim stratejileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *48*(2), 175-181.
- Metin, S. (2021). OECD endüstriyel üretim verilerinde bulunan kayıp verilerin knn yöntemi ile tahmini. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *9*(4), 955-967. <http://dx.doi.org/10.18506/anemon.888642>
- Mfwango, L. H., Salim, C. J., & Kazumba, S. (2018). Estimation of missing river flow data for hydrologic analysis: the case of Great Ruaha River catchment. *Hydrology Current Research*, *9*(2), 1-8.
- Mishra, S.S., & Nagarajan, R. (2011). Spatio-temporal drought assessment in Tel river basin using Standardized Precipitation Index (SPI) and GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, *2*(1), 79-93. <https://doi.org/10.1080/19475705.2010.533703>
- Mishra, A. K. and Singh, V. P., 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, *391*(1-2), 202-216.

- Modarres, R. (2008). Regional frequency distribution type of low flow in north of Iran by L-moments. *Water Resources Management*, 22, 823-841. <https://doi.org/10.1007/s11269-007-9194-8>
- Mohammed, Y., & Yimam, A. (2021). Analysis of meteorological droughts in the Lake's Region of Ethiopian Rift Valley using reconnaissance drought index (RDI). *Geoenvironmental Disasters*, 8(1), 13.
- Mohammed, R., & Scholz, M. (2023). Quality control and homogeneity analysis of precipitation time series in the climatic region of Iraq. *Atmosphere*, 14(2), 197. <https://doi.org/10.3390/atmos14020197>
- Monteith, J. L. (1965). Evaporation and the environment. *19th Symposia of the Society for Experimental Biology* içinde (pp. 205-234).
- Noor, N. M., Alias, R., & Ideris, M. M. (2020). Drought indices monitoring using SPI and Z index score for gua musang, Kelantan. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 392.
- Nakai, M., Chen, D.G., Nishimura, K., & Miyamoto, Y. (2014). Comparative study of four methods in missing value imputations under missing completely at random mechanism. *Open Journal of Statistics*, 4(1), 27–37. <https://doi.org/10.4236/ojs.2014.41004>
- Obertová, Z., & Stewart, An. (2020). Probability distributions, hypothesis testing, and analysis. *Statistics and Probability in Forensic Anthropology*. Academic Press.
- Nguyen, C.D., Carlin, J. B., & Lee, K. J. (2017). Model checking in multiple imputation: an overview and case study. *Emerging Themes in Epidemiology*, 14(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s12982-017-0062-6>
- Niazkar, M., Piraei, R., Eryılmaz Türkkkan, G., Hırca, T., Gangi, F., & Afzali, S. H. (2024). Drought analysis using innovative trend analysis and machine learning models for Eastern Black Sea Basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(3), 1605-1624. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04710-y>
- Noor, N. M., Noor, N. M., Alias, R., & Ideris, M. M. (2020). Drought indices monitoring using SPI and Z index score for gua musang, Kelantan. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* içinde (1-8). Malezya: UniMAP Uniciti Alam Campus.
- Nor, S. M. C. M., Shahaudin, S. M., Ismail, S., Zainuddin, N. H., & Tan, M. L. (2020). A comparative study of different imputation methods for daily rainfall data in east-coast Peninsular Malaysia. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 9(2), 635-643.
- Pandas. (2023). Pandas: a python data analysis library (Version 2.0.3) [Software]. Retrieved from <https://pandas.pydata.org>
- Penman, H.L. (1948) Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London*, 193, 120-145. <https://doi.org/10.1098/rspa.1948.0037>
- Peterson, T. C., Easterling, D. R., Karl, T. R., Groisman, P., Nicholls, N., Plummer, N., ... & Parker, D. (1998). Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 18(13), 1493-1517. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(19981115\)18:13<1493::AID-JOC329>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(19981115)18:13<1493::AID-JOC329>3.0.CO;2-T)

- Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 28(2), 126-135. <https://doi.org/10.2307/2346729>
- Pham, H. T., Do-Thi, T. T., Baek, J., Nguyen, C. K., Pham, Q. T., Nguyen, H. L., ... & Le, G. M. Handling Missing Data in COVID-19 Incidence Estimation in Vietnam: Secondary data analysis. *JMIR Public Health Surveill.*
- Pigott, T.D. (2001). A review of methods for missing data. *Educational Research and Evaluation*, 7, 353–383. <https://doi.org/10.1076/edre.7.4.353.8937>
- Pituch, K. A. & Stevens, J. P. (2016). *Applied multivariate statistics for the social sciences*. Routledge.
- Rahman, M.R., & Lateh, H. (2016). Meteorological drought in Bangladesh: assessing, analysing and hazard mapping using SPI, GIS and monthly rainfall data. *Environmental Earth Sciences*, 75(12). <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5829-5>
- Rubin, D.B. (1976). Inference and missing data. *Biometrika*, 63(3), 581-592.
- Robleh, H. B., Yuce, M. I., Esit, M., & Deger, I. H. (2024). Meteorological drought monitoring in Kızıllırmak Basin, Türkiye. *Environmental Earth Sciences*, 83(9), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s12665-024-11550-0>
- Roth, P. L., Switzer, F. S., III, & Switzer, D.M. (1999). Missing data in multiple item scales: A Monte Carlo analysis of missing data techniques. *Organizational Research Methods*, 2(3), 211–232. <https://doi.org/10.1177/109442819923001>
- Sağlam, F., Şanlı, T., Cengiz, M.A., & Terzi, Y., (2022). Alternative expectation approaches for expectation-maximization missing data imputations in cox regression. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 52(12). <https://doi.org/10.1080/03610918.2021.2024851>
- Salimi, H., Asadi, E., & Darbandi, S. (2021). Meteorological and hydrological drought monitoring using several drought indices. *Applied Water Science*, 11, 1-10.
- Sallaby, A. F., & Azlan, A. (2021). Analysis of missing value imputation application with K-nearest neighbor (K-NN) algorithm in dataset. *The International Journal of Informatics and Computer Science*, 5(2), 141-144.
- Sanusi, W., Wan Zin, W. Z., Mulbar, U., Danial, M., & Side, S. (2017). Comparison of the methods to estimate missing values in monthly precipitation data. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology/IJASEIT*, 7(6), 2168-2174.
- Saplioglu, K., & Kucukerdem, T. S. (2018). Estimation of missing streamflow data using ANFIS models and determination of the number of datasets for ANFIS: the case of Yeşilırmak River. *Applied Ecology & Environmental Research*, 16(3), 3583-3594.
- Sattari, M. T., Rezazadeh-Joudi, A., & Kusiak, A. (2017). Assessment of different methods for estimation of missing data in precipitation studies. *Hydrology Research*, 48(4), 1032-1044.
- Scikit-Learn. (2023). Scikit-learn: machine learning in python (Version 1.3.2) [Software]. Retrieved from <https://scikit-learn.org>

