



**NİJER'DE İKLİM ENDEKSLERİ İLE İLİŞKİLİ  
METEOROLOJİK KURAKLIK ANALİZİ VE TAHMİNİ:  
DALGACIK-ANFIS YAKLAŞIMI**

**Zakari Seybou ABDOURAHAMANE**

**Doktora Tezi  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Prof. Dr. Reşat ACAR  
2019**

**Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**NİJER'DE İKLİM ENDEKSLERİ İLE İLİŞKİLİ METEOROLOJİK KURAKLIK  
ANALİZİ VE TAHMİNİ: DALGACIK-ANFIS YAKLAŞIMI**

**ABDOURAHAMANE Zakari Seybou**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**ERZURUM  
2019**

**Her hakkı saklıdır**



TEZ ONAY FORMU

NIJER'DE İKLİM ENDEKSLERİ İLE İLİŞKİLİ METEOROLOJİK KURAKLIK ANALİZİ VE  
TAHMİNİ: WAVELET-ANFİS YAKLAŞIMI

**Prof. Dr. Reşat Acar** danışmanlığında, **Abdourahamane Zakari Seybou** tarafından hazırlanan bu çalışma, 02/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı **Hidrolik** Bilim Dalı'nda **Doktora** tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Ömer YÜKSEL

İmza :

Üye : Prof. Dr. Y. K. BAYHAN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Reşat ACAR

İmza :

Üye : Doç. Dr. Fatih TOSUNOĞLU

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Serkan ŞENOCAK

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun 23.01/2020 tarih ve ...04.../...35..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Mehmet KARAKAN**  
Enstitü Müdürü

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Doktora Tezi

### NİJER'DE İKLİM ENDEKSLERİ İLE İLİŞKİLİ METEOROLOJİK KURAKLIK ANALİZİ VE TAHMİNİ: DALGACIK-ANFIS YAKLAŞIMI

Zakari Seybou ABDOURAHAMANE

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Reşat ACAR

Bu tez çalışmasında Standartlaştırılmış yağış indeksi (SYİ) ve standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon endeksine (SYEİ) dayanarak Nijer'deki meteorolojik kuraklık değişkenliği ve bunun 16 büyük ölçekli iklim indeksi ile bağlantısı homojen yağış bölge ölçeğinde analiz edildi. 1950-2016 dönemini kapsayan 158 istasyonun aylık yağış eksik verileri tamamlanması ve homojenlik analizleri yaptıktan sonra, temel bileşenler analizi kullanarak Nijer'de homojen yağış bölgeleri (HR) tanımlandı. Her tanımlanan HR için üç ay ölçekli SYİ ve SYEİ metotlarıyla kuraklık süresi, yoğunluğu ve şiddeti değerlendirildi. SYİ ve SYEİ zaman serilerinde, Mann-Kendall testi ve sürekli dalgacık dönüşümü yaklaşımları uygulanarak sırayla kuraklık eğilim ve periyodiklik analizleri yapıldı. SYİ ve SYEİ ile iklim endeksleri arasındaki bağlantıları değerlendirmek için doğrusal çapraz korelasyon analizi ve çapraz dalgacık analizi metotları kullanıldı. Daha sonra en etkili olan iklim endeksleri adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve birleşik dalgacık-ANFIS yaklaşımlarına dayanan bir kuraklık tahmin modeline girdi değişkenleri olarak kullanıldı. Sonuçlara göre tanımlanan dokuz HR'lerin her birinde, 1990'lardan sonra kuraklık süresi, şiddeti ve dönüş süresini 1970'ler ve 1980'lere göre önemli bir azalma göstermektedir. Ancak, 1990'lardan sonra bazı yoğun kuraklık olayları da meydana gelmiş; hem de trend analizinden tüm HR'lerde kuraklık yoğunluğunun artması göstermektedir. Ayrıca, SYEİ serilerinde bulunan aşağı düşüş eğilimin büyüklüğü, SYİ serilerindeki eğiliminden daha yüksektir; bu da küresel ısınmanın Nijer'deki kuraklık oluşumuna etkilerini göstermektedir. Son olarak, Atlantik on yıllarca salınımı, Atlantik havzasının nispi nemi, Kuzey Atlantik deniz yüzeyi sıcaklığı, zonal rüzgar gibi iklim endeksleri dalgacık-ANFIS tahmin modelinde kullanarak Nijer üzerinde maharetli kuraklık tahmin değişkenleri olduğu bulundu.

**2019, 169 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** ANFIS, Dalgacık Dönüşümü, İklim Endeksi, Kuraklık Eğilimi; Kuraklık Periyodiklik, Mann Kendall Testi, Nijer, Sahel, SYEİ ve SYİ.

## ABSTRACT

Ph.D. Thesis

### **ANALYSIS AND FORECAST OF METEOROLOGICAL DROUGHT ASSOCIATED WITH CLIMATE INDICES IN NIGER: A COMBINED WAVELET-ANFIS APPROACH**

Zakari Seybou ABDOURAHAMANE

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Reşat ACAR

In this study, based on a 3-month scale standardised precipitation index (SPI) and standardised precipitation evapotranspiration index (SPEI), meteorological drought variability and its connection with 16 large-scale climate indices were analysed at a homogeneous rainfall region (HRs) scale in Niger. The rainfall data of 158 stations spanning the period 1950-2016 were used to identify HRs over the country using principal component analysis (PCA) technique. For each identified HR, the SPI and SPEI were computed as drought quantifying parameters through which drought duration, intensity and severity were assessed. Drought trend analyses were performed using Mann-Kendall (MK) test and trend-free pre-whitening MK test, whereas periodicity analysis was achieved using continuous wavelet transform. The teleconnection between the drought indices and the climate indices was assessed using linear cross-correlation analysis and cross-wavelet analysis. The most influential climate indices were then considered as input variables in a drought prediction model based on adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) and a combined wavelet-ANFIS approach. In all of the nine identified HRs, a significant decrease in drought duration, severity and frequency was found after the year 1990 in comparison to the 1970s and 1980s. However, some intense drought events, with relatively short durations, were observed after the 1990s. In addition, the trend analysis showed a degradation of drought conditions in all of the HRs. Moreover, the magnitude of the downward trends found in the SPEI series is higher than those of the SPI series, therefore, showing the negative impact of global warming over the country's climate. Finally, the Atlantic multidecadal oscillation, the relative humidity from the Atlantic basin, the sea surface temperature from the Atlantic basin, zonal wind and several other climate indices were found to be skilful drought predictors over Niger by using the wavelet-ANFIS forecasting model.

**2019, 169 pages**

**Keywords:** ANFIS, Climate Index, Drought Periodicity, Drought Trend, Mann Kendall Test, Niger, Sahel, SPI, SPEI and Wavelet Transform.

## TEŞEKKÜRLER

Bir tezin başarısı kesinlikle yazara aittir, fakat aynı zamanda onu destekleyen danışmanına da aittir. Bu nedenle her Şeyden önce benim tez danışmanı sayın Prof. Dr. Reşat ACAR Hoca içten ve sıcak teŐekkürlerimi sunarım. İnşaat Mühendisliği Bölümünde bana verdiği sıcak karŐılıma ve bu kurumun akademik ortamına entegrasyonuma katkıda bulunduğu için minnettarım.

Ayrıca, İnşaat Mühendisliği ana bilim dalı ve özellikle Hidrolik bilim dalında tüm hocalara teŐekkürlerimi sunarım.

Türkiye’de bana doktora bursu verdiği için YurtdıŐı ve Türkler Akraba Topluklar Başkanlığı’na çok teŐekkür ederim.

Bu tezinde kullanılan yağış verileri verdiği için Nijer Ulusal Meteoroloji Kurumuna çok teŐekkür ediyorum.

Kullanılan iklim endeksleri verdiği için Amerika Birleşik Devletleri'nin Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi ne teŐekkür ediyorum.

Son olarak, eŐime, kızıma ve ebeveynlerime, bana duydukları güven ve bana doruğa ulaŐtıĐım tüm bu doktora yolunu gösterme konusundaki desteklerinden dolayı teŐekkür ediyorum.

**Zakari Seybou ABDOURAHAMANE**

**Aralık, 2019**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜRLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Tezin Amacı .....	5
1.2. Literatür Özeti .....	7
1.2.1. Bulanık mantık .....	7
1.2.2. Yapay sinir ağları (YSA) .....	9
1.2.3. Adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) .....	12
1.2.4. Dalgacık dönüşümü.....	14
1.2.5. Dalgacık-ANFIS .....	16
1.2.6. Yerel tahmin teknikleri .....	17
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>22</b>
2.1. Atmosferin Genel Dolaşımı .....	22
2.2. Meteorolojik Kuraklık Karakterizasyonu ve Kuraklık Endeksleri .....	25
2.2.1. Normal yağış yüzdesi.....	26
2.2.2. Kesikli ve birikimli yağış anomalileri.....	26
2.2.3. Nicelikler (beştebirlikler, ondabirlikler ve yüzdebirlikler) .....	27
2.2.4. Standartlaştırılmış yağış indeksi (SYİ) .....	27
2.2.5. Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi (SYEİ).....	27
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>29</b>
3.1. Çalışma Alanı.....	29
3.2. Veri Tanımı .....	30
3.2.1. Yağış verileri.....	30
3.2.2. Sıcaklık verileri .....	31
3.2.3. İklim endeksleri.....	31

3.3.	Yağış Verilerinin Ön İşlenmesi.....	33
3.3.1.	Yağış eksik verilerin tamamlanması .....	33
3.3.2.	Homojenlik analizi .....	36
3.4.	Yağış Homojen Bölgelerinin Tanımı .....	40
3.5.	Standartlaştırılmış Yağış İndeksi .....	43
3.6.	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi .....	44
3.7.	Trend Analizi: Mann-Kendall ve TFPWMK Testleri .....	46
3.8.	Periyodiklik Analizi: Sürekli Dalgacık Dönüşümü CWT.....	48
3.9.	Nijer'de Kuraklık Oluşumu ile İklim Endeksleri Arasındaki İlişki.....	49
3.10.	Kesikli Dalgacık Dönüşümü: Zaman Serisi Ayrışması .....	51
3.11.	Meteorolojik Kuraklık Tahmin Modeli.....	52
3.11.1.	Adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) .....	52
3.11.2.	Dalgacık-ANFIS Modeli .....	59
3.11.3.	Tahmin Doğruluğu .....	59
<b>4.</b>	<b>ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>60</b>
4.1.	Yağış Eksik Verilerin Tamamlanması .....	60
4.2.	Yağış Serilerin Homojenlik Testi .....	60
4.3.	Homojen Yağış Bölgelerinin Belirlenmesi .....	63
4.4.	SYİ Hesaplaması .....	67
4.5.	SYEİ Hesaplaması .....	74
4.6.	Kuraklık Eğilim Analizi .....	80
4.7.	Kuraklık Periyodiklik Analizi .....	85
4.8.	Doğrusal Çapraz Korelasyon ve XWT Analizi.....	93
4.9.	Kuraklık Tahmin Modeli.....	111
<b>5.</b>	<b>SONUÇ .....</b>	<b>125</b>
KANAKLAR	.....	127
EKLER	.....	135
EK 1	.....	135
EK 2	.....	141
EK 3	.....	145
EK 4	.....	151
ÖZGEÇMİŞ	.....	169



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

L	Gecikme zamanı
ln	Doğal logaritma
R <sup>2</sup>	Belirleme Katsayısı
r <sub>p</sub>	Pearson korelasyon katsayısı
μ	Ortalama
σ	Standart sapma
Γ	Gamma fonksyonu
ψ	Dalgacık dönüşüm fonksyonu
ω	Boyutsuz frekans parametresi
ε	Artık terim
τ	Zaman adımı
w <sub>i</sub>	ANFIS kural ateşleme gücü

### Kısaltmalar

ACF	Otokorelasyon Fonksyonu
ACMAD	Afrika Kalkınma için Meteorolojik Uygulama Merkezi
AMM	Atlantik Meridyenel Modu
AMO	Atlantik Onlarca Yıllık Salınımı
ANFIS	Adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi
ANN	Yapay Sinir Ağları
CRU	İklimsel Araştırma Birimi
CWT	Sürekli Dalgacık Dönüşümü
DMN	Ulusal Meteoroloji Müdürlüğü
DWT	Kesikli Dalgacık Dönüşümü
EDI	Etkin Kuraklık İndeksi
ESRL	Yeryüzü Sistem Araştırma Laboratuvarı

GpH	Jeopotansiyel Yükseklik
HR	Homojen Yağış Bölge
ITCZ	İntertropikal Yakınsama Bölgesi
JAS	Temmuz-Ağustos-Eylül
NAO	Kuzey Atlantik Salınımı
NOAA	Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi
NPP	Kuzey Pasifik Deseni
PACF	Kısmı Otokorelasyon Fonksyonu
PCA	Ana Bileşen Analizi
PDO	Pasifik Onlarca Yıllık Salınımı
PET	Potansiyel Evapo-Transpirasyon
RCOFs	Bölgesel İklim Görünümü Forumları
RH	Nispi Nemi
SLP	Deniz Seviyesi Basıncı
SOI	Güney Salınımı İndeksi
SST	Deniz Seviyesinin Sıcaklığı
SYEİ	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi
SYİ	Standartlaştırılmış Yağış İndeksi
TFPMK	Trend Free Pre-Whitening Mann Kendall
WHWP	Batı Yarımküre Sıcak Havuz
XWT	Çapraz Dalgacık Analizi
YSA	Yapay Sinir Ağları

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Afrika kıtasında Sahel bölgesinin konumu.....	4
Şekil 1.2. Temmuz-Ağustos-Eylül 2017 için RCOFs mevsimsel yağış tahminleri.....	21
Şekil 2.1. Atmosfer genel dolaşımının basitleştirilmiş modeli.....	23
Şekil 2.2. ITCZ'nin yüksek ve alçak enlem pozisyonları.....	23
Şekil 3.1. Nijer'deki eko-iklim bölgeleri ve yağış istasyonlarının konumu .....	30
Şekil 3.2. SYİ ile iklim endeksleri arasında gecikme zamanı.....	50
Şekil 3.3. DWT zaman seri ayrışması metodu .....	52
Şekil 3.4. Bulanık çıkarım sistemi (FIS).....	53
Şekil 3.5. Sugeno bulanık çıkarım mekanizması ve ANFIS mekanizması.....	54
Şekil 4.1. Guidan Roudji istasyonu için tamamlanan yağış serisi.....	60
Şekil 4.2. Çift Toplam Eğrisi - Tchibiri Maradi yağış serileri.....	63
Şekil 4.3. JAS yağış miktarları.....	64
Şekil 4.4. Yağış homojen bölgeler sınırları.....	65
Şekil 4.5. HR'ların iklim bölgelerine göre dağılımı.....	65
Şekil 4.6. HR'lerin idari bölgelere göre dağılımı.....	66
Şekil 4.7. SYİ serilerin çubuk grafiği.....	68
Şekil 4.8. SYEİ serilerin çubuk grafiği.....	74
Şekil 4.9. SYİ serilerin ACF.....	81
Şekil 4.10. SYEİ serilerin ACF.....	82
Şekil 4.11. SYİ serilerin PACF.....	82
Şekil 4.12. SYEİ serilerin PACF.....	83
Şekil 4.13. SYİ tabanlı kuraklık eğilim haritası.....	84
Şekil 4.14. SYEİ tabanlı kuraklık eğilim haritası.....	85
Şekil 4.15. HR1'nin SYİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	85
Şekil 4.16. HR2'nin SYİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	86
Şekil 4.17. HR3'nin SYİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	86
Şekil 4.18. HR4'nin SYİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	86
Şekil 4.19. HR5'nin SYİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	87
Şekil 4.20. HR6'nin SYİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	87

<b>Şekil 4.21.</b>	HR7'nin SYİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	87
<b>Şekil 4.22.</b>	HR8'nin SYİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	88
<b>Şekil 4.23.</b>	HR9'nin SYİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	88
<b>Şekil 4.24.</b>	HR1'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	89
<b>Şekil 4.25.</b>	HR2'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	90
<b>Şekil 4.26.</b>	HR3'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	90
<b>Şekil 4.27.</b>	HR4'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	90
<b>Şekil 4.28.</b>	HR5'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	91
<b>Şekil 4.29.</b>	HR6'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	91
<b>Şekil 4.30.</b>	HR7'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	91
<b>Şekil 4.31.</b>	HR8'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	92
<b>Şekil 4.32.</b>	HR9'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü .....	92
<b>Şekil 4.33.</b>	HR1'de SYİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum.....	97
<b>Şekil 4.34.</b>	HR2'de SYİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum.....	99
<b>Şekil 4.35.</b>	HR3'de SYİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum.....	99
<b>Şekil 4.36.</b>	HR4'de SYİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum.....	100
<b>Şekil 4.37.</b>	HR5'de SYİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum.....	101
<b>Şekil 4.38.</b>	HR6'de SYİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum.....	102
<b>Şekil 4.39.</b>	HR7'de SYİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum.....	103
<b>Şekil 4.40.</b>	HR8'de SYİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum.....	104
<b>Şekil 4.41.</b>	HR9'de SYİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum.....	104
<b>Şekil 4.42.</b>	HR1'de SYEİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum...	105
<b>Şekil 4.43.</b>	HR2'de SYEİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum...	106
<b>Şekil 4.44.</b>	HR3'de SYEİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum...	106
<b>Şekil 4.45.</b>	HR4'de SYEİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum...	107
<b>Şekil 4.46.</b>	HR5'de SYEİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum..	108
<b>Şekil 4.47.</b>	HR6'de SYEİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum...	108
<b>Şekil 4.48.</b>	HR7'de SYEİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum...	109
<b>Şekil 4.49.</b>	HR8'de SYEİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum...	110
<b>Şekil 4.50.</b>	HR9'de SYEİ ile iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrum...	110
<b>Şekil 4.51.</b>	Giriş üyelik fonksiyon örneği.....	113
<b>Şekil 4.52.</b>	HR1 için ANFIS tabanlı SYİ tahmin sonuçları.....	114

<b>Şekil 4.53.</b> HR2 için ANFIS tabanlı SYİ tahmin sonuçları.....	115
<b>Şekil 4.54.</b> HR1 için ANFIS tabanlı SYEİ tahmin sonuçları.....	116
<b>Şekil 4.55.</b> HR2 için ANFIS tabanlı SYEİ tahmin sonuçları.....	116
<b>Şekil 4.56.</b> AMO, nispi nemi, WHWP ve NAO orijinal ve DWT zaman serileri.....	117
<b>Şekil 4.57.</b> SLP, NPP, Zonal Rüzgar ve SST orijinal ve DWT zaman serileri.....	118
<b>Şekil 4.58.</b> SOI, Akdeniz nispi nemi ve AMM orijinal ve DWT zaman serileri.....	119
<b>Şekil 4.59.</b> HR1 için dalgacık-ANFIS tabanlı SYİ tahmin sonuçları.....	120
<b>Şekil 4.60.</b> HR2 için dalgacık-ANFIS tabanlı SYEİ tahmin sonuçları.....	120
<b>Şekil 4.61.</b> HR1 için dalgacık-ANFIS tabanlı SYEİ tahmin sonuçları.....	121
<b>Şekil 4.62.</b> HR2 için dalgacık-ANFIS tabanlı SYEİ tahmin sonuçları.....	122
<b>Şekil 4.63.</b> Gözlemlenen ve tahmin edilen SYİ dayalı kuraklık sınıfları.....	122
<b>Şekil 4.64.</b> Gözlemlenen ve tahmin edilen SYEİ dayalı kuraklık sınıfları.....	123

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. İklim endeksleri.....	32
Çizelge 3.2. $T_0$ istatistiği için kritik değerler.....	38
Çizelge 3.3. Pettit test istatistiklerin kritik değerleri.....	38
Çizelge 3.4. Buishand testin $R/\sqrt{n}$ kritik değerleri.....	39
Çizelge 3.5. Von Neumann oran testinin kritik değerleri.....	40
Çizelge 3.6. SYİ ' ye göre kuraklık sınıfları.....	44
Çizelge 4.1. $n = 67$ için istatistik testlerin kritik değerleri.....	61
Çizelge 4.2. Homojenlik testlerin istatistiklerin kritik değerleri.....	62
Çizelge 4.3. Homojen olmayan istasyonlar.....	62
Çizelge 4.4. Açıklanan toplam varyansı.....	64
Çizelge 4.5. SYİ serisi için uygun olasılık dağılımı.....	67
Çizelge 4.6. SYİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR1.....	69
Çizelge 4.7. SYİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR2.....	69
Çizelge 4.8. SYİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR3.....	70
Çizelge 4.9. SYİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR4.....	70
Çizelge 4.10. SYİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR5.....	71
Çizelge 4.11. SYİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR6.....	71
Çizelge 4.12. SYİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR7.....	72
Çizelge 4.13. SYİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR8.....	72
Çizelge 4.14. SYİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR9.....	73
Çizelge 4.15. SYEİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR1.....	75
Çizelge 4.16. SYEİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR2.....	75
Çizelge 4.17. SYEİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR3.....	76
Çizelge 4.18. SYEİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR4.....	76
Çizelge 4.19. SYEİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR5.....	77
Çizelge 4.20. SYEİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR6.....	77
Çizelge 4.21. SYEİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR7.....	78
Çizelge 4.22. SYEİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR8.....	78
Çizelge 4.23. SYEİ'ye göre kuraklık özellikleri – HR9.....	79

<b>Çizelge 4.24.</b> SYİ serileri için MK testin sonuçları.....	80
<b>Çizelge 4.25.</b> SYEİ serileri için MK testin sonuçları.....	80
<b>Çizelge 4.26.</b> SYİ serileri için TFPWMK testin sonuçları.....	83
<b>Çizelge 4.27.</b> SYEİ serileri için TFPWMK testin sonuçları.....	84
<b>Çizelge 4.28.</b> SYİ dayanan kuraklık dönüş süresi.....	89
<b>Çizelge 4.29.</b> SYEİ dayanan kuraklık dönüş süresi.....	93
<b>Çizelge 4.30.</b> SYİ serileri ve iklim endeksleri arasında $r_p$ ve gecikme zamanı.....	94
<b>Çizelge 4.31.</b> SYEİ serileri ve iklim endeksleri arasında $r_p$ ve gecikme zamanı.....	95
<b>Çizelge 4.32.</b> XWT analizinde iklim endeksleri ile SYİ arasında gecikme zamanı.....	96
<b>Çizelge 4.33.</b> XWT analizinde iklim endeksleri ile SYEİ arasında gecikme zamanı.....	97
<b>Çizelge 4.34.</b> SYİ tabanlı kuraklık maharetli belirleyicileri.....	112
<b>Çizelge 4.35.</b> SYEİ tabanlı kuraklık maharetli belirleyicileri.....	113
<b>Çizelge 4.36.</b> SYİ modeli için ANFIS tahmin doğruluğu.....	114
<b>Çizelge 4.37.</b> SYEİ modeli için ANFIS tahmin doğruluğu.....	115
<b>Çizelge 4.38.</b> SYİ modeli için dalgacık-ANFIS tahmin doğruluğu.....	119
<b>Çizelge 4.39.</b> SYEİ modeli için dalgacık-ANFIS tahmin doğruluğu.....	121

## 1. GİRİŞ

Su, dünyamızdaki her türlü yaşamın varlığı için temel bir bileşendir ve neredeyse tüm gerekli insan faaliyetleri bu doğal kaynağın kullanımına bağlıdır. Bu nedenle, tüm insan uygarlığı suyun kullanımı üzerine inşa edilmiştir. Doğadaki suyun sürekli hareketi su döngüsü olarak bilinir. Aslında, su gerçekten doğamızdan asla uzaklaşmaz, yalnızca biçimi ve mekânsal-zamansal dağılımı değişir. Bu nedenle, farklı zaman dilimlerinde Dünya'nın farklı bölgelerinde eksik veya bol su olabilir. Bir bölgedeki su ihtiyacını karşılayacak yeterli su kaynağının olmaması, pek çok toplumun ve Dünyanın yüz yüze kaldığı başlıca sorunlar arasındadır (UNDP, 2006). Bundan başka, kuraklık gibi doğal tehlikeler ve su kaynaklarının sürdürülemez kullanımı günümüzde önemli bir toplumsal sorun haline gelmektedir. Buna ek olarak, küresel ısınma, nüfus artışı ve sanayileşme nedeniyle su talebindeki artış, dünyanın birçok yerinde su kıtlığı konusundaki zorlu zorluğa neden oluyor. Bilim ve teknolojinin ilerlemesine ve dünya nüfus gelişmesindeki ilerlemeye rağmen, kuraklık 21. yüzyılda en yıkıcı ve ölümcül doğal tehlikelerden biri olmayı sürdürüyor.

Kuraklık genel olarak, yağış miktarında eksiklik demektir. Mevcut su kaynakları ve su talebi ile karşılaştırıldığında bu eksikliğin oluşumu, dağılımı ve yoğunluğu kuraklığın başlıca nedenleri arasındadır. Böylece kuraklık, belirli bir alanın yağış miktarını normal seviyelerinin altına düştüğünde genellikle ortaya çıkan bir su eksikliği dönemi olarak tanımlanmaktadır (Maftai, 2015). Yüksek sıcaklık, yüksek rüzgâr ve düşük nispi nem gibi diğer iklim faktörleri genellikle kuraklık ile ilişkilendirilir. Dahası, kuraklık, farklı su kullanıcıları ve su araştırmacıların tarafından farklı şekillerde incelenmektedir. Böylece, Kuraklık tanımları iki şekilde yapılabilir, (i) Kavramsal ve (ii) Operasyonel (Wilhite and Glantz, 1985). Kavramsal tanımlamalar, kuraklığın anlamını ve etkilerini anlamaya yardımcı olur. Örneğin, kuraklık yağış eksikliğinin uzun bir dönemidir ve bu da bitkilere büyük zarar verir ve verim kaybına neden olur. Bu tanımlar genellikle belirsizdir, bir kuraklığın 'ne zaman', 'ne kadar uzun', 'ne kadar şiddetli' olduğuna nicel yanıtlar veremez ve genellikle bilimsel makale ve raporlarda bir başlangıç olarak kullanılır. Operasyonel tanımlamalar ise kuraklığın başlangıcı, bitişi ve şiddeti derecesinin belirlenmesine



yardımcı olur. Kuraklığın başlangıcını belirlemek için operasyonel tanımlamalar, bir süre boyunca yağış ortalamasından ayrılma derecesini belirtmektedir. Bu, genellikle, mevcut durumu tarihsel ortalamayla karşılaştırarak gerçekleştirilir (en az 30 yıl ortalaması).

Kuraklık olayını ve bununla ilgili etkileri anlamak için kuraklık dört tipe ayrılır (Wilhite and Glantz, 1985): Meteorolojik, Hidrolojik, Tarımsal ve Sosyo-Ekonomik. Meteorolojik kuraklık, belirli bir alanda normal yağıştan önemli bir düşüş olduğu bir durumdur. Meteorolojik kuraklık, uzun sürerse, hidrolojik kuraklıkla sonuçlanır. Bu kuraklık tipinde, belirgin olarak yüzey sularının tükenmesine ve bunun sonucunda göller, rezervuarlar, akarsular, nehirler gibi iç su kütlelerinin kurumasına ve su tablasının seviyesine düşmesine neden olur. Tarımsal kuraklık, toprak nemi ve yağmuru, mahsulün olgunluğa kadar büyümesini desteklemede yetersiz kaldığında ve tarımda verim kaybına yol açar. Sosyo-ekonomik kuraklık, söz konusu üç kuraklık türünden herhangi biri toplumu ve ekonomiyi etkilemeye başladığında meydana gelir (Abdourahamane and Acar, 2018; Mishra and Singh, 2010).

Yağış eksikliğinin kuraklığın başlıca nedeni olduğu çok iyi bilinmesine rağmen, dünyadaki yağış eksikliğinin nedenlerini doğru bir şekilde belirlemek, bilim dünyası için zorlu bir iştir. Dünyanın farklı bölgelerindeki yağış rejimleri, çoğunlukla atmosferik dolaşım ve yerel coğrafi koşullar tarafından belirlenir (Kousky *et al.*, 1984). Su bolluğunu (ıslaklık) ve kısıtlılığı (kuraklık) karakterize eden yağış anormallikleri büyük oranda atmosferik dolaşım desenleri (Atmospheric Circulation Patterns, ACPs) tarafından kontrol edilir. ACPs 'ler, genellikle belirli bir bölgedeki atmosferik dolaşımın yoğunluğunu ve etkisini belirleyen belirli bir zaman aralığında sayısal endekslerle temsil edilir. Küresel sıcaklığın artması ve deniz seviyesinin yükselmesi ile kuraklık ile okyanus atmosferik indeksleri arasındaki bağıntıları önemli ölçüde artmıştır.

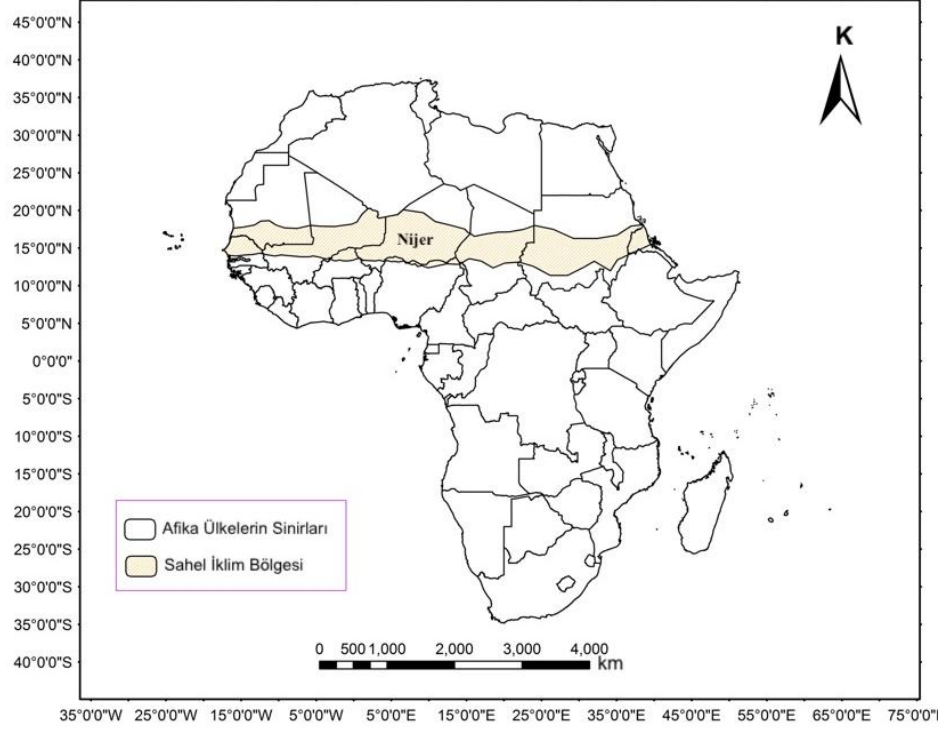
Kuraklık, sosyo-politik, sosyo-ekonomik ve çevresel etkileri birbiriyle ilişkilendirmektedir (Şen, 2015). Kuraklığın tekrarlayan ve tahrip edici etkileri arasında gıda güvensizliği (ürün verimi düşüşü, temel stokların tükenmesi), göç, ekonomik kayıplar, arazi bozulması (tarım arazilerinin azaltılması) ve çölleşme bulunmaktadır.

Below *et al.* (2007) 1900 ve 2004 yılları arasında kuraklıklar, doğal afetlerden kaynaklanan ölümlerin %50'sinden fazlasına, afetlerden etkilenen nüfusun %35'ine ve ekonomik kayıpların %7'sine neden olduğunu bildirmiştir. Bu rakamlar sadece sel ve depremlerle aşıyor. Sel, don, kasırgalar gibi belirli iklimsel tehlikeler genellikle belli bir zamanda belirli bir yeri etkiler. Kuraklıkların süresi ya da etki alanı açısından belirlenmesi zor olan etkileri vardır. Kuraklıkların ekonomik etkileri büyük olasılıkla muhtemeldir çünkü dolaylı etkilerin doğrudan etkilere göre değerlendirilmesi daha zordur (Ponvert-Delisle *et al.*, 2007).

Kuraklık, dünyanın herhangi bir yerinde oluşabilen doğal bir tehlikedir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli, dördüncü raporunda (IPCC, 2007) kuraklıktan etkilenen alanların 1970 'lerden beri küresel olarak arttığını belirtmiştir. Ayrıca, tarım, su temini, enerji üretimi ve sağlık gibi olumsuz çeşitli sektörleri etkileyen küresel ısınmadan dolayı kuraklıktan etkilenen alanlar artacaktır (IPCC, 2007). En maruz kalan alanlar, gelişmekte olan ülkelerin yarı kurak bölgeleridir. Afrika Sahel'i bu bölgelerin en büyük alanlarından biridir. Atlas Okyanusu'ndan 30° Doğu'ya ve 12° ila 17° Kuzey'e kadar Sahra Çölünün güney kenarında yer alan eko-iklim kuşağı olarak kabul edilen yarı kurak bir bölgedir (Şekil 1.1). Bu bölgede, kuraklık en yıkıcı doğal tehlike olarak biliniyor. Jeopolitik bir perspektiften, Afrika Sahel iki bölüme tanımlanmaktadır: Batı Afrika Sahel ve Doğu Afrika Sahel. Batı Afrika Sahel, Nijer, Mali, Burkina Faso, Senegal, Gine, Nijerya ve Moritanya 'da bulunmaktadır.

Nijer'de, nüfus çoğunlukla ülkenin Sahel bölgesinin kırsal alanlarına yerleşmektedir. Nijerliler %80'inin geliri doğrudan arazi ile ilgilidir. Yağmurla beslenen tarım ve hayvancılık ana ekonomik faaliyetleri teşkil etmektedir. Tekrarlayan kuraklıklar, ülkenin gelişimini yavaşlatan başlıca faktörler arasındadır. Son zamanlarda kuraklık, on milyonlarca insanı etkilemiş ve önemli ekonomik ve çevresel kayıplara neden olmuştur. Uluslararası Afet veri tabanına (International Disaster Database) göre (Guha-Sapir *et al.*, 2014), Nijer'deki kuraklıklar 2005'te 3 milyon, 2009'da 7,9 milyon, 2011'de üç milyon, 2015'te 2,6 milyon ve 2017'de 1,13 milyon insanı etkilemiştir. Telafi edilemez ekonomik kayıplara ve zararlı sosyo-çevresel etkilere (örneğin, gıda krizi, hayvancılık kayıpları, kırsal yerinden etme ve Sahra Çölünün gelişimi) neden olmuştur. Kuraklığa meyilli bir

ülke olmasına rağmen, kuraklık olgusunun gerekli bir şekilde kavranması paydaşlar, su kaynakları yöneticisi ve su kullanıcıları için zor bir iştir. Bu durum esas olarak kuraklığa ilişkin belirli araştırmaların eksikliğinden kaynaklanmaktadır.



**Şekil 1.1.** Afrika kıtasında Sahel bölgesinin konumu

Öte yandan, kuraklıkların mekânsal ve zamansal analizi için iyi dağıtılmış yağış istasyonları ağı, uzun vadeli (en az 30 yıl) yağış serileri ve sürekli yağış kayıtları gerekmektedir. Nijer'de ilk yağış istasyonları sömürge döneminde oluşturulmuş. 1905 yılında ülkenin sadece iki yağış istasyonu vardı ve bugün mevcut olan iklim istasyonları ve yağmur göstergelerinin çoğu 1940'lardan sonra kurulmuş (Barbé and Lebel, 1997). Bugüne kadar, yüksek yoğunluklu ve düzgün dağılmış yağmur ölçerinin şebekesi yetersizdir ve yağmur ölçeklerinin birçoğu hizmet dışıdır, bu nedenle ülkenin büyük kesimlerinde yağış bilgisi yoktur. Dahası, kuraklığın analizi, mekanizmasının karmaşıklığı ve oluşunun tahmini üzerindeki belirsizlik gibi birçok sınırlamaya maruz kalmaktadır. Ancak, kuraklık olgunun dinamiklerini, çeşitli mekânsal ve zamansal çözünürlük göstergelerinden, erken uyarı sistemlerini tamamlayan karmaşık simülasyon

modellerine kadar pek çok yaklaşım bulunmaktadır. Bu araçların çoğu deney aşamasındadır, bu nedenle, gelişmekte olan ülkelerde kullanımı yaygın değildir.

Günümüze kadar, belirli kuraklık analizi ve tahmini, hem de etkili bir kuraklık erken uyarı sistemlerine kadar, Nijer'de nadirdir. Bu yüzden, hükümetin sürdürülebilir kuraklık hazırlığı ve acil durumlardan kaçınmak için hafifletme politikası yetersizdir.

### 1.1. Tezin Amacı

Yirminci yüzyılın son otuz yıllarında, Sahel bölgesi, yağış serisinde bir süreksizliğe (ani değişim) karşılık gelen önemli bir kuraklık yaşamıştır (L'Hote *et al.*, 2002). Karşılık gelen düşen yağış ve yıkıcı kuraklıkları, iklim araştırmaları topluluğu tarafından kabul edilen en tartışmalı ve en büyük iklim değişiklikleri arasında yer almaktadır (Dai *et al.*, 2004). Bundan sonra, bu bölgede, kuraklık sorununun çözümünde dünyadaki bilim toplumunun dikkatini çekmiştir. Bu şekilde, Sahel'deki zamansal yağış değişkenliği, okyanus havzaları ve atmosferik dinamiklerin etkileri ile ilişkilendirilmiştir (Dieppois *et al.*, 2015; Folland *et al.*, 1986; Giannini *et al.*, 2008). Aynı şekilde, Charney *et al.* (1975) gibi bazı çalışmalar kuraklığın insan doğal kaynaklarının yanlış yönetilmesi (ağaç kesimi, aşırı otlama ve tarımın marjinal bölgeler haline gelmesi gibi) insan kaynaklı etkinlikleri ile ilişkilendirilmiştir.

1990'lardan sonra, Batı Afrika Sahel ülkelerinde yağışlı yıllar yaşanmıştır (1998, 1999, 2003, 2013). Bu gözlemlenen yağışlı yıllar, Sahel'deki uzun süren kuraklığının olası bir sonu olarak ortaya çıkmıştır ve yağışlar değişkenlikleri ile okyanus-atmosferik indekslerin arasındaki ilişkilerinde olası değişiklikler kaynaklanıyor. Ayrıca, bu yağışlı yılların arasında kurak yıllar (örneğin, 1995, 2005, 2009, 2011) da meydana geldiler, bu nedenle bilim topluluğunda Sahel'in yağış rejiminin olası bir iyileştirmesi üzerine bir tartışma başlatmıştır. Kuraklığın olası bitişi veya ısrarına ilişkin spekülasyonlar devam ettiği için, Sahel'deki insanlar kuraklık sıkıntısı çekmeye devam etmekte ve gelecek kuraklık koşulları konusu belirsizdir.

Sahel Bölgedeki kuraklıkları araştıran birkaç çalışma olmasına rağmen, kuraklık şiddeti, süre, eğilim, tekerrür aralığı ve iklim değişikliği bakımında kuraklığın konumsal ve zamansal değişkenlik özelliklerini inceleyen çok az araştırma vardır. Bunun sonucu olarak, yerel yönetimlerin su kaynakları yönetimi ve sürdürülebilir kalkınma planlaması politikalarının etkinliği sınırlıdır. Ayrıca, daha önceki kuraklık araştırmaların çoğunda, tüm Sahel bölgesi üzerinde tek bir ortalama yağış miktarı kullanılmış, çökelmelerin güçlü mekânsal değişkenliğini hafife alan bir girdi veri olarak kullanılmış ve yağışların güçlü mekânsal değişkenliğini hafife almışlardı. Ek olarak, Sahel bölgesi için kuraklık karakterizasyonunda yapılan çeşitli çalışmalar da, çoğu geleneksel istatistiksel yöntemleri kullanmışlardı.

Günümüzde, hesaplamalı bilimlerdeki ilerlemelerle birlikte, kuraklık modellemesinde yapay zekanın klasik istatistik yöntemlerinden daha etkili olduğu gösterilmiştir. Öte yanda iklim değişikliği etkileri, bu kırılgan bölgede daha spesifik kuraklık analizinin (ülke, alt bölgeler ve/veya homojen yağış bölgesi ölçeği) gerçekleştirilmesinin gerekliliğini göstermiştir. Ülke genelinde zamansal-konumsal kuraklık değişkenlik özelliklerinin iyice karakterize edilirse ve iyi bir kuraklık tahmini modeli kurması ile, kuraklık hazırlığı ve zararları azaltmak için sürdürülebilir çalışmalar yapılabilir. Bu alışmalar arasında, kuraklık haritasına ve tahmini bilgilere, su kaynakları depolama yöntemlerinin benimsenmesine göre bitki kesitlerini atf yapılabilir. Aynı zamanda, bölgedeki kuraklığa katkıda bulunan antropojenik eylemleri analiz ederek Sahel bölgelerinde yaşayanlar sürdürülebilir kuraklık kültürünü benimseyebilirler. Böylece, hükümetin ve sivil toplum kuruluşların (STK) ülkedeki sürdürülebilir kuraklığa hazırlık çalışmaları ve kuraklığın zararları azaltmak için somut adımlar atmaları için birlikte çalışabilirler.

Bu nedenle bu tezin temel amacı, Nijer'de iklim endekslerine bağlı meteorolojik kuraklık değişkenliğini analiz ve tahmin etmektir. Bu tez aşağıdaki spesifik amaçlar içerir:

1) Ana bileşen analizi (PCA) kullanarak ülke çapında homojen yağış bölgelerinin tanımlanması.

- 2) Her homojen yağış bölge için standartlaştırılmış yağış endeksinin (SYİ) ve standartlaştırılmış yağış-evapotranspirasyon endeksinin hesaplanması.
- 3) Mann-Kendall, TFPWMK (İngilizce olarak Trend Free Pre-whitening Mann-Kendall) testleri kullanarak SYİ ve SYEİ endekslerindeki eğilimi değerlendirmesi.
- 4) Bahsedilen kuraklık endekslerinde sürekli dalgacık dönüşümü (CWT) kullanılarak kuraklık periyodiklik analizi etmesi.
- 5) Doğrusal korelasyon ve çapraz-dalgacık analizi kullanarak SYİ ve SYEİ endeksleri ile iklim indeksleri arasındaki bağlantı analizi etmesi.
- 6) Adım 5'teki en etkili olan iklim indeksleri, SYİ ve SYEİ 'yi öngörü olarak ANFIS ve Dalgacık-ANFIS tabanlı kuraklık tahmin modelinde öngörücüler olarak kullanılacaktır.

Bu araştırmanın her adımındaki sonuçları coğrafi bilgi sistemi (ArcGIS) kullanılarak bir kuraklık haritasında somutlaştırılacaktır.

## **1.2. Literatür Özeti**

### **1.2.1. Bulanık mantık**

Bulanık Mantık (FL), Zadeh (1965) tarafından tasarlanmış ve başlatılmıştır. Bulanık Algoritma, değişkenlerin değerlerini ve aralarındaki ilişkileri karakterize etmek için dilsel ifadelerin sistematik bir şekilde kullanılmasına dayanır. Bulanık teori dinamik, doğrusal olmayan ve gürültülü verilerin işlenmesinde son derecede etkilidir; özellikle fiziksel ilişkiler tam olarak anlaşılmadığında. Ayrıca, FL modelleri, çıkarım süreci boyunca iklim süreçlerinin uzmanlaşmış dil bilgisel anlayışını dahil etme imkânına sahiptir. FL tekniği insan dilinde daha anlaşılır, daha az karmaşık ve sağlam modeller üretme

potansiyeline sahiptir. Hava olaylarını tahmin etmek, kuraklık ve yağış miktarı tahmin etmek ve yağış akış proseslerini modellemek için başarıyla kullanılmıştır.

Bardossy *et al.* (1990), bulanık regresyonu için genel bir metodoloji geliştirmiş ve toprak elektriksel direnci ile hidrolik geçirgenlik arasındaki ilişkiyi içeren bir vaka çalışması geliştirmiştir. Duckstein and Bogardi (1991), taşkın koruma ve kirletici kontrolünün güvenilirliğinin analizi için kombine bir olasılık-bulanık mantık yaklaşımı uygulamıştır. Dolayısıyla, taşkın koruması için bulanık risk maliyetini iki durum (sel basamağı ve koruma seviyesi) dikkate alınarak hesaplamak mümkündür. Pesti *et al.* (1996), Amerika Birleşik Devletleri batı boyunca atmosfer basıncı kullanarak New Mexico'da Palmer kuraklığının şiddetini tahmin etmek için bulanık mantık metodolojisi geliştirerek genel dolaşım şekilleri ile bölgesel kuraklık arasındaki bağlantıyı modellemiştir. Aylık yağış ile büyük ölçekli dolaşım şekilleri arasındaki ilişkiyi birbirine bağlayan başka bir çalışmada, Özelkan *et al.* (1996), çok değişkenli regresyon modele göre daha iyi bir tahmin ustalığı ispatlanmış bulanık kararlı tabanlı modeller geliştirmiştir. Pongracz *et al.* (1999) Nebraska'nın tipik Great Plains Eyaletinde El Niño Güney Salınım (ENSO) ve büyük ölçekli atmosferik dolaşım modelleri (CP) kullanarak bölgesel kuraklığın tahmini için bulanık kural tabanlı modelleme tekniğini uygulamıştır.