- Schafer, J. L. (1999). Multiple imputation: a primer. *Statistical Methods In Medical Research*, 8(1), 3-15. <http://dx.doi.org/10.1177/096228029900800102>
- Schneider, T. (2001). Analysis of incomplete climate data: Estimation of mean values and covariance matrices and imputation of missing values. *Journal of climate*, 14(5), 853-871. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<0853:AOICDE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<0853:AOICDE>2.0.CO;2)
- Searcy, J. K., & Hardison, C. H. (1960). Double mass curves. manual of hydrology: Part 1. General surface water techniques. *US Geological Survey, Water-Supply Paper*, 1541-B.
- Sharma, V., & Yuden, K. (2021). Imputing missing data in hydrology using machine learning models. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 10, 78-82.
- Shi, W., Michael, J., Gururangan, S., & Zettlemoyer, L. (2022). KNN-Prompt: Nearest neighbor zero-shot inference. In arXiv [cs.CL]. <http://arxiv.org/abs/2205.13792>
- SHTYP. (Aralık, 2018). 2018 *Susurluk havzası taşkın yönetim planı*. <https://www.tarimorman.gov.tr> adresinden edinilmiştir.
- SHTYP. (Aralık, 2024). 2024 *Susurluk havzası taşkın yönetim planı*. <https://www.tarimorman.gov.tr> adresinden edinilmiştir.
- Singh, U., Agarwal, P., & Sharma, P. K. (2022). Meteorological drought analysis with different indices for the Betwa River basin, India. *Theoretical and Applied Climatology*, 148(3), 1741-1754.
- Slavková, J., Gera, M., Nikolova, N., & Siman, C. (2023). Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index Approach for Drought Assessment in Slovakia—Statistical Evaluation of Different Calculations. *Atmosphere*, 14(9), 1464.
- Snelder, T., & Kerr, T. (2022). *Relationships between flow and river water quality monitoring data and recommendations for assessing NPS-FM attribute states and trends*. LandWaterPeople.
- Southekal, P. (2023, 13 Aralık). Managing missing data in analytics. *Dataversity*. <https://www.dataversity.net/managing-missing-data-in-analytics/>
- Souza, G. R. D., Bello, I. P., Corrêa, F. V., & Oliveira, L. F. C. D. (2020). Artificial neural networks for filling missing streamflow data in Rio do Carmo Basin, Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 63, e20180522.
- Sönmez Çakır, F. (2022). Normal dağılım ve normal dağılıma veri dönüştürme. *Ege Zirvesi 7. Uluslararası Sosyal Bilimler Kongresi* içinde (s. 2657-2672). İzmir: Academy Conferences.
- SPEI. (2024). SPEI: Calculation of the Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (Version 1.8.1) [Software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>
- SPSS. (2013). IBM SPSS statistics for windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp
- Srebotnjak, T., Carr, G., de Sherbinin, A., & Rickwood, C. (2012). A global Water Quality Index and hot-deck imputation of missing data. *Ecological indicators*, 17, 108-119.
- Staudt, M., Esteban-Parra, M. J., & Castro-Díez, Y. (2007). Homogenization of long-term monthly Spanish temperature data. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 27(13), 1809-1823. <https://doi.org/10.1002/joc.1493>

- Şahin, Ş. (2012). *Büyük Menderes Nehri üzerindeki akım gözlem istasyonlarında eksik verilerinin tamamlanması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 339803)
- Şen, Z. (2012). Innovative trend analysis methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(9), 1042–1046. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0000556](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0000556)
- Şen, Z. (2017). Innovative trend significance test and applications. *Theoretical and Applied Climatology*, 127(3–4), 939–947. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1681-x>
- Şen, Z., & Almazroui, M. (2021). Actual precipitation index (API) for drought classification. *Earth Systems and Environment*, 5(1), 59–70. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00201-0>
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2012). *Using multivariate statistics*. 6. Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.
- Tannenbaum, C. E. (2009). *The empirical nature and statistical treatment of missing data*. University of Pennsylvania, Ph.D. Dissertation.
- Tayfur, G. (2021). Discrepancy precipitation index for monitoring meteorological drought. *Journal of Hydrology*, 597, 126174.
- Taylan, E. D., & Damçayırı, D. (2016). Isparta bölgesi yağış değerlerinin IDW ve Kriging enterpolasyon yöntemleri ile tahmini. *Teknik Dergi*, 27(3), 7551-7559.
- Thom, H. C. S. (1958) A note on gamma distribution. *Monthly Weather Review*, 86(4), 117–122. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1958\)086<0117:ANOTGD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1958)086<0117:ANOTGD>2.0.CO;2)
- Thorntwaite, C.W. (1948) An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38, 55-94. <http://dx.doi.org/10.2307/210739>
- Toka, O., & Çetin, M. (2016). Imputation and deletion methods under the presence of missing values and outliers: a comparative study. *Gazi University Journal of Science*, 29(4), 799-809.
- Topçu, E., & Karaçor, F. (2023). A comparative investigation on the applicability of the actual precipitation index (API) with the standardized precipitation index (SPI): the case study of Aras Basin, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 154(1–2), 29–42. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04499-w>
- Tosunoğlu, F., İspirli, M. N., Gürbüz, F., & Şengül, S. (2017). Fırat Havzası'ndaki eksik akım verilerinin debi süreklilik çizgileri ve regresyon modelleri ile tahmin edilmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 7(4), 85-94.
- Türkeş, M. (2001). Hava, iklim, şiddetli hava olayları ve küresel ısınma. *Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri, Teknik Sunumlar, Seminerler Dizisi: 1: 187-205*, Ankara.
- Ünlükara, A., Yürekli, K., Anlı, A. S., & Örs, İ. (2010). Kayseri ilinin rdı (reconnaissance) indeksine göre kuraklığının değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1, 13-17.
- Üresin, U. (2021). Correlation based regression imputation (CBRI) method for missing data imputation. *Turkish Journal of Science and Technology*, 16(1), 39-46.
- Vicente-Serrano, S. M., & López-Moreno, J. I. (2005). Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index

- in a mountainous Mediterranean basin. *Hydrology And Earth System Sciences*, 9(5), 523-533. <https://doi.org/10.5194/hess-9-523-2005>, 2005
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S. & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718.
- Von Neumann, J. (1941). Distribution of the ratio of the mean square successive difference to the variance. *The Annals of Mathematical Statistics*, 12(4), 367-395. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177731677>
- Wang, T., & Sun, F. (2023). Integrated drought vulnerability and risk assessment for future scenarios: An indicator based analysis. *The Science of the Total Environment*, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165591>
- Wangwongchai, A., Waqas, M., Dechpichai, P., Hlaing, P. T., Ahmad, S., & Humphries, U. W. (2023). Imputation of missing daily rainfall data; A comparison between artificial intelligence and statistical techniques. *MethodsX*, 11, 102459.
- Washington, S., Karlaftis, M. G., & Mannering, F. (2010). *Statistical and econometric methods for transportation data analysis*. Chapman and Hall/CRC.
- Weslati, O., Bouaziz, M., & Serbaji, M. M. (2023). Precipitation forecasting and monitoring in degraded land: A study case in Zaghuan. *Land*, 12(4), 738. <https://doi.org/10.3390/land12040738>
- Wijngaard, J. B., Klein Tank, A. M. G., & Können, G. P. (2003). Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 23(6), 679-692. <https://doi.org/10.1002/joc.906>
- Williams, R. (2015). *Missing data Part 1: overview, traditional methods*. Notre Dame: University of Notre Dame.
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: The drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10(3), 111-120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>
- WMO. (2016). World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: *Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs)*. Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.
- Wu, H. Hayes, M. J. Weiss, A. & Hu, Q. (2001). An evaluation of the standardized precipitation index, the china-z index and the statistical z-score. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 21(6), 745-758.
- Yaşa, İ., Yüce, M. İ., & Eşit, M. (2023). Homogeneity and change point detection analysis of seasonal and annual precipitation and temperature series Van, Türkiye. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(3), 1012-1028. <https://doi.org/10.53433/yyufbed.1204538>
- Yevjevich, V. M. (1967). Objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. *Hydrological Papers*, 23.
- Yıldırımlar, O., (2012). Fırat Havzası'nda Düşük Akımların Analizi. Enerji Enstitüsü.

- Yılmaz, M. (2017). Konya kapalı havzası'nın tıpa uydu kaynaklı yağış verileri ile kuraklık analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2).
- Yılmaz, M. (2019). Türkiye akarsu havzalarındaki yıllık anlık maksimum akımların trend analizi (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 534656)
- Yolsal, H. (2016). Estimation of the air quality trends in İstanbul. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 38(1), 375-399.
- Yu, Y. S., Zou, S., & Whittemore, D. (1993). Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *Journal of Hydrology*, 150(1), 61-80. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90156-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90156-4)
- Yue, S., & Wang, C. (2004). The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water resources management*, 18(3), 201-218. <https://doi.org/10.1023/B:WARM.0000043140.61082.60>
- Zaifoğlu, H., Akıntuğ, B. ve Yanmaz, A., M., 2017. Quality Control, homogeneity analysis and trends of extreme precipitation indices in northern cyprus, *Journal of Hydrologic Engineering*, 22, 1-14.
- Zainuddin, A., Hairuddin, M. A., Yassin, A. I. M., Abd Latiff, Z. I., & Azhar, A. (2022, October). Time series data and recent imputation techniques for missing data: A review. In 2022 International Conference on Green Energy, Computing and Sustainable Technology (GECOST) (pp. 346-350).
- Zhang, Y., & Thorburn, P. J. (2022). Handling missing data in near real-time environmental monitoring: A system and a review of selected methods. *Future Generation Computer Systems*, 128, 63-72.
- Zhou, Y., Aryal, S., Bouadjenek, M.R. (2024). A comprehensive review of handling missing data: exploring special missing mechanisms. *arXiv:2404.04905v1*.
- Zou R., Yin Y., Wang X., Zhang Z., Ma X., Liu M. & Ullan I. 2023 Characteristics and propagation of meteorological and hydrological droughts in eastern Gansu, a typical semi-arid region, China. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.8149>.

## EKLER

**Ek 1: Bursa ve Kütahya İllerinde Bulunan İstasyonların Yağış Rasatlarının Kayıp Veri Özetleri**

No	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985		
31																																						
32																																						
33																																						
34																																						
35																																						
36																																						
37																																						
38																																						
39																																						
40																																						
41																																						
42																																						
43																																						
44																																						
45																																						
46																																						
47																																						
48																																						
49																																						
50																																						
51																																						
52																																						
53																																						
54																																						
55																																						
56																																						
57																																						
58																																						
59																																						
60																																						

x	Gözlemi Bulunan Tam Yıl	33	Bursa/Keles/17695	40	Bursa MKP Gürgendağ Orman Sahası/18831	47	Bursa/Yıldırım/18746	54	Kütahya/Emet/17707
●	1 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	34	Bursa/Kestel/18384	41	Bursa/Nilüfer/18386	48	Kütahya/17155	55	Kütahya/Emet Esatlar Köyü/18604
●	2 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	35	Bursa/Mudanya/18385	42	Bursa/Orhaneli/18083	49	Kütahya/Altıntaş/18093	56	Kütahya/Gediz/17750
●	3 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	36	Bursa/Mudanya Güzel Yalı Balıkçı Barınağı/17489**	43	Bursa/Orhangazi/18387	50	Kütahya/Aslanapa/18391	57	Kütahya/Hisarcık/18835
○	4-11 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	37	Bursa/Mustafakemalpaşa/699	44	Bursa/Osmangazi-Gündoğdu/18741	51	Kütahya/Çavdarhisar/18095	58	Kütahya Kirazlı Yaylası Köyü/18605
31	Bursa/Karacabey/17673	38	Bursa/Mustafakemalpaşa/17675	45	Bursa/Uludağ/17676	52	Kütahya/Domaniç/18094	59	Kütahya/Simav/17748
32	Bursa/Karacabey/ Bayramdere/18829	39	Bursa/MKP Eski kızıl Elma Köyü/18830	46	Bursa/Yenişehir Alaylı/18743	53	Kütahya Dumlupınar/17747	60	Kütahya/Tavşanlı/17704



## Ek 2: Bursa ve Kütahya İllerinde Bulunan İstasyonların Sıcaklık Rasatlarının Kayıp Veri Özetleri

No	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985		
31																																						
32																																						
33																																						
34																																						
35																																						
36																																						
37																																						
38																																						
39																																						
40																																						
41																																						
42																																						
43																																						
44																																						
45																																						
46																																						
47																																						
48	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
49																																						
50																																						
51																																						
52																																						
53																																						
54																																						
55																																						
56																																						
57																																						
58																																						
59																																						
60																																						