Hesaplamalı bilimde ilerleme ile, bulanık mantık genellikle üyelik fonksiyonunu ve bulanık kuralları otomatik olarak üretmek için makine öğrenimi ile birleştirilir. Bardossy *et al.* (2002), yağış ve sıcaklık ölçek küçülmesi için günlük dolaşım modellerini otomatik olarak sınıflandırmak için bir optimizasyon yöntemi uygulayarak otomatik bulanık kurallar oluşturmuştur. Böylece Orta Avrupa (Almanya) ve Yunanistan'ın Doğu Akdeniz bölgelerindeki basınç alanlarının sınıflandırılması mümkün olmuştur. Nayak *et al.* (2014), Hindistan Narmada havzasındaki rezervuar girişi tahmini için küme tahminine dayanan bulanık model tanımlama uyguladı. Lewis *et al.* (2014), Amerika Birleşik Devletleri'ndeki kuraklığa dayanıklı dallı darı için uygun coğrafi nişi belirlemek için bulanık örtme teknikleri uyguladı.

### 1.2.2. Yapay sinir ağıları (YSA)

Yapay sinir ağıları (YSA'lar) beynin biyolojik sinirsel yapısından esinlenerek bilgisayarlı modellerdir. Yapay sinirler teorisi McCulloch (1943) tarafından ilk kez tanıtılmıştır. Bir sinir ağı suni nöronların topluluğudur. Bir yapay sinir ağı, en basit biçiminde bir biyolojik nöronun matematiksel bir modelidir. Biyolojik nöronlar, herhangi bir sinir sisteminde bilgi işleme için temel ünite olarak anlaşılabilir. Bir yapay sinir nöronunun matematiksel modeli aşağıdakilere dayanmaktadır (McCulloch, 1943):

- 1- Nöronlar, bilgi işlemenin gerçekleştiği sinir sistemindeki temel birimlerdir.
- 2- Gelen bilgiler, bağlantı linkleri vasıtasıyla nöronlar arasında iletilen sinyaller biçimindedir.
- 3- Her bir bağlantı bağı, iletilen sinyali çarpmak için uygun bir ağırlığa sahiptir.
- 4- Her bir nöron, bir çıkış sinyali üretmek için giriş sinyallerinin ağırlıklı toplamına uygulanan bir aktivasyon fonksiyonuyla sonuçlanan bir önyargı veya ateşleme eşiğine bağlı olarak bir iç eylemi vardır.

YSA'lar, her tür sistemin girdi ve çıktıları arasında ilişki kurmada yararlıdır (Nguyen *et al.*, 2003). Bugüne kadar YSA'lar, tahmin alanında en yeni ve en doğru araçlardan biri olarak düşünülebilir. Hidro-iklimsel parametre modellemesindeki uygulamaları, geleneksel istatistik yöntemlerinden daha iyi sonuçlar alınarak popüler hale gelmiştir.

Yağış miktarını YSA'ları kullanarak tahmin etmeye yönelik ilk çalışmalardan biri French *et al.* (1992) tarafından yapılmıştır. Bir dizi simüle yağış olayı kullanarak yağış miktarını tahmin etmesi için bir saat öngören zaman üretmek için bir sinir ağı modeli geliştirmiştir ve eğitmiştir. Sözü edilen modeli, giriş, gizli ve çıktı katmanlarına sahip üç katmanlı bir öğrenme ağıdır. Modelin öğrenmesi, girdi ve çıktı yağış alanlarının bir dizi öğrenme seti



olarak sinir ağına sunulduğu geri yayılımı kullanarak gerçekleştirilir. Çalışma kesin sonuçlar vermesi da karmaşık jeofiziksel süreçleri modellemede YSA'ların rolünün anlaşılması ve değerlendirilmesi için ilk adımı sağlamıştır.

Goswami and Srividya (1996), sinir ağının genel bir yapısını kullanarak Hindistan 'da uzun süreli yıllık yağış tahminlerini gerçekleştirdiler. Uygulanan modelin tutarlı olduğu ve iyi tahmin becerileri uyguladığı bulunmuştur. Hsu *et al.* (1997), uzaktan algılanan bilgilerle kalibre edilmiş ve Japon Adaları ve Florida yarımadası için geçerliliği onaylanmış YSA tabanlı bir yağış tahmin modeli geliştirmiştir. Zemin temelli veriler mevcut olduğunda, ağ parametrelerini tekrar tekrar güncellemek için uyarlanabilir bir prosedür kullanılır. Kuligowski and Barros (1998), Amerika'nın Orta Atlantik Bölgesindeki 0-6 saat aralıktaki yağış miktarını tahmin etmek için, radyasyon tabanlı bir 700-hPa rüzgâr yönünü ve yağmur ölçerin öncül yağış verilerini kullanarak bir YSA modelini geliştirdiler. Ramirez *et al.* (2005), günlük yağış verilerini tahmin etmek için ve doğrusal olmayan bir haritalama oluşturmak için YSA yaklaşımını uygulamıştır. Geliştirilmiş modeli, potansiyel sıcaklık verileri, rüzgar verisinin dikey bileşeni, spesifik nem, hava sıcaklığı, yağışabilen su ve nem gibi verileri ile eğitilmiştir. Sonuçlar, YSA tahminlerinin doğrusal regresyon modelinden elde edilen sonuçlardan daha üstün olduğunu göstermektedir. Morid *et al.* (2007), İran'ın kuzeyindeki kuraklık olaylarının olasılığını ve şiddetini, orta ve uzun vadeli tahminleri için YSA yaklaşımının faydasını incelemiştir. Şu çalışmada, nispeten basit bir mimariye sahip YSA modellerinin, kuru ve ıslak koşullar için, SYİ ve EDI (etkin kuraklık indeksi) zaman serilerini SOI ve NAO iklim indekslerini öngörücü olarak kullanarak, yüksek öngörü doğruluğu sergilediğini göstermiştir. Ochoa-Rivera (2008), bir havzanın çeşitli coğrafi bölgelerinde aynı anda sentetik aylık akarsu akışı serisi oluşturmak için kullanılabilen stokastik yapay sinir ağına (ANN) dayanan bir model geliştirmiştir. Bahsedilen modeli, Alto Tajo Nehri havzası (İspanya) için doğrulanmış ve doğrusal modellere kıyasla daha güvenilir ve sentetik kuraklık serisi oluşturma kabiliyetine sahip olduğu gösterilmiştir. Barua *et al.* (2012), iki doğrusal olmayan bütünleşmiş kuraklık endeksiyle karakterize edilen kuraklığın öngörülmesi için, çok katmanlı bir sinir ağı ve direkt çok kademeli bir sinir ağı olmak üzere iki YSA tahmini modelleri geliştirmiştir. Her iki YSA modeli, bir otomatik

ilerletilebilir entegre ardışık bağımlı hareketli ortalamadan (ARIMA) daha etkilidir. Singh and Borah (2013), Hint yaz mevsiminde yağış miktarını tahmin etmek için ileri geri iletme sinir ağı algoritması kullanmıştır. Yağış zaman serisi veri setini beş sinir ağı mimarisi kullanılarak ayrı ayrı eğiterek, ustaca bir tahmin modeli geliştirmek ve önümüzdeki 5 yıl boyunca mevsimsel yağış değerlerini tahmin etmek mümkün olmuştur. Deo and Sahin (2015), doğu Avustralya'da aylık yağış, sıcaklık, buhar soğurum ve büyük ölçekli iklim endekslerini tahmin ediciler olarak kullanarak Aylık Standartlaştırılmış yağış endeksini tahmin etmede veri tabanlı bir model olarak YSA'nın becerisini test etmiştir. YSA modelinin, aylık SYEİ ve kuraklığa bağlı çalışma bölgesindeki tahmini için veri tabanlı bir araç olduğu bulunmuştur.

ANN uygulaması genellikle kuraklığın tahmin edilmesi veya kuraklık parametresi belirsizlik değerlendirmesi için olasılık analizi için diğer istatistiksel yöntemlerle birleştirilir. Dehghani *et al.* (2014), Güneybatı İran'da bulunan Standart Hidrolojik Kuraklık Endeksi (SHDI) Karoon Nehri'ni YSA kullanarak tahmin etmiştir. Modeli, Çok katmanlı ileri geri yapay sinir ağı (FFANN) kullanılarak eğitilmiştir. Girişlerin bağımlılığının kaldırılması ve giriş değişkenlerinin sayısının azaltılması için ana bileşen analizi (PCA) ve ileri seçim (FS) teknikleri uygulanmıştır. SHDI belirsizliği ve aylık akarsu deşarjı tahminleri bir Monte-Carlo simülasyon yaklaşımı kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmada, YSA'nın hidrolojik ıslak dönemleri doğru bir şekilde tahmin edebileceği, ancak gözlemlenen aşırı düşük kuraklıkların bir kısmının alt belirsizlik bandının dışına çıktığı sonucuna varılmıştır. Rezaeianzadeh *et al.* (2016), Markov zinciri modelleriyle birlikte Verimli bir model olarak Yapay Sinir Ağları'nı (ANN) kullanırken, İran'daki Fars Vilayeti'ndeki Doroodzan havzasındaki kısa vadeli kuraklık tahmininin güvenilirliğini artırdığını bulmuştur. Sahel bölgesinde, baharın yüzey havası sıcaklığı ve deniz yüzey sıcaklığını kullanarak Sahelian yağış anomalilerinin yazını öngören Badr ve Zaitchik (2014), ANN'yi kullanarak kuraklığın öngörülebilirliğini araştırılan birkaç çalışma arasında yer almaktadır. YSA'nın Sahel bölgesinde test edilen sekiz alternatif istatistiksel yöntemin öngördüğü doğruluğu daha iyi bulduğu bulunmuştur. Fakat model, mekânsal değişkenliği göz ardı ederek Sahel 'deki yağış anomalilerinin ortalama bir değerini düşündü.

### 1.2.3. Adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS)

ANFIS hem ANN hem de bulanık sistemlerin faydalarını tek bir çerçevede kullanan yumuşak bir bilgi işlem tekniğidir. Yapay sinir yöntemleri öğrenme yeteneği sağlarken, bulanık yöntemler esnek bilgi-temsil yeteneği sağlar. Dolayısıyla, bunların kombinasyonu hem insan bilgisi hem de girdi-çıkı verilerini temel alan girdi-çıkı haritalama yapabilir. ANFIS, ilk olarak, Sinirsel öğrenme yetenekleri ile donatılmış Sugeno tipi bulanık sistemlerin uyarlamalı bir temsilini geliştiren Jang (1993) tarafından sunulmuştur. Hidrolojik zaman serilerinin tahmininde ANFIS kullanımı başarı kazanmıştır. ANFIS yönteminin ana katkısı, otomatik bulanık kural üretme ve parametre optimizasyonu için ANN öğrenme kabiliyetini kullanarak bulanık modellemedeki temel problemleri ortadan kaldırmasıdır.

Bacanli *et al.* (2009), Orta Türkiye'deki 10 yağmur göstergesinin aylık yağış verilerinden hesaplanan SYİ 'yi (bir ila 12 aylık ölçek) kullanarak meteorolojik kuraklığı tahmin etmiştir. 1964 ile 2006 yılları arasında değişen SYİ verileri, öğrenme (1964-1986) ve test (1987-2006) setlerine bölünmüştür. Bulanık kurallar, girdi-çıkı değişkenleri arasındaki ilişkiye dayanan çıkarımsal bulanık kümeleme fonksiyonu kullanılarak oluşturulmuştur. Öğrenme süreci ve kuralların oluşturulması, doğrusal olmayan girdi ve doğrusal çıkı parametrelerini belirlemek için kullanılan hibrid algoritma ile sağlanmıştır. ANFIS modeli performansı, eğitim ve test setlerini istatistiksel olarak karşılaştırarak test edilmiştir. 12 ay süreyle SYİ çıktıları kullanılarak geliştirilen ANFIS modellerinin kurak ve ıslak dönemleri yakalayabileceği ve daha iyi sonuçlar verebileceği bulunmuştur. Ek olarak, ileri beslemeli sinir ağı ile karşılaştırıldığında ANFIS öngörme tekniği daha doğrudur.

Fallah-Ghalhary *et al.* (2010), iklim değişkenleri ile Horasan Razavi İli'nin (İran) yağış serileri arasındaki olası ilişkiyi tanımladıktan sonra, yağış serileri ile girdi verileri arasında anlamlı korelasyon bulunan iklim indekslerini kullanarak yağış tahminini yapacak bir ANFIS modeli geliştirildi. Böylece, orta Atlantik ve Batı Akdeniz'den gelen SST, Umman Denizi ve Güney Fars Körfezi'ndeki SLP, farklı seviyelerde hava sıcaklığı,

nispi nem ve önlenebilir maddeler olarak yığılabilen su içeriği kullanılarak yağış miktarını tahmin etmek mümkün olmuştur.

Jeong *et al.* (2012), ANFIS kullanarak Kore'de niceliksel ve niteliksel aylık yağışlar tahmin etmiştir. Kore Meteoroloji İdaresi'nden 29 hidroklimatik değişken ve 1 uzun vadeli hava durumu tahmin noktası arasında girdi değişkenleri seçimi (ileri seçim) detaylı bir incelemesini yaptıktan sonra, yağış öngörücü olarak ANFIS için uygun girdi verileri kullanılmıştır. Önerilen modelin için Gaussian 2 parametrelili üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Düşüm fonksiyonu için doğrusal yöntem kullanılmış ve ağırlık optimizasyonu için, geri yayılım ve en küçük kareler yöntemlerinin kombinasyonu olan bir hibrid optimizasyon kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ANFIS ile nitel tahmin yönteminin umut verici bir rekabet ve tahmin yaklaşımı olabileceğini göstermektedir.

Petkovic *et al.* (2016), Aylık Yağış Kestirimi için ANFIS performanslarını araştırmıştır. Vaka çalışması olarak, 1946-2012 yılları arasında Sırbistan'ın 29 sinoptik istasyonunun aylık yağış miktarı kullanılmıştır. İki girişli birinci dereceden Sugeno modeli, Üç çan şeklindeki üyelik fonksiyonları, Takagi ve Sugeno tipi bulanık IF-THEN kuralları ANFIS girdisini bulanıklaştırmak için kullanılmıştır. MATLAB 'daki simülasyonları karşılık gelen çıktı blokları üzerinde çalıştırdıktan sonra sonuçlar, uygulanan ANFIS modelinin basit, hesaplamalı olarak verimli , optimizasyon ve uyarlanabilir tekniklerle iyi uyum sağladığını göstermiştir.

Choubin *et al.* (2017), İran'da Maharlu-Bakhtegan'ın yarı kurak havzasındaki yağış miktarını tahmin edici olarak büyük ölçekli iklim indeksleri kullanarak tahmin etmek için ANFIS yöntemi uygulamıştır. Gauss, Gauss 2, çan biçimli, trapez biçimli, üçgen biçimli, sigmoid Z ve S fonksiyonları arasından en iyi fonksiyonu seçmek için bir deneme yanılma yöntemi kullanıldı. En iyi kestirimi yapan Gauss fonksiyonu, girdi verisinin üyelik fonksiyonu olarak seçildi. Doğrusal ve ANN yöntemleri ile karşılaştırıldığında ANFIS modeli, bahar yağışında kışın atmosferik dolaşımın güçlü bir şekilde modüle edilmiş bahar yağışları belirten en iyi tahmin etme becerisine sahiptir.

Mekanik *et al.* (2016), ENSO, Hint Okyanusu Dipolü (IOD) ve Interdekal Pasifik Salınımı (IPO) tahmin ediciler olarak kullanarak Doğu, Orta ve Batı Victoria'da (Avustralya) bahar yağışlarının tahmini için ANFIS bir model geliştirdi ve uyguladı. Tek iklim modlarına (ENSO, IOD ve IPO) ve ortak iklim modlarına (ENSO-IPO ve ENSO-IOD) dayalı sekiz prediktif model uygulandı. Tahminler, bireysel IOD indeksine dayanan ANFIS modellerinin, tek tek ENSO endekslerine dayanan modellere RMSE, MAE ve R açısından üstünlük sağladığını göstermektedir. Ayrıca, IPO'nun bölgenin etkili bir öngörücüsü olmadığı ve kombine ENSO-IOD ve ENSO-IPO göstergelerinin tahminleri iyileştirmediği keşfedilmiştir. Şu çalışma, ANFIS'in Avustralya'daki mevsimlik tahminler için umut verici bir araç olduğunu gösterdi çünkü asgari girdi verileri ile basitliği, doğruluğu ve dinamik modellere kıyasla gelişimlerinde zaman alıcı olmadığı için.

#### 1.2.4. Dalgacık dönüşümü

Günümüzde, zaman serisi analizi ve sinyal işlemedeki en etkili araçlardan biri dalgacık dönüşümüdür (WT). WT teorik olarak Grossmann and Morlet (1984) tarafından önerilmiştir. Süreksizlik tespiti, uzun vadeli evrim tespiti ve zaman serilerindeki saf frekansların tanımlanması için başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Daha sonra, hidro-iklimsel zaman serisi analizlerinde popülerite kazanmıştır.

Öncü bir çalışmada Kumar and Foufoula-Georgiou (1993) mekânsal yağışın sergilediği ölçeklemenin kesin doğasını çıkarmak amacıyla ortogonal dalgacık dönüşümleri kullanarak çeşitli ölçeklerde yağış dalgalanmalarının davranışını analiz etmiştir. Dalgalanmadaki benlik benzerliğinin varlığı ve analizi, aynı çalışmanın ikinci bölümünde test edildi (Kumar and Foufoula-Georgiou, 1993). İki sağanak analizinden, anizotropiyi hesaba katarak yağış dalgalanmasının uygun olduğu zaman, kendiliğinden benzer özelliklere sahip olduğu, sağanağın evrimi üzerinde ısrarcı olduğu düşünülmektedir.

Partal and Kucuk (2006), kesikli dalgacık dönüşümü ile hesaplanan dalgacık katsayısı üzerinde Mann-Kendall parametrik olmayan testi uygulayarak, Marmara bölgesinde

yıllık yağış eğiliminden sorumlu olan periyodik olayları araştırdı. Böylece, sürekli dalgacık dönüşümü ve sürekli spektrumun küresel dalgacık spektrumu kullanarak önemli periyodik olayları analiz ettiler. Kesikli dalgacık bileşenlerinin farklı kombinasyonları üzerinde uygulanan parametrik olmayan M-K testinin sonuçlarını incelemiştir. DW4 (16 yıllık periyodik) periyodik bileşenin veri üzerinde etkili bir bileşen olduğu ve verilere dayalı gerçek bir eğilim üretmekle sorumlu olduğu bulunmuştur. Byun *et al.* (2008), etkin kuraklık indeksi (EDI) zaman serileri üzerinde dalgacık ve spektrum analizi kullanarak Kore'deki kuraklık periyodlarını inceledi. Yapılan çalışmada, Kore genelinde beş tür periyodiklik bulmak mümkün oldu. Ozger *et al.* (2009) kuraklık oluşumu ile büyük ölçekli iklim indeksleri, yani sürekli dalgacık dönüşümü (CWT) çapraz korelasyon ve Kriging ve çapraz dalgacık yaklaşımları kullanarak ENSO ve Pasifik on yıllık salınım (PDO) arasındaki muhtemel tele bağlarını analiz etmiştir. Bu şekilde, kuraklık indeksleri ile belirtilen büyük ölçekli iklim indeksleri arasındaki baskın salınımlar ile korelasyon ve gecikme zamanı tespit edilmiştir. Brunsell (2010), günlük yağış kayıtlarının mekânsal ve zamansal değişkenliğini saptamak için çok dalgacık çözünürlüklü analiz ve göreceli entropi kullanmıştır. Dalgacık dönüşümü, bir ana kümenin (Daubechies en az asimetrik sekiz dalgacık) bir veri kümesi boyunca zamanın bir fonksiyonu olarak ötelenme edilmesi ve genişmesi yoluyla gerçekleştirilir. Çoklu dalgacık çözünürlük analizi ve bilgi teorisi ölçümlerinin kombinasyonu, ölçeklendirme rejimlerinin doğasını saptamak için sağlam bir araç gibi görünmektedir. Chou (2011), bir yağış zaman serisine bir dalgacık dönüşümü uygulamasında çözünürlük seviyelerinin sayısını belirledi. Seriler, dalgalı dalgacık dönüşümü kullanılarak ayrıştırıldı. Burada geliştirilen kavram, orijinal bir yağış zaman serisi, artık dalgacık dönüşümleri kullanarak artıkları ve ayrıntılı sinyallere ayrışabilmesidir. Dash *et al.* (2013), tropik bölgeler ile Antarctic'in (Bellingshausen-Amundsen denizleri sektörü ve Weddell Denizi sektörü) iki bölgesi arasındaki tele bağıntıyı incelemek için çapraz dalgacık analizi uyguladı. Ve son zamanlarda, Joshi *et al.* (2016), Hindistan'daki kuraklık değişkenlerinde eğilim ve baskın periyodikliği Discrete Dalgacık transform (DWT) kullanarak analiz etmiştir.

### 1.2.5. Dalgacık-ANFIS

Partal and Kisi (2007) tarafından Türkiye'de bir günlük öngörülen günlük yağış miktarının tahmininde, kombine bir Dalgacık-Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarımı, zaman serileri tahmin edilen modeli ilk kez sunuldu. Fikiri, orijinal veriyi, yaklaşık ve ayrıntılar dizilerine (DW) dönüştürmektir. Ayrışma daha sonra tekrarlanır, ardışık yaklaşım sırayla ayrılır ve böylece sinyal daha düşük çözünürlüklü bileşenlere ayrılır. Böylece alt serileri günlük, aylık ve yıllık periyotları gibi özelliklerin orijinal serilerden daha açık bir şekilde görülebilmesi mümkün olmuştur. Daha sonra uygun DW 'ler bir ANFIS tahmini modeli için girdi olarak kullanılmıştır. Geliştirilen dalgacık- Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarımı modelin doğruluğunun, ileriye YSA ve konvansiyonel çoklu doğrusal regresyon (MLR) modelinden daha üstün olduğu bulunmuştur.

Shirmohammadi *et al.* (2013), İran'da Dalgacık-ANFIS ve Dalgacık-ANN kullanarak bir ila üç ay önce standart yağış indeksinin (SYİ) ile karakterize eden meteorolojik kuraklığı tahmin etti. Bahsedilen çalışma, ilk aşamada, herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan, orijinal SYİ verilerinde bir ANN ve bir ANFIS modeli uyguladı. Sonuçlar, ANN ve ANFIS'in verilerin doğrusal olmayan ve mevsimsellik davranışlarıyla baş edemediğini göstermiştir. Ardından ANN ve ANFIS modelinin girdi verileri olarak farklı ayrışma seviyesinde ayrık dalgacık dönüşümünden türetilmiş alt-seriler öğeleri kullanılmıştır. Dolayısıyla, DWT ile önceden işlenmiş SYİ verisinin SYİ tahminini geliştirebileceği gösterilmiştir. Ayrıca, Dalgacık-ANFIS hibrit tahmini modelinin Dalgacık-ANN hibrid modelinden daha doğru olduğu bulunmuştur.

Akrami *et al.* (2014), Malezya'daki Klang Nehri havzasındaki yağış miktarını tahmin etmek için Dalgacık-ANFIS'e dayanan doğrusal olmayan yağış tahmin modelini geliştirdi. Çalışmanın yazarları, sinyali "seviye 10" 'daki alt-seriler yaklaşıma ve ayrıntı alt sinyallerine ayırabilmek için "MATLAB" kodlarını Demy dalgacık dönüşümü kullanarak programladılar. Orijinal verideki hatayı kaldırdıktan sonra, yumuşatılmış sinyaller, ANN ve ANFIS modelleri için farklı zaman gecikmelerinde girdi olarak

kullanılır. Sonuçlar, ANFIS ile birleşen dalgacık ayrıştırmasına dayanan modelin, ANN ve ANFIS modellerinden ayrı ayrı daha iyi performans gösterebildiğini ortaya koymuştur.

### **1.2.6. Yerel tahmin teknikleri**

Afrika kıtasında mevsimsel yağış tahminleri hükümetler arası kurumlar tarafından, Afrika ülkelerinin ulusal meteorolojik ve hidrolojik kurumları ile iş birliği içinde yapılır. Bu mevsimlik tahminlere Bölge İklim Forumu (Regional Climate Outlook Forums, RCOFs) adı verilir. Söz konusu bölge için kritik sosyo-ekonomik açıdan önem taşıyan sektörlerde iklimle ilgili riskleri azaltmak ve önümüzdeki sezonun sürdürülebilir kalkınmasını desteklemek için RCOF'ler, fikir birliği temelli, kullanıcı açısından uygun iklim görünüşü ürünlerini gerçek zamanlı olarak üretmektedir. Afrika'daki RCOF 'ler, üç (3) Hükümetler arası kurumların tarafından koordine edilmektedir- (i) Güney Afrika Kalkınma Topluluğu (Southern African Development Community, SADC) Kuraklık İzleme Merkezi (Drought Monitoring Centre, DMC), genel merkezi Gaborone' de, Botswana; (ii) Hükümetler Arası Kalkınma İdaresi (Inter-Governmental Authority on Development, IGAD) İklim Tahmini ve Uygulama Merkezi (Climate Prediction and Application Centre, ICPAC), genel merkezi Nairobi 'de, Kenya; (iii) Afrika Kalkınma için Meteorolojik Gelişme Merkezi (African Centre of Meteorological Applications for Development, ACMAD), genel merkezi Niamey Nijer'de. RCOF'ler Afrika kıtasında yedi (7) bölgede göz önüne alınarak gerçekleştirilmektedir:

1- Burundi, Cibuti, Eritre, Etiyopya, Kenya, Ruanda, Somali, Sudan, Tanzanya ve Uganda'yı kapsayan Afrika Büyük Boynuzu İklim Görünümü Forumu (Greater Horn of Africa Climate Outlook Forum, GHACOF). Bu Görünümü Forumu IGAD ve ICPAC tarafından koordine edilir (ICPAC., 2016).

2- Güney Afrika Bölgesel İklim Görünümü Forumu (Southern African Regional Climate Outlook Forum, SARCOF), bu forum SADC ve DMC tarafından koordine edilir. Angola, Botswana, Demokratik Kongo Cumhuriyeti, Lesoto, Malawi, Mauritius, Mozambik,



Namibya, Seyşeller, Güney Afrika, Svaziland, Tanzanya, Zambiya ve Zimbabwe'yi diğer ortaklarıyla birlikte kapsayan tüm SADC üye Devletlerini kapsar (SADC, 2012).

3- Kuzey Afrika'daki mevsimsel iklimsel Görünümü, kısaltmalarının Fransızca PRESANORD (Prévisions Climatiques Saisonnières en Afrique du Nord) tarafından biliniyor (ACMAD, 2017).

4- Gine Körfezi için mevsimlik Görünümleri PREASGG (Prévision Climatique Saisonniere en Afrique, pays du Golf de Guinée) tarafından koordine edilir. Öngörüşü, Kamerun, Nijerya, Benin, Togo, Gana, Cote d'Ivoire, Liberya, Sierra Leone ve Guinée'nin bölümlerini içermektedir (ACMAD, 2017).

5- Orta Afrika için Bölgesel İklim Görünümü, ACMAD tarafından koordine edilen ve bu bölgedeki mevsimsel yağış öngörüsünü gerçekleştirmek için kısaltması PRESAC (Prévision Climatique Saisonniere En Afrique Centrale) tarafından gerçekleştirilir. Burundi, Kamerun, Orta Afrika Cumhuriyeti, Kongo, Demokratik Kongo Cumhuriyeti, Ekvator Ginesi, Gabon ve Sao Tome ve Principe'yi kapsıyor. Bölgesel iklim, Ekim-Kasım-Aralık ayları ana hedef sezon olarak Inter-Tropikal konverjans Zonu (ITCZ) aktivitesi ve yağışla baskındır (ACMAD, 2017).

6- Afrika'nın Hint Okyanusu Adalarında öngörülemez, Güney Batı Hint Okyanusu İklim Görünümü Forumu (South West Indian Ocean Climate Outlook Forum, SWIOCOF) ACMAD tarafından koordine edilir. Komorolar, Madagaskar, Mauritius, La Réunion (Fransa), Seyşeller'i kapsar ve Mozambik, Güney Afrika ve Tanzanya'yı da içeren komşu ülkelere açıktır (ACMAD, 2017).

7- Batı Afrika'da Soudano-Sahelian bölgesi için gelecek sezon için yağış tahminleri, Batı Afrika, Çad ve Kamerun için Bölgesel İklim Görünümü Forumu'nun gündeminde PRESASS (prévisions saisonnières agro-hydro-climatiques pour la zone soudano-sahélienne). Bu Bölge, genellikle kuzeydeki Sahra Çölü ile güneydeki tropikal Atlantik kıyısı arasındaki alanı kaplamaktadır. Bölgesel iklim, genellikle kuzey yarımkürede yaz

boyunca (Temmuz'dan Eylül'e) meydana gelen yağışlı mevsim boyunca Batı Afrika musonun egemenliğindedir. Bu bölgedeki RCOF 1998'de başlamıştır. Yılda bir kez, genellikle Mayıs-Temmuz-Ağustos-Eylül, ana hedef sezon olarak düzenlenmiştir. Kullanıcıların talebini takiben ön görülenlerin öncülüğünü ve yararlılığını artırmak için 2014 yılında nisan ayı sonunda toplanmaya başlandı. Batı ve Orta Afrika'da, yani Moritanya, Senegal, Mali, Gine Bissau, Gine, Fildişi Sahili, Burkina Faso, Nijer, Çad, Kamerun, Orta Afrika Cumhuriyeti, Nijerya, Benin, Togo, Gana, Liberya, Cape Vert'da 17 ülke yer alıyor. Bölgenin Ulusal Meteorolojik ve Hidrolojik kurumları, Uzun Menzilli Tahminler için WMO Global Üretim Merkezleri, AGRHYMET (Sahel 'deki Kuraklık Kontrolü için Sürekli Devletlerarası Komite (CILLS) 'nin uzmanlaşmış bir enstitüsü) büyük işbirliği ortaklarıdır.

PRESASS yaklaşımı, küresel tek ve çok model topluluk öngörme sistemleri, istatistiksel mevsimsel tahmin araçları, analog yıllar, kalıcılık, bileşik ve eğilim analizlerinin çıktılarının değerlendirilmesini ve iklim çalışmalarının yerel, ulusal, bölgesel ve küresel seviyedeki mevcut bulgularını içermektedir. Model çıktılarının açıklaması ilgili doğrulama ürünlerine dayanır. Yapılan değerlendirmeleri, kullanıcılar için oluşturulan bir görüşme ve fikir birliği sırasında tartışılmaktadır. Hidrologlar için oturumlar, forum genel kurulunda sunulan paralel üretme deşarj görünümüleri şeklinde organize edilmektedir (ACMAD, 2017). Su kullanıcıları, afet yönetimleri ve medya toplulukları, değişim, güncelleme ve beklenen iklim koşulları ile ilgili etkiler hakkında interaktif tartışmalara davet edilir. Olumsuz etkilere karşı koymak veya avantajları artırmak için yaptıkları öneriler, olumlu iklim koşulları nedeniyle muhtemel fırsatlarla bağlantılıdır. 2008 yılında, kullanıcıların geribildirimlerine dayanan başarı öykülerine göre ACMAD, güney Sahel'in büyük bir bölümünde ortalama yağış miktarı yüksek olasılıkla (%50 'ye kadar) bölgede fikir birliği tahmini güncellemesi yayınlamıştır.

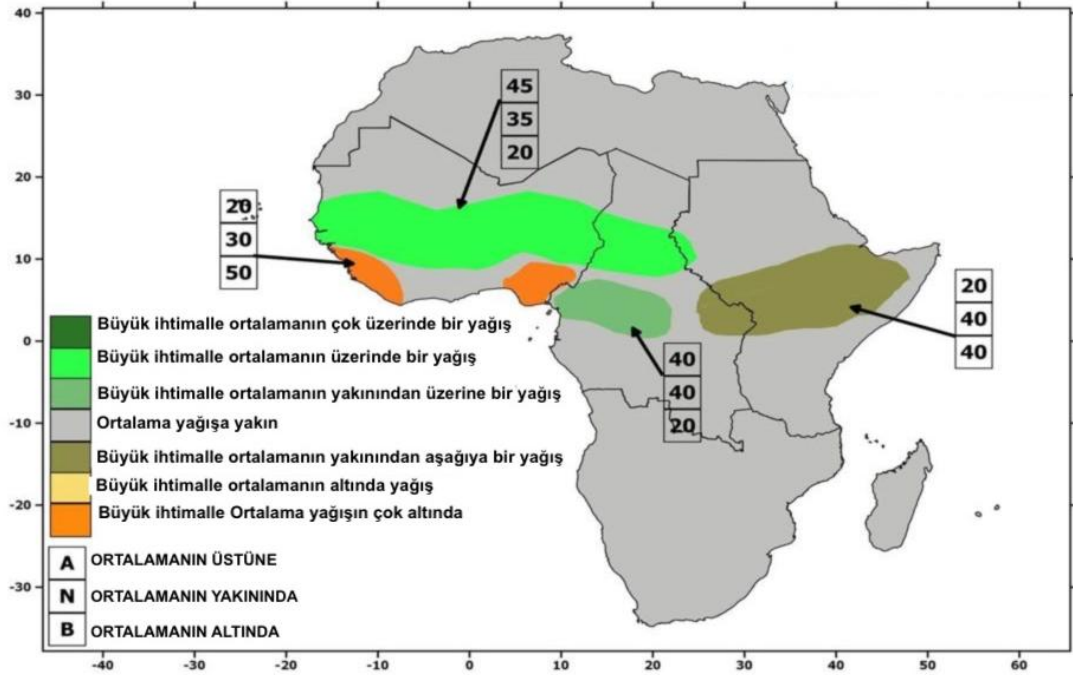
Sahel bölgesindeki çok yağışlı yıllara kadar Islak sık sık şiddetli yağış ve sellerle ilişkili olduğundan, 2008 yılının tahmin modeli Kızıl Haç tarafından sele hazırlığı için fon temyizinde kullanılmıştır. (Tall *et al.*, 2012). Yardım malzemeleri (sivrisinek ağları, battaniyeler ...) ön pozisyon almaya yol açan fonlar verildi. Bu tahmin olmadan, sel

felaketinden sonra sağlanmış olurdu. Çabaların maliyeti zaman ve nakliye masraflarına göre daha fazla olurdu. Kızıl Haç tarihindeki mevsimsel tahminlere dayanılarak fonlar talep edildi ve potansiyel bir acil duruma hazırlanmak için kullanılan bu ilk oldu. Islak yıllar ayrıca Sahra Altı Afrika'da daha fazla sivrisinek ve sıtma ile ilgilidir. UNICEF'in Nijer 2deki bürosu, savunmasız topluluklar için ilaçlar ve sivrisinek ağları hazırlamak ve bunları öne çıkarmak için mevsimlik tahminler de yaptı (ACMAD, 2017). ACMAD, IGAD / ICPAC ve SADC tarafından koordine edilen öngörüler bölgesel konsensüs ön şartlarıdır. Bu kurumlar tarafından kullanılan modeller, atmosferik dinamiklerini büyük bir ölçekte yeterli hassasiyetle simule eden atmosferik modellerdir. Ayrıca, New York'ta bulunan Columbia Üniversitesinde İklim ve Toplum için Uluslararası Araştırma Enstitüsünden (International research Institute, IRI), EUMETCAST (Avrupa Meteoroloji Uydu Ulaşımı Örgütü) İngiltere'de Met Office'den İklim Tahmin Edilebilirlik Aracının (Climate Prediction Tool, CPT) model çıktılarını ve Birkaç uluslararası hava ve iklim araştırma kurumlarının model çıktıları. RCOF'ler, daha sonra ulusal meteorolojik ve hidrolojik hizmetler vasıtasıyla Afrika ülkelerinin hidro-iklim ortamına adapte edilir.

ACMAD'ın müdahale bölgelerinde, çeşitli Ulusal Meteorolojik ve Hidrolojik Kurumlarının kapasitesi artırımını iyileştirmek ve hem meteoroloji hem de iklim bilimindeki menfaat sahipleri/kullanıcılar ile profesyoneller arasında yararlı temas kurmak için atölyeler düzenlenmektedir. Bu nedenle Mevsimlik Tahmin ve Batı Afrika'da Gıda Güvenliği İçin Erken Uyarı Sistemlerine Uygulanması konulu ilk forumda istatistiksel model, mevsimsel yağışları (Haziran-Temmuz) ulusal ölçekte bir ila iki ay gecikmeli olarak tahmin etmek üzere geliştirildi (ACMAD, 2017). Haziran 2017'de yayınlandığı Temmuz-Ağustos-Eylül 2017 için RCOFs Mevsimsel Yağış Tahminleri Şekil 1.2'de göstermektedir.

Bu atölyede, Nijer için gerçekleştirilen tahmin modeli, 1960'dan 1996'ya kadar 11 istasyonun Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında biriken yağış serisini ve SST'leri öngörücüler olarak kullanmaktadır (Lélé and Omar, 1993). Çalışma, SST ve JAS arasındaki korelasyonun belirlenmesinden ve daha sonra homojen bölgelerdeki SST sinyaline benzer tepkiyi veren istasyonların gruplandırılmasından ibarettir. Her homojen

bölge için, tahmini bir model uygulanmakta ve değerlendirilmektedir. Batı bölgesi, Est bölgesi ve Güney bölgesi olmak üzere üç homojen bölge tespit edilmiştir. Çalışmanın sonuçları ayrıca, El Nino (Orta Pasifik'te) ve küresel SST'nin (EOF3) üçüncü bileşeni, Nijer'de Atlas Okyanusunun SST 'sinin SST 'sinden daha fazla yağışlar oluşumundan sorumlu olduğunu gösterdi. Tahmin modeli, bu iki endekste (El NINO ve EOF3) dayanan SYSTAT istatistik programı kullanılarak hazırlanmıştır. Değerlendirmeden sonra, şu model, Batı bölgesi için  $R = 0.57$ , ve  $0.469$ 'lık beceri, Güney bölgesinde  $R = 0.51$  ve  $0.401$ 'lik beceri, Güney Doğu bölgesi için  $R = 0.595$  ve  $0.456$ 'lık bir beceri sahiptir. Söz konusu model hala Nijer Ulusal Meteoroloji Kurumu'nda kullanılmaktadır.



Şekil 1.2. Temmuz-Ağustos-Eylül 2017 için RCOFs mevsimsel yağış tahminleri

## 2. KURAMSAL TEMELLER

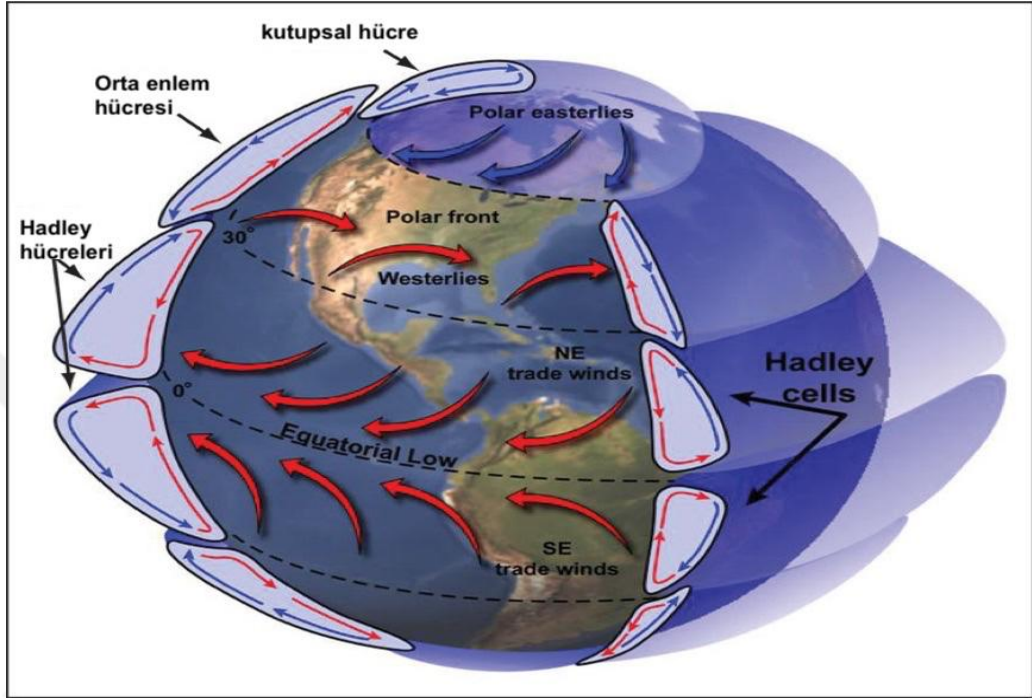
### 2.1. Atmosferin Genel Dolaşımı

İklim verilerini etkili bir şekilde kullanmak için, atmosferin nasıl çalıştığını anlamak gerekir. Dünya atmosferinin genel dolaşımı ve hidrolojik çevrimin atmosferik bileşeni iyice birbirine bağlıdır. Atmosferin genel dolaşımı, gezegenin düzensiz ısınmasıyla tahrik edilen büyük ölçekli havanın hareketi anlamına gelmektedir. Küresel ölçekte, bu eşit olmayan dağılımı en seçkin kısmı, enlem bağımlılığıdır. Atmosferin genel sirkülasyonu üzerindeki en önemli üst sınır şartı güneş radyasyonudur. Temelde, eğiklik, eksantriklik ve ekinoksların tarihleri ve Dünya'nın dönüş hızı gibi Dünya'nın yörünge parametreleri tarafından belirlenir (Randall, 2004). Tropik ve alt tropik bölgelerde, güneş radyasyonu, net radyasyona bağlı ısı kaybında orta ve yüksek enlemlere uzaya giden kızılötesi karasal radyasyonu aşılmaktadır. Isı taşımacılığının dikey süreci olan konveksiyon ve ısı ve nem taşımacılığının yatay süreci olan adveksiyon bu hedefi gerçekleştirmek için birlikte çalışır.

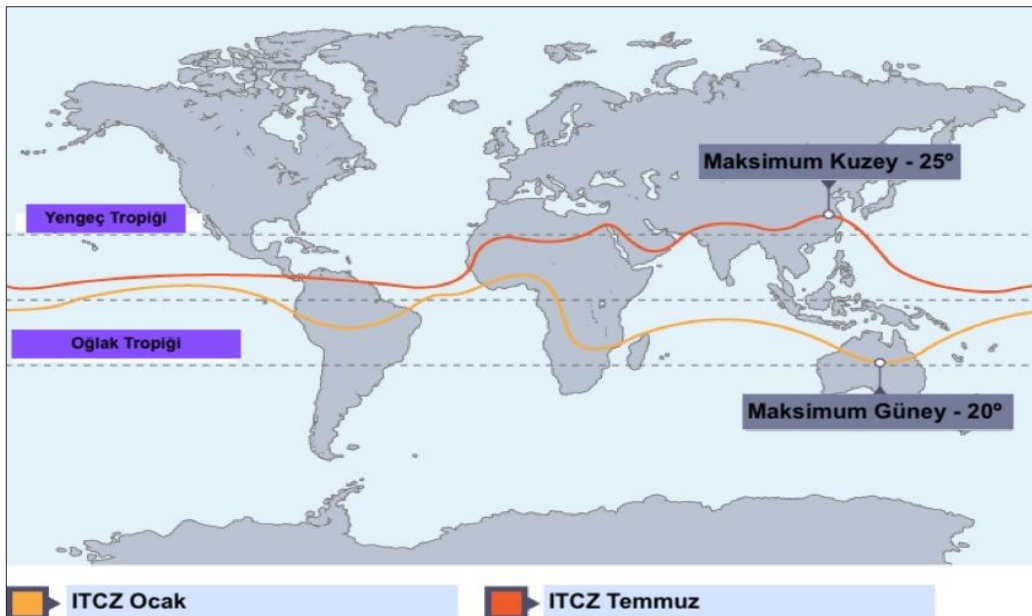
Diğer bir deyişle, ekvatorial bölgenin üzerindeki hava ( $30^{\circ}\text{K}$ – $30^{\circ}\text{G}$ ) gezegenin geri kalanından daha sıcaktır, bu yüzden troposfer boyunca yükselir ve kutuplara (Kuzey veya Güney) doğru sapma gösterir (Şekil 2.1). Yörüngesinde  $30^{\circ}\text{K}$  ve  $30^{\circ}\text{G}$  civarındaki ekvatorial bölgede soğur ve iner (Hadley hücreleri). İnerken, ısıtılır ve toprak yüzeyine bölünür. Yüzey boyunca yolu, Dünya'nın rotasyonu (Coriolis Effect) ile alize rüzgarlarına bükülür. Böylece, bir bölüm Ekvator'a (Ticari Rüzgârları), diğeri kutuplara (Westerlies) gider. İkincisi, yaklaşık  $60^{\circ}\text{K}$  ve  $60^{\circ}\text{G}$  'de, soğuk doğu rüzgarlarıyla birleşerek yükselmeye zorlanır.

Ekvatorial saçakta yüzey basıncı düşük ve düzgündür. Rüzgarlar hem hız hem de yönde değişken ve hafiftir. Bu Saçak statik değildir, Güneş'in görünür hareketi ( $20^{\circ}\text{K}$  -  $20^{\circ}\text{G}$ ) izlemeye eğilimlidir. Ekvatora yakın doğu-batı yönelimli alçak basınç bölgesi, kuzeydoğu ve güneydoğudaki alize rüzgarlarının karşılandığı bölgedir ve intertropikal Konverjans Zonu (ITCZ) olarak adlandırılır (Şekil 2.2). Yükselen hava yüksek

bulutluluk, sık fırtına ve şiddetli yağış üretir. ITCZ, kuzey ve güneyde Güneş'le mevsimsel olarak kaymaktadır.



Şekil 2.1. Atmosfer genel dolaşımının basitleştirilmiş modeli



Şekil 2.2. ITCZ'nin yüksek ve alçak enlem pozisyonları

Subtropik bölgede Ekvator'dan gelen her yarımkürede yaklaşık  $30^\circ$  enlem, rüzgarlar yüksek basınç alanından dolayı kutuplara (egemen batı) doğru veya ekvatora (ticaret rüzgarlarına) doğru akar, bu bölge sakin rüzgarlar, güneşli gökyüzü ve yağışsız veya az yağışlı ile karakterize edilir. Yaklaşık  $60^\circ$  K ve  $60^\circ$  G bu rüzgarlar, direkt kutup antik siklonlarından gelen Doğu kutup rüzgarları ile birleşince, yağışlar önemli derecede düşer. Basınç ve rüzgâr dağılımı her yarımkürede üç dikey hücre oluşturur. Biri tropiklerin üzerinde (Hadley hücresi); Ferrell'in (Ferrell hücresi) adlı termal dolaylı orta-enlem sirkülasyon hücresi; ve diğeri de kutuplarda düşük basınç bölgesinde yükselen rüzgarların oluşumunu açıklayan ve yüksek basınç alanında inen açıktır. Karalar ve okyanusların asimetrik ve düzensiz dağılımı, dolaşım şeklini değiştirir.

$30^\circ$  K ve  $30^\circ$  G 'deki yüksek basınçlı kayışı, Pasifik ve Atlantik'teki (antisiklonlar) yarı kalıcı yüksek basınç hücrelerine parçalanır. Kuzey Yarımkürede, kutupaltı bant ( $60^\circ$  K), Aleut Adaları ve İzlanda'da (siklonik hücre) bulunan iki yarı kalıcı düşük basınç hücresine girer. Güney Yarımküre'de, düşük basınçlı kayışı varlığı, kıtalar üzerindeki okyanusun yüzey baskınlığına, düşük basınçlı kemerin varlığına bağlıdır. Basınç kayışları ve hücreleri bir yıl boyunca izotermelere göre konumlarını değiştirerek mevsimsel iklim değişikliklerine neden olur. Astronomi kışında (Kuzey Yarımküre'de 22 Aralık - 21 Mart) kıtasal kütle (soğuk) yüksek basınç merkezleri üretirken okyanuslara (sıcak) düşük basınç hücreleri verilir: Kuzey Amerika'nın Orta ve Kuzey Asya'sında Yüksek Basınç (Kanada Üstü); Aleut Adaları ve İzlanda'daki okyanuslarda düşük baskı.

Astronomik yaz (22 Haziran-23 Eylül Kuzey Yarımküre) sırasında, kıta kütlesi (sıcak) düşük basınç merkezleri üretirken (soğuk) okyanuslar düşük basınç hücreleri oluşturur: Asya'da Düşük Basınç Afganistan'da yoğunlaştı; Azorlar (Bermuda) ve Hawaii'deki Okyanuslar Üzerindeki Yüksek Basınç. Yüksek ve alçak basınç hücreleri Şekil 2.2'de gösterildiği gibi yüzey rüzgarlarının yönünü değiştirir.

Subtropiklerin ( $30^\circ$  K ve  $30^\circ$  G) kayışlarından kutuplara doğru yükselen rüzgarlar, Batı-Doğu yönünde üfleme yapana kadar Coriolis Etkisi tarafından sağa saptırılır ve böylece Batı rüzgarları yükseklik oluşturur. Güney Yarımkürede, Batı rüzgarlarını yaratan sola

saparlar. Kutup altının ( $60^{\circ}$  K ve  $60^{\circ}$  G) yakınında, Batı rüzgarları yüksek troposferi örter. Bu rüzgarlar Kutup Kenarı temas bölgesine soğuk hava girişi ile düzenini bozular. Böylece, kaynaklanan geniş dalgalar Rossby Dalgaları olarak adlandırılır ve kötü hava eşlik eder. Rossby Waves ile bağlantılı olarak, yüksek ve soğuk havanın temas bölgelerinde oluşan Jet Akış adlı yüksek hızlı bir rüzgar bandı vardır. Jet akışlarının ana akışı, Batı'ya Doğu'dan gider, ancak tek tek sarım akımları (Rossby dalgaları) üretebilir.

Birkaç jet akışı vardır. Polar jet akışı, kutup altına yakın ( $60^{\circ}$  K ve  $60^{\circ}$  G) tropopoz ortamında oluşur. Polar Cephesi çevreleyen ve genellikle Ocak ayında yaklaşık 300 km/s ulaşır. Tropopozda yaklaşık  $30^{\circ}$  K ve  $30^{\circ}$  G'de yer alan Subtropikal jet akışı (300 ila 400 km/saat arasında hızlar) sıcak havayı Hadley hücrelerinden diğer enlemlerden en soğuktan ayırır. Son jet akışı, ekvatorun yaklaşık 14 km yükseklikte, sadece astronomik yaz mevsiminde (22 Haziran - 23 Eylül), Doğu'dan Batı'ya (önceki istikametlerin aksine) 180 km/s hızlara ulaşır (Nese and Grenici, 1998).

## 2.2. Meteorolojik Kuraklık Karakterizasyonu ve Kuraklık Endeksleri

Kuraklık çok karmaşık bir olaydır ve tanımlanması zordur. Birçok literatürde yağışların eksikliği olarak tanımlanmasına rağmen, kullanıcıların etkinlik planlaması ve su kaynakları yönetimi için objektif olarak nasıl karakterize edilebileceği zor bir konudur.

Kritik eşik seviyesinin seçimine dayanan yağış zaman serilerine Teori uygulayarak, Guerrero-Salazar and Yevjevich (1975) meteorolojik kuraklığın süresini (D), şiddetini (S) ve yoğunluğunu (I) karakterize etti. Kuraklık Süresi (D), yağış miktarının kritik seviyenin altında kaldığı zaman aralığıdır. Kuraklık şiddeti (S), (magnitüt olarak da bilinmektedir) süresi esnasında biriken eksikliktir. Kuraklık Yoğunluğu (I) ise kuraklık şiddetinin süresine oranına göre verilmiştir (Dracup *et al.*, 1980).

Meteorolojik kuraklığın diğer karakterizasyonları konumsal uzantı ve dağılım, frekans, öngörülebilirlik, başlangıç oranı ve zamanlamayı içerir (Zargar *et al.*, 2011). Kuraklık frekansı (tekerrür aralığı), şiddetleri eşige eşit veya daha fazla olan olaylar arasındaki



zaman aralığı olarak tanımlanabilir. Meteorolojik kuraklığı karakterize eden parametreleri etkili bir şekilde tanımlamak ve analiz etmek için birkaç kuraklık endeksi geliştirilmiştir. Kuraklık endeksi, kuraklığa karşı hazırlıklılığın başlıca değişkenidir. Kuraklık yoğunluğu, süresi, şiddeti ve uzamsal kapsamı içeren parametrelerin tanımlanması için gereklidir. Kuraklık endekslerine göre basitleştirilmiş yöntemlerin kullanımı ve uyarlanması, farklı su kullanıcıları, yöneticileri ve karar vericiler için meteorolojik kuraklık karakterizasyonunu kolaylaştırmıştır. Meteorolojik kuraklık izlemede kullanılan en yaygın endeksler arasında şunlar bulunmaktadır:

### **2.2.1. Normal yağış yüzdesi**

Normal yağış yüzdesi, bir konum için en basit yağış ölçümlerinden biridir. Normal yüzdeyi kullanarak yapılan analizler, tek bir bölge veya tek bir sezon için kullanıldığında çok etkilidir. Gerçek yağış miktarını normal yağışa bölünerek (genellikle 30 yıllık ortalama olarak kabul edilir) ve %100 ile çarparak hesaplanır. Zargar et al. (2011) tarafından bu indeksin iki temel dezavantajı belirtilmiştir. Birincisi, yağış kaydının dağılımı için istatistiksel bir dönüşüm kullanılmadığından, medyan ile ortalama değer arasındaki fark, doğruluğu zayıflatabilir. İkincisi, mevsimler ve bölgelerdeki dağılımlar farklı olduğu için bu endeks, mevsim ve bölgelerdeki kuraklığın karşılaştırılması için kullanılamaz.

### **2.2.2. Kesikli ve birikimli yağış anomalileri**

Gözlenen yağışla uzun vadeli ortalama arasındaki fark olan doğrudan yağış açığını ölçmektedir. Bu endeksin hesaplanması basittir, ancak özellikle bilgilendirici değildir, çünkü anomalinin önemi iklim türüne bağlıdır (Keyantash and Dracup, 2002). Diğer bir deyişle, 1 cm yağış anomalisi nemli bir bölge ile karşılaştırıldığında yarı kurak veya kurak bölge için önemli ölçüde daha önemlidir.

### 2.2.3. Nicelikler (beştebirlikler, ondabirlikler ve yüzdebirlikler)

Birçok coğrafi bölgede, yağış serileri bir Gauss olasılık dağılımına uymaz, bu nedenle kayıtları aritmetik ortalama ve standart sapma ile normalleştirme yetersizdir. Bu gibi durumlarda kayıtların merkezi eğilimini değerlendirmek için ortalama yerine medyan kullanılabilir (Keyantash and Dracup, 2002). Genel olarak, Nicelikler (kuantiller), yağış serisini, % 20 (beştebirlik), % 10 (ondabirlik) veya % 1 (yüzdebirlik) aralıklarla uzun bir süre bölünürler. Gibbs and Maher (1967), Avustralya'da kuraklık izleme parametresi olarak ondabirlik kullanmıştır. Yağış ondabirlik metodolojisi ile, önceki üç ay boyunca gözlenen yağış toplamları, iklimsel kayıtlara (tarihsel kayıtlara) göre sıralanır.

Bu koşullar, iki şeyden biri gerçekleştiğinde son bulur: 1) Geçen ayda ölçülen yağış, 3 aylık toplamı (bu aydan itibaren yeni bir periyot için) dördüncü ondabirlik veya üzeri (yüzde 31 yüzdebirliği veya üstü) üzerine yerleştirir. (2) Son üç aydaki yağış miktarı sekizinci ondabirlik veya üzeri. Nicelikler hesaplaması kolaydır ancak kuraklığın başlangıç ve bitişinin belirlemezler.

### 2.2.4. Standartlaştırılmış yağış indeksi (SYİ)

SYİ güçlü ve esnek bir kuraklık endeksidir. Hesaplaması kolaydır. SYİ hesaplanmasında, giriş değişkeni sadece yağıştır, böylece basitliğidir. Ayrıca, bir başka avantaj da, istenen zaman ölçeğinde (3, 6, 12, 24 veya 48 ay) hesaplanabilir. SYİ hesaplama yöntemi bölüm 3.4'te verilmiştir. SYİ 'nin kullanımı, meteorolojik kuraklığın başlangıcını ve sona ermesini anlamakta ve böylece kurak ve ıslak durumların süresi ve şiddetini anlamaya yardımcı olmaktadır. SYİ McKee *et al.* (1993) tarafından geliştirildi. Ek olarak, 3 aylık SYİ, kısa ve orta vadeli nem koşullarını yansıtır ve mevsimsel bir yağış tahminini sağlar (Berhanu *et al.*, 2016).

### 2.2.5. Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi (SYEİ)

Evapotranspirasyon verilerini birleştiren, yakın zamanda geliştirilen bir meteorolojik kuraklık indeksi SYEİ 'dir. SYEİ 'nin yaygın olarak kullanılan kuraklık endekslerine

kıyasla sağladığı en önemli avantaj, PET'in (Potansiyel Evapo-Transpirasyon) kuraklığın şiddetine olan etkisini göz önüne almasıdır. Ayrıca, çok ölçekli özellikleri, küresel ısınma bağlamında farklı kuraklık türlerinin ve etkilerinin belirlenmesini sağlar (Vicente-Serrano *et al.*, 2010). Küresel ısınma bağlamında SYEİ, kuru ya da ıslak durumlarda sıcaklık artışı etkisini değerlendirmede uygun bir indeks olabilir.



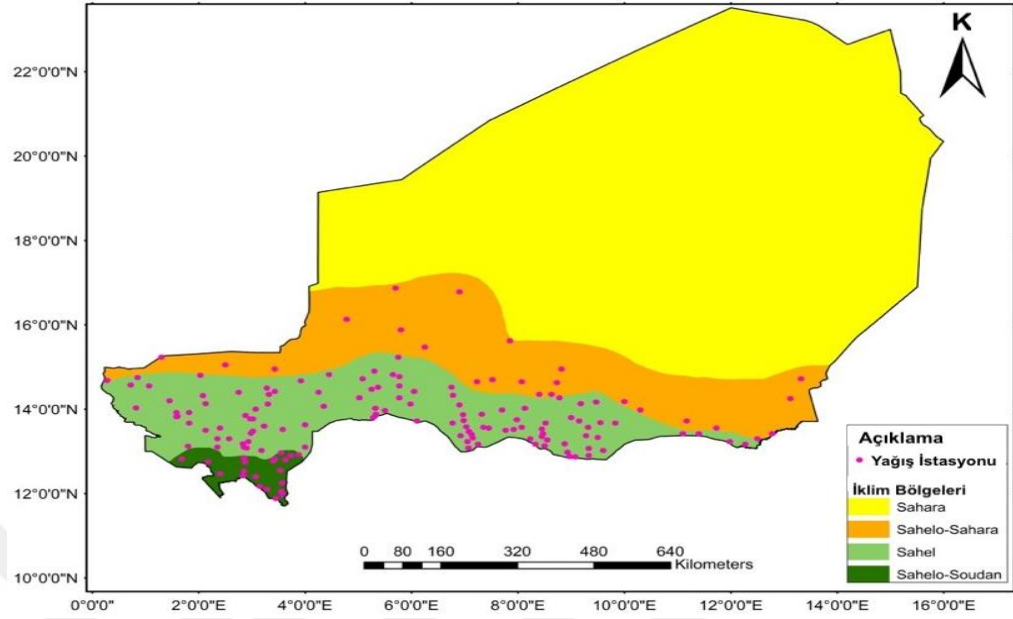
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Çalışma Alanı

Nijer, Batı Afrika'da 00° 10' 00"ve 16° 00' 00" doğu boylamları ile enlemleri 11° 41' 00" ve 23° 31' 00" kuzey arasında bulunan karayla çevrili bir ülkedir. Cezayir ve Libya ile Kuzey'e, Çad Doğuya, Nijerya ve Benin Güney'e, Mali ve Burkina Faso Batı'ya sınırladığı ülkedir. Alanı, 1,266,000 km<sup>2</sup> kaplar ve 500 000 km<sup>2</sup> 'si çöllerdir (Sahra Çölünün bir parçası olan Ténéré ve Tall çölleri). Ülke coğrafik ve jeolojik bakımında düşük yükseklik yoğun olarak aşınmış ve karakterize edilen kıtasal sedimanlar üzerine oturmaktadır. Kabartması, Kuzeybatıda eski dağlarla (Aïr dağıyla) işaretlenmiştir. Güneyden doğuya ve batıdan doğuya doğru manzarası, Ader Douchi platosu, Maggia vadisi, Damagaram Dağı, Damergou ile Koutous platosu ile modellenmiş ve Çad Gölü havzasına kadar uzanmaktadır.

Nijer nüfusun 18.5 milyon olmak üzere dünyanın en yüksek nüfus artış oranına, yılda% 3.9'a sahiptir (INS-Niger, 2016). Ülkenin ekonomisi madencilik, yağmurla beslenen tarıma ve hayvancılığa dayanmaktadır; dolayısıyla dörtte üçü Nijerlilerin gelirlerini araziden kaynaklanıyor. Ülkedeki tekrarlayan kuraklıkları ülkenin ekonomisi olumsuz bir şekilde etkilemektedir.

İklim açısından, ülke dört ana eko-iklim bölgesine ayrılmaktadır (Şekil 3-1). Kuzey bölgesi aşırı kuru Sahra iklimi ile karakterize edilir. Orta güney, Sahra-Sahel iklimi ile yarı kuraktır. Güneyinde, Sahel 'in tipik yarı kurak iklimi bulunur ve Güney-Batı'nın küçük bir kısmı, nemli Sudano-Sahel 'in ikliminin ile karakterize edilir. Yağışlar mevsimlerine bağlıdır ve Intertropikal Yakınsama Bölgesi (ITCZ , Intertropical Convergence Zone) hareketi ile değişmektedir. Bu nedenle, yağış miktarları mevsimsel ve ara dönem değişkenliğiyle kuzeyden güneye (150 mm'den 850 mm'ye) yükselirken, yıllık ortalama sıcaklık ise güneyden kuzeye mevsime bağlı olarak 9 ° C ve 45 ° C arasında değişmektedir. Yağış mevsimi kısa (hazirandan eylüle) ve yağmurun %80'i Temmuz-Ağustos aylarında kaydedilir (Djibo *et al.*, 2015).



**Şekil 3.1.** Nijer’deki eko-iklim bölgeleri ve yağış istasyonlarının konumu

Ülkenin hidrografik ağı, önemli sayıda akarsu havzaları (Nijer Nehri, Gorouol, Sirba, Mekke, Tapoa, Goroubi, Diamangou vb.) ve pek çok mevsimlik akarsular ile karakterize edilmektedir. Önemli yüzeysel su kaynaklarının arasında Çad Gölü bulunmaktadır. Ancak ekolojik olaylardan dolayı (örnek katı madde yığılması, aşırı buharlaşma), 1960'lardan bu gölün alanının %90'ını sürekli kaybetmiştir (Cretaux and Birkett, 2006). Ancak, Nijer’in kuzeyinde derin akifer ve fosil yeraltı suları da dahil olmak üzere önemli bir yeraltı su kaynakları sahip olan bir ülkedir, ancak çoğunluğu keşfedilmemiş durumdadır. Ülkedeki yağış miktarları, ülkenin ulusal meteoroloji müdürlüğü tarafından gözlemlenen yağış istasyonları ve yağmur ölçeklerin ağı ile kaydedilmektedir. Bundan başka, Sahel'deki Kuraklık gözetlemek için Devletlerarası Permanant Komitesi (Comité Inter Etats de Lutte Contre la Sécheresse au Sahel, CILSS) gibi kurumlar varmaktadır.

## 3.2. Veri Tanımı

### 3.2.1. Yağış verileri

Bu tezde kullanılan yağış verileri, ülke genelinde dağıtılan 158 yağış istasyonununun 1950-

2016 dönemini kapsayan aylık yağış kayıtlarıdır (Şekil 3.1). Bu veriler, Nijer Ulusal Meteoroloji Müdürlüğü (DMN kısaltmasıyla Fransızca olarak Direction de la Meteorologie Nationale) tarafından sağlanmıştır. Bunun yanı sıra, İklim Araştırma Birimi (Climate Research Unit, CRU TS 4.01) 0.5° çözünürlükte zaman serisinden (Harris *et al.*, 2014) elde edilen aylık yağış verilerinin de bu tezde da kullanılmıştır. CRU TS verileri, dünyadaki 4000'den fazla hava istasyonundan toplanan ve analiz edilen iklim veri kayıtlarıdır. Bu veriler, Sahel bölgesi üzerinde birçok araştırmada kullanılmıştır (Abdourahamane and Acar, 2018; Djibo *et al.*, 2015). Yağış verilerinin ve istasyonların özet istatistik açıklaması Ek -1'da gösterilmiştir.

### **3.2.2. Sıcaklık verileri**

Sıcaklık verileri, SYEİ hesaplamasında gerekli olan potansiyel evapotranspirasyon hesaplamak için kullanılmaktadır. Nijer'de aynı anda yağış, sıcaklık, evapotranspirasyon, rüzgâr verisi ve diğer iklim verilerini kaydedebilen sadece 15 iklim istasyonu bulunmaktadır (DMN, 2017). Bu istasyonlardan ikisi, aylık yağış miktarının 150 mm'den az olduğu Sahra iklim bölgesinde yer almaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada DMN istasyonlarından sadece 13 istasyonun sıcaklık verileri kullanılmaktadır. Diğer 145 yağış istasyonu için, CRU TS 4.01'den yüksek çözünürlük (0,5° çözünürlükte) sıcaklık verileri (Harris *et al.*, 2014) kullanılmıştır. Değerlendirilen yağış istasyonundaki sıcaklık verilerinin özet istatistik açıklaması Ek 1'de göstermiştir.

### **3.2.3. İklim endeksleri**

Nijer'deki kuraklık olayları ve Okyanus-atmosfer dinamikleri arasındaki bağlantıyı araştırmak için, 16 iklim endeksinin aylık verileri göz önünde bulundurulmaktadır. Bu endekslerin seçimi, Sahel Bölgesi'ndeki kuraklık ve okyanus-atmosferik endekslerle ilgili önceki çalışmalarda yapılan kapsamlı bir literatür taramasına dayanmaktadır. Bu iklim endekslerinin detayları Çizelge 3.1'de sunulmaktadır.

**Çizelge 3.1.** İklim endeksleri

Sayı	İklim indeksi	Biçim	Seviye	Veri kaynağı	Bölge	Çözünürlük	Mekansal kapsama
1	Meridyenel Rüzgar	m/s	1000 mb	NOAA/ESRL	Gündoğu Rüzgarı	2,5° × 2,5°	90° K–90° G, 0–180° B
2	Deniz Seviyesi Basıncı (SLP)	Pa	1000 mb	NOAA/ESRL	Atlantik Okyanusu	2,5° × 2,5°	15° K– 45° G, 60° B– 10° D
3	Bölgesel Rüzgar	m/s	1000 mb	NOAA/ESRL	Gündoğusu Rüzgarı	2,5° × 2,5°	30° K–25° G, 10° B–10° D
4	Jeopotansiyel Yükseklik (GpH)	m	700 mb	NOAA/ESRL	Kuzey Yarımküre	2,5° × 2,5°	70° K–15° K, 60° B–60° D
5	Nispi Nem (RH) Atlantik Havzası	%	1000 mb	NOAA/ESRL	Atlantik Havzası	2,5° × 2,5°	15° K–15° G 60° D–10° B
6	Kuzey Atlantik SST	°C	Deniz seviyesi	NOAA/ESRL	Kuzey Atlantik Okyanusu	2,5° × 2,5°	20° K – 5° K, 60° B– 30° B
7	Güney Atlantik SST	°C	Deniz seviyesi	NOAA/ESRL	Güney Atlantik Okyanusu	2,5° × 2,5°	1° G – 20° G, 30° B– 10° D
8	Atlantik Meridyenel Modu (AMM)	-	Deniz seviyesi	NOAA/ESRL	Atlantik Okyanusu	-	32° K–21° G, 74° B–15° B
9	Kuzey Atlantik Salınımı (NAO)	-	500 mb	NOAA/ESRL	Kuzey Atlantik	-	Kuzey Atlantik 0°–90° K arası
10	Pasifik Onlarca Yıllık Salınımı (PDO)	-	Deniz seviyesi	NOAA/ESRL	Kuzey Pasifik Havzası	-	Kutup' e doğru 20° K' dan
11	Niño 1+2 İndeksi	°C	Deniz seviyesi	NOAA/ESRL	Pasifik Okyanusu	-	0° K–10° G 270° D–280° D
12	Nispi Nem (RH) Akdeniz Havzası	%	1000 mb	NOAA/ESRL	Akdeniz Havzası	2,5° × 2,5°	40° K–30° G, 20° D–35° D
13	Güney Salınımı İndeksi (SOI)	-	Deniz seviyesi	CRU	Pasifik Okyanusu	-	Pasifik Okyanusu
14	Atlantik Onlarca Yıllık Salınımı (AMO)	-	Deniz seviyesi	NOAA/ESRL	Atlantik Okyanusu	-	Kuzey Atlantik 0°–80° K arası
15	Kuzey Pasifik Deseni (NPP)	-	Deniz seviyesi	NOAA/ESRL	Kuzey Pasifik	-	30° K–65° K, 160° D–140° B
16	Batı Yarımküre Sıcak Havuz (WHWP)		Deniz seviyesi	NOAA/ESRL	Atlantik ve Doğu Kuzey Pasifik	-	-

\* SST Deniz Yüzeği Sıcaklığı için kullanıldı, İngilizcesi olarak Sea Surface Temperature.  
NOAA/ESRL: Ulusal okyanus ve atmosfer yönetimi Yer Sistemi Araştırma Laboratuvarı

### 3.3. Yağış Verilerinin Ön İşlenmesi

#### 3.3.1. Yağış eksik verilerin tamamlanması

İklim değişkenlerinde (yağış, sıcaklık ve benzerleri) eksik değerlerin varlığı, gözlemcinin istasyon bölgesini ziyaret etmemesi, belirli bir süre boyunca ekipmanın kırılması veya arızalanmasından kaynaklanan gözlemlerdeki kesintiler nedeniyle yaygındır. Gözlemlenen iklim verileri serilerindeki eksik değerlerin varlığı, gerçek eğilim analizinde belirsizlikler yaratmaktadır (Duffy *et al.*, 2001). Bu nedenle, yağış verilerinin analizden önce eksik değerleri tamamlanması gerekmektedir. Yağış eksik verilerin tamamlanması için kullanılan en yaygın yöntemler arasında basit aritmetik ortalama metodu, normal oran yöntemi, ters mesafe ağırlıklandırma metodu ve regresyon metodu bulunmaktadır (Paulhus and Kohler, 1952). Aritmetik ortalama yöntemi eksik olan değerlerin yakındaki istasyonların ortalama yağışları ile değiştirilmesidir; böylece, tüm yakındaki istasyonlar aynı ağırlığa sahiptir. Bu yöntem, sadece komşu istasyonlardaki normal yıllık yağış miktarı, eksik verilere sahip istasyondaki normal yıllık yağış miktarının %10'u aralığındaysa uygulanabilmektedir (Chow *et al.*, 1988). Normal yıllık yağış miktarı, eksik verilere sahip istasyondaki yıllık yağışların %10'unu aşarsa, normal oran yöntemi uygulanır. ABD Ulusal Hava Durumu Servisi (US National Weather Service), yıllık yağışların istasyonlar arası değişiminin yüksek olduğu bölgelerde normal oranı yönteminin kullanılmasını önermektedir (Chow, 1964), özellikle orografik etkinin yüksek olduğu dağlık bölgelerde. Ters mesafe ağırlıklandırma yönteminde, her istasyon hedef istasyonlardan gelen kare mesafesine göre ağırlıklandırılmaktadır. Regresyon yöntemlerinde ise hedef istasyonun zaman serileri ile komşu istasyon arasındaki ilişki göz önünde bulundurulur. Diğer yöntemlerle karşılaştırılan regresyon yöntemleri sağlamdır ve serideki yüksek değişkenlik ve lokal etkisinin varlığını ortadan kaldıracaktır (Githungo *et al.*, 2016; Pepler *et al.*, 2016).

Bu tezdeki aylık yağış serilerinin eksik değerleri %0,5 ile %7 arasında değişmektedir. Yağış eksik verilerin tamamlanması için basit doğrusal regresyon ve çoklu doğrusal regresyon analizleri kullanılarak aylık yağış serilerinde gerçekleştirilmektedir. Regresyon



analizinde hedef istasyona (kayıp olan istasyon) komşu istasyonların yağışı ve CRU verileri kullanılmıştır. Hedef istasyonları ile yakındaki istasyonlar ve CRU verilerin arasındaki ilişki Pearson Korelasyon katsayısı ile belirlendi. Regresyon parametrelerini hesaplamak amacıyla çoklu regresyon analizinde eksik iklim verilerinin tamamlanması için kullanılan yöntem olan en küçük kareler yaklaşımı kullanılmıştır (Bennis *et al.*, 1997; Simolo *et al.*, 2010).

### **Basit doğrusal regresyon analizi**

Hidrolojide, iki değişken arasında doğrusal bir ilişki varsayımı çok yaygındır. Doğrusal regresyonun genel şekli şöyledir:

$$Y = \alpha + \beta X \quad (3.1)$$

Bu denklemde: Y, regresyon modelin tarafından üretilen bağımlı değişkeni veya cevap değişkenidir; X, aynı zamanda girdi, yordayıcı ya da regresör olarak da adlandırılan bağımsız değişkeni ya da açıklayıcı değişkenidir;  $\alpha$  ve  $\beta$  ise regresyon katsayılarıdır. Y'nin gözlenen değerleri, regresyon denklemiyle tam olarak eşleşmediğinden; böylece, bir kalıntı  $\varepsilon$  gözlemlenmektedir. Regresyon denklemi daha sonra Y değerlerini aşağıdaki gibi ekleyerek ayarlanır:

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \varepsilon \quad (3.2)$$

Bundan dolayı denklem 1 ve 2'den  $\varepsilon = Y_i - Y$ .

### **Çoklu doğrusal regresyon**

Çoğunlukla, tek bir bağımsız değişkenin kullanılması, bağımsız değişkeni birçok başka niceliğin bir fonksiyonu olabileceğinden iyi bir regresyon sonucunu gerçekleştirmez. Bu durumlarda, doğrusal regresyon birkaç değişkene açıklayıcı değişkenlere aşağıdaki gibi

genişletilmektedir:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \cdots + \beta_k X_k + \varepsilon. \quad (3.3)$$

Burada, k bağımsız değişkenlerin sayısıdır.

### Regresyon parametrelerinin hesaplanması

Regresyon parametreleri  $\alpha$  ve  $\beta$ , a ve b adları olmak üzere, hesaplamak için kare hatanın toplamını  $\sum \varepsilon^2$  en aza indirmesi ortak bir yöntem olarak tanımlanmaktadır.

Sırasıyla X ve Y gözlemlerini  $x_i$  ve  $y_i$  olarak,

$$M = \sum \varepsilon^2 = \sum (y_i - y)^2 = \sum (y_i - a - bx_i)^2 \quad (3.4)$$

M'nin minimum olması için, a ve b'ye ilk türevi sıfır olmalıdır, yani:

$$\frac{\partial M}{\partial a} = -2 \sum (y_i - a - bx_i) = 0, \quad \text{ve} \quad \frac{\partial M}{\partial b} = -2 \sum x_i (y_i - a - bx_i) = 0 \quad (3.5)$$

Yukarıdaki denklemlerden:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x})} = \frac{S_{XY}}{S_{XX}}, \quad \text{ve} \quad a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (3.6)$$

$\bar{y}$  ve  $\bar{x}$ , sırasıyla  $y_i$  ve  $x_i$ 'nin ortalama değerleridir;  $S_{XY}$   $y_i$  ve  $x_i$ 'nin kovaryansıdır,  $S_{XX}$  ise  $x_i$ 'nin kovaryansıdır.

Regresyon başarımı, aşağıdaki ifadelerle verilen belirleme katsayısı ( $R^2$ ) ve hataların ortalama karekökü (RMSE) ile kontrol edilmektedir:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon^2}{(y_i - \bar{y})^2} = \frac{SS_{res}}{SS_y}, \quad \text{ve } RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (3.7)$$

Burada  $\hat{y}_i$  tahmin edilen  $y$ 'dir.

### 3.3.2. Homojenlik analizi

Hidroklimatik zaman serilerin için homojenlik analizi iki şekilde yapılır: Göreceli (bağıl) ve mutlak testler. Göreceli testler, yağış serinin homojen olan komşu bir istasyona (referans istasyonu) göre test edilmesinden oluşur; mutlak testler ise yalnızca tek istasyon serilerini kullanır. Test edilen serileri ve referans istasyonların arasında yüksek bir korelasyon varlığında, göreceli testleri daha uygundur, aksi takdirde mutlak testler tercih edilir (Wijngaard *et al.*, 2003). Göreceli testler genel olarak önerilse de (Peterson *et al.*, 1998), hem test istasyonu hem de referans istasyonlarının gözlemsel rutinindeki eşzamanlı değişikliklerle başa çıkamazlar. Ek olarak, yoğun seyrek yağış ağları bulunan bölgelerde göreceli testlerin kullanılması uygun değildir.

Dolayısıyla, bu çalışmada, yağış serilerinin homojenliği kontrol etmesi için dört mutlak test kullanılmaktadır: Standart Normal Homojenlik testi (SNHT) (Alexandersson, 1986), Pettitt Testi (Pettitt, 1979), Buishand range testi (Buishand, 1982) ve klasik von Neumann oran testi (von Neumann, 1941). Bu testler hidrolojik ve iklimsel zaman serileri için en çok kullanılan testlerdir (Santos and Fragoso, 2013; Suhaila *et al.*, 2008; Tosunoglu and Can, 2016; Wijngaard *et al.*, 2003). Bu dört testinin tümünü, sıfır hipotez altında, test değişkeninin yıllık değerlerinin bağımsız ve aynı şekilde (üniform) dağıtıldığını varsaymaktadır. Alternatif hipotezi SNHT, Buishand testi ve Pettitt testi için ortalamada bir süreksizlik varlığını düşünmektedir. Von Neumann testi ise alternatif hipotezi serinin rastgele dağıtılmadığını varsaymaktadır. Dikkate alınan istasyonların her birindeki JAS yağış serileri, Wijngaard *et al.* (2003)'nın ardından sıfır hipotezini reddeden testlerin sayısı göz önüne alınarak üç kategoride sınıflandırılmaktadır. Sınıf 1 veya "kullanışlı", sıfır hipotezinin %1 düzeyinde en fazla bir test tarafından reddedildiği istasyonları içerir.

Bu sınıfta, serideki belirgin bir homojensizlik yoktur, böylece zaman serileri trend ve değişkenlik analizi için uygundur. Sınıf 2 veya "Kuşkulu", %1 seviyesinde iki test tarafından sıfır hipotezi reddedilen serileri içerir. Bu, test değişkeninin yıllıklar arası standart sapmasının seviyesinin üzerinde bir homojensizlik varlığını gösterir. Bu nedenle, eğilim ve değişkenliğin sonuçlarıyla ilgili herhangi bir çıkarım dikkatli yapılmalıdır. "Şüpheli" olarak adlandırılan sınıfı 3, üç veya dört testin sıfır hipotezi %1 düzeyinde reddettiği serileri içerir. Bu kategorideki serileri, yüksek homojensizliği nedeniyle trend ve değişkenlik analizi için kullanılmamalıdır (Wijngaard et al., 2003).

### SNHT testi

SNHT analizi, serilerin ilk  $y$  yıllarının ortalamasını son  $n - k$  yılların ortalamasıyla karşılaştırmak için bir istatistik  $T(k)$  kullanılmasından oluşur (Alexandersson, 1986).

$$T(k) = k\bar{z}_1^2 + (n - k)\bar{z}_2^2, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3.8)$$

$\bar{z}_1$  and  $\bar{z}_2$  terimleri şöyle ifade edilir:

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{(Y_i - \bar{Y})}{s} \quad ve \quad \bar{z}_2 = \frac{1}{n - k} \sum_{i=k+1}^n \frac{(Y_i - \bar{Y})}{s} \quad (3.9)$$

Bu denklemlerde  $s$  standart sapma,  $\bar{Y}$  seri ortalamasıdır.

$T$  maksimum ise  $k$  yılında serideki bir kırılmaya karşılık gelir. Sıfır hipotezi reddetmek için, aşağıdaki test istatistiği  $T_0$  örneklem büyüklüğüne bağlı olan kritik değerlerden daha büyük olması gerekir (Jaruskova, 1996; Wijngaard et al., 2003).

$$T_0 = \max T(k), \quad 1 \leq k < n \quad (3.10)$$

Jaruskova (1996) ve Alexandersson and Moberg (1997) tarafından verilen  $T_0$  istatistiği

için %1 anlamlılık düzeyinde kritik değerler ve %5 anlamlılık düzeyinde kritik değerler Çizelge 3.2'de sunulmaktadır.

**Çizelge 3.2.**  $T_0$  istatistiği için kritik değerler

<b>n</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>70</b>	<b>100</b>
<b>1% anlamlılık derecesi</b>	9,56	10,45	11,01	11,38	11,89	12,32
<b>5% anlamlılık derecesi</b>	6,95	7,65	8,10	8,45	8,80	9,15

\* n örneklem büyüklüğüdür.

### Pettitt testi

Pettitt testi parametrik olmayan bir sıra tabanlı testtir. Bu teste,  $x_1, x_2, \dots, x_n$ 'nin sıraları  $r_1, r_2, \dots, r_n$  olarak  $X_k$  istatistiğini hesaplamak için kullanılır:

$$X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1) , \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3.11)$$

$X_k$ , bu testin sonuçlarını temsil eden grafiklerde tasvir edilmektedir. Bir kırılma yılı E oluşursa, o zaman yıl  $k = E$  yakınında istatistik maksimal veya minimal olur:

$$X_E = \max|X_k| , \quad 1 \leq k < n \quad (3.12)$$

$X_E$  için n'nin bir fonksiyonu olarak %1 ve %5 düzeyinde kritik değerleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Pettitt test istatistiklerinin kritik değerleri (Wijngaard et al., 2003)

<b>n</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>70</b>	<b>100</b>
<b>1% anlamlılık derecesi</b>	71	133	208	293	488	841
<b>5% anlamlılık derecesi</b>	57	107	167	235	393	677

### Buishand Range testi

Buishand testinin S istatistik testi aşağıdaki gibidir:

$$S_0^* = 0 \quad \text{ve} \quad S_k^* = \sum_{i=1}^k (y_i - \mu_Y), \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3.13)$$

Bir  $S_k^* \cong 0$  için, zaman serileri ortalama değeri etrafına rasgele dağıldığı için seri homojendir. Ekstremlerinin varlığı (maksimum veya minimum değerler) pozitif veya negatif kaymanın varlığına karşılık gelir.

Kaymanın önemi, “ölçeklendirilmiş düzeltilmiş aralık” değişkeni aşağıdaki gibi hesaplanarak değerlendirilebilir:

$$R = (\max(S_k^*) - \min(S_k^*)) / \sigma_Y \quad (3.14)$$

R değerleri daha sonra  $R/\sqrt{n}$  değerleri için Çizelge 3.4'te verilen kritik değerlerle karşılaştırılır (Buishand, 1982). Kritik değerden daha büyük bir R değeri, homojen olmayan bir seriye karşılık gelir.

**Çizelge 3.4.** Buishand testin  $R/\sqrt{n}$  Kritik değerleri

n	20	30	40	50	70	100
1% anlamlılık derecesi	1,60	1,70	1,74	1,78	1,81	1,86
5% anlamlılık derecesi	1,43	1,50	1,53	1,55	1,59	1,62

### Von Neumann oran test

Von Neumann oranı N, ardışık ortalama karenin (yıldan yıla) farkının varyansa oranı olarak ifade edilir (von Neumann, 1941):

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (y_i - y_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \mu_y)^2} \quad (3.15)$$

Sabit bir ortalama sıfır hipotezi altında,  $E(N) = 2$ , 2'den küçük bir N değeri, serideki bir kırılma varlığını belirtirken 2'den büyük bir N değeri, serideki hızlı bir değişime karşılık gelir (Buishand, 1981).

**Çizelge 3.5.** Von Neumann oran testinin kritik değerleri

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

Tanımlanan homojen olmayan yağış serileri, tutarsız kaydı ayarlamak için yaygın bir yöntem olan çift toplam eğri tekniği (Searcy and Hardison, 1960) kullanılarak homojenleştirildi.

### 3.4. Yağış Homojen Bölgelerinin Tanımı

Nijer, aşırı kurak Sahra'dan Soudano-Sahel nemli bölgesine kadar yüksek iklim değişkenliğine sahip geniş bir ülkedir. Bu nedenle, etkili bir kuraklık analizi ve sürdürülebilir bir su kullanımı için, homojen yağış olan bölgelerin belirlenmesi kaçınılmazdır.

Kantitatif zaman serilerinin sınıflandırması için çeşitli istatistiksel yöntemler ve matematiksel algoritmalar arasında: faktör analizi, temel bileşen analizi (PCA) ve küme analizi bulunmaktadır. PCA, kuşkusuz, özellik çıkarımı, boyut azaltma ve çok değişkenli analiz için en çok kullanılan ve en yaygın kullanılan tekniklerden biridir (Jolliffe, 2002). Bu nedenle büyük ölçüde hidro-klimatolojide uygulanır.

PCA, büyük bir korelasyona sahip olan değişkenleri setini, temel bileşenler (PC'ler) olarak adlandırılan küçük bir ilişkisiz değişken setine doğrusal olarak dönüştüren

matematiksel bir yöntemdir (Kambhatla and Leen, 1997; Wold *et al.*, 1987). PC'lerin her biri, kalan veri varyans'ındaki en büyük varyansı art arda temsil eder, bu nedenle, işlem önemli bilgi kaybı olmadan gerçekleştirilir. PC'ler, veri vektörünün oto-korelasyonlu matrisinin en büyük özdeğerleriyle ilgili özvektörlere eşdeğerdir (Kong *et al.*, 2017). PCA ortonormal rotasyon ve eğik rotasyon algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilebilir. White *et al.* (1991), ortonormal ve döndürülmemiş algoritmalarından daha stabil olduğu için eğik rotasyonun iklim bölgeselleşmesi için en uygun olduğunu bulmuştur. Ayrıca hidroklimatik zaman serileri için PCA, S modunda (geçici seri arasındaki korelasyon) veya T modunda (alanlar arasındaki korelasyon) yapılabilir (Tosunoglu and Can, 2016; Vicente-Serrano, 2006).

S modu, değişkenlerin geçici varyasyonunun aynı desene sahip olduğu bölgeleri gösterir, bu nedenle geçici bir desen başarısı için tercih edilir. PCA'nın istatistikleri ayrıntılı olarak açıklanmaktadır (Jolliffe, 2002) (Jolliffe, 1986; Wold *et al.*, 1987), PCA matematiğinin temelleri aşağıda verilmiştir. İstasyon sayısındaki yağış serisinin  $n$  gözlemleri,  $p$ -boyutlu bir uzayda temsil edilmektedir ve yağış serileri, rastgele bir vektör  $X$  olarak temsil edilir.

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_p \end{pmatrix} \quad (3.16)$$

$X$ 'in nüfus kovaryansı şu şekilde verilir:

$$\text{var}(X) = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1p} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \cdots & \sigma_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{p1} & \sigma_{p2} & \cdots & \sigma_p^2 \end{pmatrix} \quad (3.17)$$

Orijinal  $p$  ekseni daha sonra yeni bir ortogonal eksene dönüştürülür. Orijinal gözlemlerin yeni aksenlerin her birine yansması, istatistiksel olarak bağımsız olan temel bileşenler olarak adlandırılır. Bu,  $X$  elemanlarının maksimum varyansa sahip olan bir doğrusal bir



fonksiyon  $\alpha'_1 X$  dikkate alınarak gerçekleştirilir. Burada  $\alpha_1$ 'nin  $\alpha_{11}, \alpha_{12}, \dots, \alpha_{1p}$  ve  $\alpha_1$  p sabitlerinin bir vektörüdür:

$$\alpha'_1 X = \alpha_{11}x_1 + \alpha_{12}x_2 + \dots + \alpha_{1p}x_p = \sum_{j=1}^p \alpha_{1j}x_j \quad (3.18)$$

Ve sonra,  $\alpha'_2 X$  doğrusal işlevine,  $\alpha'_1 X$  ile korelasyona girmediğini ve maksimum varyansa sahip olduğunu ve art arda k'inci basamağında, maksimum varyansa sahip ve ilişkisiz bir doğrusal fonksiyon fonksiyonunu  $\alpha'_k X$  aradığına bakar  $\alpha\alpha'_1 X, \alpha'_2 X, \dots, \alpha'_{k-1} X$ .

k'inci türetilmiş değişken  $\alpha'_k X$ , k'inci PC'ye karşılık gelir. Her ne kadar maksimum p bulunabilse de, X'deki değişkenlerin çoğunun p'den daha az sayıda PC tarafından hesaba katılması beklenmektedir.

Bu çalışmada, Nijer üzerindeki homojen yağış bölgelerini belirlemek için yağış dizisine eğik rotasyonlu PCA S modu uygulanmıştır. Benzer yağış düzenine sahip istasyonları belirlemek için istasyonlar arası korelasyon katsayıları matrisi kullanılmıştır. Korelasyon matrisi, kovaryans matrisinin aksine standart matris formunu oluşturduğu için tercih edilmiştir (Tinsley and Tinsley, 1987). Uygulanan rotasyon metodu “direkt oblimin” tir (Jennrich and Sampson, 1966).

PCA analizi, Temmuz, Ağustos, Eylül (JAS) aylarındaki aylık yağış serileri ve bireysel olarak biriken JAS yağış serileri kullanılarak SPSS (Corp, 2011) 'de yapılmaktadır. İstatistiksel olarak anlamlı PC'ler, yalnızca bir taneden daha büyük özdeğerler ve en yaygın kriterlerden biri olan Kaiser'in (Kaiser, 1959) kriteri göz önüne alınarak belirlenmektedir.

PCA yaklaşımıyla tanımlanan homojen yağış bölgeleri coğrafi bilgi sistemi ArcGIS 10.1 kullanılarak ülke haritasında çizilen poligonlar ile sınırlandırılmaktadır. Her homojen

bölge için ortalama JAS yağışları Thiessen polygon yaklaşımı (Thiessen, 1911) kullanılarak hesaplanmıştır.