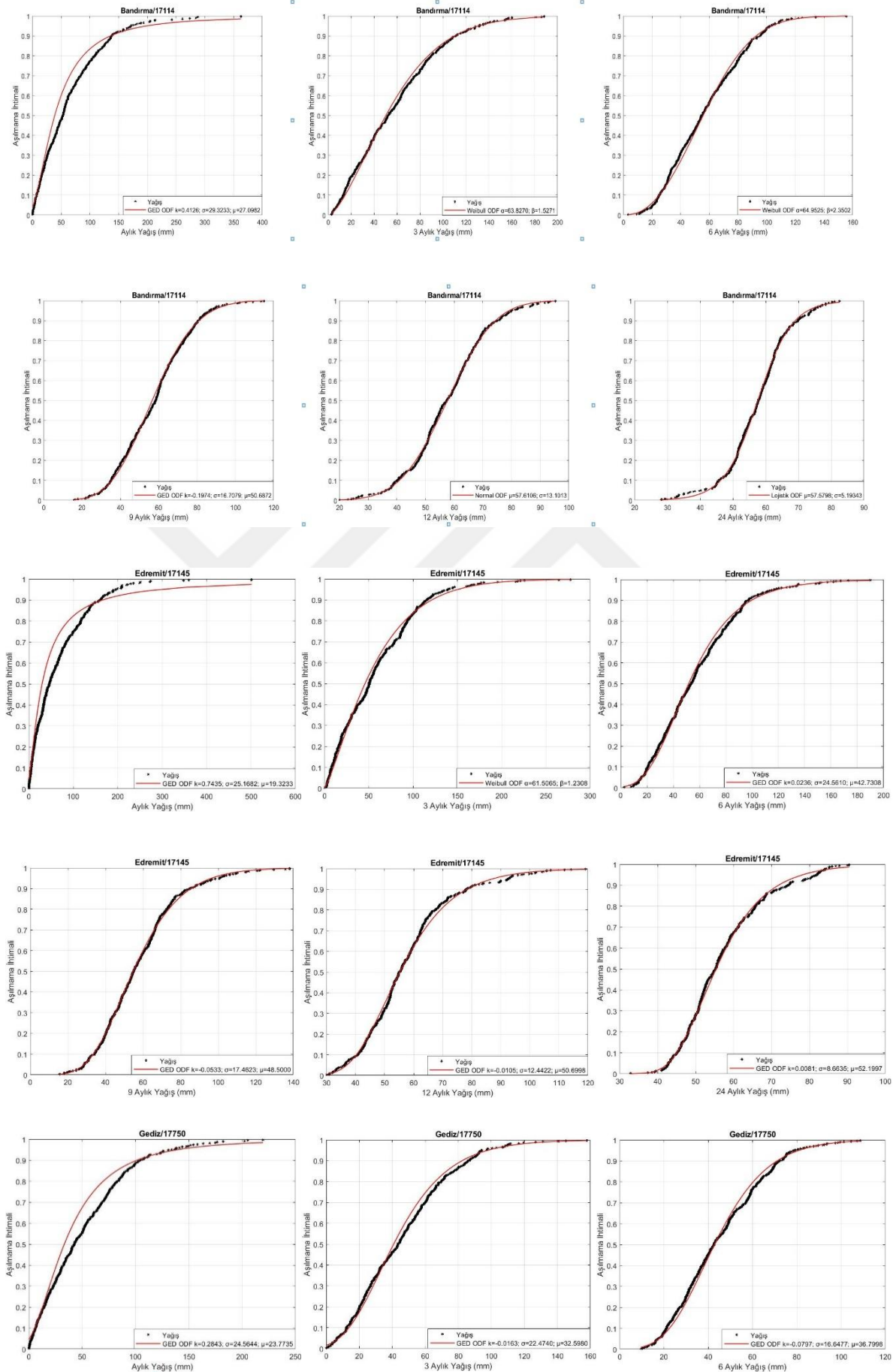
x	Gözlemi Bulunan Tam Yıl	33	Bursa/Keleş/17695	40	Bursa MKP Gürğendağ Orman Sahası/18831	47	Bursa/Yıldırım/18746	54	Kütahya/Emet/17707
	1 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	34	Bursa/Kestel/18384	41	Bursa/Nilüfer/18386	48	Kütahya/17155	55	Kütahya/Emet Esatlar Köyü/18604
	2 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	35	Bursa/Mudanya/18385	42	Bursa/Orhaneli/18083	49	Kütahya/Altıntaş/18093	56	Kütahya/Gediz/17750
	3 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	36	Bursa/Mudanya Güzel Yalı Balıkçı Barnağı/17489	43	Bursa/Orhangazi/18387	50	Kütahya/Aslanapa/18391	57	Kütahya/Hisarcık/18835
	4-11 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	37	Bursa/Mustafa Kemal Paşa/699	44	Bursa/Osmangazi-Gündoğdu/18741	51	Kütahya/Çavdarhisar/18095	58	Kütahya Kirazlı Yaylası Köyü/18605
31	Bursa/Karacabey/17673	38	Bursa/Mustafa Kemal Paşa/17675	45	Bursa/Uludağ/17676	52	Kütahya/Domaniç/18094	59	Kütahya/Simav/17748
32	Bursa/Karacabey/ Bayramdere/18829	39	Bursa/MKP Eski kızıl Elma Köyü/18830	46	Bursa/Yenişehir Alaylı/18743	53	Kütahya Dumlupınar/17747	60	Kütahya/Tavşanlı/17704

## Ek 2: Bursa ve Kütahya İllerinde Bulunan İstasyonların Sıcaklık Rasatlarının Kayıp Veri Özetleri

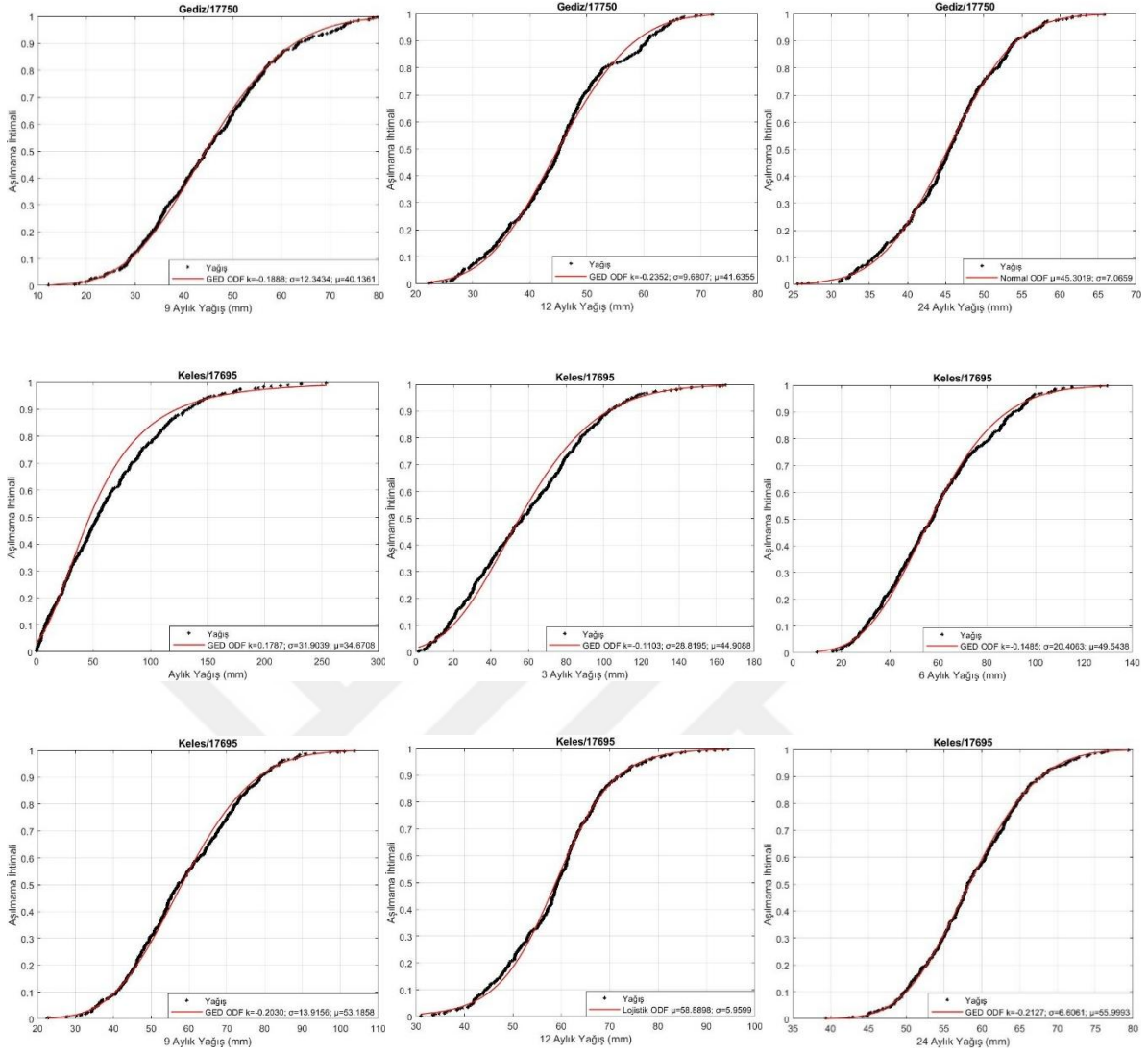
No	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021			
31																			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
32																																							
33	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
34																																							
35																																							
36																																							
37	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
38																																							
39																																							
40																																							
41																																							
42																																							
43																																							
44																																							
45	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
46																																							
47																																							
48	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
49																																							
50																																							
51																																							
52																																							
53																																							
54																																							
55																																							
56	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
57																																							
58																																							
59	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
60	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

X	Gözlemi Bulunan Tam Yıl	33	Bursa/Keleş/17695	40	Bursa MKP Gürğendağ Orman Sahası/18831	47	Bursa/Yıldırım/18746	54	Kütahya/Emet/17707
●	1 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	34	Bursa/Kestel/18384	41	Bursa/Nilüfer/18386	48	Kütahya/17155	55	Kütahya/Emet Esatlar Köyü/18604
●	2 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	35	Bursa/Mudanya/18385	42	Bursa/Orhaneli/18083	49	Kütahya/Altıntaş/18093	56	Kütahya/Gediz/17750
●	3 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	36	Bursa/Mudanya Güzel Yalı Balıkçı Barınağı/17489	43	Bursa/Orhangazi/18387	50	Kütahya/Aslanapa/18391	57	Kütahya/Hisarcık/18835
○	4-11 Ay Eksik Gözleme Sahip Yıl	37	Bursa/Mustafa Kemal Paşa/699	44	Bursa/Osmangazi-Gündoğdu/18741	51	Kütahya/Çavdarhisar/18095	58	Kütahya Kirazlı Yaylası Köyü/18605
31	Bursa/Karacabey/17673	38	Bursa/Mustafa Kemal Paşa/17675	45	Bursa/Uludağ/17676	52	Kütahya/Domaniç/18094	59	Kütahya/Simav/17748
32	Bursa/Karacabey/ Bayramdere/18829	39	Bursa/MKP Eski kızıl Elma Köyü/18830	46	Bursa/Yenişehir Alaylı/18743	53	Kütahya Dumlupınar/17747	60	Kütahya/Tavşanlı/17704

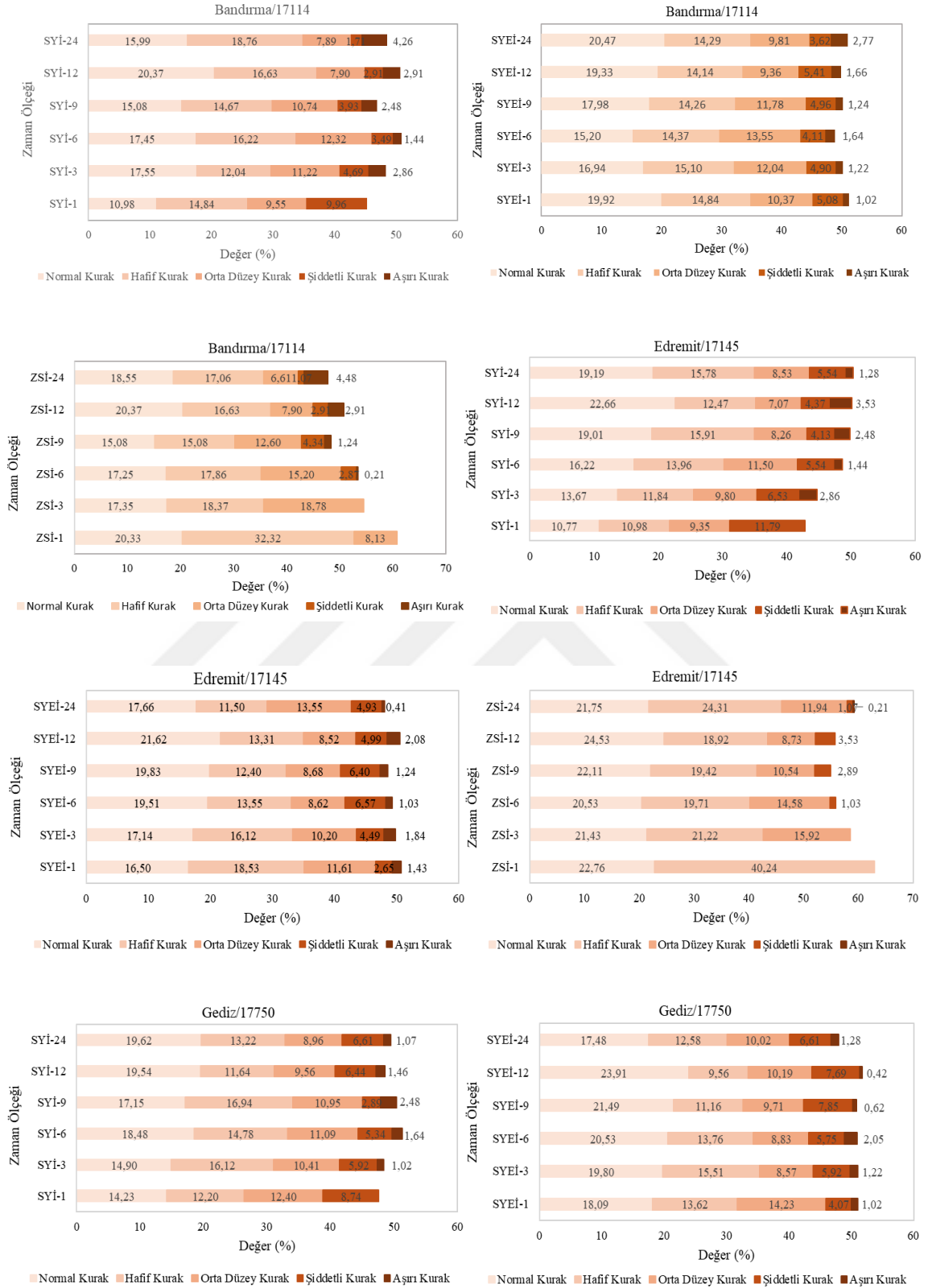
### Ek 3: Teorik ODF ve Ampirik ODF Diyagramları