### 3.5. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi

Standart Yağış İndeksi (YSİ), mevcut uzun vadeli yağış verilerini bir olasılık dağılımına uyarak hesaplanır. Sonra, olasılık dağılımı değeri standart normal dağılıma (ortalaması sıfır ve standart sapması bir) dönüştürülür. SYİ'nin hesaplanan değeri, Çizelge 3.6'da gösterildiği gibi kuraklığın veya ıslak durumların sınıflandırılmasına yardımcı olur. İki parametrelili Gamma Dağılımı yağış verileri için yaygın olarak uygulanmaktadır. İki parametrelili Gamma Dağılımının birikimli olasılığı şöyledir:

$$G(x) = \frac{\int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \quad (3.19)$$

$\alpha$  şekil parametresi,  $\beta$  ölçek parametresi ve  $\Gamma$  gama fonksiyonudur. Gama fonksiyonu  $x = 0$  için tanımsız olduğundan ve bir yağış dağılımı sıfırlar içerebildiği için, kümülatif olasılık şöyle olur:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (3.20)$$

Burada  $q$ , sıfır olasılığıdır.

İki parametrelili Gama dağılımı çoğunlukla yağış serileri için kullanılsa da, Nijer'de yağışların konumsal ve zamansal değişkenliği nedeniyle, diğer yedi dağılım—Genelleştirilmiş Aşırı Değer, genelleştirilmiş Pareto, Lojistik, Log-lojistik, Normal, Lognormal ve Weibull olarak da kullanıldı. Böylece, SYİ her bir HR'nin JAS yağmur serisinin en uygun dağılıma uyarlanmasıyla hesaplanmaktadır. Her bir HR için en uygun dağılımı, Akaike bilgi kriterine (AIC) denklem 3.21' de (Akaike, 1974) ve Bayesian bilgi kriterine (BIC) denklem 3.22'de (Stone, 1979) dayanarak belirlendi.

$$AIC = 2k - 2ln \quad (3.21)$$

$$BIC = 2 \ln(N) K - 2l n(L) \quad (3.22)$$

Yukarıdaki denklemlerde k, dağılımın parametrelerinin sayısı, L ise olasılık, N ise örneklem büyüklüğüdür. En küçük AIC ve BIC değerlerine sahip olan dağılım en uygun olasılığıdır.

**Çizelge 3.6.** SYİ ' ye göre kuraklık sınıfları (McKee et al., 1993)

SYİ değerleri	Kuraklık kategorisi
$\geq 2$	Çok şiddetli yağışlı
1.50 ~ 1.99	Çok yağışlı
1.00 ~ 1.49	Orta şiddetli yağışlı
0.99 ~ - 0.99	Normale yakın
-1.00 ~ -1.49	Orta kuraklık
-1.50 ~ -1.99	Şiddetli kuraklık
$\leq - 2$	Çok şiddetli kuraklık

SYİ normalize edildiğinde, daha ıslak ve daha kuru iklimler aynı şekilde gösterilebilir; Böylece, ıslak dönemler SYİ kullanılarak da izlenebilir. Bununla birlikte, SYİ'nin iklim değişikliği analizi için uygun olmadığı vurgulanmalıdır, çünkü sıcaklık bir giriş parametresi değildir (Mark *et al.*, 2012).

### 3.6. Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi

SYEİ nin hesaplanması, Evapotranspirasyon (PET) hesaplamasında kullanılan metoda bağlıdır. PET, yeterli su kaynağının varlığında topraktan, bitkilerden ve su kütlelerinden buharlaşacak olan su miktarıdır. PET hesaplaması için Thornthwaite denklemi

(Thornthwaite, 1948), Penman-Monteith denklemi (Penman, 1948) ve Hargreaves denklemi (Hargreaves and Samani, 1982) en yaygın denklemleridir. Thornthwaite yöntemi bu tezde basitliği (sadece sıcaklık verileri gerekli) ve veri kıtlığı olan alanlara ve genel olarak aylık zaman ölçeğine uygun olması nedeniyle uygulanmıştır. PET, aşağıdaki gibi Thornthwaite denklemi kullanılarak mm/ay olarak elde edilir:

$$PET = 16 \left( \frac{L}{12} \right) \left( \frac{N}{30} \right) \left( \frac{10T_d}{I} \right)^\alpha \quad (3.23)$$

$T_d$ , temel ayın °C cinsinden ortalama günlük sıcaklığı ise, N ayın gün sayısıdır, L ayın teorik güneş saatidir (enlem ve tarihe bağlıdır),  $\alpha$  ise aşağıdaki ifadeyle verilir:

$$\alpha = (6,75 \times 10^{-7})I^3 - (7,71 \times 10^{-5})I^2 - (1,792 \times 10^{-2})I + 0,49239 \quad (3.24)$$

I, yılın her ayının toplamı olarak hesaplanan yıllık ısı endeksidir:

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{T_{m_i}}{5} \right)^{1,514} \quad (3.25)$$

Burada  $T_{m_i}$  aylık ortalama sıcaklıktır.

SYEİ hesaplamasında, aylık yağış ( $P_i$ ) ve  $PET_i$  farkları  $D_i$  olarak hesaplanıp (denklem 3.23) ve hesaplanan  $D_i$  arzulanan zaman ölçeğine göre (örneğin 1 ila 48 ay arası) toplanır.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (3.26)$$

Toplanan değerleri bir olasılık dağılımına uymaktadır. Son adımda, Olasılık dağılımı, standart normal dağılıma dönüştürülüp SYEİ değerleri bulunur. SYEİ değerleri SYİ gibi Çizelge 3.6 kullanarak kuraklık olayları sınıflandırabilir.

### 3.7. Trend Analizi: Mann-Kendall ve TFPWMK Testleri

İklim ve hidrolojik değişkenlerde trend tespiti elde etmek için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri parametrik olmayan Mann-Kendall (MK) testidir. MK testi, sıfır hipotezin ( $H_0$ ) altında, bir zaman serisi verisinin bağımsız ve aynı şekilde dağıtılmış rastgele değişkenleri olan bir popülasyondan kaynaklandığını varsaymaktadır. Alternatif hipotezi  $H_1$  ise zaman serisinin monotonik bir eğilime sahip olduğunu düşünmektedir (Kendall, 1975). Bu yöntemin sakıncaları arasında: (i) seri korelasyona karşı verimsizliği (Hamed, 2008) ve (ii) örneklem büyüklüğüne bağımlılığı ve serinin eğiliminin ortaya çıkmasının önemi (Adamowski *et al.*, 2009). Bu nedenle, otokorelasyonlu SYİ ve SYEİ serisi için Yue *et al.* (2002) tarafından önerilen TFPMK testi, trend saptaması için da uygulanmıştır. MK istatistiği şöyle tanımlanmaktadır:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (3.27)$$

$x_j$  sıralı veri değerlerini temsil eder,  $n$ , zaman serisi uzunluğudur ve  $\text{sgn}(x_j - x_i)$  aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1, & (x_j - x_i) > 0 \\ 0, & (x_j - x_i) = 0 \\ -1, & (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (3.28)$$

$S$ 'nin ortalaması  $\mu = 0$ 'dır ve varyansı  $\text{VAR}(S)$  aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5) \right] \quad (3.29)$$

Yukarıdaki denklemde,  $m$  bağlı grupların sayısıdır ve  $t_i$ , bağlı grubun büyüklüğüdür.  $S$  istatistiği yaklaşık olarak normal dağılmıştır, bu nedenle  $Z$ -dönüşümü standart test

istatistiğini hesaplamak için kullanılır:

$$z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} , & \text{eğer } S > 0 \\ 0 & \text{eğer } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} , & \text{eğer } S < 0 \end{cases} \quad (3.30)$$

Sıfır hipotezi  $H_0$ ,  $z$  anlamlılık düzeyinde  $|z| \leq z_{\alpha/2}$  ise kabul edilir. Pozitif değeri pozitif bir  $z$  eğilimi gösterir ve negatif bir  $z$  değeri zaman negatif eğilimi gösterir.

Mann-Kendall testinin yanı sıra, Sen'in Eğimi de bu tezde trendin büyüklüğünü hesaplamak için uygulanmıştır. Sen'in Eğimi testi, Sen'in yöntemini izleyerek eğim olarak bilinen doğrusal değişim oranını ve kesişme noktasını (yani  $y$  eksenine kesişme) tahmin eder. Sen'in eğimi, tüm düzenli gözlemlerin çiftlerinin eğimlerinin medyanı olarak tanımlanmaktadır. Tüm sıralı gözlem çiftlerinin eğimleri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$\Delta_k = \frac{x_j - x_i}{j - i} \quad (3.31)$$

Burada,  $i = 1, 2, \dots, n-1$  ve  $j = i + 1$ 'dir. Trend eğilimi,  $\Delta_k$ 'nin medyanı olarak tanımlanmaktadır.

TFPMK testinde, örnek veriler otokorelasyon tahmininden önce algılanır. Sen'in eğimi yöntemi ilk olarak doğrusal eğilimin varlığını saptamak için uygulanır ve eğilimin olması durumunda, aşağıdaki matematiksel ifadeyi kullanarak seri düşürülür:

$$X'_t = X_t - T_t = X_t - bt \quad (3.32)$$

Bu denklemde,  $X_t$  örnek veridir,  $T_t = bt$  doğrusal eğilimidir,  $b$  ise eğim ve  $t$  zaman adımı

olarak tanımlanır.

İkinci adımda, gecikme-1 seri korelasyon katsayısı hesaplanır (bu tezde ACF ve PACF grafikleri seri korelasyonu tahmin etmek için kullanıldı) ve sonra gecikme-1 otokorelasyonu aşağıdaki denklem kullanılarak kaldırılır:

$$Y'_t = X'_t - r_1 X'_{t-1} \quad (3.33)$$

Üçüncü adımda, tespit edilen  $T_t$  eğilimi ve kalıntı serisi, aşağıdaki denklem kullanılarak birleştirilir:

$$Y_t = Y'_t + T_t \quad (3.34)$$

Dördüncü ve son adımda, MK testi birleştirilmiş  $Y_t$  serisine uygulanır.

### 3.8. Periyodiklik Analizi: Sürekli Dalgacık Dönüşümü CWT

Periyodiklik, iklim ve hidrolojik zaman serilerinin analizinde kilit bir faktördür. Kuraklık modellemesinde, periyodiklik, bir karakteristiğin düzenli bir zaman aralığında tekrarlayan veya periyodik olma eğilimi olarak tanımlanabilir. Dalgacık dönüşümünün (WT) uygulanması, hidrolojik zaman serilerinde periyodiklik tespitinde popülerlik kazanmıştır. WT, geçici sürecin kapsamlı bir zaman ölçeği yerelleştirmesini sağlayabilir. Sürekli dalgacık dönüşümü yaygın olarak bu amaç için ve çeşitli dalgacık aileleri arasında kullanılır. CWT zaman serilerindeki önemli bir periyodik bileşen yaklaşımı için yaygın olarak kullanılır ve çok sayıda dalgacık işlevi arasında, Morlet dalgası, hidro-iklim değişkenlerinin özelliklerini etkili bir şekilde tanımlayabildiğinden tercih edilir (Joshi et al., 2016). CWT için, zaman-frekans dalgacık dönüşümü  $C_{\psi}^x(a, \tau)$  aşağıdakiler tarafından verilmektedir:

$$C_{\psi}^x(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi^* \left( \frac{t - \tau}{a} \right) dt \quad (3.35)$$

Burada  $\psi^*$  ana dalganın karmaşık eşleniği  $\psi(t)$ , t zamana aittir, a ölçek parametresi ve  $\tau$  zaman adımıdır (geçiş parametresi). Morlet dalgacıkları şu şekilde sunulabilir (Adamowski et al., 2009):

$$\psi(\eta) = \pi^{-0.25} e^{i\omega\eta - 0.5\eta^2} \quad (3.36)$$

$\omega$  ve  $\eta$  ile boyutsuz frekans ve zaman parametresi ve Morlet Dalgacığının Fourier dönüşümü aşağıda verilmektedir:

$$\psi(\omega) = e^{-(\omega - \omega_0)^2 / 2} \quad (3.37)$$

SPI ve SYEİ serilerindeki baskın süreleri tahmin etmek için her bir homojen bölge için CWT'nin dalgacık güç spektrumu kullanıldı. SYİ serisinin güç spektrumu “waveComp” paketini kullanarak R yazılımında (R Core Team, 2013) (R Core Team, 2013) hesaplanmıştır (Roesch and Schmidbauer, 2014).

### 3.9. Nijer'de Kuraklık Oluşumu ile İklim Endeksleri Arasındaki İlişki

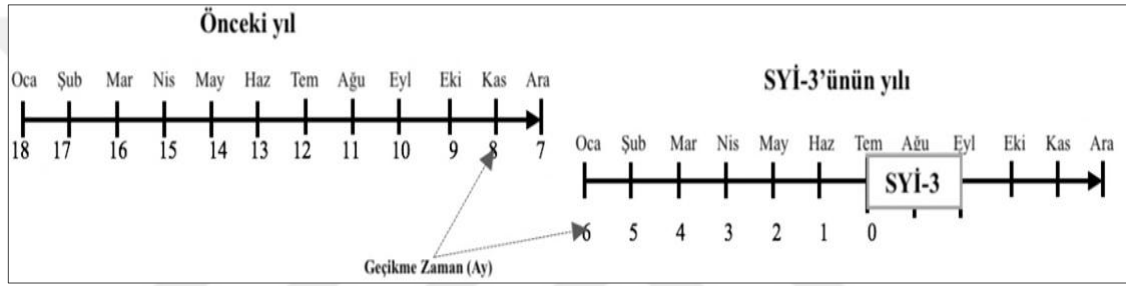
Tanımlanan homojen yağış bölgesindeki kuraklık olayları ile Nijer üzerindeki geniş çaplı iklim olayları arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için öncelikle Pearson korelasyon katsayısı JAS yağış serileri ile alt bölüm 3.2.4'deki Çizelge 3.1'de listelenen iklim endeksleri arasında hesaplandı. Çapraz doğrusal korelasyon analizi iklim endekslerinin zaman serilerini 1 ila 18 ay arasında geciktirerek gerçekleştirildi. 1 aylık gecikme süresi, JAS kuraklık endeksi ile aynı yılın Haziran ayındaki iklim endekslerine karşılık gelir ve 18 aylık gecikme, Şekil 3.3'de gösterildiği gibi kuraklık endeksine göre önceki yılın Ocak ayındaki iklim endekslerine karşılık gelir. İki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi ölçmek için Pearson korelasyon katsayısı kullanıldı. Pearson korelasyon katsayısı



denklem 3.38 ile verilir:

$$r_p = \frac{COV(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (3.38)$$

Burada  $COV(X, Y)$  X ve Y kovaryansı, X iklim endeksleri, Y kuraklık endeksi,  $\bar{X}$  ve  $\bar{Y}$  sırasıyla X ve Y'nin ortalamalarıdır.



**Şekil 3.2.** SYI ile iklim endeksleri arasında gecikme zamanı

Bir zaman serisinde durağan olmayan bileşenlerin varlığına karşı, klasik çapraz korelasyon kullanımı yanlıştır (Belayneh *et al.*, 2014). Geleneksel çapraz korelasyonun diğer sınırlamaları, doğrusal olmayan serilere karşı etkisizliğidir. Dalgalar arası korelasyon, tüm bu sorunların üstesinden gelen bir araçtır. Farklı zaman ölçeği için iki zaman serisi arasındaki çapraz korelasyonu tespit edebilir (Joshi *et al.*, 2016). Hidro-iklim verileri arasındaki bağlantıyı anlamak için uygulanabilmektedir. Belayneh *et al.* (2014), Teksas'taki düşük frekanslı iklim endeksleri ile kuraklıklar arasındaki bağlantıyı incelemek için çapraz dalgacık (XWT) analizini uygulamıştır. İki zaman serisi X ve Y'nin dalgacık çapraz spektrumu aşağıdaki verilmektedir (Adamowski *et al.*, 2009):

$$W_n^{XY}(s) = W_n^X(s)W_n^{Y*}(s) \quad (3.39)$$

$W_n^X(s)$  ve  $W_n^Y(s)$  Sırasıyla X ve Y'nin dalgacık dönüşümüdür ve  $W_n^{Y*}(s)$   $W_n^Y(s)$ 'nin karmaşık eşleniğidir.

Çapraz dalgacık gücü, dalgacık çapraz spektrumunun mutlak değeridir. Çapraz dalgacık gücünün, arka plan gücü  $P_k^X$  ve  $P_k^Y$  ile teorik olarak dağıtırken olarak tanımlanmaktadır (Adamowski et al., 2009):

$$D \left( \frac{|W_n^X(s)W_n^{Y*}(s)|}{\sigma_X\sigma_Y} < p \right) = \frac{Z_v(p)}{v} \sqrt{P_k^X P_k^Y} \quad (3.40)$$

Burada  $Z_v(p)$  bir olasılık  $p$  ile ilişkili güven düzeyidir,  $\sigma$  standart sapmadır. Çapraz dalgacık analizi R yazılımında “biwavelet” paketi ile yapıldı (Gouhier *et al.*, 2016).

### 3.10. Kesikli Dalgacık Dönüşümü: Zaman Serisi Ayırışması

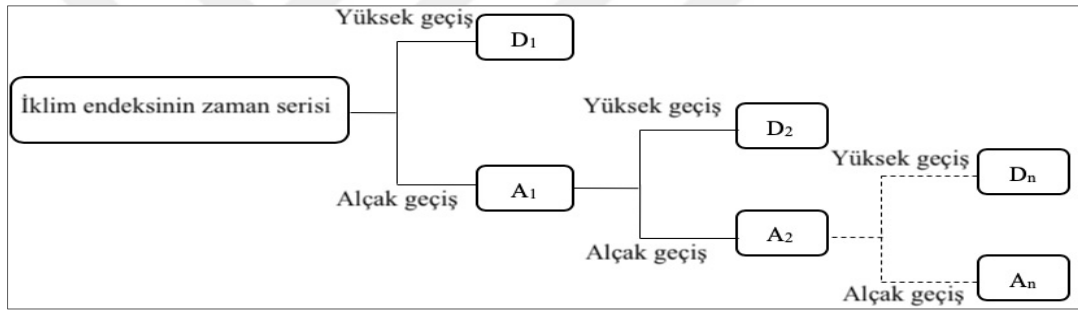
Kesikli dalgacık dönüşümü (DWT), dalgacık katsayılarındaki farklı zaman ölçeğindeki sinyali (veya zaman serilerini) parçalayabilen ve yeniden yapılandıran bir araçtır. DWT, sinyalde yer alan gerçek süreçleri tespit etmek için dalgacık katsayılarındaki fazla bilgiyi ortadan kaldırır (Daubechies, 1992). Ayırışma, farklı seviyelerde bir dizi düşük-geçişli ve yüksek-geçişli filtreler kullanılarak yinelemeli bir işlem boyunca gerçekleştirilir (Şekil 3.3). Dalgacık katsayıları  $W_\psi(a, b)$  2 genişleme aşamalı ve konum değişkeni 1 olarak denklem 3.41 ile hesaplanır.

$$W_\psi(a, b) = \frac{1}{(2)^{\frac{a}{2}}} \sum_{t=0}^{N-1} X_t \Psi \left( \frac{t}{2^a} - b \right) \quad (3.41)$$

Bu denklemde  $\Psi$  ana dalgacık anlamına gelir; a ve b sırasıyla dalgalanma miktarını (ölçek faktörü) ve dalganın çevrilmesini temsil eden tam sayılardır;  $X_t$  zaman serileridir; ve t kesikli zamandır.

Bu tezdeki 16 iklim endeksinin serisi farklı dalgacık aileleri (Daubechies, Haar, Morlet, Symlets ve diğerleri) kullanılarak farklı seviyelerde yaklaşım ve detay katsayılarına ayrıştırıldı. Ayrıştırma işleminin ilk basamağı, orijinal seriden (S) iki katsayı kümesi

üretir: yaklaşıklık katsayıları ( $A_1$ ) ve orijinal seri ile aynı uzunlukta olan detay katsayıları ( $D_1$ ). Bu katsayılar,  $S$ 'yi  $A_1$  için düşük geçişli filtre ve  $D_1$  için yüksek geçişli filtre ile ve ardından çift aşağı örnekleme ile dönüştürerek elde edilir. Bir sonraki adımda,  $A_1$ ,  $S$  ile değiştirilerek ve  $A_2$  ve  $D_2$  üretilerek, adım 1'deki aynı şema takip edilerek iki parçaya ayrılır. İstenen ayrışma seviyesine ulaşılan kadar aynı işlem tekrarlanır. Sinyalin rekonstrüksiyonu, orijinal sinyalin ve detay katsayılarının en yüksek korelasyona sahip olduğu seviye olan maksimum ayrışma seviyesindeki detay katsayıları kullanılarak yapıldı. Seviye 1'den maksimum seviyeye kadar olan detay katsayıları daha sonra yeniden oluşturulan seriyi elde etmek için toplanır. İklim endeksleri serisinin ayrıştırılması ve yeniden yapılandırılması MATLAB\_R2016b'de gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. DWT zaman seri ayrışma metodu

### 3.11. Meteorolojik Kuraklık Tahmin Modeli

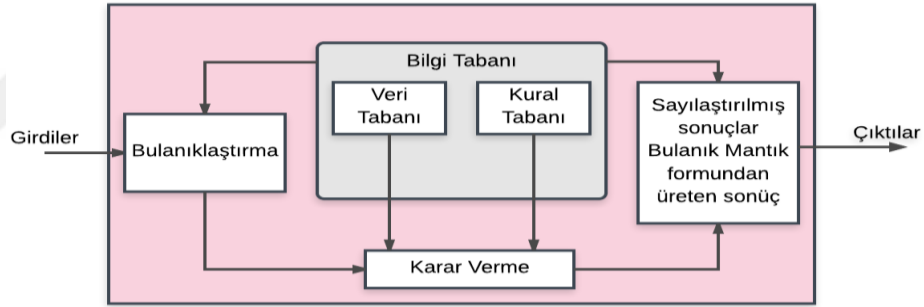
#### 3.11.1. Adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS)

ANFIS, yapay sinir ağı (ANN) ve bulanık mantık (FL) iki esnek hesaplama yönteminin bir kombinasyonudur (Jang, 1993). Bulanık mantık (FL), insan bilgisinin nitel yönlerinin, spesifik nicel analiz sürecine dönüştürülmesini sağlamaktadır. Fakat, bulanık çıkarım sistemine (FIS) dayanan bir kurala dönüştürmek ve insan düşüncesi sürecinde rehber olarak kullanılabilir tanımlanmış bir yöntemden yoksundur. Ayrıca, üyelik fonksiyonların (MF) ayarlanması zaman alıcıdır. YSA, öğrenme sürecinde çevresine uyum sağlama kabiliyetine sahiptir. Bu nedenle YSA, MF'leri otomatik olarak ayarlamak ve bulanık mantıkta kuralların belirlenmesinde hata oranını azaltmak için uygun bir

araçtır.

### Bulanık çıkarım sistemi (FIS)

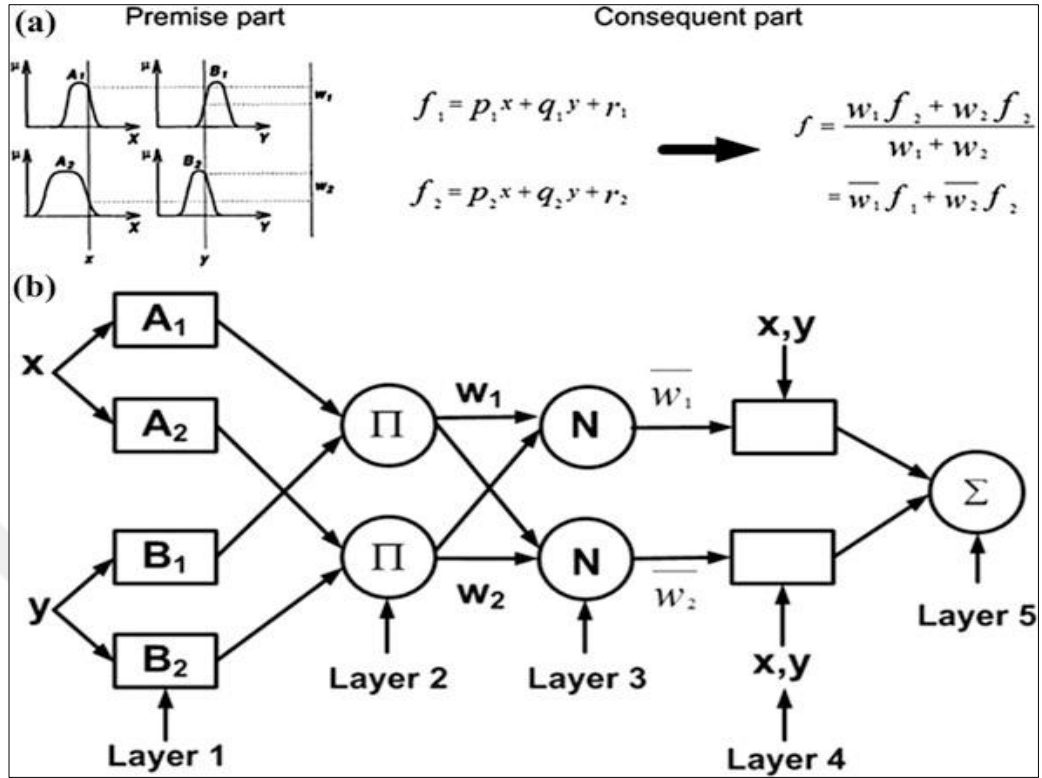
Genel olarak bulanık çıkarım sistemi (FIS), girdi verileri vektörün skaler bir çıktıya doğrusal olmayan bir eşlemesidir (Mendel, 1995). FIS üç bileşenden oluşur: girdi-çıkıtı üyelik fonksiyonları (0 ile 1 arasında değişen değerlerdir), bulanık kurallar (IF-THEN) ve çıkarım motoru veya sistemi (Mamdani, 1974). Temel kurallar, insan ya da otomatik nesil (jenerasyon) olarak oluşturulabilir; arama kuralları girdi-çıkıtı verilerini sayısal olarak kullanır. FIS 'nın türleri Takagi-Sugeno, Mamdani ve Tsukamoto'dur. Takagi-Sugeno FIS modelini ANFIS yönteminin uygulanmasında yaygın olarak kullanılır (Wang *et al.*, 2005). Şekil 3.4 bulanık çıkarım sistemi göstermektedir.



Şekil 3.4. Bulanık çıkarım sistemi (FIS)

### Adaptif Ağ

Adaptif ağ (uyarlanabilir ağ), çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağı örneğidir (Şekil 3.5). Öğrenme sürecinde, bu ağlar genellikle denetimli öğrenme algoritması kullanır. Ek olarak, adaptif ağ, herhangi bir ağırlık değeri olmadan doğrudan birbirlerine bağlanan birkaç adaptif düğümden oluşan mimari özelliklere sahiptir. Bu ağdaki her düğüm farklı işlevlere ve görevlere sahiptir ve çıkış düğümde bulunan gelen sinyallere ve parametrelere bağlıdır. Kullanılan bir öğrenme kuralı, düğümdeki parametreleri etkileyebilir ve adaptif ağ çıktısında hataların oluşumunu azaltabilir (Jang, 1993).



Şekil 3.5. Sugeno bulanık çıkarım mekanizması ve ANFIS mekanizması

### ANFIS Mimarisi

ANFIS mimarisi, Takagi- Sugeno bulanık çıkarım sisteminin modeline benzer bir fonksiyona sahip öğrenme algoritmasında gözetimli öğrenmeyi kullanan adaptif bir ağıdır. Şekil.3.5, Takagi- Sugeno modeli ve ANFIS mimarisi için bulanık mantık mekanizmasını göstermektedir. Basitlik için, iki girdi  $x$  ve  $y$  ve bir çıktı  $f$  olduğunu varsaymaktadır. Takagi-Sugeno modeli için "If-Then" (eğer-ise) yönteminde aşağıdaki iki kural kullanılmıştır:

Kural 1. If  $x$  is  $A_1$  and  $y$  is  $B_1$  Then  $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

Kural 2. If  $x$  is  $A_2$  and  $y$  is  $B_2$  Then  $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

Burada  $A_1, A_2$  ve  $B_1, B_2$ , her girdi  $x$  ve  $y$ 'nin üyelik fonksiyonudur (öncülleri bir kısmı),  $p_1, q_1, r_1$  ve  $p_2, q_2, r_2$  Takagi- Sugeno bulanık çıkarım modelinin “Then” kısmen doğrusal parametreleridir (sonuçları kısmi).

Şekil.3-6'e bakıldığında, ANFIS mimarisi beş katmana sahiptir. Birinci ve dördüncü katmanlar adaptif bir düğüm içerirken diğer katmanlar sabit bir düğüm içerir.

### Birinci Katman

Bu katmandaki her düğüm bir işlev parametresine uyarlanır. Her bir düğümden çıkan çıktı, üyelik işlevlerinin girişi tarafından verilen bir üyelik derece değeridir (0 ile 1 arasında). Örneğin, üyelik fonksiyonu bir Gaussian üyelik fonksiyonu (Denklem 3.42), Generalized bell-shaped üyelik fonksiyonu (Denklem 3.43) veya başka bir üyelik fonksiyonu türü olabilir.

$$\mu_{A_i}(x) = \exp \left[ - \left( \frac{x - c_i}{2a_i} \right)^2 \right] \quad (3.42)$$

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b}} \quad (3.43)$$

Katman 1'in çıktıları aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \quad i = 1, 2 \quad (3.44)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(x), \quad i = 3, 4 \quad (3.45)$$

Burada  $\mu_{A_i}$  ve  $\mu_{B_{i-2}}$  sırasıyla  $A_i$  ve  $B_i$  bulanık kümeleri için üyelik fonksiyonlarının derecesidir ve  $(a_i, b_i, c_i)$  şeklini değiştirebilen bir üyelik fonksiyonunun parametreleridir. üyelik işlevi. Bu katmandaki parametrelere tipik olarak öncül parametreleridir.

### İkinci Katman

Bu katmandaki her düğüm sabit veya uyarlanmaz (adaptif olmayan) ve daire düğümü  $\Pi$  olarak etiketlenmiştir. Çıkış düğümü, düğümüne gelen ve bir sonraki düğümüne gönderilen sinyalin çarpımı sonucudur. Bu katmandaki her düğüm, her kural için ateşleme gücünü temsil eder. İkinci katmanda, *AND* gibi genel performansa sahip T-norm operatörü çıktı elde etmek için uygulanır (denklem 3.46).

$$O_{2i} = w_i = \mu_{A_i}(x) * \mu_{B_i}(y), \quad 1 = 1,2 \quad (3.46)$$

Burada,  $w_i$ , her kuralın ateşleme gücünü temsil eden çıktıdır.

### Üçüncü katman

Bu katmandaki her düğüm sabit veya uygun olmayan ve daire düğümü  $N$  olarak etiketlenmiştir. Her bir düğüm,  $i$ -inci kural ateşleme gücü ve tüm kuralların ateşleme güçlerinin toplamı arasındaki bir oranın hesaplanmasıdır. Bu sonuç, normalleştirilmiş ateşleme mukavemeti olarak bilinir (denklem 3.47).

$$O_{3i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_i w_i} \quad (3.47)$$

### Dördüncü katman

Bu katmandaki her düğüm, çıktıya adaptif bir düğüm olup, düğüm işlevi şu şekilde tanımlanır (denklem 3.48):

$$O_{4i} = \bar{w}_i f = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (3.48)$$

Burada  $w_i$  önceki katmandan (üçüncü katman) normalleştirilmiş ateşleme mukavemetidir

ve  $(p_i x + q_i y + r_i)$  düğümdeki bir parametredir.

### Beşinci Katman

Bu katmandaki tek düğüm, önceki düğümden gelen tüm sinyaller toplamı olarak genel çıktıyı hesaplayan sabit veya adaptif olmayan bir düğümdür. Bu katmanda bir daire düğümü  $\Sigma$  olarak etiketlenir (denklem 3.49).

$$O_{5i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (3.49)$$

### Hibrit Öğrenme Algoritması

Geleneksel sinir ağlarında, geri yayılım algoritması, giriş-çıkış alıştırmaları örneklerinden nöronlar arasındaki bağlantı okları üzerinde ağırlıkları öğrenmek veya ayarlamak için kullanılır. ANFIS yapısında, terimlerin ve sonuçların parametreleri ağırlıkların rol oynamaktadır. Özellikle, kuralların "If" bölümünde kullanılan üyelik fonksiyonları  $A_i^j$  parametrik olarak belirtildiğinde. Yani şekil belirli oldu ve fonksiyonu, son sayıda parametreyle belirlenir. Bu parametrelere ön parametreler denirken, kuralların "IF" bölümündeki  $a_i, b_i, c_i, i = 1, 2$  parametreleri sonuç parametreleri olarak anılır.

Öğrenme algoritması, yukarıdaki parametre setini örnek verisinden ayarlamaktan oluşur  $((x_1^k, x_2^k), y^k), k = 1, \dots, N$  (Nguyen et al., 2003).

Bir bulanık-sinirsel ağın eğitilmesi için, giriş-çıkış çokuzlu formunda bir takım eğitim verilerine ve ilgili üyelik işlevlerinin bir ön tanımını içeren kuralların bir spesifikasyonuna ihtiyaç vardır. Standart bir yaklaşım üyelik fonksiyonları için belli bir şekli varsaymaktır, böylece üyelik işlevleri bir sinir ağı tarafından öğrenilebilecek parametrelere dayanır.



ANFIS mimarisinde, birinci katman ve dördüncü katman, zaman içinde değiştirilebilen parametreleri içerir. Birinci katmanda, doğrusal olmayan öncüller parametresi bulunurken, dördüncü katman doğrusal sonuç parametrelerini içerir. Her iki parametrenin de güncellenmesi için, her iki parametreyi de eğitip çevrenize uyarlayabilen bir öğrenme yöntemi gereklidir (Suparta and Alhasa, 2015).

Hibrid öğrenme algoritmasının iki bölümü vardır: ileri yolu ve geri yolu. İleriye doğru yolda birinci katmandaki öncülleri (premise) parametreleri sabit bir durumda olmalıdır. İleriye doğru yolda birinci katmandaki tesislerin parametreleri sabit bir durumda olmalıdır. Dördüncü katmandaki sonuç parametresini onarmak için bir öz-yinelemeli en küçük kareler tahmin edici (Recursive least square estimator; RLSE) yöntemi uygulandı. Sonuç parametreleri doğrusal olduğundan, hibrid öğrenme sürecinde yakınsama hızını arttırmak için RSLE metodu uygulanabilir. Daha sonra, sonuç parametreleri elde edildikten sonra, girdi verileri adaptif ağ girişine geri gönderilir ve üretilen çıktı gerçek çıktı ile karşılaştırılacaktır. Geri yol çalışırken, sonuçta gelen parametreler sabit bir durumda olmalıdır. Gerçek çıkışla üretilen çıktı arasındaki karşılaştırma sırasında oluşan hata, birinci katmana geri iletilir. Aynı zamanda, birinci katmandaki parametre binaları, eğim inişinin ve geri yayılımın öğrenme yöntemleri kullanılarak güncellenir. RSLE'yi ve gradyan iniş yöntemlerini birleştiren hibrid öğrenme algoritmasının kullanılmasıyla, orijinal geri yayılım yönteminde boyutsal arama alanını azaltabileceği için yakınsama oranının daha hızlı olmasını sağlayabilir (Nayak et al., 2014).

Bu çalışmada, Jang (1993) tarafından önerilen hibrid algoritma kullanılacaktır. Bu algoritmanın kullanımı, özellikle yavaş bir yakınsama hızında sorunlu bulunan ve yerel minimalde sıkışan olma eğiliminde olan adaptif ağlarda var olan parametrelerin yetiştirilmesi için kullanılan geri yayılım algoritmasından kaynaklanmaktadır (Suparta and Alhasa, 2015). Bu tezde dalgacık dönüşümü ve ANFIS analizleri MATLAB\_2016b ve R yazılım programlarında gerçekleştirildi.

### 3.11.2. Dalgacık-ANFIS Modeli

Önerilen Dalgacık-ANFIS Modeli aşağıdaki adımlarla açıklanabilir:

- 1- Giriş ve çıkış verilerini alıştırma seti (veri% 70) ve test Seti (veri% 30) içine ayırdıktan sonra,
- 2- Her girişin orijinal serisi, DWT kullanılarak detaylı (D) ve yaklaşımlı (A) katsayıları ayrıştırılacaktır,
- 3- Her girdi için her bir alt serinin en önemli ve etkili olanı, bir korelasyon analizi sonrasında seçilir,
- 4- ANFIS'in yeni girdisi, her girdi değişkeni için önemli alt zaman serisi bileşenleri olacak ve orijinal çıktı zaman serisi, ANFIS'in çıktısıdır,
- 5- Dalgacık-ANFIS Doğruluğu modeli test seti kullanılarak değerlendirildi.

### 3.11.3. Tahmin Doğruluğu

Önerilen modelin performansı, aşağıdaki formüllerle verilen belirleme katsayısı  $R^2$ , Ortalama Kare Hatası (MSE) ve Ortalama Kök Kare Hatası (RMSE) hesaplanarak değerlendirildi.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - F_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3.50)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - F_i)^2}{n} \quad (3.51)$$

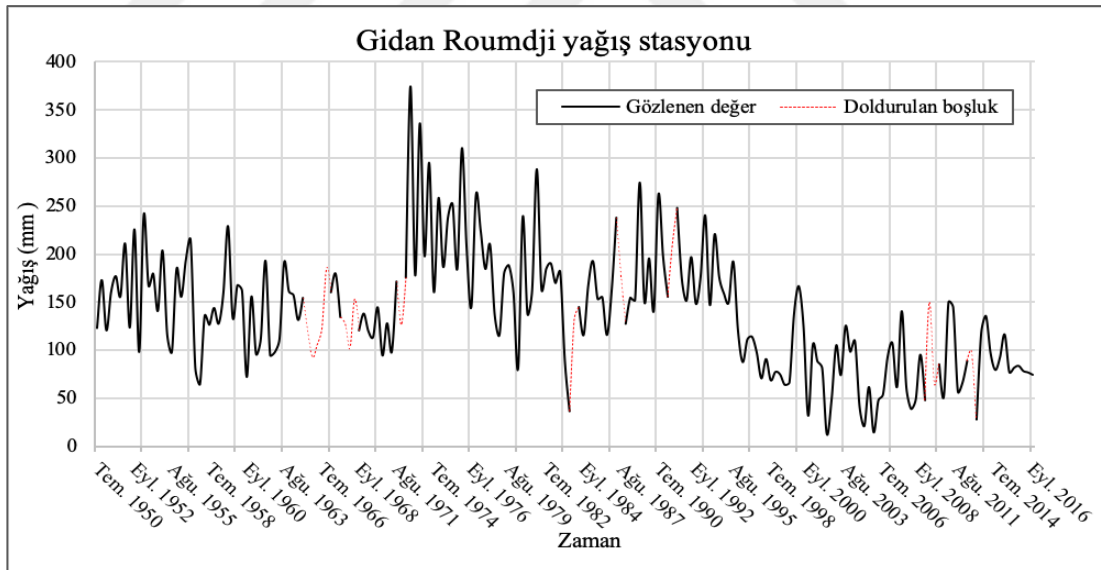
$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (3.52)$$

Burada  $O_i$  gözlemlenen değerdir, bu tezde SYİ veya SYEİ,  $F_i$  öngörülen değerdir ve  $\bar{O}$  gözlenen değerlerin ortalamasıdır.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

### 4.1. Yağış Eksik Verilerin Tamamlanması

Eksik verilere sahip istasyonlarına yakın istasyonların verileri ve CRU yağış verileri kullanarak eksik verilerin regresyon yoluyla tamamlanmıştır. Toplam 140 yağış istasyonu, % 0,5 ile % 7 arasında değişen aylık eksik veriler bulunmaktadır. En uygun yakın istasyonları seçmek için 0.70'e eşit veya daha büyük bir R Pearson korelasyon katsayısı kullanıldı. Örnek olarak, % 6,5 eksik verilerine sahip olan Guidan Roudji istasyonu için tamamlanmış JAS yağış serisinin Şekil 4.1'de sunulmaktadır. Ayrıca, her eksik verileriye sahip olan istasyonlar için regresyon analizinin detayları Ek 2'de göstermektedir.



Şekil 4.1. Guidan Roudji istasyonu için tamamlanan yağış serisi

### 4.2. Yağış Serilerin Homojenlik Testi

Bu çalışmada dikkate alınan tüm istasyonlarda yağış serilerinin homojenliğini kontrol etmek için dört istatistiksel test kullanıldı. Yukarıda belirtilen testlerin her birinin

istatistiksel testinin % 5 anlamlılık düzeyindeki, 67'ye eşit bir dizi uzunluğu için kritik değeri Çizelge 4.1'de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.1.**  $n = 67$  için istatistik testlerin kritik değerleri

SNHT	Pettit testi	Buşhand Range testi	Von Neumann oran testi
$T_0 = 8,75$	$X_E = 369,3$	$R/\sqrt{n} = 1,58$	$N = 1,62$

Dikkate alınan dönemin boyunca (1950-2016), serilerin homojen olduğunu kabul eden sıfır hipotezi, 72 istasyonda dört test ile reddedildi (toplam istasyon sayısının %45,57'si); 55 istasyonda 3 test ile reddedildi (%34,81); 13 istasyonda iki test reddedildi (%8,23); 10 istasyonda bir test reddedildi (%6,33); ve, 8 istasyonda hiç bir test reddedilmedi (%5,06). Yağış serilerinde gözlenen kırılma noktası, dört testin tümü için 1969 yılında istasyonların çoğunda meydana gelmiştir (EK 3). Girişte belirtildiği gibi, 1960'ların sonlarında Sahel bölgesinde yağış miktarında ani değişme ve önemli bir azalma meydana gelmiştir. Bu nedenle bu çalışmadaki tespit edilen 1969 yılında kırılma noktası, bir istasyon değiştirme, bir plüviyometre değiştirilmesi veya ölçüm hatasında kaynaklanmamıştır.

Tarhule and Tarhule-Lips (2001) Sahel'in uzun süreli kuraklıktan önceki ve sonraki dönemlere karşılık gelen Sahel'deki yağmur serilerinde üç süreksizlik dönemi bulmuşlar. Bu nedenle, bu çalışmadaki bulunan yağış serilerin homojensizliği kaynağı kırılma noktaları arasındaki dönemlerin durağanlığının bir sonucudur (Tarhule and Tarhule-Lips, 2001).

Yağış serilerindeki tespit edilen kırılma noktasının iklimsel değişkenlik veya yapay nedenler olup olmadığını doğrulamak için, homojenlik analizi çalışma dönemini üç alt döneme bölerek tekrarlandı: 1950-1969, 1970-1990 ve 1991-2016 dönemlerine karşılık gelen Sahel'in uzun süreli kuraklık öncesinde, sırasında ve sonrasında. Bu alt serileri sırasıyla 20, 21 ve 26 eşit  $n$  uzunluğa sahiptir; ayrıca, dört test istatistiği için kritik değerler Çizelge 4.2'de verilmektedir. Sahel'in klimatolojinin bu üç bölümünde

homojenlik analizinin sonuçları altı istasyonun homojen olmadığını ortaya koydu, esas olarak Tanout, Dolbel, Kornaka, Birni N'Konni, Bangui ve Tchibiri-Maradi. Bu istasyonlar için homojenlik testin sonuçları Çizelge 4.3'de gösterilmektedir.