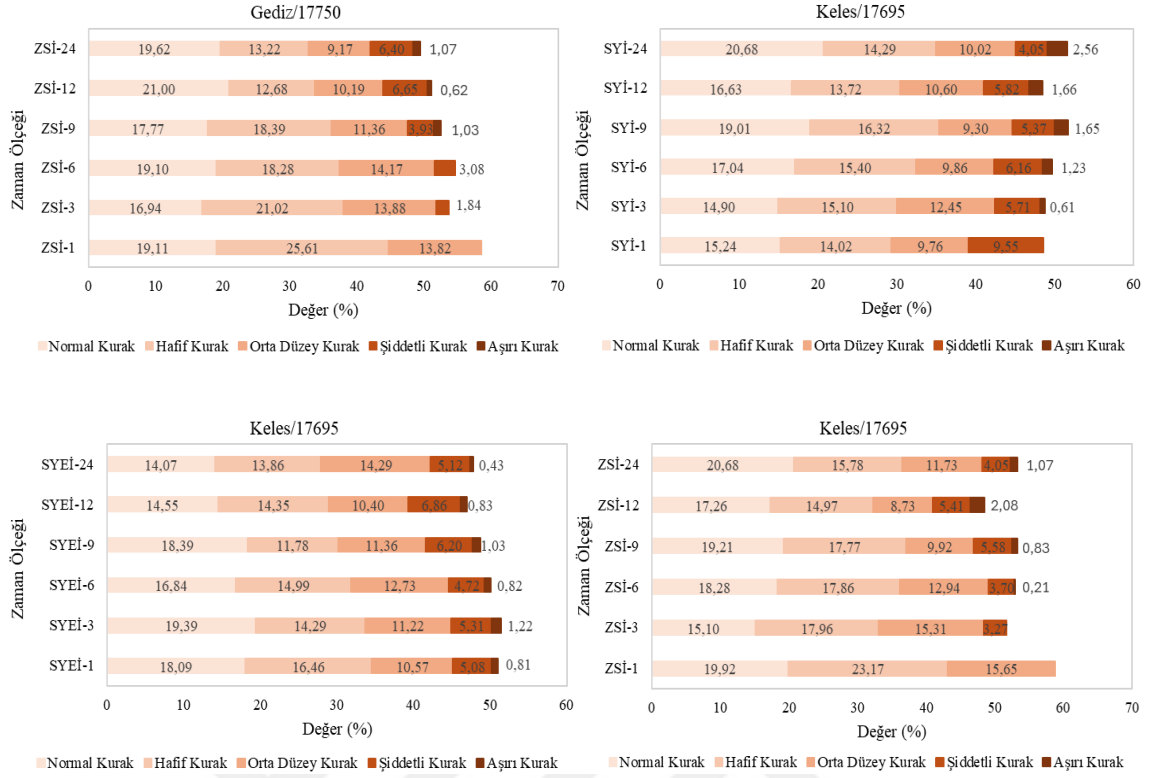
### Ek 3: Teorik ODF ve Ampirik ODF Diyagramları



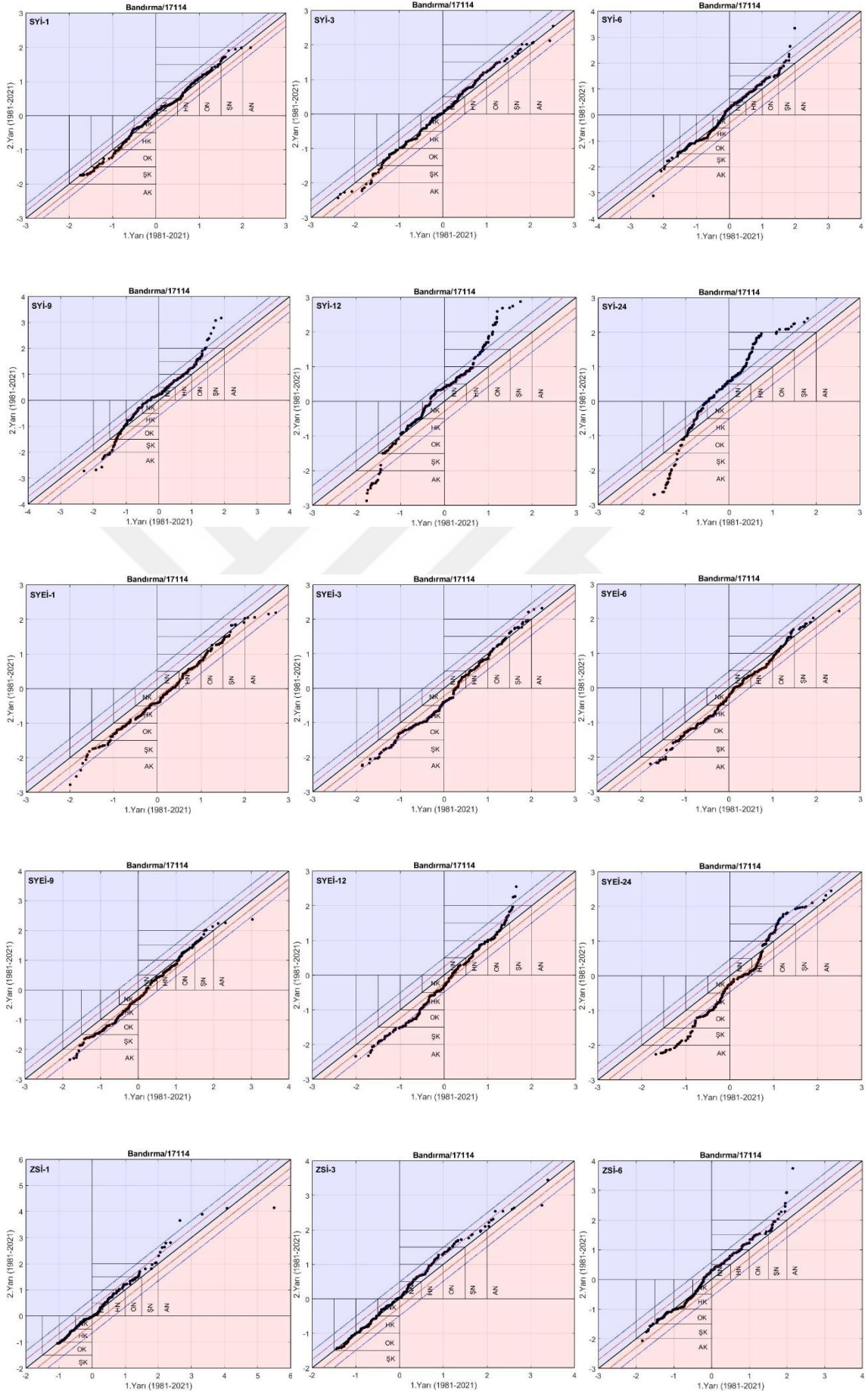
## Ek 4: Kuraklık İndekslerinin Rölatif Frekans Değerleri



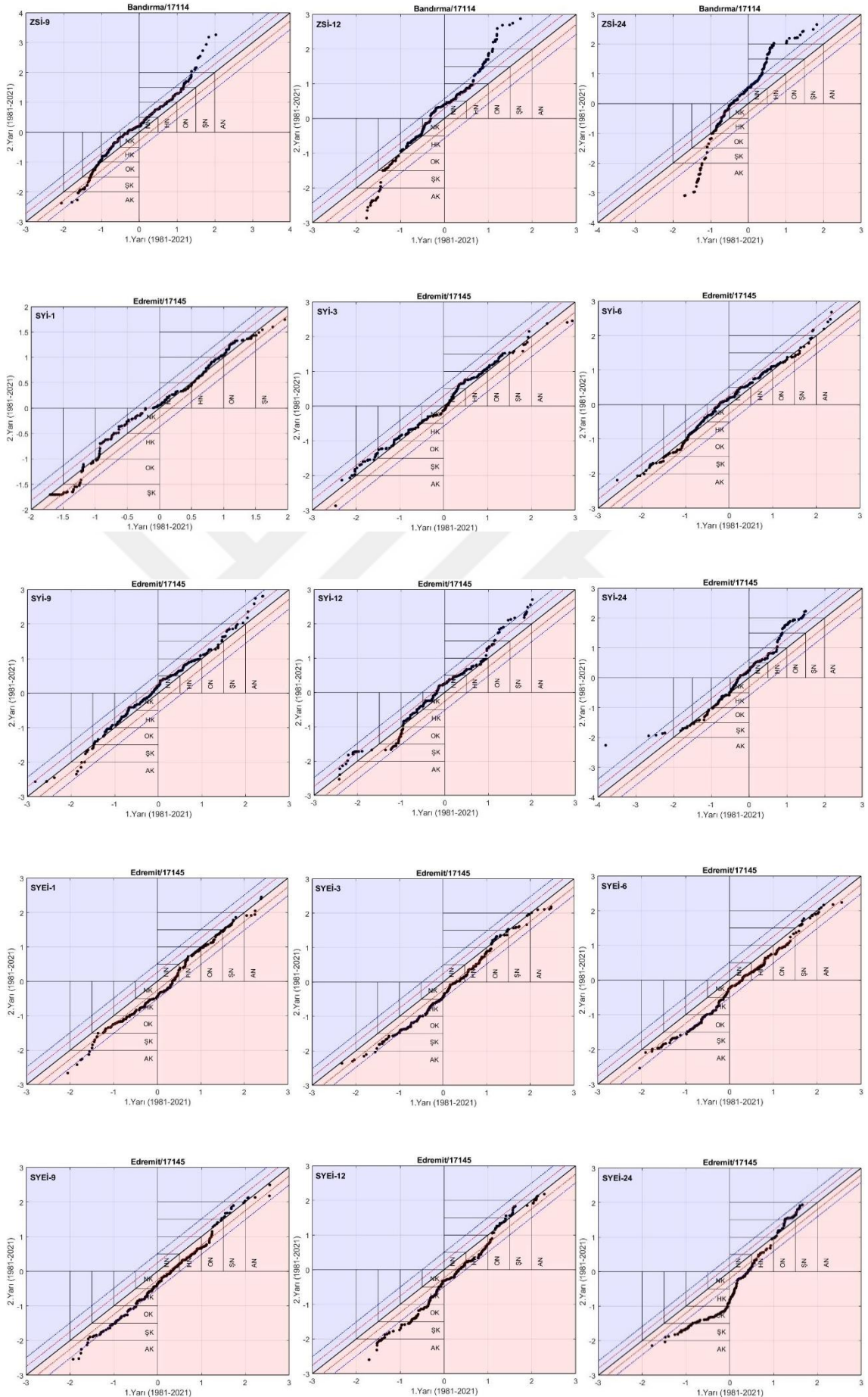
## Ek 4: Kuraklık İndekslerinin Rölatif Frekans Değerleri