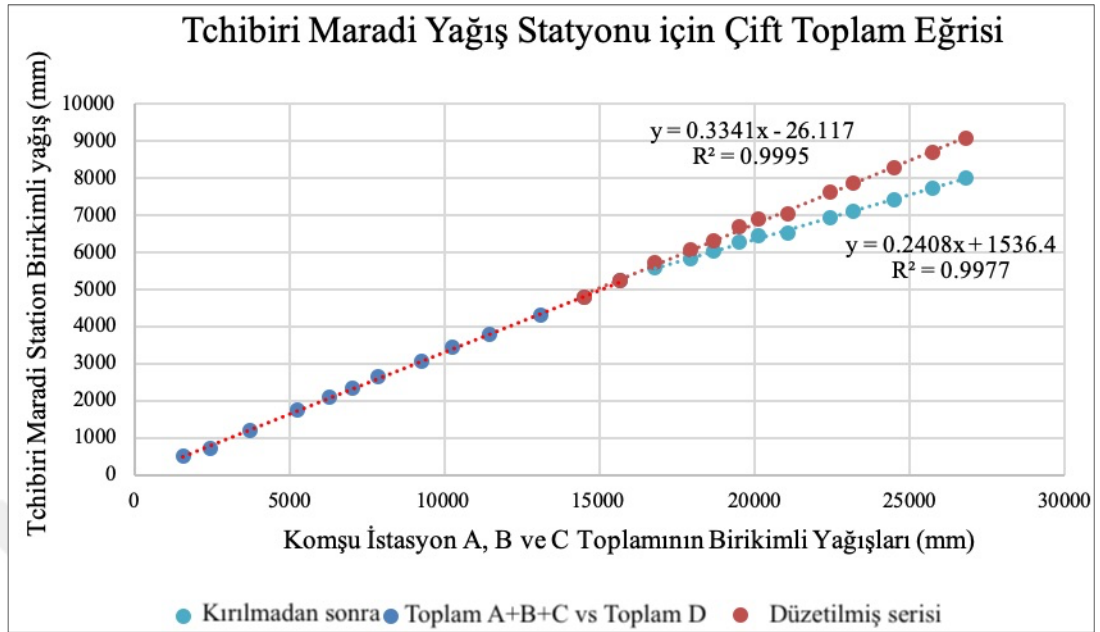
**Çizelge 4.2.** Homojenlik testlerin istatistiklerin kritik değerleri

n	SNHT	Pettit testi	Buhand Range testi	Von Neumann oran testi
20	$T_0 = 6,95$	$X_E = 57$	$R/\sqrt{n} = 1,43$	$N = 1,30$
21	$T_0 = 7,02$	$X_E = 62$	$R/\sqrt{n} = 1,44$	$N = 1,31$
26	$T_0 = 7,37$	$X_E = 87$	$R/\sqrt{n} = 1,47$	$N = 1,37$

**Çizelge 4.3.** Homojen olmayan istasyonlar

İstasyon Adı	Ulusal Kodu	SNHT			Pettit testi			Buhand Range testi			Von Neumann oran testi		
		T0	Yıl	Anlamlılık Düzeyi	$X_E$	Yıl	Anlamlılık Düzeyi	$R/\sqrt{n}$	Yıl	Anlamlılık Düzeyi	N	Anlamlılık Düzeyi	Reddedilen test sayısı
Tanout	320060	11,859	2000	0,003	128	2000	0,009	1,675	2000	0,009	-	-	3
Dolbel	320001	8,882	2002	0,026	119	2002	0,019	1,512	2002	0,039	1,30	0,001	4
Kornaka	320041	11,006	1998	0,006	108	1998	0,043	1,531	1998	0,033	1,07	0,000	4
Birni N'konni	320025	10,661	1953	0,002	72	1955	0,024	1,876	1970	0,006	1,05	0,018	4
Bangui	320036	9,928	2000	0,012	124	2000	0,013	1,533	2000	0,032	1,30	0,002	4
Tchibiri Maradi	320231	9,127	1980	0,018	104	1980	0,022	1,489	1980	0,043	1,20	0,000	4

Homojen olmayan istasyonlarını homojen hale getirilmesi için çift toplam eğrisi tekniği (Searcy and Hardison, 1960) kullanıldı. Bu amaçla her homojen olmayan istasyon için, üç komşu istasyonun yağış verileri kullanıldı. Örnek olarak, Tchibiri-Maradi istasyonundaki yağış serilerini homojen hale getirilmesi için çift toplam eğrisi Şekil 4.2'de verilmektedir.



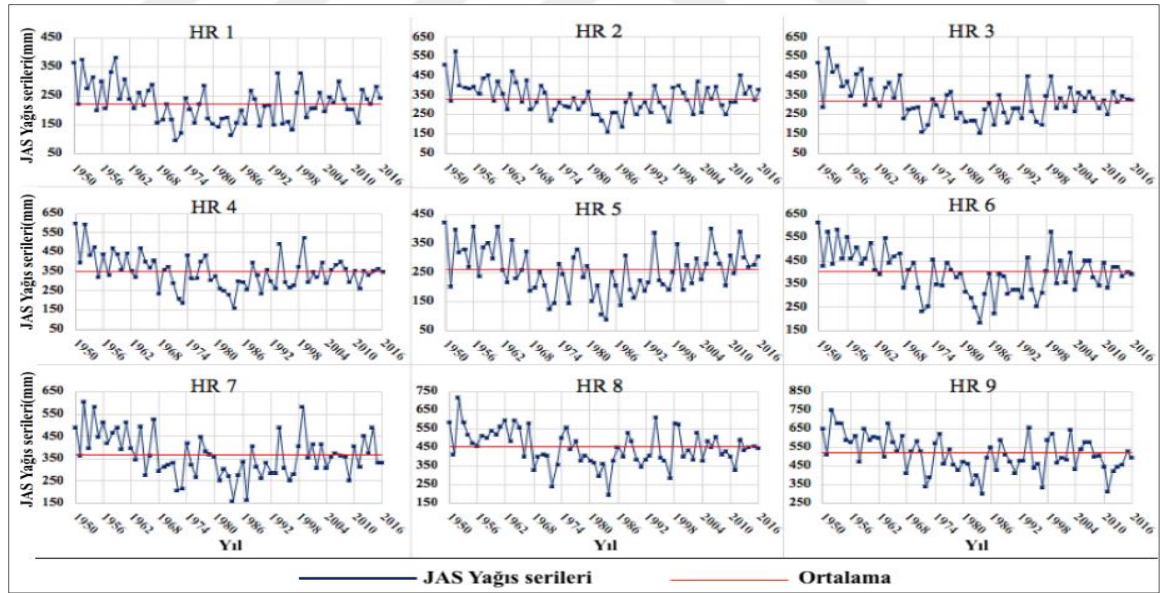
**Şekil 4.2.** Çift toplam eğrisi - Tchibiri Maradi yağış serileri

### 4.3. Homojen Yağış Bölgelerinin Belirlenmesi

Nijer üzerinde homojen yağış bölgelerini tanımlamak için temel bileşenlerin analizi (PCA) S-modu kullanıldı. PCA analizi, SPSS (Corp, 2011) istatistik yazılımında, Kaiser normalizasyonu (Kaiser, 1959) ile direct oblimin rotasyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirildi. PCA analizinin sonucu Çizelge 4.4'te sunulmaktadır. Seçilecek temel bileşen (PCs) sayısını belirlemek için bir seçim kriteri olarak birden büyük özdeğerler kullanıldı. Sonuçlardan, 12 PC'nin birden büyük özdeğerleri çıktı ve bu 12 bileşenlerin üçü sadece bir elemana sahiptir. Bu üç PC'nin elemanları, en yüksek karşılıklı korelasyona sahip kalan dokuz PC'sinin elemanlarına eklenmiştir. Tanımlanan dokuz PC'leri orijinal verilerin toplam varyansının %88,68 'ini temsil etmektedir (Çizelge 4.4). Dokuz PCS'nin her biri, bundan sonra HR olarak adlandırılan homojen bir yağış bölgesini temsil eder. Her homojen bölge için JAS (Temmuz-Ağustos-Eylül) bölgesel yağış ortalaması Thiessen poligon (Thiessen, 1911) yöntemi kullanılarak hesaplandı. Hesaplanan JAS yağış miktarları Şekil 4.3 göstermektedir.

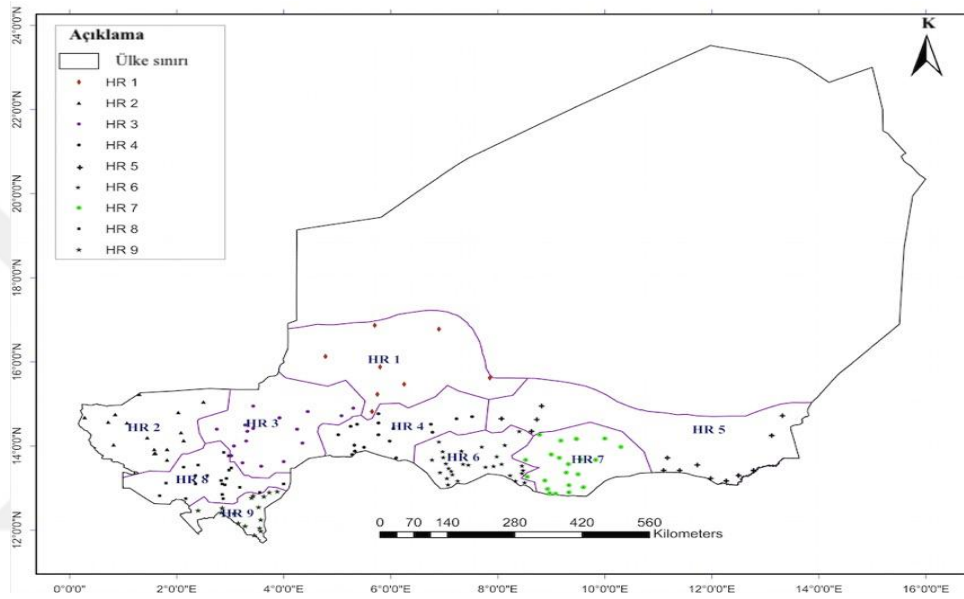
**Çizelge 4.4.** Açıklanan toplam varyansı

Bileşen	İlk Özdeğerler			Kare yüklerin çekme toplamları			Kare yüklerin dönme toplamları
	Toplam	Varyans %'desi	Kümülatif %'desi	Toplam	Varyans %'desi	Kümülatif %'desi	Toplam
1	110,351	69,843	69,843	110,351	69,843	69,843	57,934
2	9,143	5,787	75,630	9,143	5,787	75,630	49,591
3	4,977	3,150	78,780	4,977	3,150	78,780	45,829
4	4,246	2,687	81,467	4,246	2,687	81,467	49,667
5	3,149	1,993	83,460	3,149	1,993	83,460	53,908
6	2,556	1,618	85,077	2,556	1,618	85,077	40,812
7	2,176	1,377	86,455	2,176	1,377	86,455	56,841
8	1,915	1,212	87,667	1,915	1,212	87,667	16,384
9	1,601	1,013	88,680	1,601	1,013	88,680	44,972
10	1,424	0,902	89,581	1,424	0,902	89,581	20,794
11	1,266	0,801	90,383	1,266	0,801	90,383	54,701
12	1,031	0,652	91,035	1,031	0,652	91,035	32,122

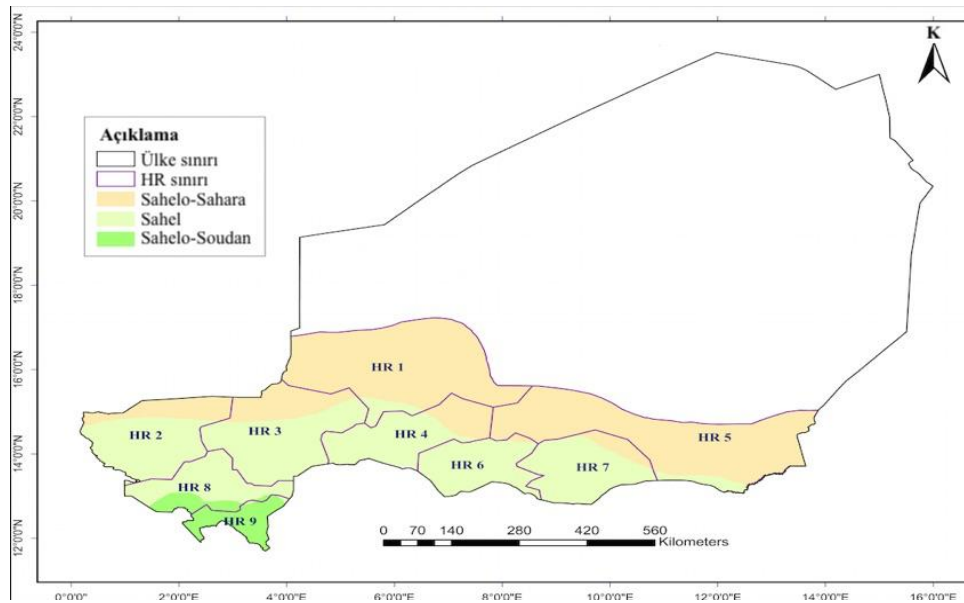
**Şekil 4.3.** JAS yağış miktarları

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi 1960'ların sonları ile 1990'ların sonları arasında yağış serilerinin çoğunlukla ortalama değerlerinin altındadır. Bu da, bu dönemde yağışların azalmasının Nijer'de uzun süreli kuraklığın ana nedeni olduğunu doğrulamaktadır. Ek olarak, Thiessen poligon tekniği ArcGIS 10.1 coğrafi bilgi sistemini kullanarak ülke

haritasında dokuz HR'yi betimlemek için kullanıldı. Homojen yağış Bölgeleri, daha sonra HR1, HR2, HR3, HR4, HR5, HR6, HR7, HR8 ve HR9 olarak kuzeyden güneye ve batıdan doğuya isimlendirdi. HR'lerin ve ilgili istasyonlarının ülke haritasındaki tanımları Şekil 4.4'te verilmiştir. HR'ların ülkenin iklim bölgeleri ve idari bölgeleri üzerindeki alanlara göre dağılımı sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'te gösterilmektedir.

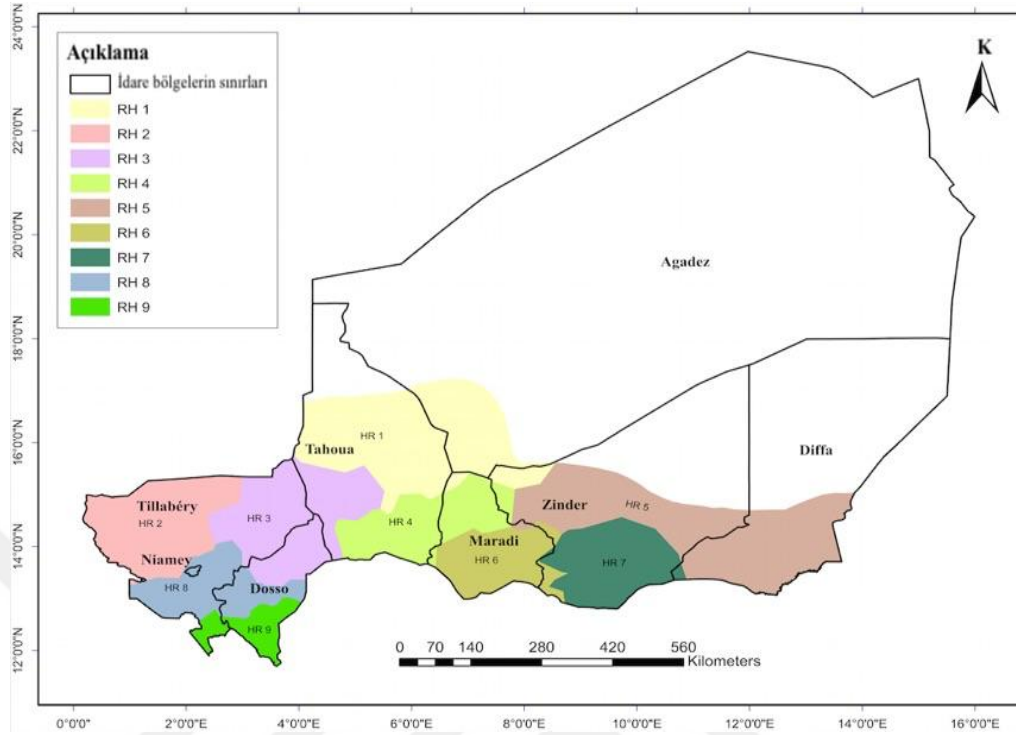


Şekil 4.4. Yağış homojen bölgelerin sınırları



Şekil 4.5. HR'ların iklim bölgelerine göre dağılımı





**Şekil 4.6.** HR'lerin idari bölgelere göre dağılımı

HR'lerin Şekil 4.5'teki iklim bölgelerine dağılımından, HR1 ve HR5'in neredeyse bütününün Sahelo-Sahara bölgesinde yer aldığı görülmektedir. Bu HR'lerin sadece küçük bölümleri, özellikle de güney kısımları Sahel iklim bölgesinde düşmektedir. HR2, HR3, HR4, HR6 ve HR7 çoğunlukla Sahel bölgesinde bulunur; ancak kuzey kısımları Sahelo-Sahara bölgesinde yer almaktadır. HR8, Sahel bölgesinde ve Sahel-Sudan bölgesinde yer almaktadır. HR9'a gelince, tamamen Sahel-Sudan bölgesinde bulunur.

RH'lerin diğer bir önemli tanımı, su kaynakları yönetimi ve yerel ölçekte planlama için yağış rejimleri hakkında yararlı bilgiler sağlayabildiğinden idari bölgeler üzerindeki alan dağılımlarıdır (Şekil 4.6). Şekil 4.6'te görülebileceği gibi, Agadez'in güney kısmının HR1'dedir. Tillabery, HR2 (kuzey-doğu), HR3 (kuzey-batı) ve HR8'de (güney-doğu) bulunur. Niamey tamamen HR8'de bulunurken, Dosso kuzeyden güneye HR3, HR8 ve HR9 ile bölünmüştür. Tahoua, HR1 (orta kısım), HR3 (orta doğu) ve HR4 (güney) yer almaktadır. Maradi, HR1 (uzak kuzeyinin küçük bir kısmı), HR4 (kuzey) ve HR6 (güney) bölgelerinde bölünmüş durumda. Zinder, doğu kısmının küçük bir kısmı hariç, HR1, HR4

ve HR6'da bulunan HR5 ve HR7'de yer almaktadır. Diffa'nın güneyinde ağırlıklı olarak HR5'te yer almaktadır; ancak güney doğusunun küçük bir kısmı HR7'de yer almaktadır.

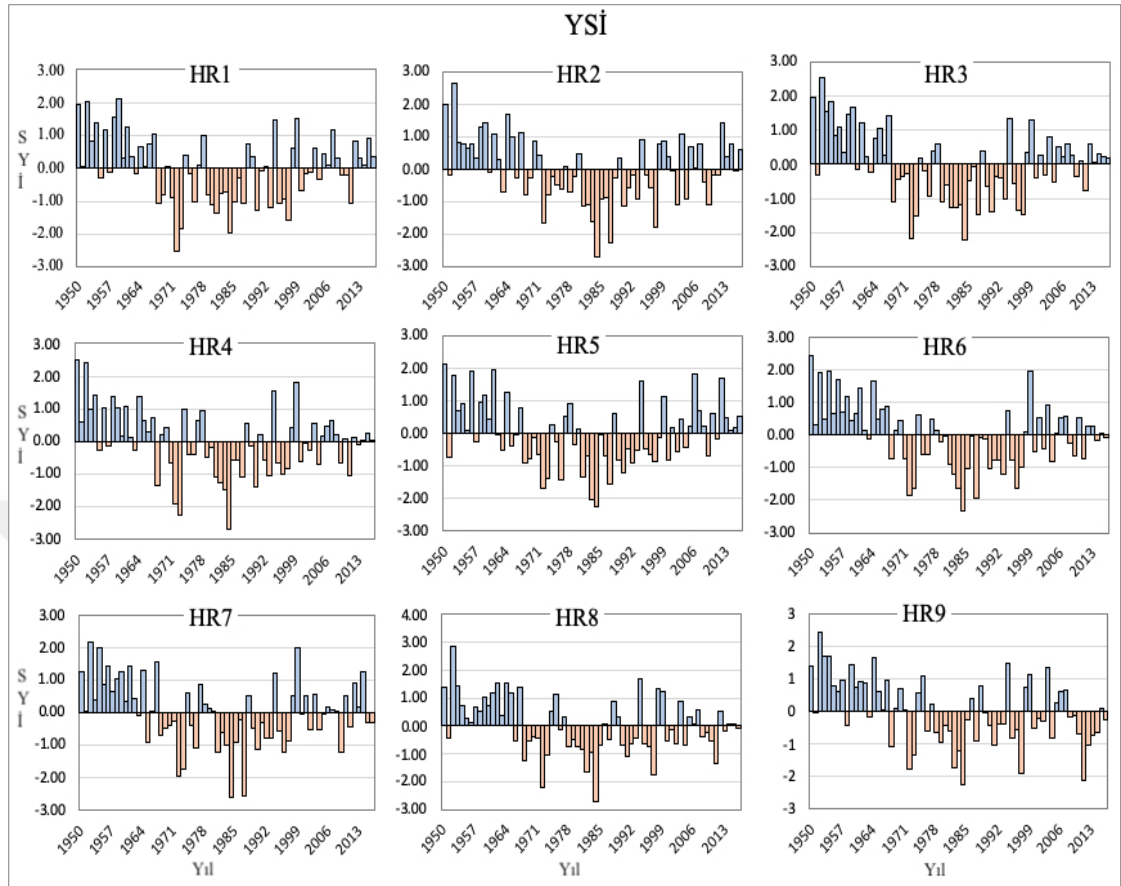
#### 4.4. SYİ Hesaplaması

Farklı olasılık dağılımları denedikten sonra, esas olarak iki parametrelili Gamma, Genelleştirilmiş Aşırı Değer, Genelleştirilmiş Pareto, Lojistik, log-Lojistik, Normal, Lognormal ve Weibull dağılımları, her homojen bölge için ortalama alansal JAS yağış serileri en uygun olasılık dağılımına uyur. Her homojen bölge için en uygun dağılımı Tablo 4-5'te, hesaplanan SYİ değerleri ise Şekil 4.7'te gösterilmektedir.

**Çizelge 4.5.** SYİ serisi için uygun olasılık dağılımı

Yağış Homojen Bölge	Olasılık dağılımı	Dağılım parametreleri	
		Şekil, $\alpha$	Ölçek, $\beta$
HR1	Gamma	Şekil, $\alpha = 11,918$	Ölçek, $\beta = 18,744$
HR2	Gamma	Şekil, $\alpha = 18,113$	Ölçek, $\beta = 18,389$
HR3	Gamma	Şekil, $\alpha = 12,845$	Ölçek, $\beta = 24,876$
HR4	Gamma	Şekil, $\alpha = 16,506$	Ölçek, $\beta = 21,111$
HR5	Weibull	Şekil, $\alpha = 289,790$	Ölçek, $\beta = 3,710$
HR6	Normal	Ortalama, $\mu = 401,519$	Stdev, $\sigma = 90,379$
HR7	Gamma	Şekil, $\alpha = 14,344$	Ölçek, $\beta = 25,715$
HR8	Normal	Ortalama, $\mu = 453,367$	Stdev, $\sigma = 94,293$
HR9	Normal	Ortalama, $\mu = 519,875$	Stdev, $\sigma = 96,897$

\* Stdev Standart sapmasıdır



**Şekil 4.7.** SYİ serilerin çubuk grafiği

Şekil 4.7 'deki çubuk grafiğe yakından bakıldığında, tüm HR'de 1960'ların sonunda bir dizi kuraklık olaylarını başlangıcı gösteriyor. 1960'ların sonundan 1980'lerin sonlarına kadar bütün HR'lerin SYİ değerleri sıfırın altındaydı. Bu süre boyunca sadece bazı yağış yılları da (sıfırın üzerinde SYİ değeri) gözlemlenir. 2000 yılından sonra bazı kuraklık olaylarının gerçekleştiği ve SYİ değerlerinde belirgin bir iyileşme olmadığı da açıktır. Ancak, 2000 yılından sonra kuraklık olayları 1960-1990 döneminde kuraklıklardan daha kısadır. Bu tezdeki hesaplanan SYİ değerleri Nijer'deki kuraklık olaylarının sürdüğünü göstermektedir böylece L'Hote et al. (2002) ve Lebel and Ali (2009) bulgularını doğrulamaktadır. SYİ dayanan kuraklık özellikleri her HR için Tablo 4-6 ila Tablo 4-14 'da özetlenmiştir.

Çizelge 4.6. SYİ'ye göre kuraklık özellikleri - HR1

Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1955	1	-0,28	-0,28
2	1957	1	-0,12	0,12
3	1963	1	-0,14	-0,14
4	1968-1969	2	-1,88	-0,94
5	1971-1973	3	-5,25	-1,75
6	1975-1976	2	-1,18	-0,59
7	1979-1987	9	-9,12	-1,01
8	1990-1991	2	-1,34	-0,67
9	1993	1	-1,2	-1,2
10	1995-1997	2	-3,58	-1,19
11	2000-2002	3	-0,94	-0,31
12	2004	1	-0,35	-0,35
13	2009-2011	3	-1,49	-0,5
Min		1	-9,12	-1,75
Maks		9	-0,12	0,12
Ortalama		2.29	-2,57	-0,75

Çizelge 4.7. SYİ'ye göre kuraklık özellikleri-HR2

Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1951	1	-0,15	-0,15
2	1960	1	-0,1	-0,1
3	1963	1	-0,7	-0,7
4	1966	1	-0,25	-0,25
5	1968-1969	2	-1,02	-0,51
6	1972-1976	5	-3,72	-0,74
7	1978-1979	2	-0,92	-0,46
8	1981-1988	8	-10,83	-1,35
9	1990-1993	4	-2,75	-0,69
10	1995-1997	3	-2,51	-0,84
11	2001-2002	2	-1,17	-0,58
12	2004	1	-0,93	-0,93
13	2008-2011	4	-1,87	-0,47
14	2015	1	-0,02	-0,02
Min		1	-10,83	-1,35
Maks		8	-0,02	-0,02
Ortalama		2.47	-2,52	-0,61

**Çizelge 4.8.** SYİ'ye göre kuraklık özellikleri - HR3

Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1951	1	-0,32	-0,32
2	1960	1	-0,16	-0,16
3	1963	1	-0,24	-0,24
4	1968-1973	6	-5,86	-0,98
5	1975-1976	2	-1,12	-0,56
6	1979-1987	9	9,7	-1,08
7	1989-1993	5	-3,79	-0,76
8	1995-1997	3	-3,38	-1,13
9	2000	1	-0,37	-0,37
10	2002	1	-0,3	-0,3
11	2004	1	-0,53	-0,53
12	2009	1	-0,34	-0,34
13	2011	1	-0,75	-0,75
Min		1	-9,7	-1,13
Maks		9	-0,16	-0,16
Ortalama		2.43	-0,95	-0,62

**Çizelge 4.9.** SYİ'ye göre kuraklık özellikleri - HR4

Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1955	1	-0,28	-0,28
2	1957	1	-0,13	-0,13
3	1963	1	-0,25	-0,25
4	1968	1	-1,36	-1,36
5	1971-1973	3	-4,85	-1,62
6	1975-1976	2	-0,8	-0,4
7	1979-1987	9	-9,36	-1,04
8	1989-1990	2	-1,53	-0,76
9	1992-1993	2	-1,58	-0,79
10	1995-1997	3	-2,48	-0,83
11	2000-2002	3	-0,92	-0,31
12	2004	1	-0,71	-0,71
13	2009	1	-0,64	-0,64
14	2011	1	-1,04	-1,04
15	2013	1	-0,11	-0,11
Min		1	-9,36	-1,62
Maks		9	-0,11	-0,11
Ortalama		2.06	-2,21	-0,74

**Çizelge 4.10.** SYİ'ye göre kuraklık özellikleri - HR5

Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1951	1	-0,7	-0,7
2	1957	1	-0,26	-0,26
3	1962-1963	2	-0,51	-0,26
4	1965-1966	2	-0,39	-0,2
5	1968-1973	6	-5,5	-0,92
6	1975-1976	2	-1,65	-0,83
7	1979	1	-0,34	-0,34
8	1981-1987	7	-8,56	-1,22
9	1989-1993	5	-3,91	-0,78
10	1995-1998	4	-2,07	-0,52
11	2000	1	-0,83	-0,83
12	2002	1	-0,56	-0,56
13	2004	1	-0,42	-0,42
14	2009	1	-0,69	-0,69
15	2011	1	-0,17	-0,17
Min		1	-8,56	-1,22
Maks		7	-0,17	-0,17
Ortalama		2.31	-2,20	-0,62

**Çizelge 4.11.** SYİ'ye göre kuraklık özellikleri - HR6

Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1963	1	-0,11	-0,11
2	1968	1	-0,79	-0,79
3	1971-1973	3	-4,14	-1,38
4	1975-1976	2	-1,26	-0,63
5	1979-1993	15	-13,28	-0,89
6	1995-1997	3	-3,42	-1,14
7	2000	1	-0,53	-0,53
8	2002	1	-0,47	-0,47
9	2004	1	-0,84	-0,84
10	2008-2009	2	-0,91	-0,46
11	2011	1	-0,78	-0,78
12	2014	1	-0,16	-0,16
13	2016	1	-0,07	-0,07
Min		1	-13,28	-1,38
Maks		15	-0,07	-0,07
Ortalama		2.43	-2,86	-0,69

Çizelge 4.12. SYİ'ye göre kuraklık özellikleri - HR7

Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1963	1	-0,08	-0,08
2	1965	1	-0,92	-0,92
3	1968-1973	6	-5,49	-0,91
4	1975-1976	2	-1,46	-0,73
5	1981-19887	7	-9,07	-1,3
6	1989-1993	5	-3,41	-0,68
7	1995-1997	3	-2,61	-0,87
8	2000	1	-0,03	-0,03
9	2002	1	-0,53	-0,53
10	2004	1	-0,51	-0,51
11	2009	1	-1,22	-1,22
12	2011	1	-0,44	-0,44
13	2015-2016	2	-0,59	-0,3
Min		1	-9,07	-1,3
Maks		7	-0,03	-0,03
Ortalama		2.36	-2,53	-0,70

Çizelge 4.13. SYİ'ye göre kuraklık özellikleri - HR8

Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1951	1	-0,44	-0,44
2	1966	1	-0,58	-0,58
3	1968-1973	6	-5,76	-0,96
4	1976	1	-0,1	-0,1
5	1978-1985	8	-8,63	-1,08
6	1987	1	-0,52	-0,52
7	1990-1993	4	-2,95	-0,74
8	1995-1997	3	-3,09	-1,03
9	2001-2002	3	-1,38	-0,46
10	2004	1	-0,74	-0,74
11	2008-2011	4	-2,54	-0,63
12	2013	1	-0,18	-0,18
13	2016	1	-0,03	-0,03
Min		1	-8,63	-1,08
Maks		8	-0,03	-0,03
Ortalama		2.57	-2,54	-0,61

**Çizelge 4.14.** SYİ'ye göre kuraklık özellikleri - HR9

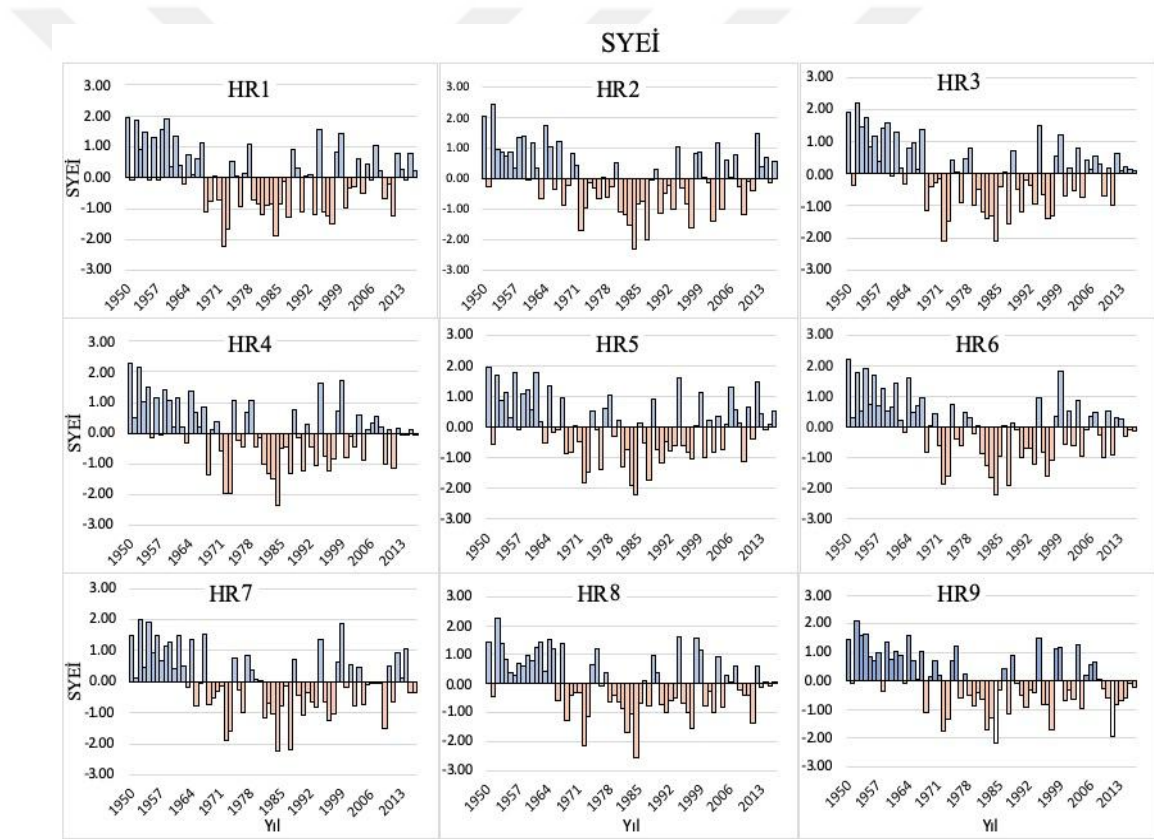
Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1968	1	-0,37	-0,37
2	1963	1	-0,1	-0,1
3	1968	1	-1,07	-1,07
4	1972-1973	2	-3,28	-1,64
5	1976	1	-0,55	-0,55
6	1978-1985	8	-8,19	-1,02
7	1987	1	-0,89	-0,89
8	1990-1993	4	-2,01	-0,5
9	1995-1997	3	-3,32	-1,11
10	2000-2002	3	-0,85	-0,28
11	2004	1	-0,78	-0,78
12	2008-2014	7	-5,45	-0,78
13	2016	1	-0,19	-0,19
Min		1	-8,19	-1,64
Maks		8	-0,1	-0,1
Ortalama		2.50	-2,52	-0,78

Yukarıdaki tablolardan, en şiddetli kuraklığın 1960'lar ile 1980'lerin sonunda kaydedildiği açıktır. Her HR için, en uzun ve en şiddetli kuraklıkları 1970'lerin sonunda ve 1980'lerde meydana gelmiştir. En yüksek kuraklık yoğunluğu HR1'de (-1,75) meydana gelmişiyken, en uzun kuraklık (15 yıl) ve en şiddetli kuraklık (-13,28) ise HR6'de kaydedilmiştir. 2000 yılından sonra, ülkedeki kuraklık, süre ve ciddiyeti bakımında önemli ölçüde azalmıştır. SYİ sadece yağış değerlerine dayanan bir kuraklık endeksi olduğu için, bu tezde elde edilen sonuçları, ülke genelinde yağış rejiminin 1960'lardan bu yana önemli bir toparlanma olmadan nasıl değiştiğini doğrulamaktadır. Ancak, SYİ'yi kullanarak kuraklık özellikleri, küresel ısınmanın ülke çapında kuraklık koşulları üzerindeki etkisini yansıtmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada SYEİ dayanan kuraklık özellikleri de değerlendirildi.



#### 4.5. SYEİ Hesaplaması

SYEİ'yi hesaplamak için, basit su bütçesi, D olarak ( $D = \text{Yağış-PET}$ ), en iyi olasılık dağılımına uyuldu. Dokuz HR'in yağış verileri için log-logistic dağılımı en uygun dağılımı sağlamış oldu. Ayrıca, SYEİ orijinal makalesinde log-logistic dağılımı kullanılan dağılımıdır (Vicente-Serrano et al., 2010). Hesaplanan SYEİ, tüm HR'ler için Şekil 4.8'de çubuk grafik olarak sunmaktadır. SYEİ dayanan kuraklık özellikleri, her bir HR için Çizelge 4.15'ten Çizelge 4.23'e kadar özetlenmiştir.



Şekil 4.8. SYEİ serilerinin çubuk grafiği

İlk bakışta SYEİ çubuk grafiği, SYİ çubuk grafiğiyle benzerdir. Fakat, aynı bölge üzerindeki bu iki indeks değerlerinde küçük bir fark da olsa, farklı kuraklık özelliklerine sahip olabilmektedir. Bu nedenle, SYEİ kullanan kuraklık özellikleri dokuz HR için değerlendirilmiş ve SYİ dayanan kuraklık özellikleri ile karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 4.15.** HR1'de SYEİ tabanlı kuraklık özellikleri

Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1951	1	-0,03	-0,03
2	1955	1	-0,09	-0,09
3	1957	1	-0,07	-0,07
4	1963	1	-0,19	-0,19
5	1968-1969	2	-1,91	-0,95
6	1971-1973	3	-4,62	-1,54
7	1976	1	-0,93	-0,93
8	1979-1987	9	-8,62	-0,96
9	1990	1	-1,1	-1,1
10	1993	1	-1,19	-1,19
11	1995-1997	3	-3,85	-1,28
12	2000-2002	3	-1,59	-0,53
13	2004	1	-0,5	-0,5
14	2009-2011	3	-2,13	-0,71
15	2014	1	-0,08	-0,08
Min		1	-8,62	-1,54
Maks		9	-0,03	-0,03
Ortalama		2.06	-2,22	-0,70

**Çizelge 4.16.** HR2'de SYEİ tabanlı kuraklık özellikleri

Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1951	1	-0,27	-0,27
2	1960	1	-0,05	-0,05
3	1963	1	-0,66	-0,66
4	1966	1	-0,37	-0,37
5	1968-1969	2	-1,12	-0,56
6	1972-1976	5	-3,76	-0,75
7	1978-1979	2	-0,86	-0,43
8	1981-1988	8	-9,72	-1,22
9	1990-1993	4	-2,83	-0,71
10	1995-1997	3	-2,77	-0,92
11	2001-2002	2	-1,56	-0,78
12	2004	1	-0,99	-0,99
13	2008-2011	4	-1,92	-0,48
14	2015	1	-0,14	-0,14
Min		1	-9,72	-1,22
Maks		8	-0,05	-0,05
Ortalama		2.57	-1,93	-0,59

Çizelge 4.17. HR3'de SYEİ tabanlı kuraklık özellikleri

Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1951	1	-0,37	-0,37
2	1960	1	-0,07	-0,07
3	1963	1	-0,33	-0,33
4	1968-1973	6	-5,55	-0,92
5	1976	1	-0,91	-0,91
6	1979-1985	7	-7,86	-1,12
7	1987	1	-1,57	-1,57
8	1989-1993	5	-3,18	-0,64
9	1995-1997	3	-3,34	-1,11
10	2000	1	-0,67	-0,67
11	2002	1	-0,53	-0,53
12	2004	1	-0,74	-0,74
13	2009	1	-0,68	-0,68
14	2011	1	-0,99	-0,99
Min		1	-7,86	-1,57
Maks		7	-0,07	-0,07
Ortalama		2.21	-1,91	-0,76

Çizelge 4.18. HR4'de SYEİ tabanlı kuraklık özellikleri

Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1955	1	-0,13	-0,13
2	1957	1	-0,06	-0,06
3	1963	1	-0,33	-0,33
4	1968	1	-1,37	-1,37
5	1971-1976	6	-4,05	-0,67
6	1979-1987	9	-8,98	-1
7	1989-1990	2	-1,37	-0,68
8	1992-1993	2	-1,51	-0,76
9	1995-1997	3	-2,81	-0,94
10	2000-2002	3	-1,3	-0,43
11	2004	1	-0,9	-0,9
12	2009	1	-1,01	-1,01
13	2011	1	-1,16	-1,16
14	2013-2014	2	-0,09	-0,05
15	2016	1	-0,05	-0,05
Min		1	-8,98	-1,37
Maks		9	-0,05	-0,05
Ortalama		2.33	-1,67	-0,64

**Çizelge 4.19.** HR5'de SYEİ tabanlı kuraklık özellikleri

Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1951	1	-0,55	-0,55
2	1957	1	-0,09	-0,09
3	1963	1	-0,5	-0,5
4	1965-1966	2	-0,19	-0,19
5	1968-1969	2	-1,68	-0,84
6	1971-1973	3	-3,71	-1,24
7	1975-1976	2	-1,41	-0,71
8	1979	1	-0,31	-0,31
9	1981-1984	4	-6,12	-1,53
10	1986-1987	2	-2,23	-1,12
11	1989-1993	5	-3,77	-0,75
12	1995-1997	3	-2,46	-0,82
13	2000	1	-0,98	-0,98
14	2002	1	-0,83	-0,83
15	2004	1	-0,71	-0,71
16	2009	1	-1,1	-1,1
17	2011	1	-0,37	-0,37
18	2014	1	-0,02	-0,02
Min		1	-6,12	-1,53
Maks		5	-0,02	-0,02
Ortalama		1.83	-1,50	-0,70

**Çizelge 4.20.** HR6'de SYEİ tabanlı kuraklık özellikleri

Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1963	1	-0,18	-0,18
2	1968	1	-0,81	-0,81
3	1971-1973	3	-4,05	-1,35
4	1975-1976	2	-0,99	-0,5
5	1979	1	-0,19	-0,19
6	1981-1985	5	-6,84	-1,37
7	1987	1	-1,89	-1,89
8	1989-1993	5	-3,64	-0,73
9	1995-1997	3	-3,5	-1,17
10	2000	1	-0,55	-0,55
11	2002	1	-0,59	-0,59
12	2004-2005	2	-1,04	-0,52
13	2008-2009	2	-1,26	-0,63
14	2011	1	-0,9	-0,9
15	2014-2016	3	-0,46	-0,15
Min		1	-6,84	-1,89
Maks		5	-0,18	-0,15
Ortalama		2.13	-1,79	-0,77

**Çizelge 4.21.** HR7'de SYEİ tabanlı kuraklık özellikleri

Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1963	1	-0,18	-0,18
2	1965-1966	2	-0,81	-0,41
3	1968-1973	6	-5,27	-0,88
4	1975-1976	2	-1,28	-0,64
5	1981-1987	7	-8,19	-1,17
6	1989-1993	5	-3,34	-0,67
7	1995-1997	3	-2,94	-0,98
8	2000	1	-0,18	-0,18
9	2002	1	-0,781	-0,78
10	2004-2007	4	-0,91	-0,23
11	2009	1	-1,52	-1,52
12	2011	1	-0,66	-0,66
13	2015-2016	2	-0,7	-0,35
Min		1	-8,19	-1,52
Maks		7	-0,18	-0,18
Ortalama		2.77	-2,06	-0,67

**Çizelge 4.22.** HR8'de SYEİ tabanlı kuraklık özellikleri

Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1951	1	-0,45	-0,45
2	1966	1	-0,56	-0,56
3	1968-1973	6	-5,63	-0,94
4	1976	1	-0,1	-0,1
5	1978-1985	8	-8,54	-1,07
6	1987	1	-0,76	-0,76
7	1990-1993	3	-2,79	-0,7
8	1995-1997	3	-3,21	-1,07
9	2000-2002	3	-2,04	-0,68
10	2004	1	-0,84	-0,84
11	2008-2011	4	-2,35	-0,59
12	2013	1	-0,11	-0,11
Min		1	-8,54	-1,07
Maks		8	-0,1	-0,1
Ortalama		2.75	-2,28	-0,66

**Çizelge 4.23.** HR9'de SYEİ tabanlı kuraklık özellikleri

Olay Sayısı	Meydana geldiği dönemi	Süre (Yıl)	Şiddet	Yoğunluk
1	1951	1	-0,1	-0,1
2	1958	1	-0,34	-0,34
3	1963	1	-0,1	-0,1
4	1968	1	-1,11	-1,11
5	1972-1973	2	-3,12	-1,56
6	1976	1	-0,59	-0,59
7	1978-1985	8	-7,94	-0,99
8	1987	1	-1,13	-1,13
9	1989-1993	5	-2,22	-0,44
10	1995-1973	3	-3,36	-1,12
11	2000-2002	3	-1,66	-0,55
12	2004	1	-0,95	-0,95
13	2009-2016	8	-5,11	-0,64
Min		1	-7,94	-1,56
Maks		8	-0,1	-0,1
Ortalama		2.77	-2,13	-0,74

SYİ gibi, SYEİ dayanan kuraklık özellikleri de en uzun ve en şiddetli kuraklıkların 1970'lerin sonunda 1980'lerin sonunda ortaya çıktığını kanıtlandı. SYEİ'yi kullanırken kullandıkları süresi SYİ göre daha kısadır. HR1 ve HR4'te SYEİ'ye dayalı 9 yıllık bir pik kuraklık süresi bulunmuştur. En şiddetli ve en yoğun kuraklıklar ( $S = 9,72$ ;  $i = -1,89$ ) ise HR2'de bulundu. SYEİ kullanarak ortalama kuraklık olayların sayısı 14,33 iken bu değer SYİ için daha düşüktür, 13,55. Ek olarak, hem SYİ hem de SYEİ, ülkedeki kuraklık koşullarının 2000 yılından sonra bitmediğini göstermektedir. Bu sonuçlardan, yağış değişkenlerinin Nijer'deki kuraklık süresi ve şiddetine etkisinin sıcaklık dalgalanmalarından daha yüksek olduğu açıklamaktadır. SYEİ hesaplamasının sıcaklık ve yağış verilerini içerdiğini ve SYİ'nin sadece yağış verilerini içermesini hatırlatmak önemlidir. Bununla birlikte, kuraklığın yoğunluğu çoğunlukla yağış verilerinden ziyade sıcaklık değişimlerinden etkilenmektedir.

#### 4.6. Kuraklık Eğilim Analizi

SYİ ve SYEİ zaman serilerindeki eğilimi analizinin etmesi amacıyla MK ve TFPWMK testleri uygulandı. MK testinin sonuçları sırasıyla SYİ ve SYEİ serileri için Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.25'te sunulmuştur.

**Çizelge 4.24.** SYİ serileri için MK testin sonuçları

Yağış bölge	Z-Değeri	Sen's eğimi	S	Var(S)	P-değeri	Tau
HR1	-1,299	-0,009	-241,00	34147,67	0,194	-0,109
HR2	-1,667	-0,011	-309,00	34147,67	0,096	-0,140
HR3	-2,046*	-0,013	-379,00	34147,67	0,041	-0,171
HR4	-2,338*	-0,015	-433,00	34147,67	0,019	-0,196
HR5	-0,660	-0,004	-123,00	34147,67	0,509	-0,056
HR6	-2,836*	-0,004	-525,00	34147,67	0,005	-0,237
HR7	-1,960*	-0,013	-363,00	34147,67	0,050	-0,164
HR8	-2,132*	-0,003	-395,00	34147,67	0,033	-0,179
HR9	-3,269*	-0,004	-605,00	34147,67	0,001	-0,274

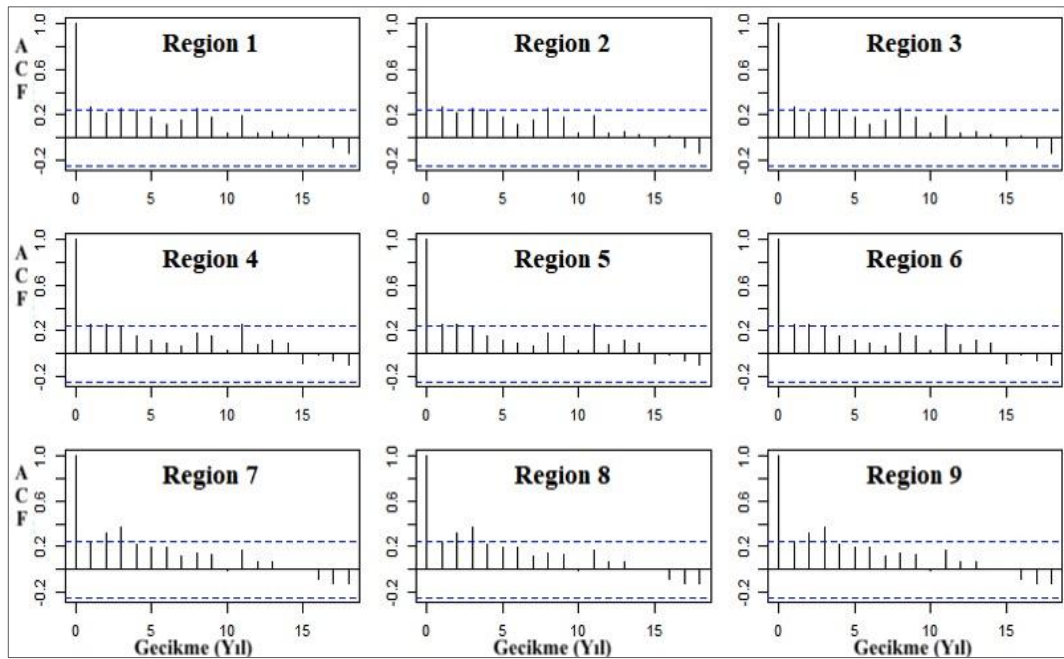
**Çizelge 4.25.** SYEİ serileri için MK testin sonuçları

Yağış bölge	Z-Değeri	Sen's eğimi	S	Var(S)	P-değeri	Tau
HR1	-1,905	-0,013	-353,00	34147,67	0,057	-0,160
HR2	-1,981*	-0,014	-367,00	34147,67	0,048	-0,166
HR3	-2,338*	-0,017	-433,00	34147,67	0,019	-0,196
HR4	-2,543*	-0,018	-471,00	34147,67	0,011	-0,213
HR5	-1,429	-0,011	-265,00	34147,67	0,153	-0,120
HR6	-3,258*	-0,020	-603,00	34147,67	0,001	-0,273
HR7	-2,370*	-0,016	-439,00	34147,67	0,018	-0,199
HR8	-2,403*	-0,016	-445,00	34147,67	0,016	-0,201
HR9	-3,377*	-0,022	-625,00	34147,67	0,001	-0,283

\*%5 anlamlılık düzeyindedir Z-Değerler “\*” il işaretlendi.

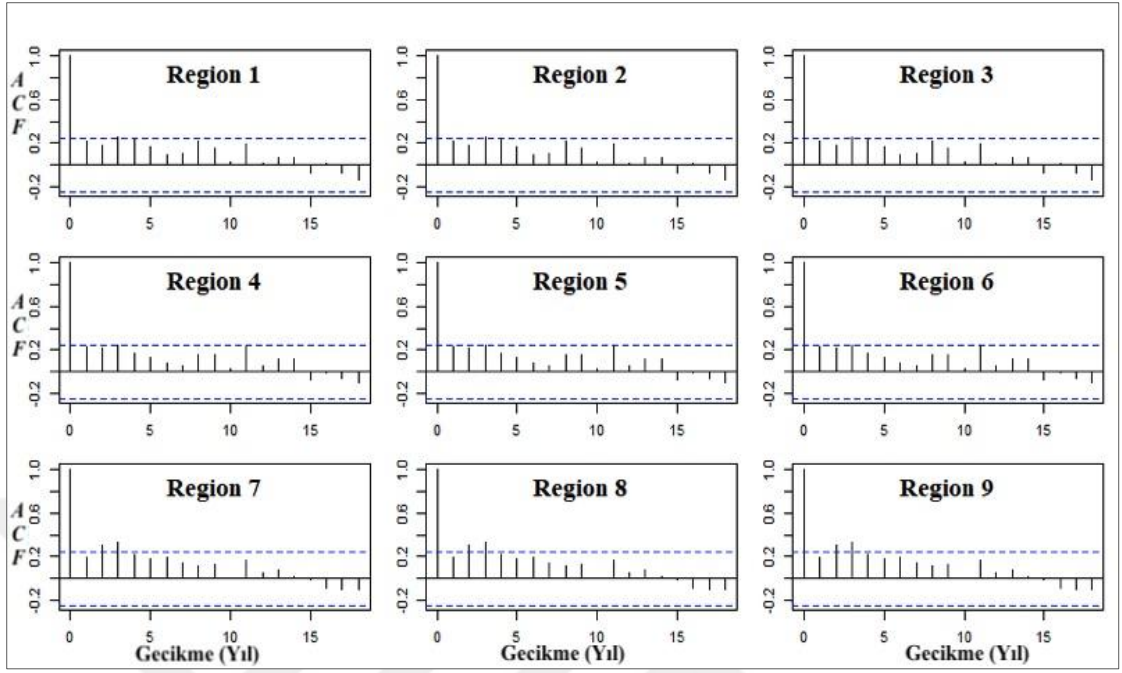
Mann-Kendall eğilim analizinde, iki kuyruklu kritik Z değerinin %5 anlamlılık düzeyinde mutlak değeri  $|Z_{crit,0,5}| = 1,96$  'dır (Kendall, 1975). Böylece,  $|Z_{MK}| < 1,96$  için sıfır hipotez %5 anlamlılık düzeyinde kabul edilir (Gilbert, 1987). Aksi takdirde, sıfır hipotez reddedilir ve trend işareti (pozitif veya negatif) ZMK işaretine karşılık gelir. Başta HR3, HR4, HR6, HR7, HR8 ve HR9 olmak üzere altı HR'nin SYİ serilerinde düşüş eğilimi göstermektedir (Çizelge 4.24). SYEİ serisine gelince (Çizelge 4.25), yedi HR negatif bir eğilim göstermektedir (HR1 ve HR5 hariç tüm HR'lar). SYEİ için eğilimin büyüklüğü, SYİ'inkidan daha yüksektir, çünkü Sen's eğimi'in eğiminin mutlak değeri SYEİ için daha yüksektir.

Fakat, yukarıda sunulan sonuçların güvenilirliği, SYİ ve SYEİ serilerinde seri korelasyonun varlığına veya yokluğuna bağlıdır (Yue et al., 2002). Bu nedenle, bölüm 3.7'de açıklandığı gibi TFPMK testi de uygulandı. Serilerinde bir eğilim sunan yukarıdaki SYİ ve SYEİ serileri, ilk önce Denk. 3-32 ve sonra gecikme-1 otokorelasyonunun varlığı, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilen ACF (otokorelasyon fonksyonu) ve PACF (Kısmi otokorelasyon fonksyonu) çizilerek kontrol edildi.

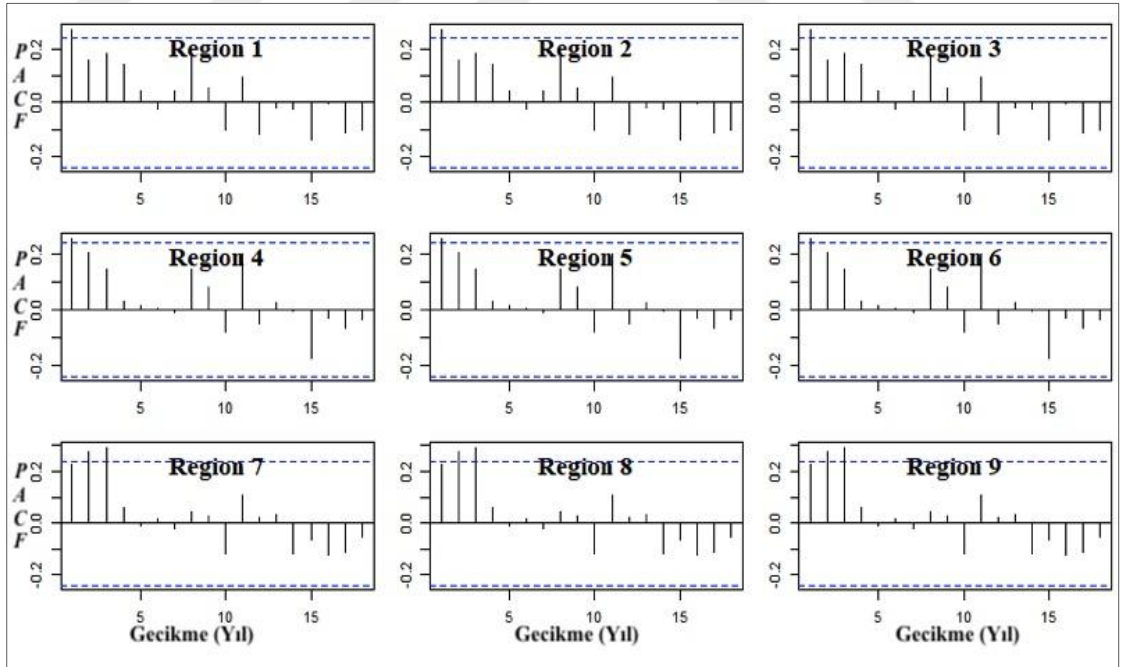


**Şekil 4.9.** SYİ serilerin ACF

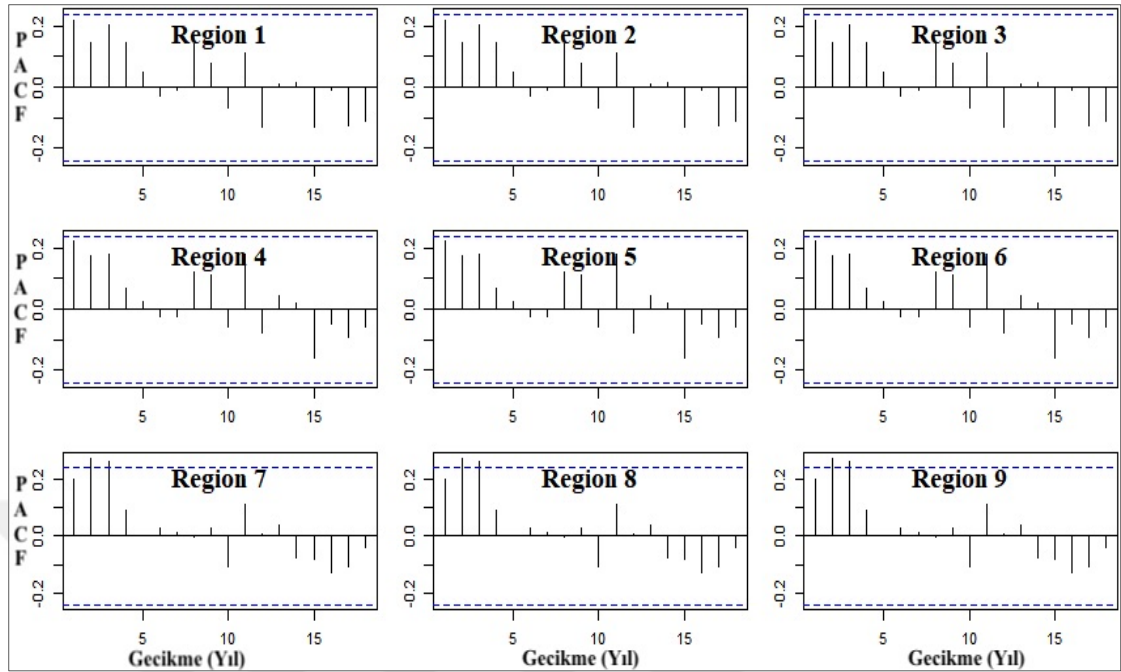




Şekil 4.10. SYEİ serilerin ACF



Şekil 4.11. SYİ serilerin PACF



**Şekil 4.12.** SYEI serilerin PACF

Bu şekillerde görülebileceği gibi, dokuz HR'nin SYİ ve SYEI serisi, lag-1 otokorelasyon değeri kritik (mavi yatay kesikli çizgisi) değerlerin ulaştığında veya üstünde olduğunda lag-1 otokorelasyonu sergiler. Gecikmeli korelasyonun MK testi üzerindeki etkisinin üstesinden gelmek için, TFPWMK testi uygulandı ve analiz sonuçları SYİ ve SYEI serileri için sırasıyla Çizelge 4.26 ve Çizelge 4.27'de gösterildi.

**Çizelge 4.26.** SYİ serileri için TFPWMK testin sonuçları

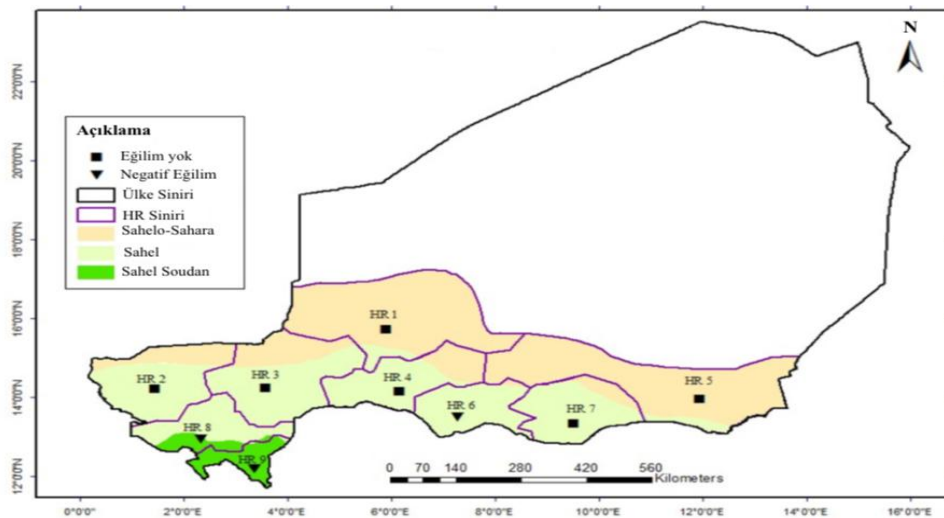
Yağış bölge	Z-Değeri	Sen's Eğimi	Old Sen's Eğimi	P-değeri	S	Var(S)	Tau
HR1	-0,808	-0,006	-0,009	0,419	-147,00	32651,67	-0,069
HR2	-1,317	-0,009	-0,011	0,188	-239,00	32651,67	-0,111
HR3	-1,793	-0,011	-0,013	0,073	-325,00	32651,67	-0,152
HR4	-1,826	-0,012	-0,015	0,068	-331,00	32651,67	-0,154
HR5	-0,288	-0,001	-0,004	0,774	-53,00	32651,67	-0,025
HR6	-2,435*	-0,003	-0,004	0,015	-441,00	32651,67	-0,206
HR7	-1,837	-0,011	-0,013	0,066	-333,00	32651,67	-0,155
HR8	-2,092*	-0,003	-0,003	0,036	-379,00	32651,67	-0,177
HR9	-3,099*	-0,004	-0,004	0,002	-561,00	32651,67	-0,262

\*%5 anlamlılık düzeyinde Z-değeri "\*" ile işaretlendi.

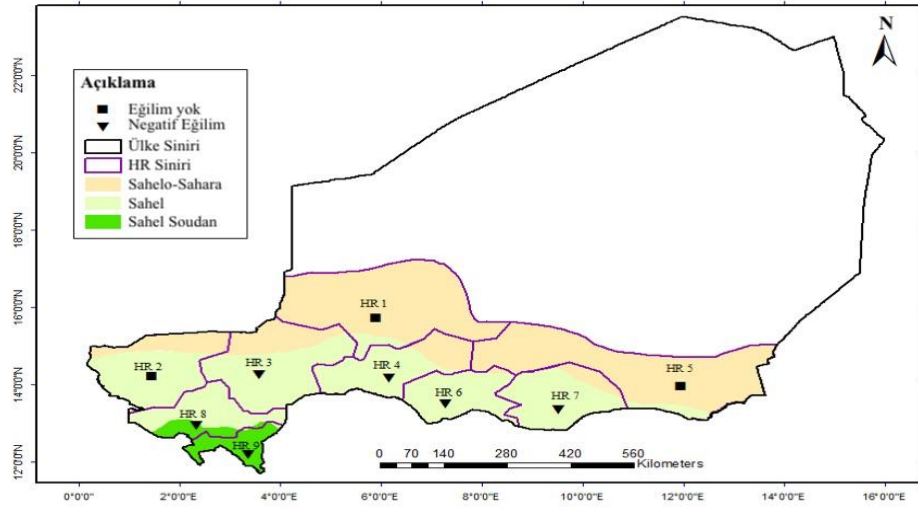
Çizelge 4.27. SYEİ serileri için TFPWMK testin sonuçları

Yağış bölge	Z-Değeri	Sen's Eğimi	Old, Sen's Eğimi	P-değeri	S	Var(S)	Tau
HR1	-1,494	-0,010	-0,013	0,135	-271,00	32651,67	-0,126
HR2	-1,638	-0,011	-0,014	0,101	-297,00	32651,67	-0,138
HR3	-1,960*	-0,014	-0,017	0,050	-355,00	32651,67	-0,166
HR4	-2,158*	-0,015	-0,018	0,031	-391,00	32651,67	-0,182
HR5	-1,195	-0,009	-0,011	0,232	-217,00	32651,67	-0,101
HR6	-2,734*	-0,018	-0,020	0,006	-495,00	32651,67	-0,231
HR7	-2,269*	-0,015	-0,016	0,023	-411,00	32651,67	-0,192
HR8	-2,391*	-0,015	-0,016	0,017	-433,00	32651,67	-0,202
HR9	-3,154*	-0,021	-0,022	0,002	-571,00	32651,67	-0,266

TFPWMK testin sonuçlarına göre (Çizelge 4.26 ve Çizelge 4.27), üç HR'nin SYİ serisinde (RH6, HR8, HR9) ve altı HR'in SYEİ serisinde (HR3, HR4, HR6, HR7, HR8, HR9) negatif bir eğilim göstermektedir. Ayrıca, tüm ZMK değerleri, çalışma süresinin (1950-2016) boyunca her iki kuraklık endeksinin serisinde bulunan eğimi negatiftir. Eğilim analizinden elde edilen sonuçlar hem SYİ hem de SYEİ için ülkedeki kuraklık koşullarının eğilimini gösteren iki haritaya görüntülendi (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14). SPEI serisinde düşüş eğilimi gösteren HR'ların eğilim sayısı, SYİ serisinde eğilimi gösterenlerin iki katıdır. Bu bulgular, sıcaklık artışının Nijerya'daki kuraklık olayları üzerindeki etkisini kanıtlamaktadır. Ek olarak, her iki kuraklık eğilim haritası da düşüş eğiliminin ülkenin en nemli HR'sında (HR9) daha önemli olduğunu göstermektedir.



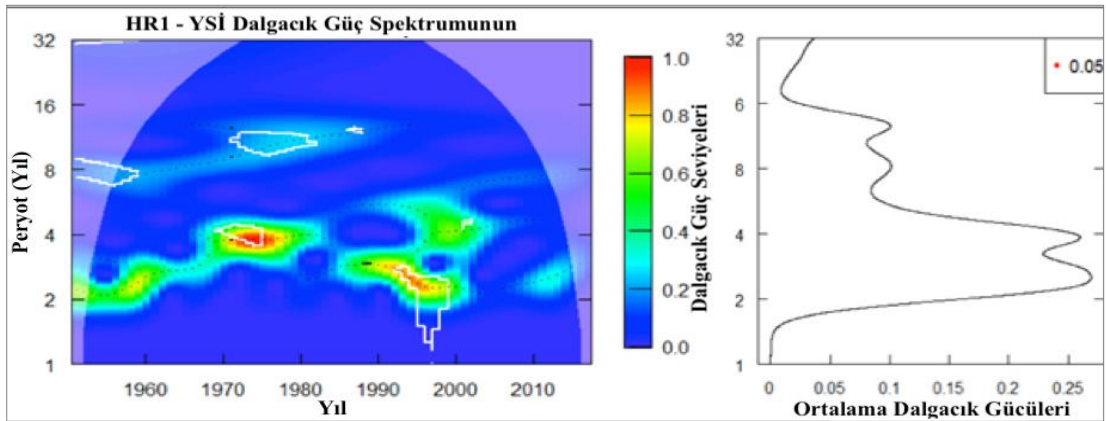
Şekil 4.13. SYİ tabanlı kuraklık eğilim haritası



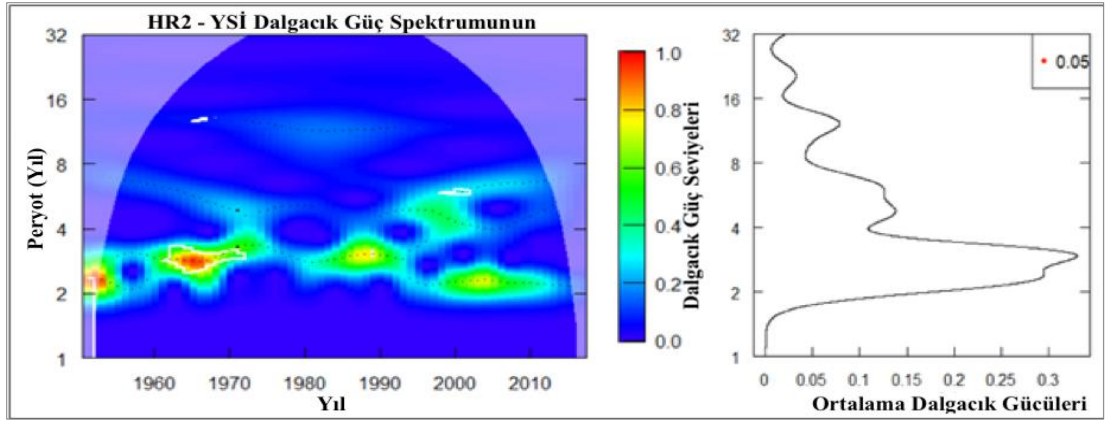
Şekil 4.14. SYEİ tabanlı kuraklık eğilim haritası

#### 4.7. Kuraklık Periyodiklik Analizi

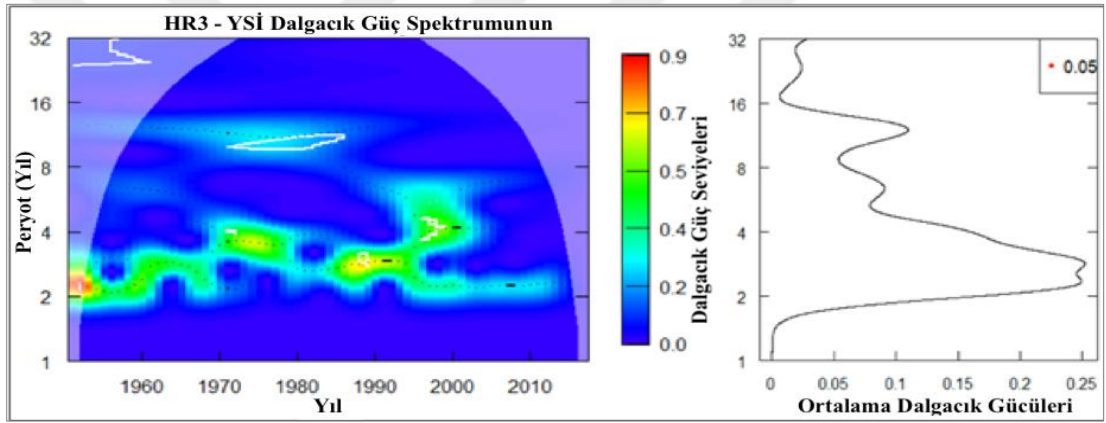
Kuraklık dönüş süresi belirlemek için her bir HR'nin SYİ ve SYEİ zaman serisinin dalgacık güç spektrumu hesaplanarak değerlendirildi. Morlet Dalgacık ailesini uygulayarak dalgacık ayrışması için sürekli dalgacık dönüşümü (CWT) kullanıldı. Periyodiklik analizi, serilerin belirli bir zaman periyodunda herhangi bir periyodiklik göstermediği sıfır hipotezi dikkate alınarak %5 anlamlılık düzeyinde gerçekleştirildi. Dalgacık güç spektrumunun grafikleri ve ortalama dalgacık gücüleri SYİ serisi için Şekil 4.15 ile Şekil 4.23 ve SYEİ serisi için ise Şekil 4.24 ile Şekil 4.32'de gösterilmektedir.



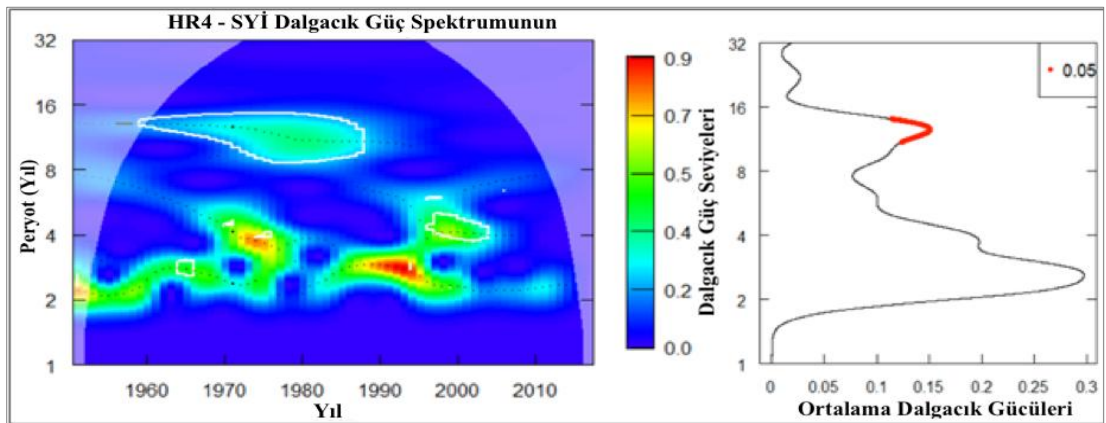
Şekil 4.15. HR1'nin SYİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü



Şekil 4.16. HR2'nin SYİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü

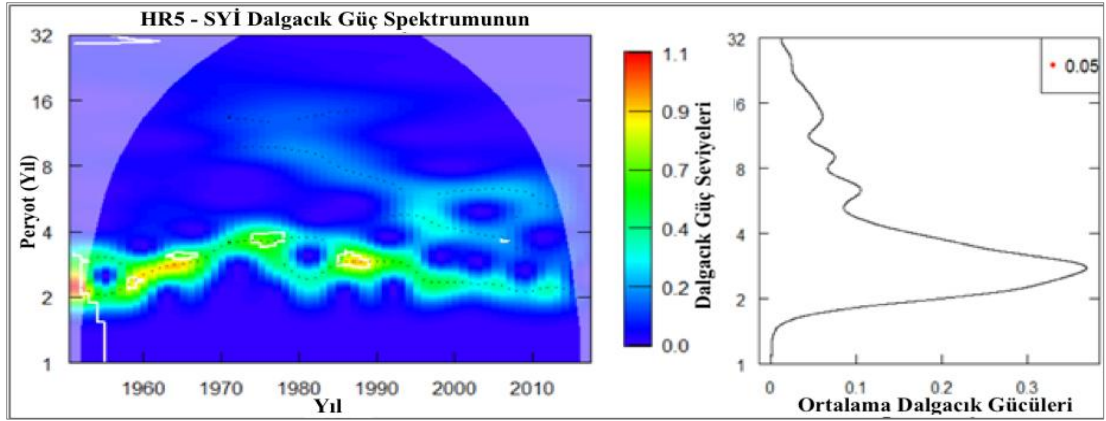


Şekil 4.17. HR3'nin syi serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü

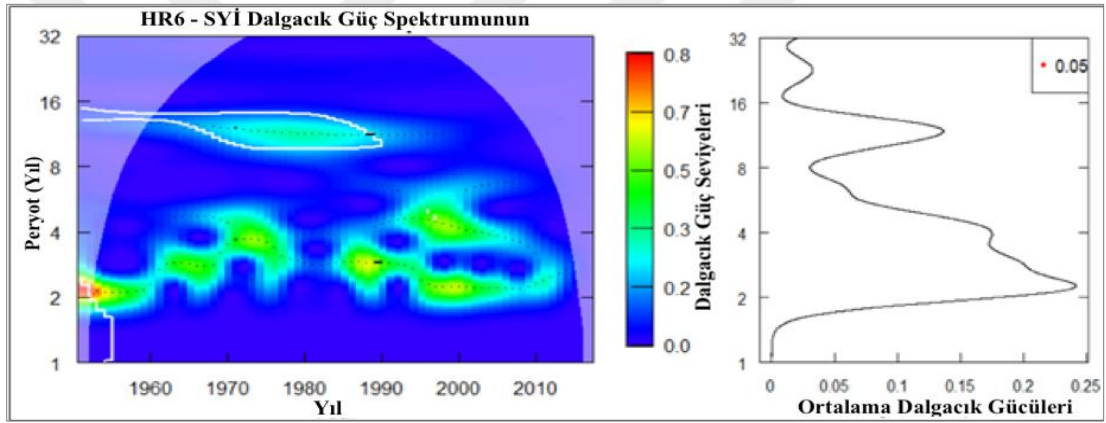


Şekil 4.18. HR4'nin SYİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü

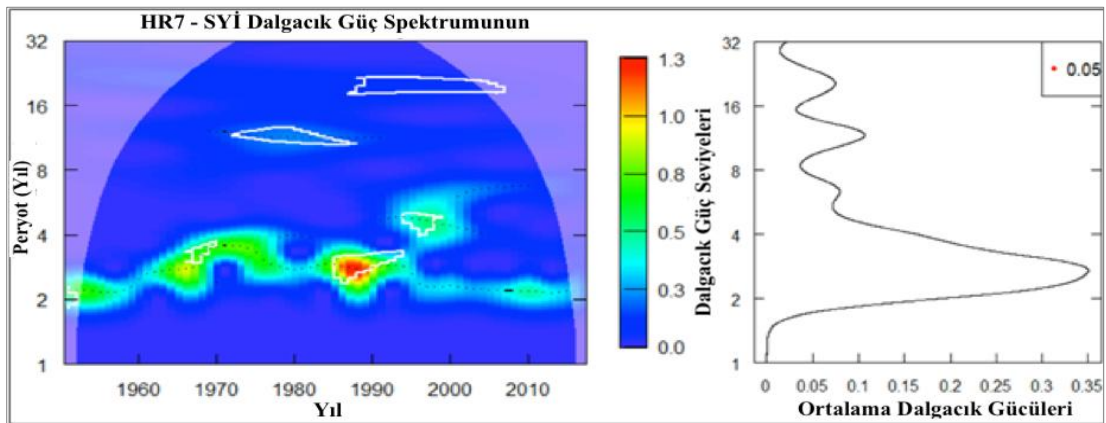




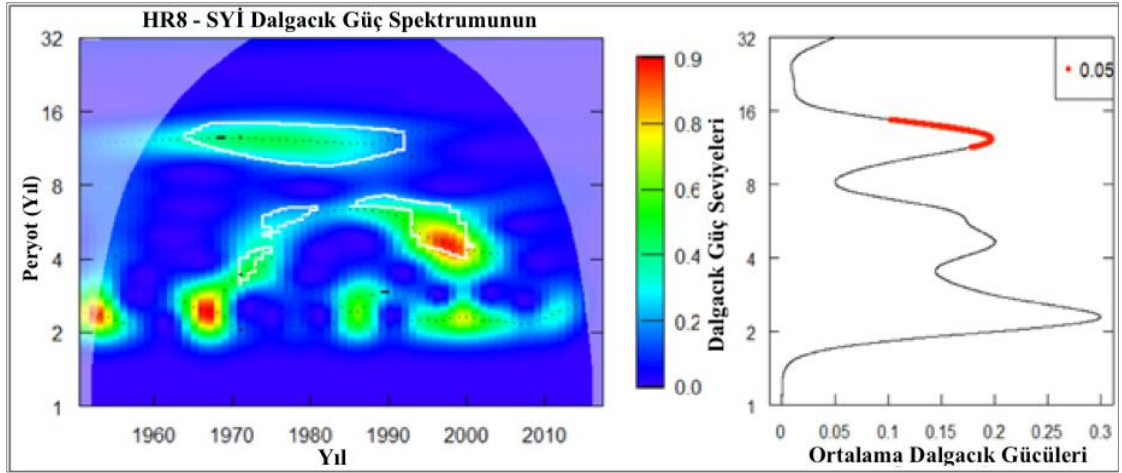
Şekil 4.19. HR5'nin SYİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü



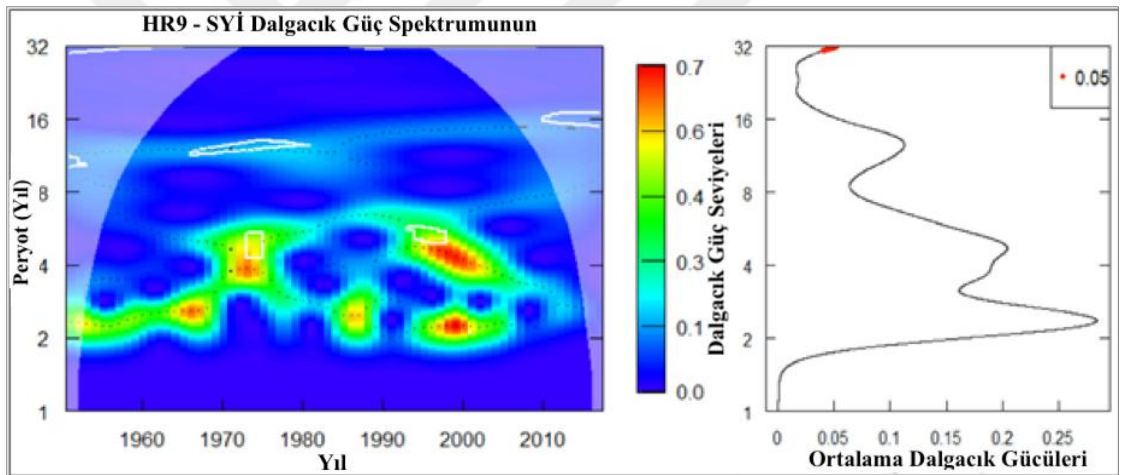
Şekil 4.20. HR6'nin SYİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü



Şekil 4.21. HR7'nin SYİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü



**Şekil 4.22.** HR8'nin SYİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü



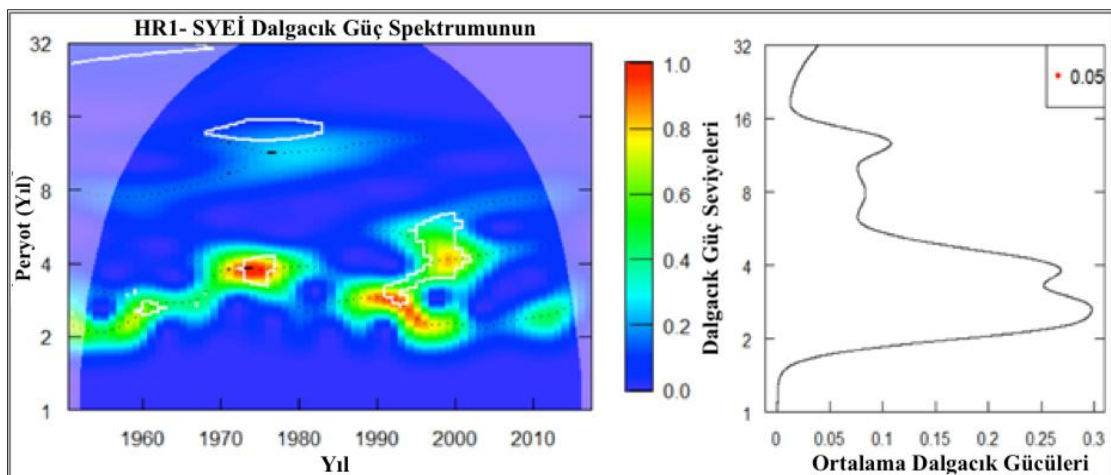
**Şekil 4.23.** HR9'nin SYİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü

Yukarıdaki spektrumlar, tüm HR'lerin 1960'ların sonlarından 1990'lara kadar SYİ serilerinde 2-4 yıllık baskın bir kuraklık periyodu sunduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, bu periyodiklik tüm çalışma süresi (1950-2016) boyunca %5 anlamlılık düzeyinde önemli değildir. Sadece HR4 ve HR8'de 12-14 yıl periyodik olarak tüm çalışma süresi boyunca %5 anlamlılık düzeyinde önemlidir. SYİ serilerinde bulunan 2-4 yıllık periyodikliği, her bir HR için Çizelge 4.28'de detaylandırılmıştır.

**Çizelge 4.28.** SYİ dayanan kuraklık dönüş süresi

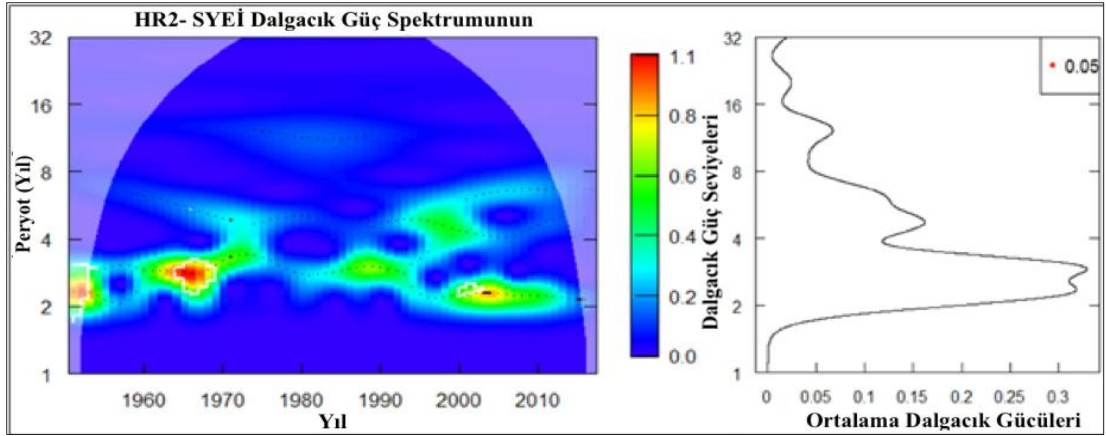
Yağış Homojen Bölge	Kuraklık dönüş süresi ve zaman periodu
HR1	2 yıl (1968-2004)
HR2	3 yıl (1968-1976); 2yıl 1976-1993
HR3	2 yıl (1968-2004)
HR4	2 yıl (1968-2004)
HR5	2 yıl (1962-2004)
HR6	2-3 yıl (1971-2016)
HR7	2-3 yıl (1963-2004)
HR8	2-4 yıl (1968-2004)
HR9	2-4 yıl (1968-2016)

SYİ'yi kuraklık nicelleştirme parametresi olarak kullanarak, Nijer'deki kuraklık geri dönüş süresinin Sahel'deki uzun süreli kuraklık döneminde yaklaşık 2 yıl olduğu bulmaktadır. HR4 ve HR8'de bulunan 12-14 yıllık periyodiklikten başka, diğer HR'lerin maksimum kuraklık dönüş süresi 1990'ların ortalarından sonra 4 yıldır; böylece, kuraklık periyodikliklerinde küçük iyileşmenin bir kanıtıdır.