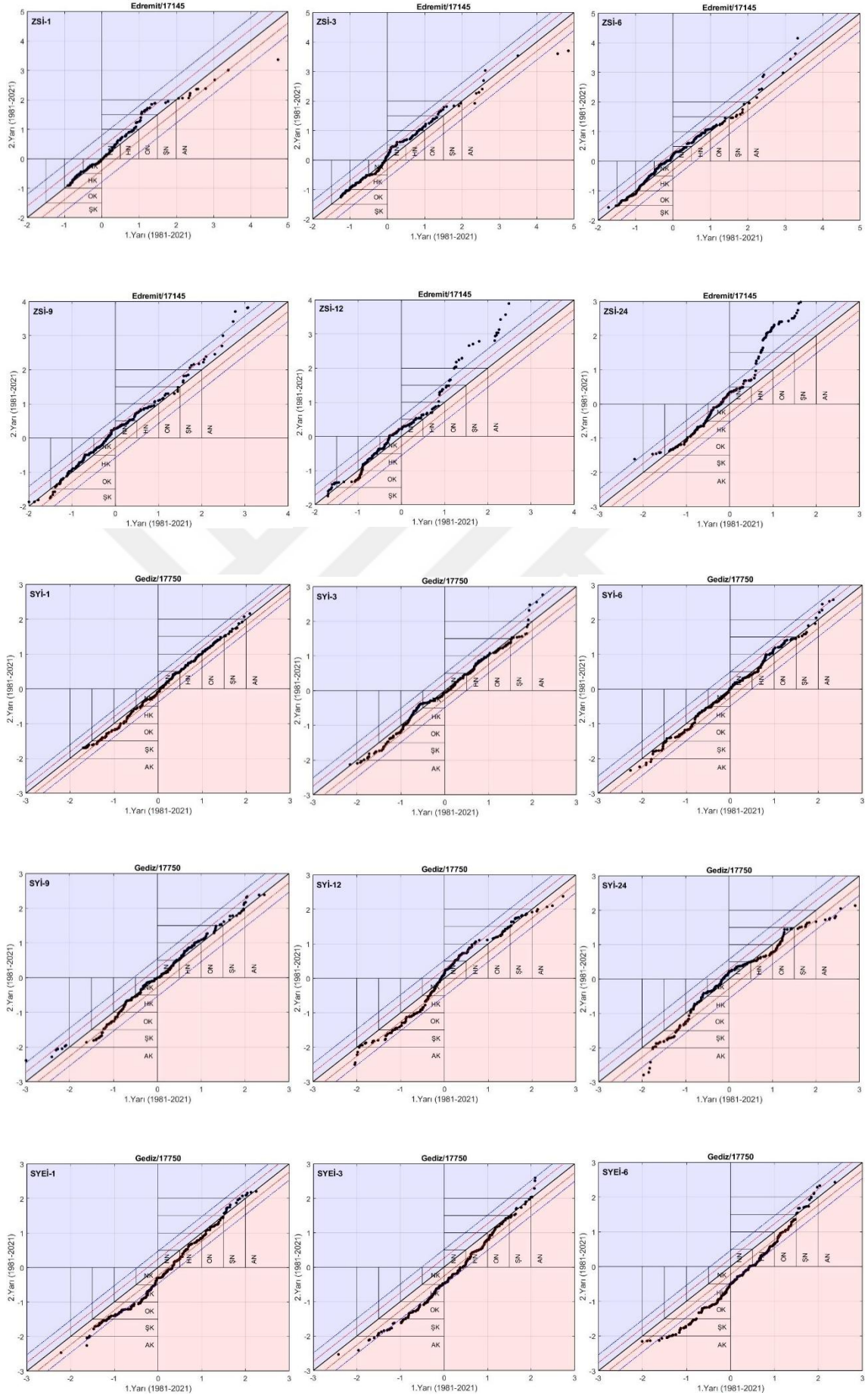
## Ek 5: YTA Grafikleri



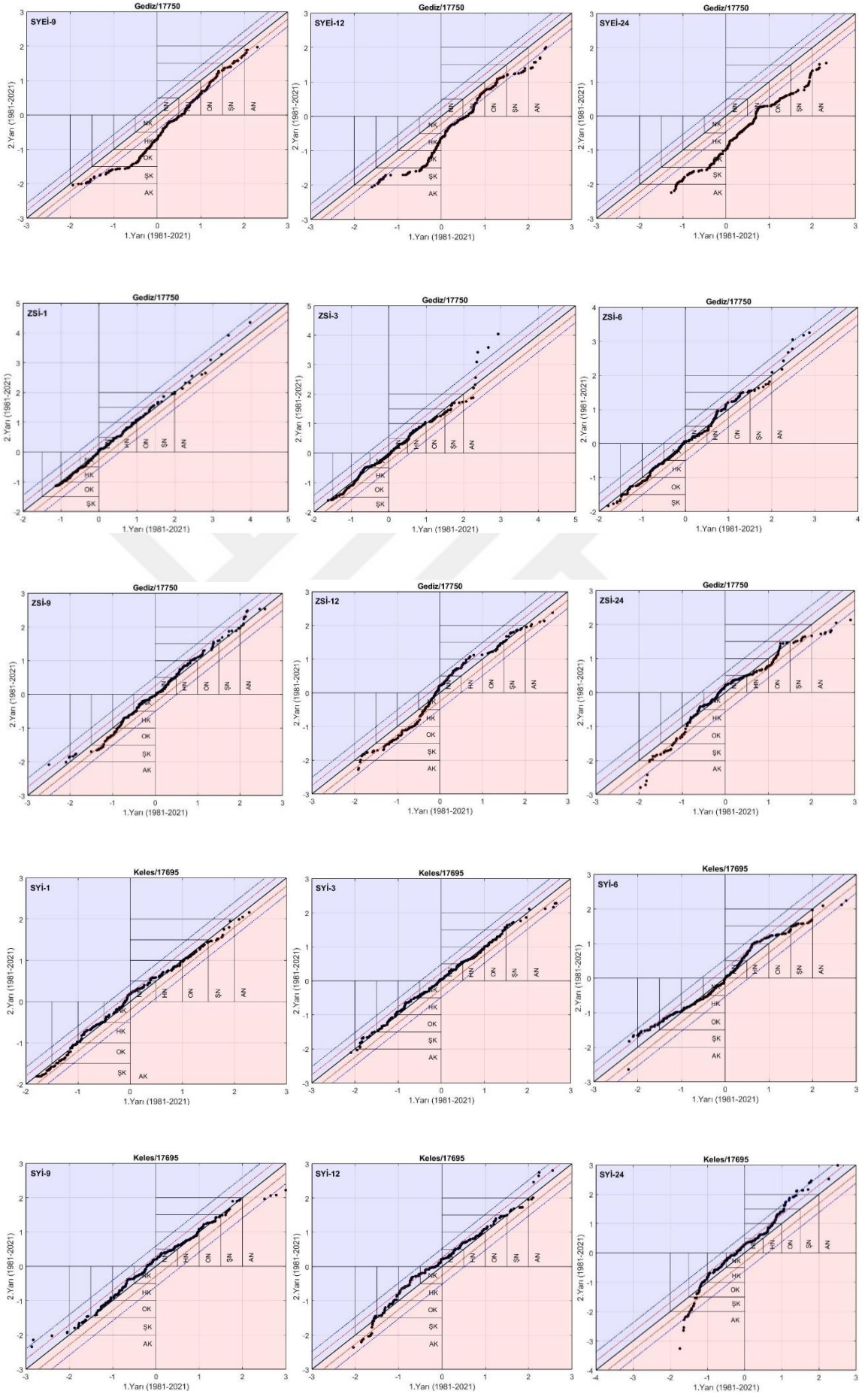
## Ek 5: YTA Grafikleri



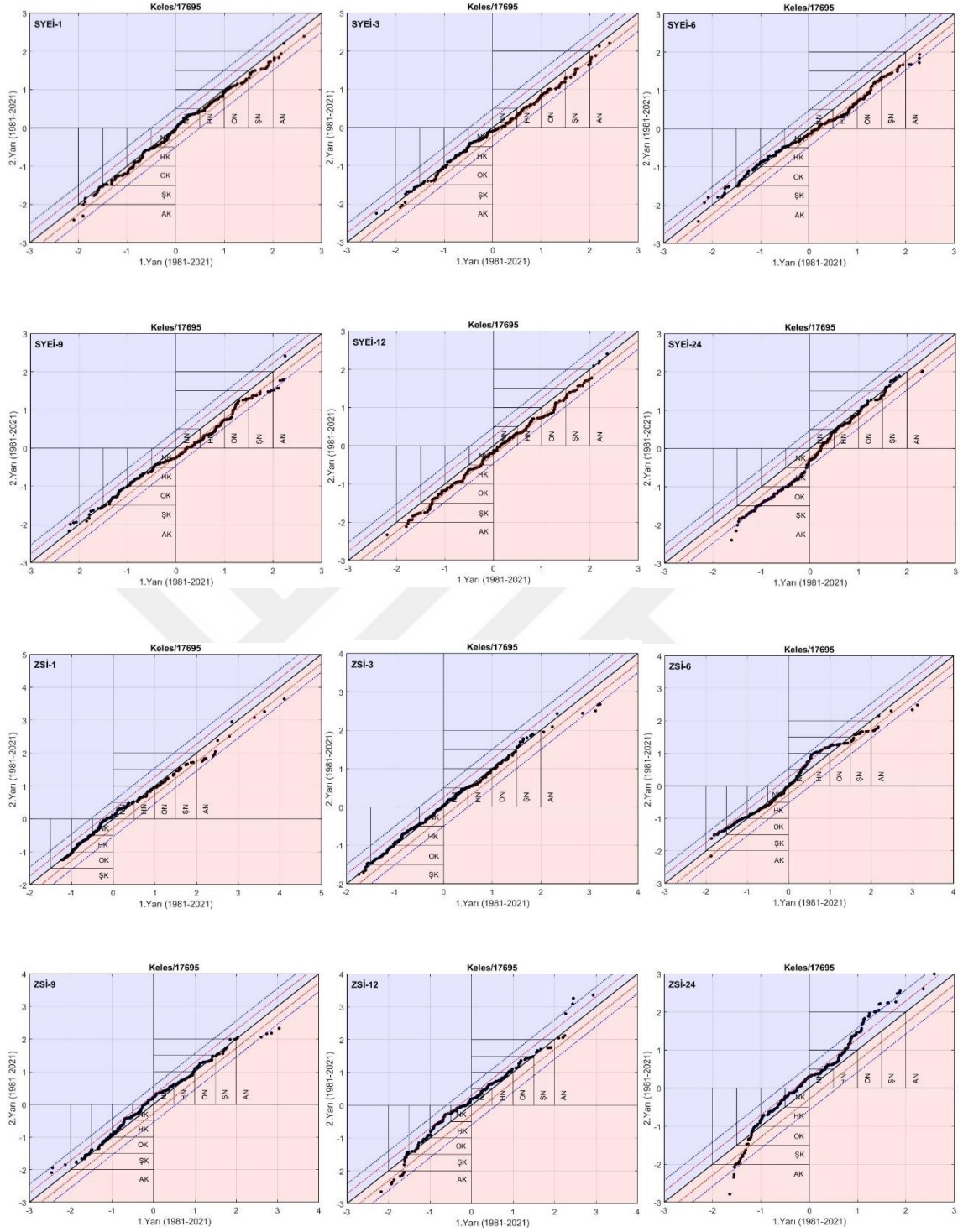
## Ek 5: YTA Grafikleri



## Ek 5: YTA Grafikleri



## Ek 5: YTA Grafikleri



## ÖZ GEÇMİŞ

Tuğçe HIRCA, ... tarihinde ...'da doğdu. Ortaöğrenimini Ferizli Fikret-İsmet Aktekin Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Bayburt Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Hidrolik Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı ve 2018 yılında mezun oldu. 2019 yılında Bayburt Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda doktora eğitimine başladı.