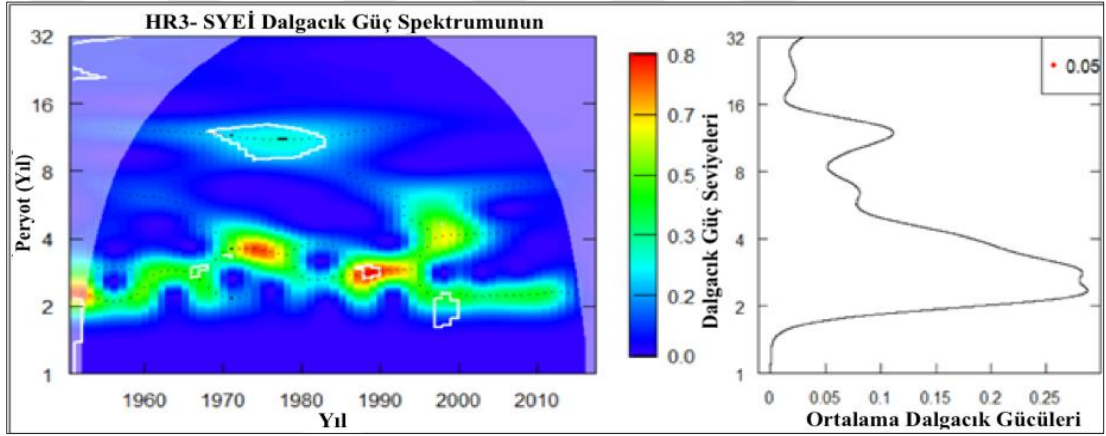


**Şekil 4.24.** HR1'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü

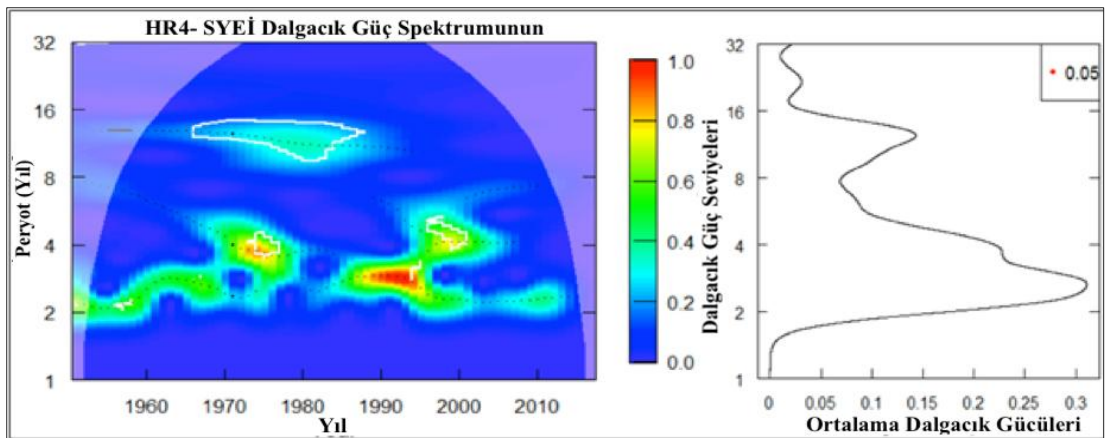




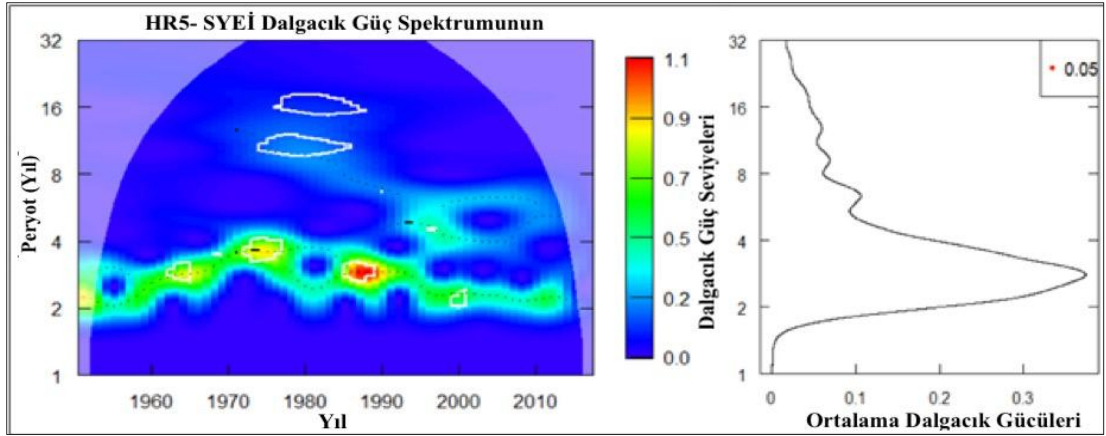
Şekil 4.25. HR2'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü



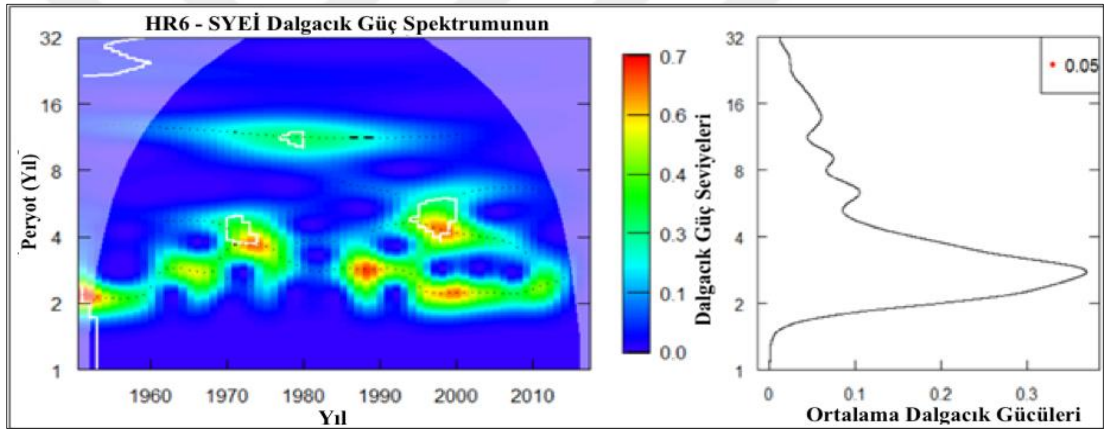
Şekil 4.26. HR3'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü



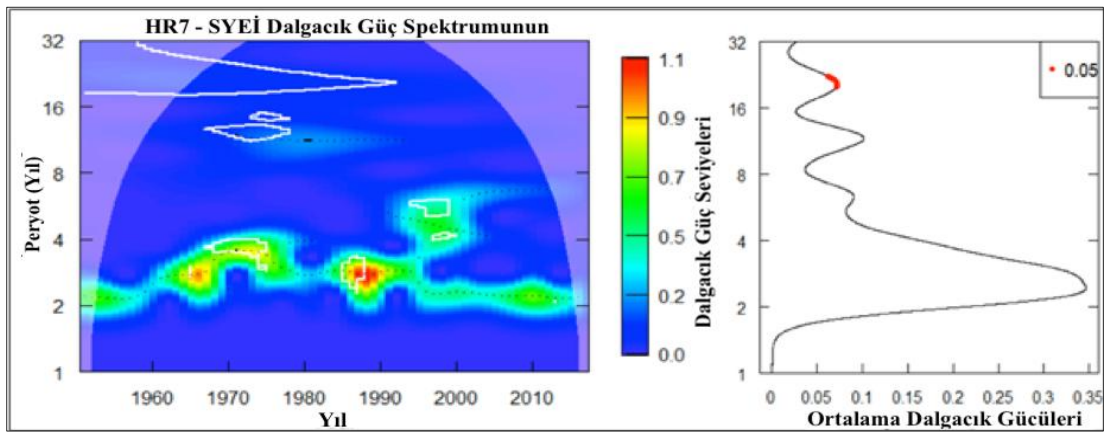
Şekil 4.27. HR4'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü



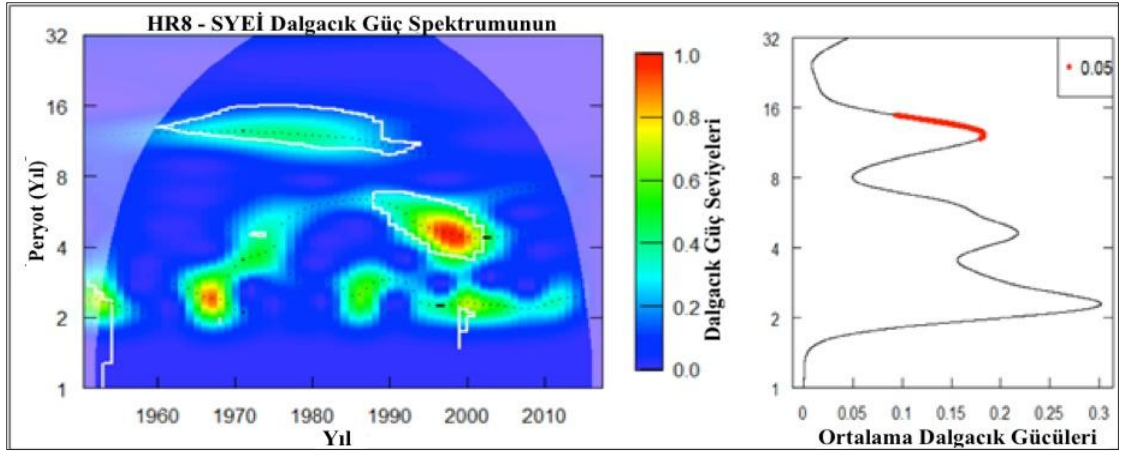
Şekil 4.28. HR5'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü



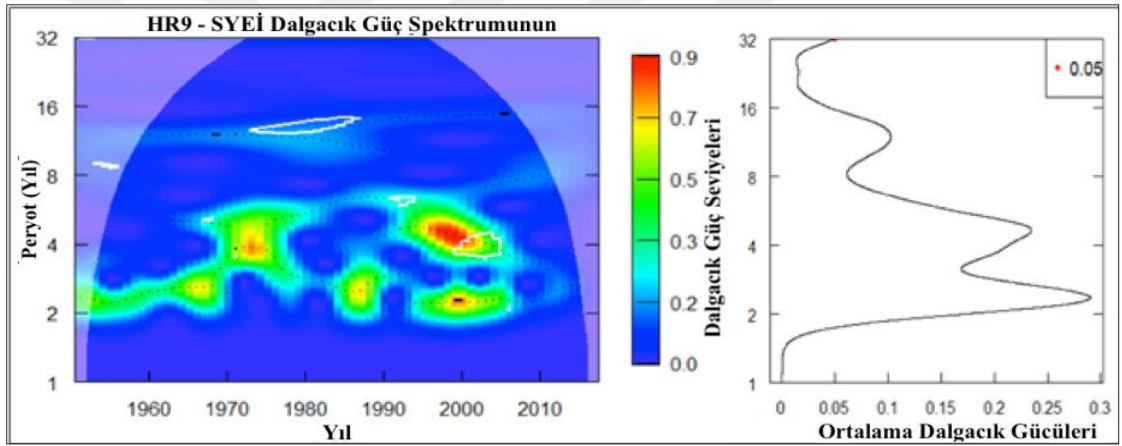
Şekil 4.29. HR6'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü



Şekil 4.30. HR7'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü



**Şekil 4.31.** HR8'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü



**Şekil 4.32.** HR9'nin SYEİ serileri için dalgacık gücü spektrumu ve ortalama gücü

SYEİ serisine gelince, tüm çalışma süresi boyunca, yalnızca 20-23 yıl ile HR7'de ve 12-14 yıl ile HR8'de %5 anlamlılık düzeyinde önemli kuraklık dönüş süresi bulunmaktadır. Ve Tüm HR'lerde sadece belirli aralıklarla belli sürelerde önemli olan 2-4 yıllık diğer periyodiklikler de bulunmaktadır. Bu periyodiklikler Çizelge 4.29'de özetlenmiştir. Periyodiklik analizine göre Nijer'de her homojen yağış bölgeye bağlı olarak her 2-4 yılda ülke genelinde bir kuraklık meydana geliyor. Dahası, RH8 ve HR4'te yapılan periyodiklik analizine göre, her 12-14 yılda bir bu yoğun kuraklığın gerçekleştiğini göstermektedir. Bu sonuçlar Abdourahamane and Acar (2018) bulgularını doğrulamaktadır.

**Çizelge 4.29.** SYEİ dayanan kuraklık dönüş süresi

Yağış Homojen Bölge	Kuraklık dönüş süresi ve zaman periodu
HR1	2-3 yıl (1968-2004)
HR2	2-4 yıl (1960-2015)
HR3	2-3 yıl (1968-2004)
HR4	2-3 yıl (1968-2004)
HR5	2-3 yıl (1963-2004)
HR6	2-3 yıl (1968-2016)
HR7	2 yıl (1963-1976); 2 yıl (1981-1997); 2 yıl (2000-2011)
HR8	2-3 yıl (1966-2004)
HR9	2-4 yıl (1968-2014)

#### 4.8. Doğrusal Çapraz Korelasyon ve XWT Analizi

Tanımlanan dokuz HR'nın hesaplanan kuraklık endeksleri (SYİ ve SYEİ) ile bu çalışmada ele alınan 16 iklim endeksi arasındaki ilişkiler doğrusal çapraz korelasyon ve çapraz dalgacık (XWT) analizleri kullanılarak değerlendirildi. Bu analizler, iklim endekslerinin zaman serilerini SYİ ve SYEİ serilerine göre 1 ila 18 ay arasında geciktirerek yapıldı. Bir ay gecikme, kuraklık endeksleri ile aynı yılın Haziran ayına ait iklim endekslerine karşılık gelir ve 18 ay gecikme, önceki yılın ocak ayının iklim endekslerine göre kuraklık endekslerine karşılık gelir. Potansiyel kuraklık tahmin edicileri olarak tahmin modeli için en yüksek korelasyona ve en anlamlı XWT'ye sahip gecikme süresi seçildi.

Tanımlanan her bir HR için, Pearson korelasyon katsayısı R, kuraklık endeksleri ile iklim endeksleri arasında 1 ila 18 ay gecikme arasında hesaplanmıştır. En yüksek R'ye sahip gecikme süresi, sırasıyla SYİ ve SYEİ serileri için Çizelge 4.30 ve Çizelge 4.31'da sunulmaktadır.

**Çizelge 4.30.** SYİ serileri ve iklim endeksleri arasında  $r_p$  ve gecikme zamanı (L)

İklim endeksi	HR1		HR2		HR3		HR4		HR5		HR6		HR7		HR8		HR9	
	$r_p$	L	$r_p$	L	$r_p$	L	$r_p$	L	$r_p$	L	$r_p$	L	$r_p$	L	$r_p$	L	$r_p$	L
Meridyenel Rüzgar	0,23	5	0,33	9	0,25	9	0,25	9	-0,21	13	0,26	3	-0,29	9	-0,32	9	-0,38	9
SLP	0,28	15	<b>-0,37*</b>	9	0,32	15	-0,29	9	-0,29	9	-0,33	9	-0,34	9	<b>-0,41*</b>	9	<b>-0,41*</b>	9
Zonal Rüzgar	0,35	8	0,36	8	<b>0,39*</b>	8	<b>0,35*</b>	8	0,28	8	<b>0,39*</b>	8	0,35	8	0,37	8	0,35	8
GpH	-0,23	12	-0,27	12	-0,31	12	-0,32*	12	0,2	8	-0,32	12	-0,3	12	-0,35	12	<b>-0,43*</b>	12
Atlantik Nispi Nemi	<b>0,45*</b>	18	<b>0,47*</b>	18	<b>0,51*</b>	18	<b>0,46*</b>	18	0,37	18	<b>0,44*</b>	18	<b>0,46*</b>	18	<b>0,47*</b>	18	<b>0,44*</b>	18
Kuzey Atlantik SST	0,39*	11	0,36*	11	0,35*	11	0,32*	11	<b>0,44*</b>	11	0,31	11	<b>0,39*</b>	11	0,24	11	0,15	11
Güney Atlantik SST	-0,23	18	-0,31	17	-0,26	18	-0,22	18	-0,19	18	-0,27	17	-0,33	17	-0,24	17	-0,25	17
AMM	0,3	11	<b>0,39*</b>	17	0,29	13	0,25	11	0,32	11	0,31	17	<b>0,36*</b>	17	0,22	13	0,2	13
NAO	<b>0,4*</b>	15	0,35	15	<b>0,41*</b>	15	<b>0,37*</b>	15	<b>0,4*</b>	15	0,3	15	0,26	15	0,27	15	0,32	15
PDO	-0,21	2	-0,33	2	-0,3	2	-0,27	2	-0,26	2	<b>-0,37*</b>	2	-0,29	2	-0,25	2	-0,27	2
Nino 1+2	-0,24	1	-0,23	1	-0,24	1	-0,19	1	-0,34	1	-0,27	1	-0,26	3	-0,19	1	-0,31	1
Akdeniz Nispi Nemi	0,28	7	0,27	7	0,31	7	0,31	7	0,22	7	0,35	7	0,29	7	<b>0,4*</b>	7	<b>0,39*</b>	8
SOI	-0,34*	2	0,35	1	-0,32	2	-0,25	2	-0,25	2	0,33	1	0,27	1	0,27	1	0,32	1
AMO	<b>0,54*</b>	8	<b>0,54*</b>	8	<b>0,52*</b>	8	<b>0,48*</b>	8	<b>0,56</b>	8	<b>0,52</b>	8	<b>0,52*</b>	8	<b>0,4*</b>	18	0,38	18
NPP	-0,31*	15	0,29	16	0,3	4	-0,32*	15	0,33*	4	0,29	4	0,31*	4	0,26	4	0,29	16
WHWP	<b>0,41*</b>	10	0,35	11	0,33	11	0,3	10	<b>0,38*</b>	11	0,25	10	0,3	11	0,24	11	0,22	2

\* Her HR için R'nin en yüksek ilk dört mutlak değeri, koyu ve “\*” %5 anlamlılık düzeyi için kullanıldı.

**Çizelge 4.31.** SYEİ Serileri ve iklim endeksleri arasında  $r_p$  ve gecikme zamanı

İklim endeksi	HR1		HR2		HR3		HR4		HR5		HR6		HR7		HR8		HR9	
	$r_p$	L	$r_p$	L	$r_p$	L	$r_p$	L	$r_p$	L	$r_p$	L	$r_p$	L	$r_p$	L	$r_p$	L
Meridyenel Rüzgar	0,23	9	0,33	9	-0,26	9	0,25	9	-0,21	13	-0,22	9	0,27	8	0,31	9	0,38	9
SLP	-0,26	9	<b>-0,39*</b>	9	-0,32*	9	-0,31	9	-0,34	9	-0,36*	9	<b>-0,36*</b>	9	<b>-0,43*</b>	9	<b>-0,44*</b>	9
Zonal Rüzgar	0,29	18	0,27	18	0,31	18	0,33*	18	0,31	18	<b>0,38*</b>	18	0,34*	18	0,29	13	0,31	13
GpH	-0,26	12	-0,26	12	-0,32*	12	-0,33*	12	-0,23	12	-0,35	12	-0,34*	12	-0,36*	12	-0,44*	12
Atlantik Nispi Nemi	<b>0,46*</b>	18	<b>0,47*</b>	18	<b>0,49*</b>	18	<b>0,47*</b>	18	<b>0,41*</b>	18	<b>0,44*</b>	18	<b>0,46*</b>	18	<b>0,48*</b>	18	<b>0,44*</b>	18
Kuzey Atlantik SST	<b>0,36*</b>	11	0,36*	11	0,32	11	0,29	11	<b>0,39*</b>	11	0,28	11	<b>0,34*</b>	11	0,23	11	0,16	11
Güney Atlantik SST	-0,24	18	-0,29	17	-0,26	17	-0,23	18	-0,19	18	-0,28	17	-0,33	17	-0,25	17	-0,24	16
AMM	0,28	13	0,33	13	0,28	13	0,24	13	0,31	13	0,28	17	0,32	17	0,22	13	0,23	13
NAO	<b>0,41*</b>	15	<b>0,37*</b>	15	<b>0,42*</b>	15	<b>0,38*</b>	15	<b>0,41*</b>	15	0,31	15	0,28	15	0,29	15	0,33	15
PDO	-0,23	2	-0,32	2	-0,29	2	-0,28	2	-0,27	2	-0,36*	2	-0,29	2	-0,26	2	-0,3	2
Nino 1+2	-0,25	1	-0,23	1	-0,25	1	-0,21	1	-0,36*	1	-0,28	1	-0,26	1	-0,18	1	-0,3	1
Akdeniz Nispi Nemi	0,32	7	0,29	7	<b>0,34*</b>	7	<b>0,34*</b>	7	0,27	7	<b>0,38*</b>	7	0,33	7	<b>0,4*</b>	7	<b>0,4*</b>	7
SOI	-0,33	14	-0,36	1	-0,31	14	-0,26	14	-0,26	14	-0,35	1	-0,29	1	-0,3	1	-0,33	1
AMO	<b>0,50*</b>	6	<b>0,53*</b>	18	<b>0,48*</b>	8	<b>0,45*</b>	8	<b>0,51*</b>	8	<b>0,48*</b>	8	<b>0,48*</b>	8	<b>0,39*</b>	18	<b>0,4*</b>	8
NPP	-0,32	15	0,28	16	0,3	4	-0,32	15	0,32	4	0,28	16	0,28	4	0,26	16	0,29	16
WHWP	0,35*	10	0,33	11	0,29	10	0,27	10	0,34	8	0,22	10	0,25	11	0,22	11	-0,23	2

\*Her HR için R'nin en yüksek ilk dört mutlak değeri, koyu ve "\*" %5 anlamlılık düzeyi için kullanıldı.

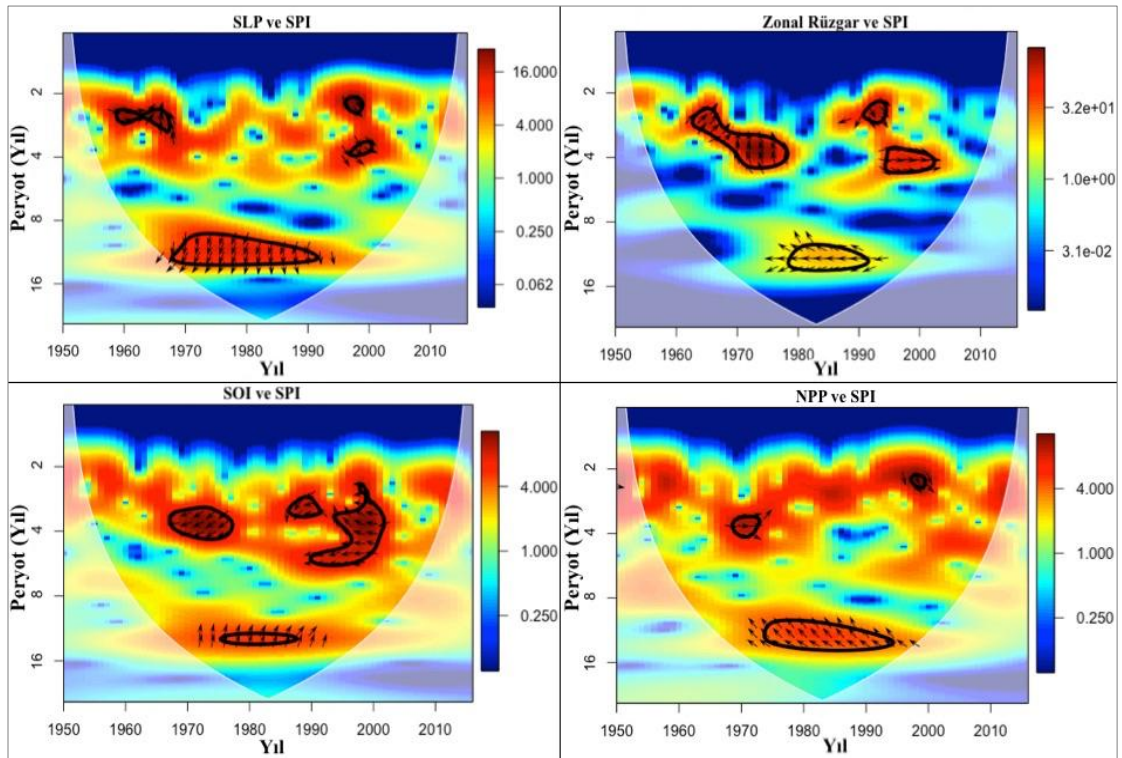
Her iklim endeksi ile SYİ ve SYEİ serileri arasındaki korelasyon katsayısı homojen yağış bölgelerine bağlı olarak değişmektedir. Bununla birlikte, yukarıdaki çizelgelerde görülebileceği gibi, iklim endekslerinin çoğu, SYİ ve SYEİ serileri ile oldukça iyi bir ilişkiye sahiptir. En yüksek korelasyon katsayıları, AMO endeksi ve Atlantik Nispi Nemi (RH) için elde edildi; HR'lerin çoğu için 0,50'nin üzerinde bir R, pozitif bir korelasyon çıktı. SYİ'nin korelasyon katsayısı ise negatiftir.





**Çizelge 4.33.** XWT analizinde iklim endeksleri ile SYEİ arasında gecikme zamanı (L)

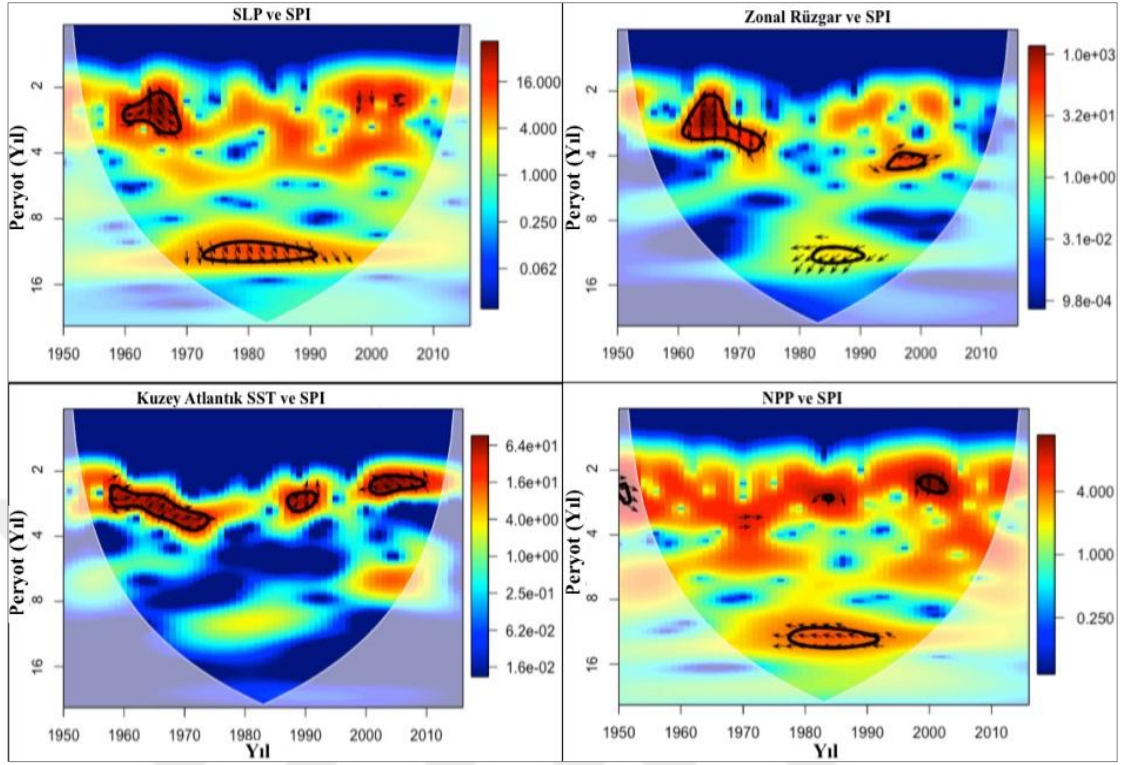
İklim endeksi	HR1	HR2	HR3	HR4	HR5	HR6	HR7	HR8	HR9
	L (ay)	L (ay)	L (ay)	L (ay)	L (ay)	L (ay)	L (ay)	L (ay)	L (ay)
Meridyenel Rüzgar*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SLP*	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>13</b>
Zonal Rüzgar*	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	-	<b>10</b>	<b>10</b>	-	<b>12</b>
GpH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Atlantik Nispi Nemi	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kuzey Atlantik SST*	-	-	-	-	<b>9</b>	-	-	-	-
Güney Atlantik SST	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AMM*	-	<b>16</b>	<b>16</b>	-	-	<b>16</b>	-	<b>16</b>	<b>16</b>
NAO*	-	-	-	<b>11</b>	<b>11</b>	-	-	-	-
PDO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nino 1+2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Akdeniz Nispi Nemi	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SOI*	<b>9</b>	-	-	-	-	-	<b>9</b>	<b>9</b>	-
AMO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NPP*	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>
WHWP	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Şekil 4.33.** HR1’de SYİ ve iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları

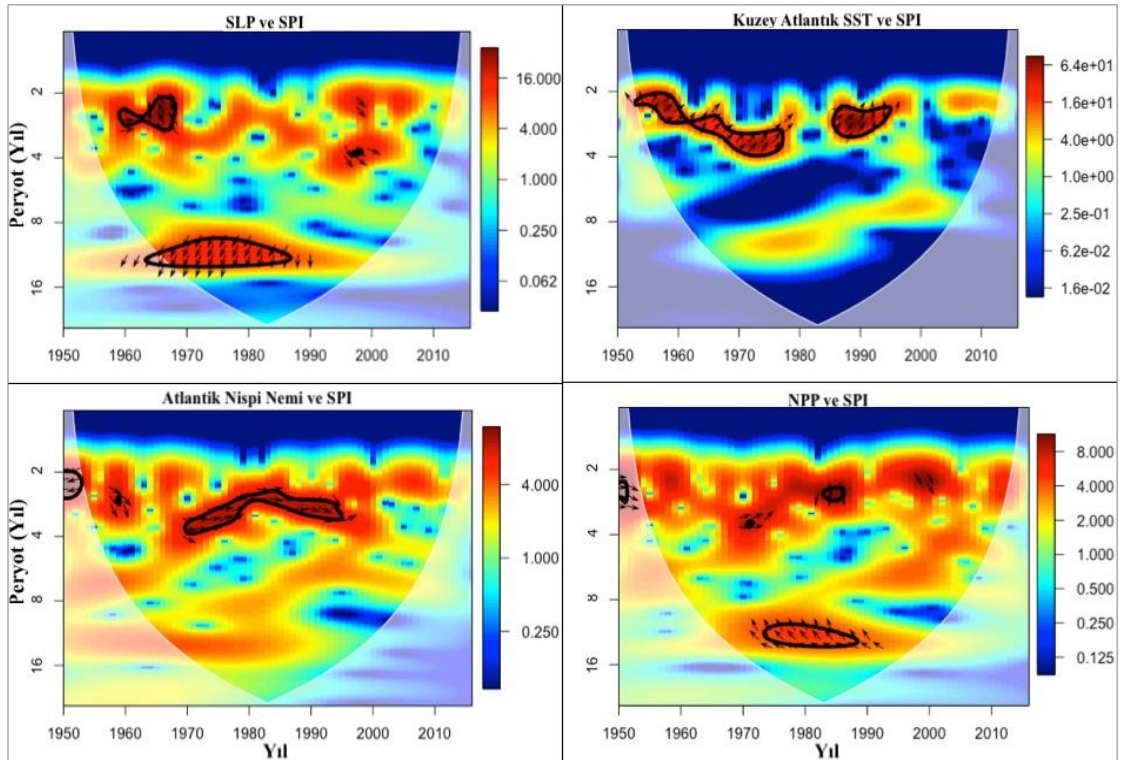


Bu spektrumları SYİ ile iklim endeksleri arasında en belirgin çapraz dalgacık spektrumları temsil eder. Bu spektrumlarda, kırmızı gürültü karşı %5 anlamlılık düzeyini kalın bir konturla belirlenir. Göreceli faz ilişkisi oklarla temsil edilir; aynı faz için işaretleme sağa, zitevre işaretleme sol, SYİ yukarıya dönük ve iklim endeksi aşağı dönük. Her bir HR için, en yüksek salınımı sergileyen SYİ ve ilk dört iklim endeksi arasındaki ilişki açıklanmıştır.

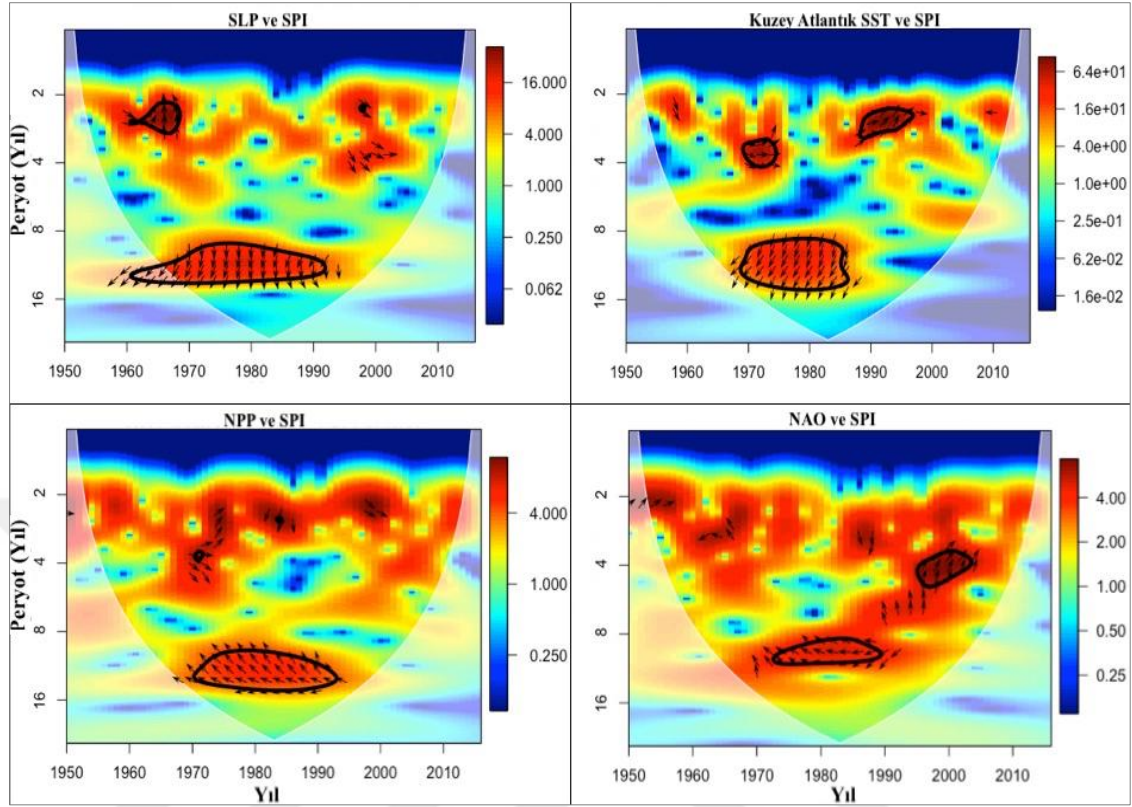
Şekil 4.33'e göre HR1 bölgedeki SYİ serileri ile SLP endeksi 1960'ların sonlarında 1990'ların başlarında 12-14 yıl arasında değişen bir zaman ölçeğinde önemli bir ortak salınım sergilemiştir. Şekil 4.33'de görülebileceği gibi, bu iki değişkenler arasındaki bu ortak güç 1990'ların sonlarında aşamalı olarak zitevre ve SLP'nin öncülüğüne doğru kaymıştır. Bu nedenle, SLP, Sahel'deki uzun süreli kuraklık döneminde, özellikle de 1960'ların sonunda 1980'lerde, yağışların azalmasına katkıda bulunuyor. Zonal Rüzgâr, 1960'ların başlarından 1970'lerin sonlarına kadar ve 1990'ların sonundan 2000'lerin başlarına kadar sırasıyla 3-4 yıl ve 4 yıllık bir zaman ölçeğinde SYİ serisi ile bir faz salınımı sergilemiş. Ayrıca, Zonal Rüzgâr ve SYİ serileri arasında 1970'lerin sonlarında 1990'ların başlarına kadar 11 ila 13 yıllık bir zaman ölçeğinde bir zitevre salınımı görülebilir. SOI, 1960'ların sonunda 1970'lerin ortalarına ve 1990'ların 2000'lerine kadar her ikisi de yaklaşık 4 yıllık bir zaman diliminde, zitevre salınımına sahip ortak bir güç gözlemlendi. 1970'lerin ortasından 1990'lara kadar, SOI, 13 yıllık zaman ölçeğinde SYİ serisi ile aynı aşamada salınım yapmıştır. Bu nedenle, 1970'lerin ve 1980'lerin uzun süren kuraklıklarına katkıda bulunmadı. NPP 1970'lerin sonlarında 1990'ların başlarına kadar, 12-13 yıllık zaman dilimlerinde SYİ ile net bir zitevre ortak güç sergilemiş ve bu endeksin Sahel'in büyük kuraklığına güçlü katkısını göstermiştir.



Şekil 4.34. HR2’de SYİ ve iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları



Şekil 4.35. HR3’de SYİ ve iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları



**Şekil 4.36.** HR4’de SYİ ve iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları

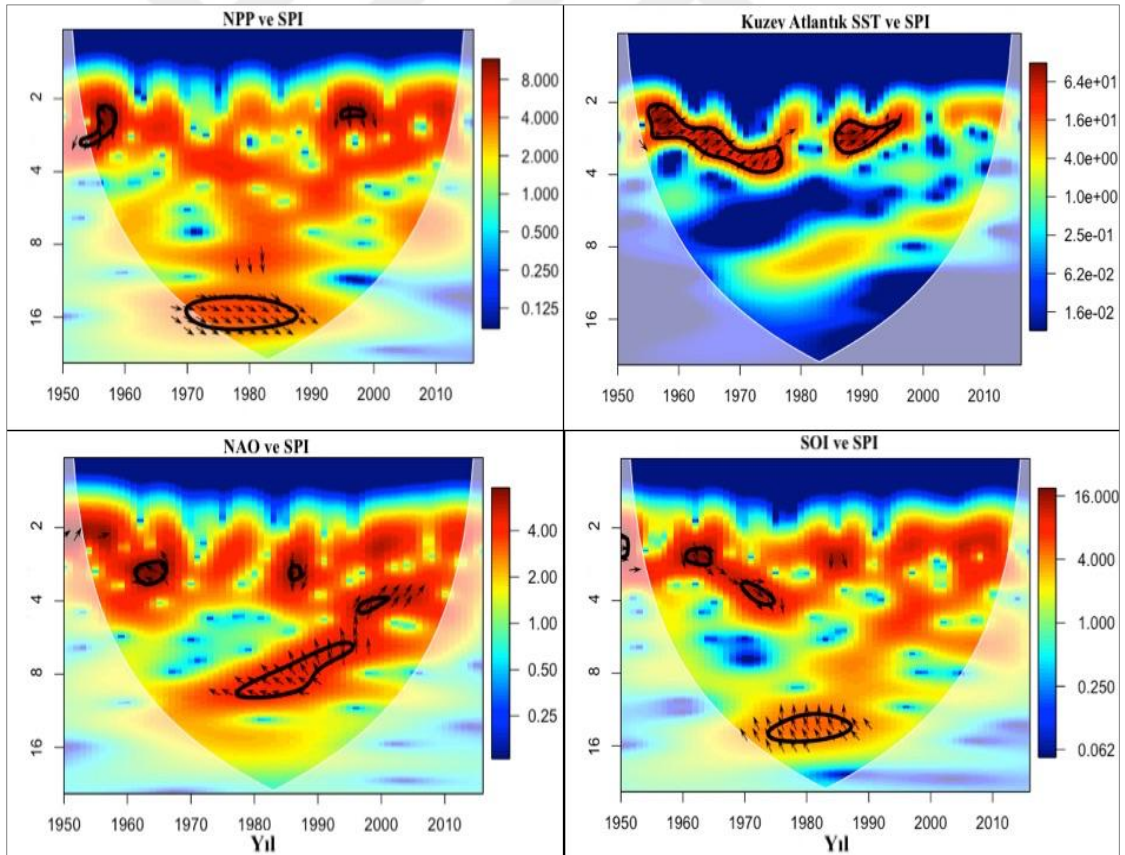
Şekil 4.34’deki spektrumları, HR2 bölgesinde SLP, 1970-1990 döneminde 11-13 yıllık bir zaman ölçeğinde SYİ serisi ile bir faz salınımına sahiptir. Zonal rüzgâr, SYİ ile 1960’dan 1970’lerin başlarına ve 1990’ların ortasından 1990’ların ortasına kadar sırasıyla 2-4 ve 4 yıllık bir zaman ölçeğinde bir faz korelasyon sergilemiştir. Bununla birlikte, 1980-1990 döneminde, bu iki değişken SYİ ile zitevrede salınmıştır. Kuraklık endeksi ile belirgin bir zitevre salınımı sergileyen bir diğer endeks, 1970’lerin sonlarında 1990’ların başlarına kadar 10-12 yıllarında bir zitevre ortak güce sahip olduğu NPP’dir. Kuzey Atlantik SST’ye gelince, 1950’lerin sonunda 1970’lerin başlarına kadar 3 yıllık zaman ölçeğinde bir faz salınımı tespit edildi ve 2000 ile 2010 arasında zitevre salınımı gözlemlendi.

Şekil 4.35’teki spektrumları HR3 bölgesinde SLP ve NPP, 1970’lerde ve 1980’lerde, 12-14 yıllık zaman ölçeğinde SYİ ile bir zitevre ortak salınım yapmışlardır. Bu iki iklim endeksleri, Sahel’deki uzun süreli kuraklığı sırasındaki yağış düşüşünde önemli bir rol oynamıştır. Atlantik havzasındaki nispi nemi ile SYİ serileri 1970’den 1990’ların ortasına



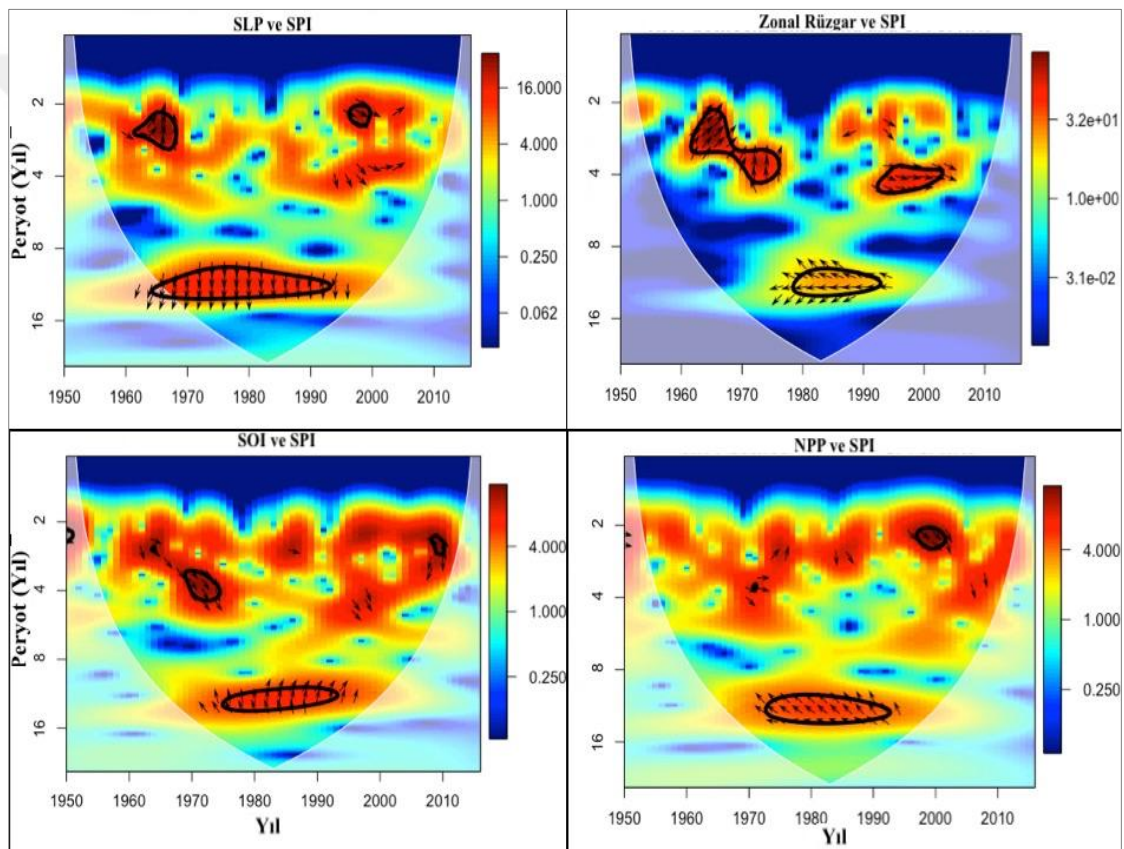
3 yıllık zaman aralığında bir faz salınımı ortak gücüne sahiptir. Böylece, Kuzey Atlantik havzasının HR3 için 20. yüzyıl sonlarında önemli bir nem kaynağı olarak ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Ayrıca, Kuzey Atlantik SST SYİ ile 2-4 yıllık zaman aralığında bir faz ortak güç salınımı sergilemişler. Bununla birlikte, 1970'lerin sonunda 1980'lerin başlarında bu bağlantıda kesintiler yaşanmıştır.

HR4 bölgesinde ise (şekil 4.36) SLP ile SYİ arasındaki ilişki aşamalı olarak 1950'lerin sonlarında 1980'lerde bir zitevre salınımindan ve 1980'lerin ortasından 1980'lerin ortasına kadar bir faz salınımlarına kaymıştır. Kuzey Atlantik'in SST'si, NAO ve NPP, ile SYİ 1960'ların sonlarından 1980'lerin sonlarına kadar, 10-13 yıl arasında değişen bir zaman ölçeğinde SYİ'yla bir zitevre salınımlarını göstermiştir.



**Şekil 4.37.** HR5'de SYİ ve iklim endekslerinin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları

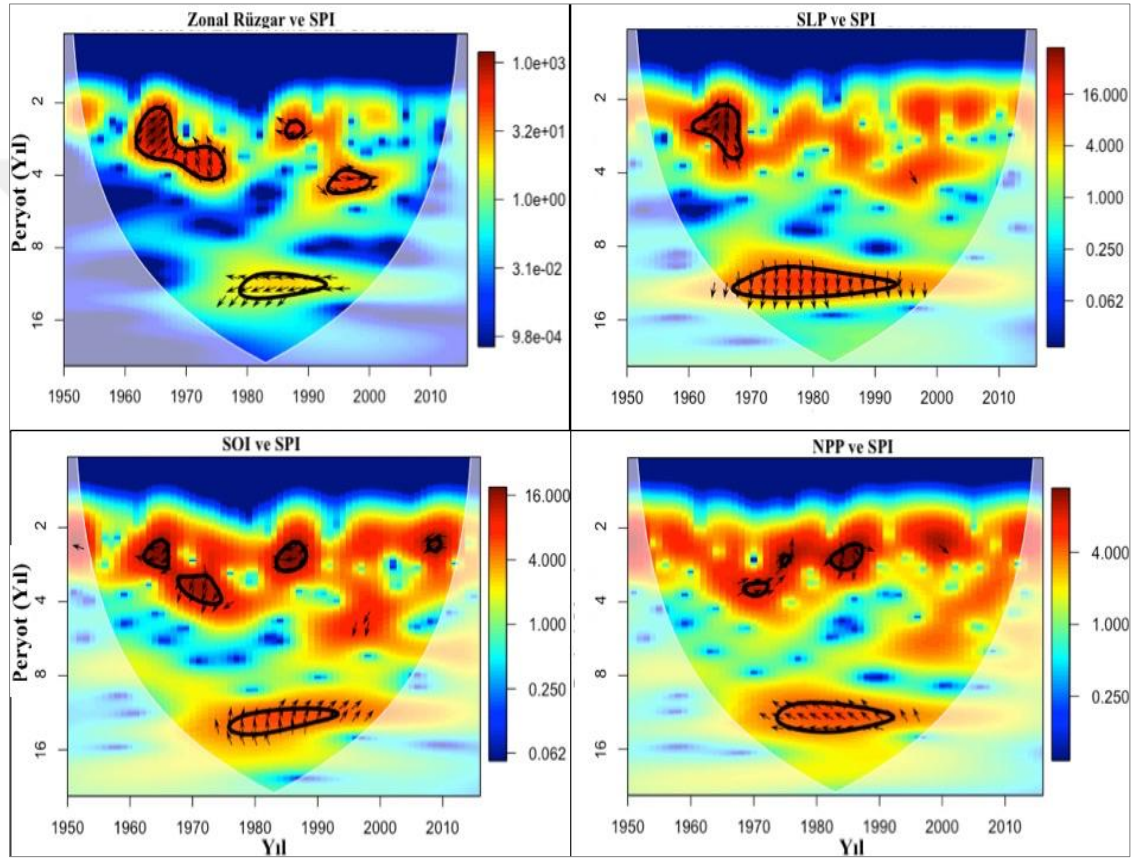
Şekil 4.37'e göre HR5 bölgesinde, Kuzey Atlantik'in SST'si, SYİ serileri ile 3 yıllık bir zaman ölçeğinde, 1970'lerin sonlarında 1980'lerin sonlarında kesintiye uğrayan ortak bir salınım sergilemiştir. Şekil 4.37'de 'den, NAO'nun 1970'lerin sonlarında 1990'ların sonlarına kadar 6-10 yıllık bir zaman ölçeğinde SYİ ile zitevrede salındığı görülebilir ve SOI 1970'lerin sonlarından 1980'lerin sonlarına kadar 13-15 yıllık bir zaman ölçeğinde SYİ karşı sallanmıştır. NPP 1960'ların sonundan 1990'a kadar 16 yıllık zaman ölçeğinde SYİ ile güçlü bir faz salınımı sergilemiştir.



**Şekil 4.38.** HR6'de SYİ ve iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları

HR6 bölgesinde Şekil 4.38'de görülebileceği gibi, 1960'ların ortaları ile 1980 arasındaki 1980'lerin 11-13 yıl arasında SLP ile SYİ arasında bir değişen anti-faz salınımı bulunmaktadır. Zonal Rüzgâr ve SYİ arasında üç ortak güç dönemini görülebilir: 1960 ile 1970'lerin ortaları arasında 2-4 yıl zaman aralığında bir faz salınımı, 1970'lerin sonundan 1990'ların ortasına 12 yıllık zaman ölçeğinde zitevre salınımı ve 1990'ların

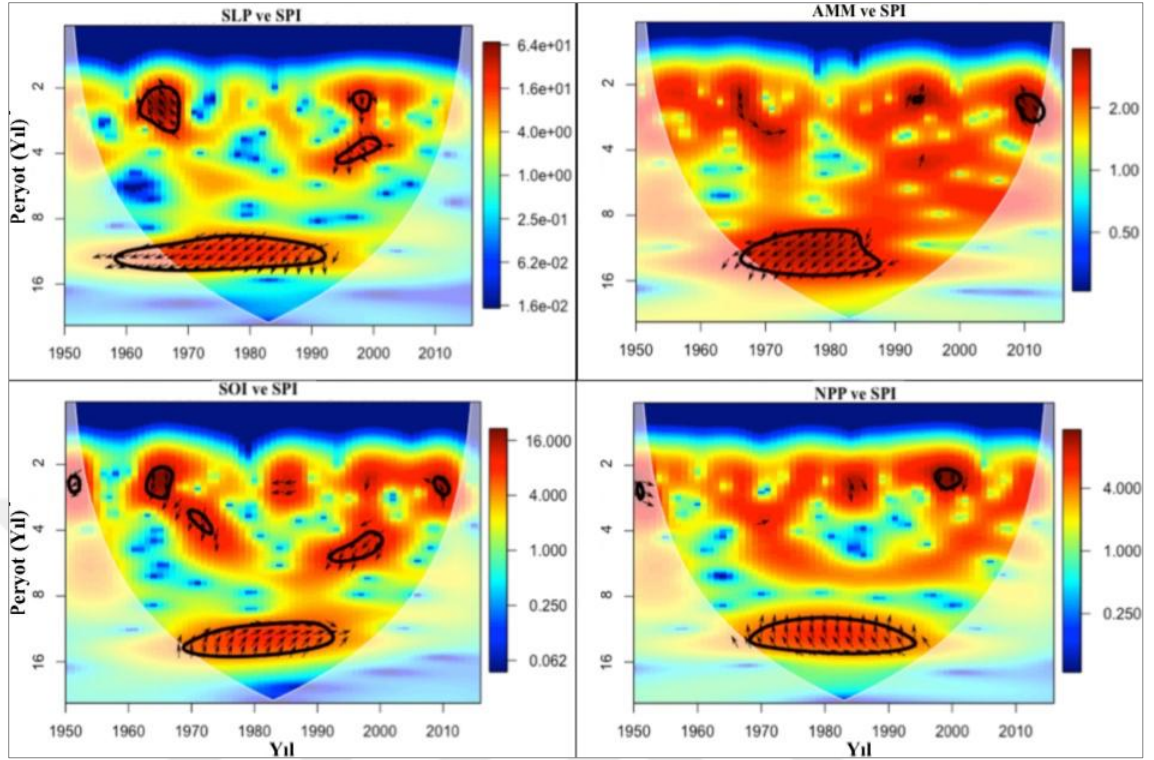
ortalardan 2000'lerin başlarında 4 yıllık zaman ölçeklerinde bir faz salınımı göstermektedir. SOI'nin SYİ ile bağlantısı, 1972-1984 boyunca SYİ ile bir anti-faz ortak salınımdan 1984-1997 arasındaki bir faz salınıma olmuştur, her iki faz için de 11-14 yıllık bir zaman diliminde bir ara bağlantı sergilendi. NPP 1970 ile 1990'ların başında 12 yıl zamanlarında kuraklık endeksi ile zitevre salınımı sergiledi.



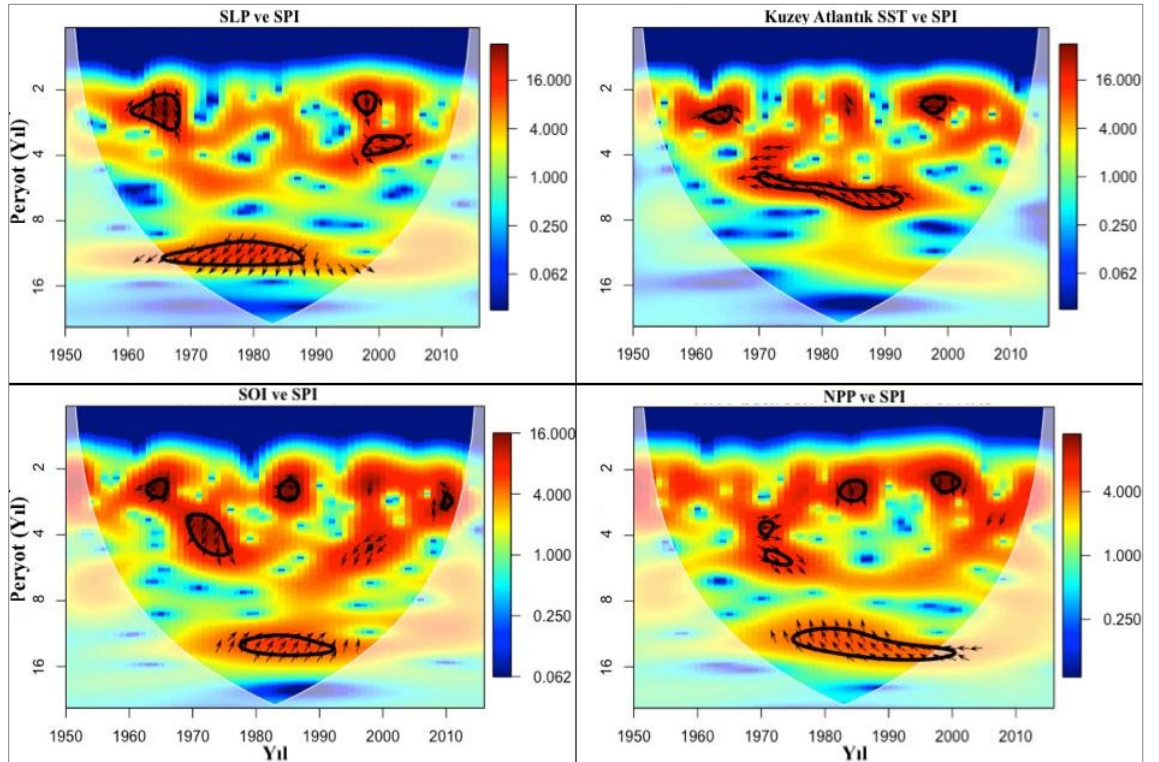
**Şekil 4.39.** HR7'de SYİ ve iklim endekslerinin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları

Şekil 4.39'a göre HR7'de SLP, Zonal Rüzgâr ve NPP, RH6'daki benzer şekilde SYİ ile ortak güce sahiptir. SOI'ye gelince, 1970'lerin ortasından 1990'ların sonlarına kadar 12-15 yıl arasında SYİ ile bir faz salınımı bulunmaktadır.





Şekil 4.40. HR8’de SYİ ve iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları

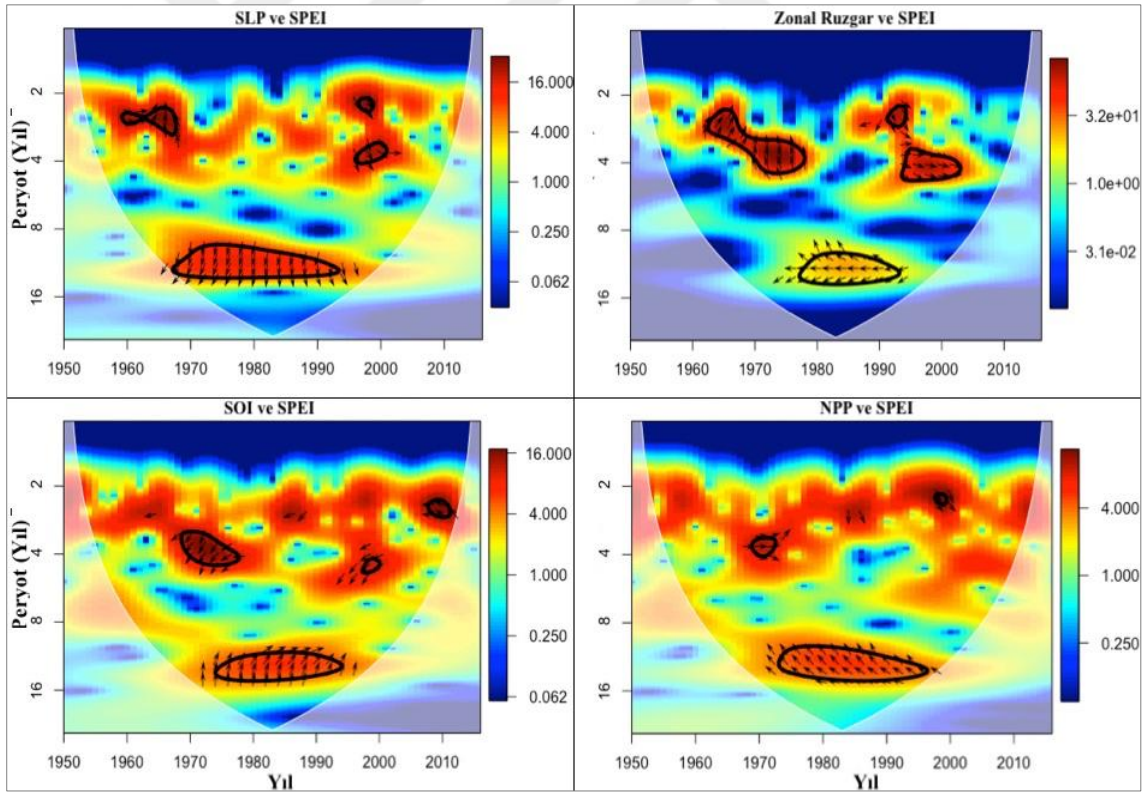


Şekil 4.41. HR9’de SYİ ve iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları

Şekil 4.40'deki XWT güç spektrumu, iklim endeksleri ile HR8'in SYİ'si arasındaki en önemli ortak güçlerin 12-14 yıl zaman ölçeğinde ve çoğunlukla 1970'ler ve 1990'lar arasında gerçekleştiğini göstermektedir. Bu dönemde, SYİ ile SOI bir faz salınımı sergilerken, SLP, AMM ve NPP, SYİ ile bir zitevre salınımı sergilemiştir.

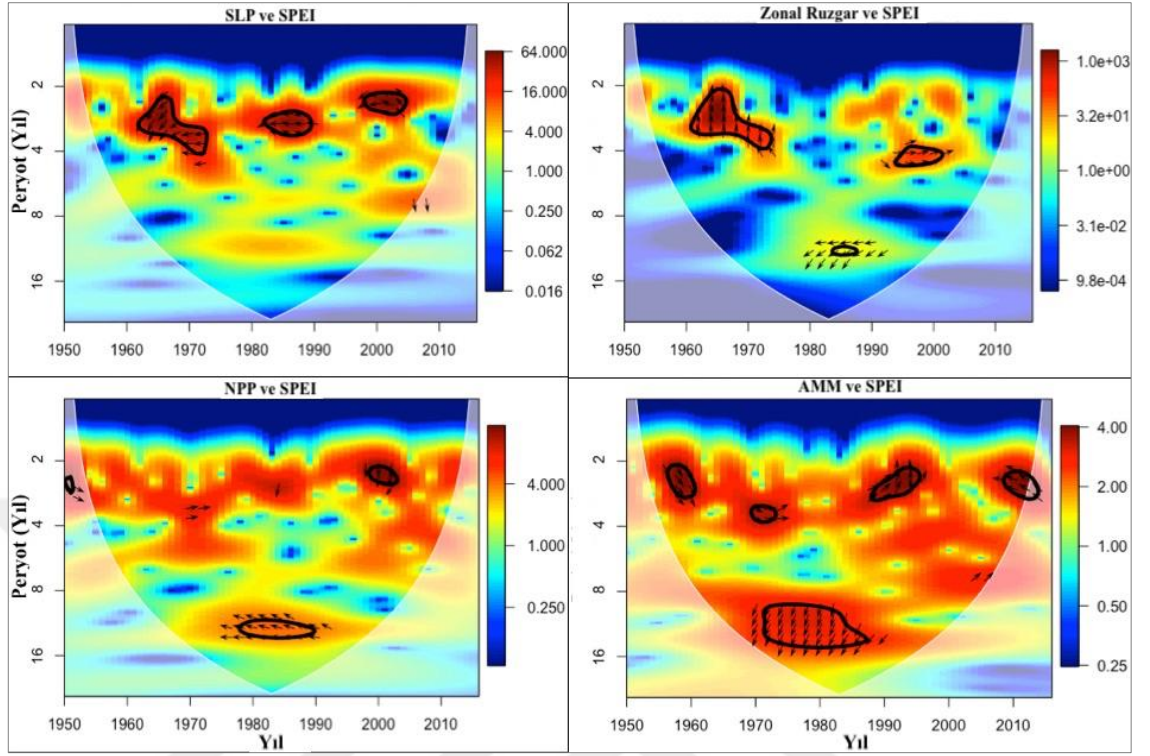
HR9 bölgesinin XWT güç spektrumları (şekil 4.41) RH8'ninkine oldukça benzerdir ancak SYİ Atlantik havzasından nispi nemi arasındaki açıklık farkı ile 5-6 zaman ölçeğinde bu bölgenin SYİ'si ile zitevre bir salınımına sahiptir.

SYEİ serisinin çapraz dalgacık spektrumu ve iklim endeksleri, Şekil 4.42 ile Şekil 4.50'de gösterilmektedir.

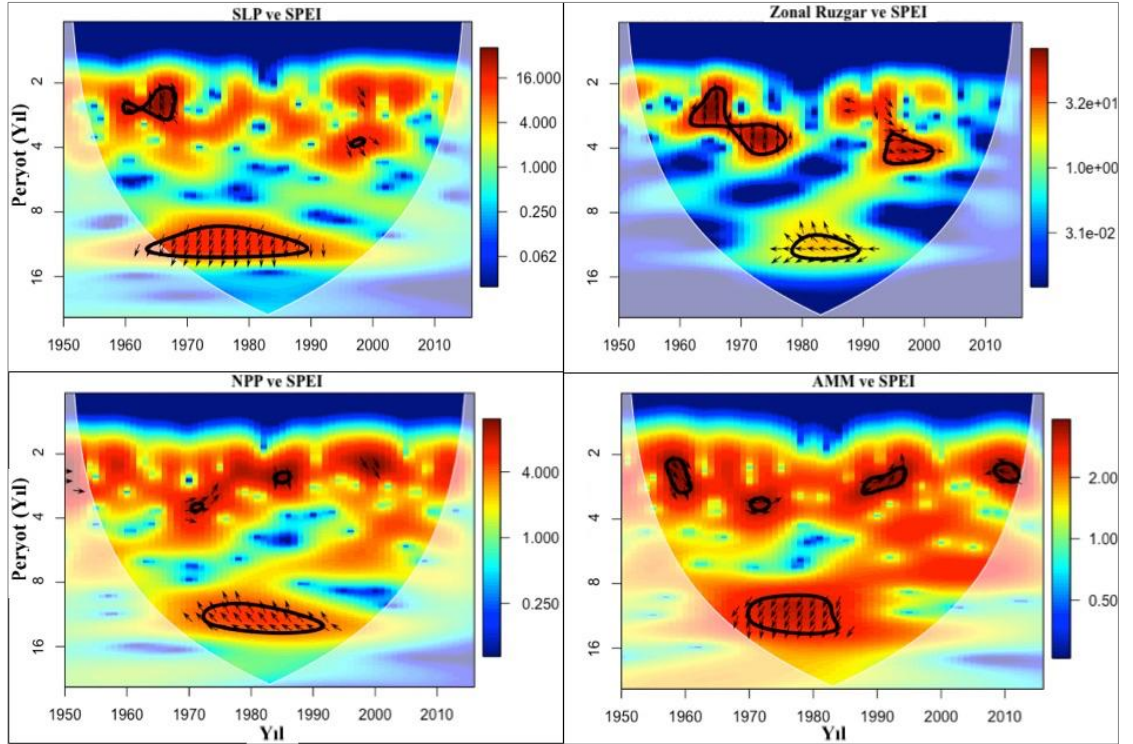


Şekil 4.42. HR1'de SYEİ ve iklim endekslerinin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları





Şekil 4.43. HR2’de SYEI ve iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları

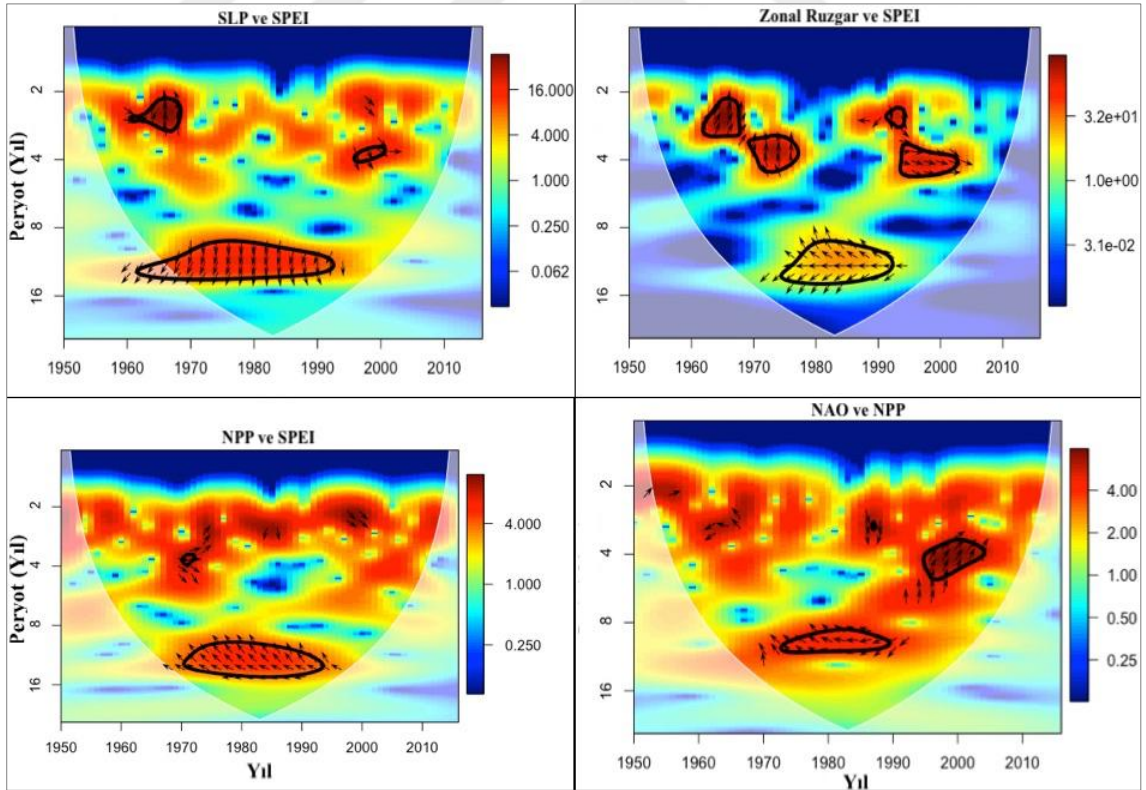


Şekil 4.44. HR3’de SYEI ve iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları

RH1 bölgesinde, SYEİ serisi ile en önemli ortak gücü gösteren iklim endeksleri, SYİ durumundakilerle aynıdır. Faz salınımları SYEİ durumundan daha önemli olduğu SLP ve SOI spektrumları için küçük bir fark gözlenebilir (Şekil 4.42).

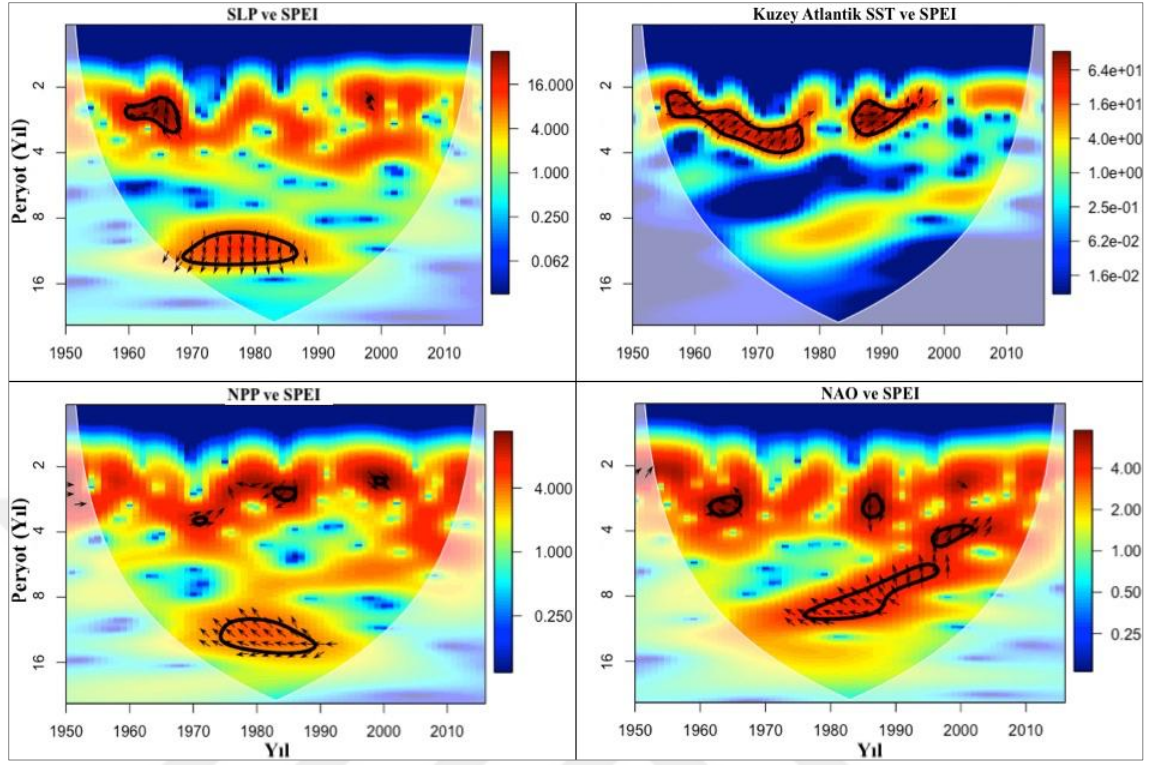
Şekil 4.43'e göre RH2 bölgesinde, AMM, 1960'ların sonundan 1980'lerin sonlarına kadar 11-14 yıl zaman ölçeğinde kuraklık endeksi ile birlikte zitevre ortak bir güç sergiledi. Ek olarak, SLP, 1960-2005 döneminde 2-4 yıllık zaman aralığında, 1970-1980 ve 1990-2000 yılları arasında yapılan kesintilerle SYEİ ile zitevre korelasyonundayken. NPP, Zonal Rüzgâr ile SYEİ arasındaki ortak salınım, SYİ için gözlemlenen ile aynıdır.

RH3 bölgesinde (Şekil 4.44), Zonal Rüzgâr, AMM, NPP ve SLP iklim endeksleri, SYİ serisine benzer şekilde SYEİ serileri ile benzer bir ortak salınım sergilemiştir.

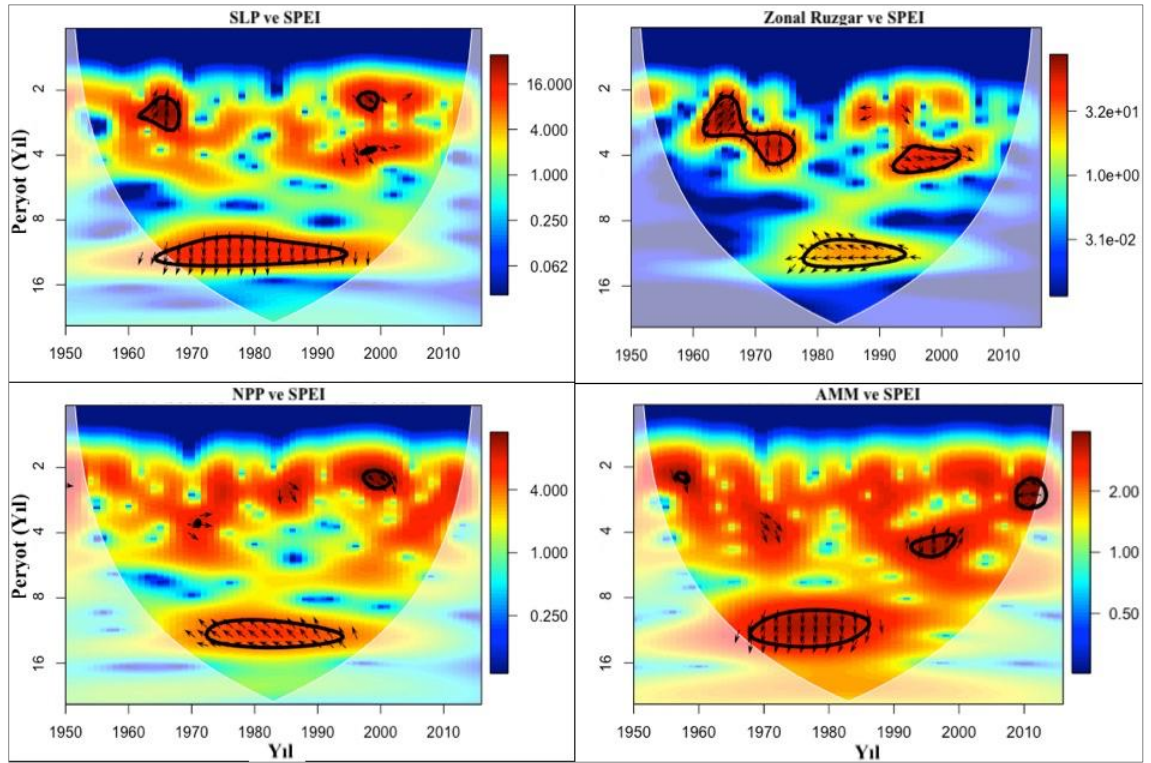


Şekil 4.45. HR4'de SYEİ ve iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları





Şekil 4.46. HR5’de SYEİ ve iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları

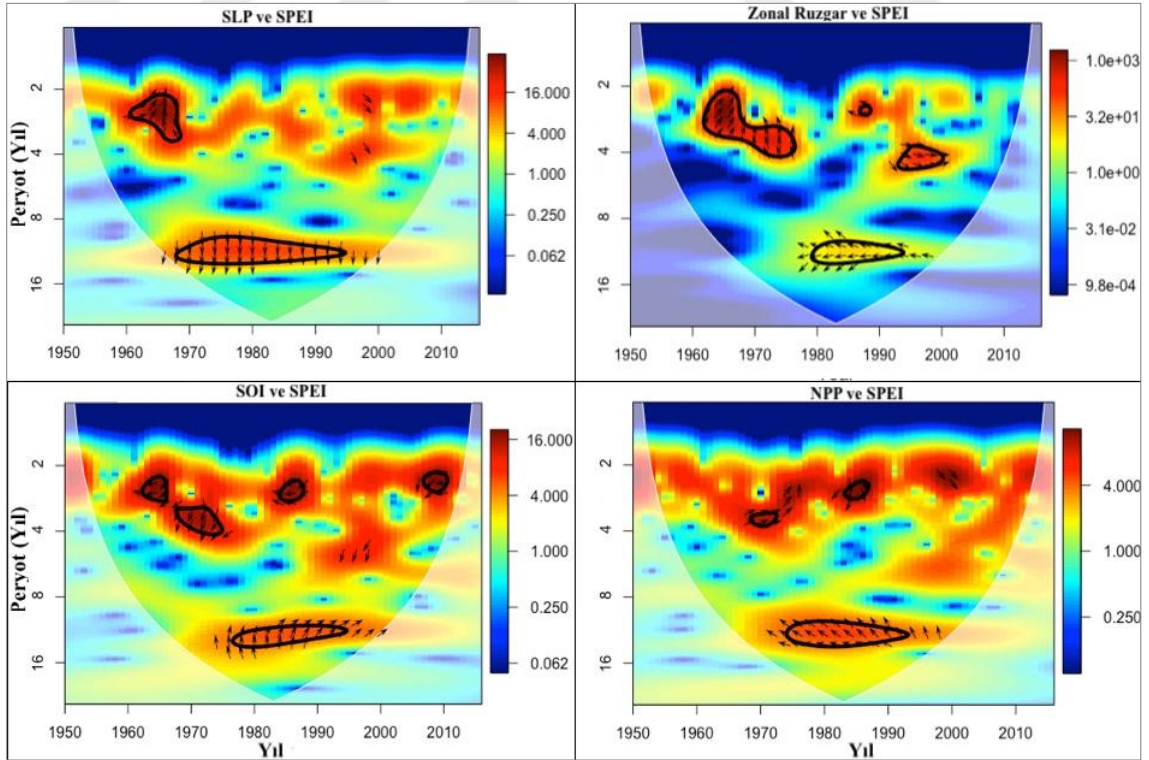


Şekil 4.47. HR6’da SYEİ ve iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları

RH4 bölgesinin SYİ serisi ile ortak güçler sergileyen dört iklim endeksinden üçü (SLP, NAO ve NPP) de SYEİ serisi ile benzer ortak güçler sergiledi. Ek olarak, Zonal Rüzgâr, SYEİ serisi ile 1970'lerin başlarından 1990'ların başlarına kadar 11-13 yıl SYEİ serisi ile önemli bir zitevre salınımı sergilemiş (şekil 4.45).

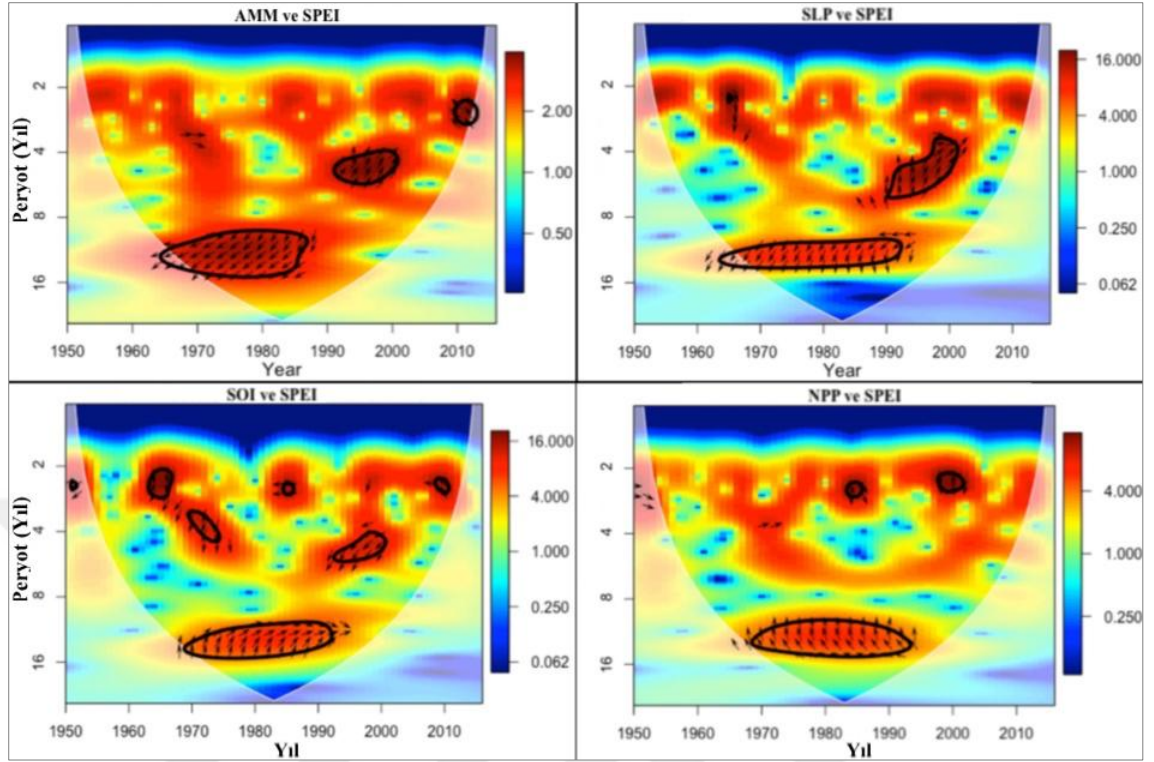
Şekil 4.46'daki spektrumlara göre HR5 bölgenin SYEİ serisi ile SLP, SST ve NAO endeksleri arasında görüntülenen ortak güçler, SYİ serileri ile iklim endeksleri arasındaki güç spektrumları birbirlerine benziyor. SYİ serisi ile faz korelasyonu olan NPP, 1970-1990 döneminde 12-14 zaman ölçeğinde SYEİ serileri ile zitevre olarak salınmıştır.

HR6 bölgesinde SYİ serileri ile önemli ortak güçler gösteren SLP, NPP ve Zonal Rüzgar (Şekil 4.47) SYEİ serileri için de aynı şekilde göstermektedir (Şekil 4.38). Ek olarak, SYEİ serisi, AMM serileri ile birlikte 1968-1987 döneminde 10-13 yıllık bir zaman ölçeğinde neredeyse bir fazlı olarak salınmıştır.

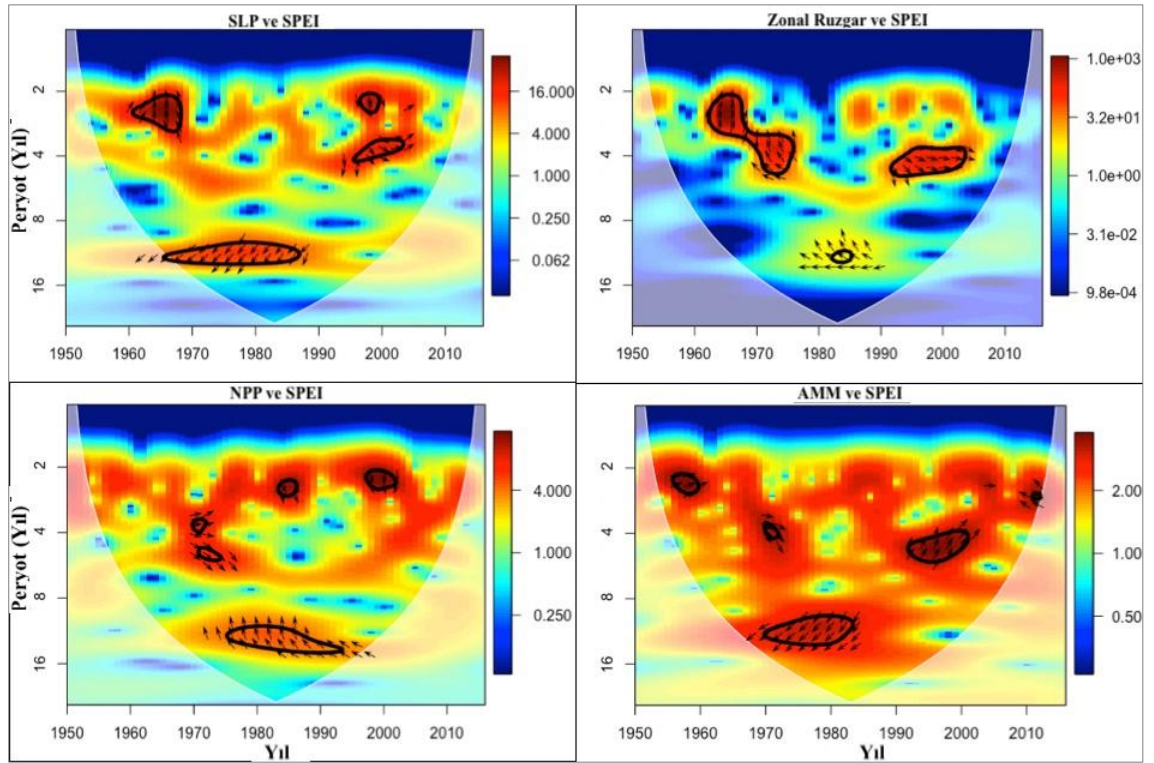


Şekil 4.48. HR7'de SYEİ ve iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları





Şekil 4.49. HR8’de SYEİ ve iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları



Şekil 4.50. HR9’de SYEİ ve iklim endekslerin en anlamlı çapraz dalgacık spektrumları

HR7 bölgesinin iklim endeksleri ile SYEİ ortak salınım (şekil 4.48) SYİ sersinin spektrumu benzer. HR8 bölgesinin iklim endeksleri ile SYEİ ortak salınım (şekil 4.49) SYİ serisi gibidir.

Şekil 4.50 göre HR9 bölgesinde, Zonal Rüzgâr, 1975-1990 döneminde 10-13 yıl zaman aralığında SYEİ ile zitevre bir salınımı bulmaktadır. Ancak, 1990-2005 arasındaki iki değişken arasında 4 yıllık zaman diliminde bir faz salınımı da meydana gelmiştir. SLP, AMM ve NPP, SYEİ serisi ile sırasıyla 1965-1988, 1970-1984 ve 1975-1989 yılları arasında 10-13 zaman ölçeğinde zitevre olarak salınımlarını göstermektedir.

HR'lerde bulunan kuraklık periyodiklikleri ile kuraklık endeksleri ve farklı iklim endeksleri arasındaki tele bağlantının zaman ölçekleri arasında yapılan bir karşılaştırmadan, oluşma sürelerinin yanı sıra bu çıkarımı yapabiliriz. HR1'de SOI ve Zonal rüzgârı, SYİ ile 1960'ların başından 1970'lerin sonlarına kadar 4 yıllık zaman aralığında ortak bir güç salınımı sergilemiştir. Aynı dönemde, bu bölgede kuraklık geri dönüşün süresi 4 yıldır. Dolayısıyla, SOI ve Zonal Rüzgar, bu HR'da kuraklığın periyodikliğini etkilemiş olabilir. Kalan HR'ler için de aynı yorum yaparsak, Kuzey Atlantik SST'nin 1960'ların sonlarında 1970'lerin başlarında HR2'de bulunan 3 yıllık kuraklık periyodikliğinden sorumlu olduğunu kolayca söyleyebiliriz. HR3'te, Kuzey Atlantik SST ve Atlantik havzasından gelen Nispi Nemi kuraklık periyodikliğini belirlemiştir. HR4'te kuraklık periyodikliği NPP, SLP ve Kuzey Atlantik SST'ye bağlanabilir. HR5'te, Kuzey Atlantik SST kuraklık periyodiklikleri etkilemiş olabilirken, HR6 ve HR7'de Sahel uzun süren Kuraklığın sırasındaki kuraklık dönüş süresi güçlü bir şekilde ilişkili olan Zonal Rüzgardır. HR8'de, temel olarak SLP, SOI, AMM ve NPP olmak üzere dört endeks, 1960'ların sonunda 1990'ların başlarına kadar süren kuraklık dönemini belirleyebilir. HR9'a gelince, kuraklık periyodiklikleri Zonal Rüzgar'a aktarılabilir.

#### **4.9. Kuraklık Tahmin Modeli**

Tahmin modelinin aşırı yüklenmesini önlemek için, doğrusal korelasyon yaklaşımından

seçilen dört tahmin edici ve XWT analizinden seçilen dört tahmin edici, kuraklık tahmin modelinde iki, üç ve dört girdi değişkeninin farklı bir kombinasyonunda kullanılmıştır. Girdiler ve çıktı verileri daha sonra uzman bir karar örnekleme kriterinin ardından eğitici ve test setlerine ayrılmıştır. Bu, sırasıyla Sahel klimatolojisini işaretleyen üç ana bölümden her birinin verilerinin% 30'unu ve% 70'ini sırasıyla test ve eğitici setlerine atamaktan ibaretti. Bu üç bölüm, Sahel kuraklığın öncesi (1950-1969), Sahel kuraklığın sırasında (1970-1990) ve Sahel kuraklığından sonra (1991-2016) dönemleridir. ANFIS tahmin modeli MATLAB 2016b'da uygulanmıştır. Bulanık kümeleme yöntemi (fuzzy clustering method, FCM), girdilerin ve çıktı verilerinin üyelik fonksiyonlarını üretmek için kullanıldı. Bölüm 3.11'de açıklandığı gibi farklı üyelik fonksiyonların türleri test edildi ve Gaussian2 türü üyelik fonksiyonların tüm HR'lar için en iyi tahmin sonucunu vermesiyle sonuçlandı. Her giriş değişkeni için en iyi verimi sağlayan küme sayısına karşılık gelen 40 MFs kullanıldı. Giriş Gaussian2 MF'lerin bir örneği Atlantik nispi nemi için Şekil 4.51'da göstermektedir. Her bir HR için, azami belirleme katsayısı  $R^2$  ve asgari MSE ve RMSE açısından en iyi tahmini sonucu veren girdiler seti, becerikli kuraklık tahmin edicileri olarak muhafaza edildi. Dolayısıyla, SYİ ve SYEİ temelli kuraklığın ustalık belirleyicisi olarak kullanılan iklim endeksleri sırasıyla Çizelge 4.34 ve Çizelge 4.35'te sunulmaktadır.

**Çizelge 4.34.** SYİ tabanlı kuraklık maharetli belirleyicileri

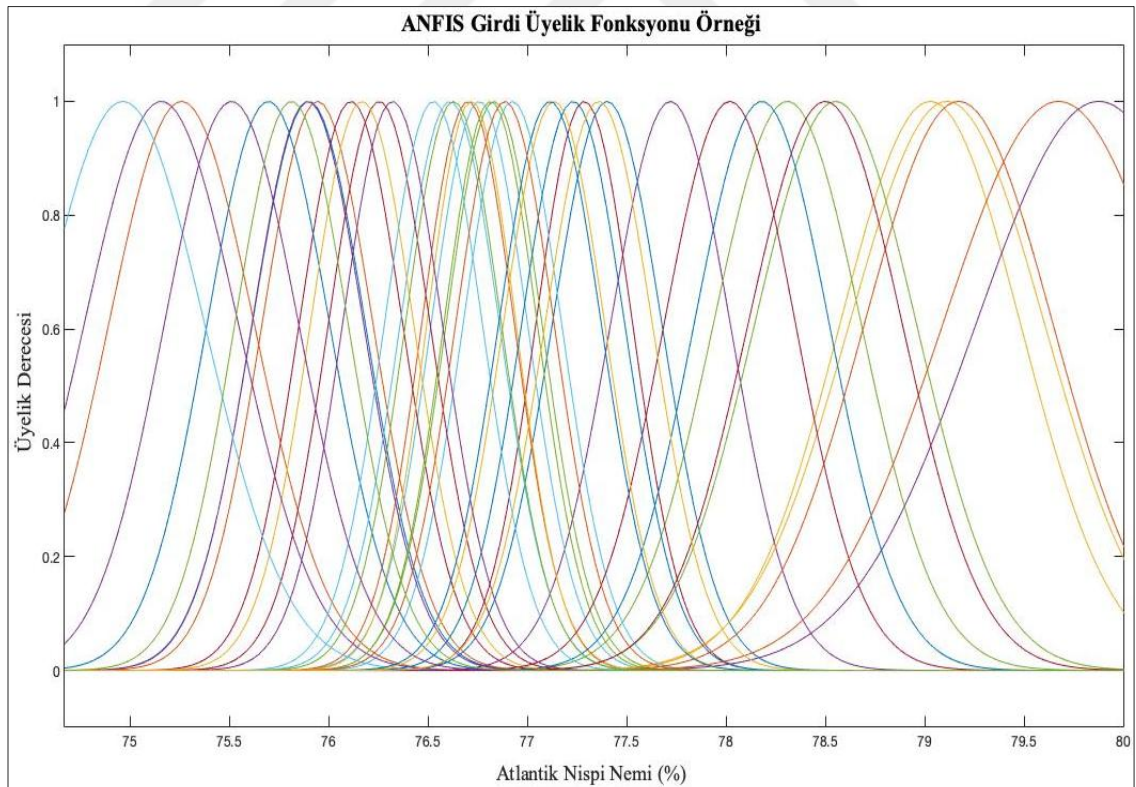
Homojen Yağış Bölge	En iyi kuraklık tahmin edicileri
HR1	AMO <sup>8</sup> , Atlantik Nispi Nemi <sup>18</sup> , WHWP <sup>10</sup> , NAO <sup>15</sup> ,
HR2	AMO <sup>8</sup> , Atlantik Nispi Nemi <sup>18</sup> , Kuzey Atlantik SST <sup>10</sup> , NPP <sup>11</sup>
HR3	Atlantik Nispi Nemi <sup>18</sup> , AMO <sup>8</sup> , NAO <sup>15</sup> , Zonal Rüzgar <sup>8</sup>
HR4	AMO <sup>8</sup> , Atlantik Nispi Nemi <sup>18</sup> , Zonal Rüzgar <sup>8</sup> , Kuzey Atlantik SST <sup>14</sup>
HR5	AMO <sup>8</sup> , Kuzey Atlantik SST <sup>14</sup> , NAO <sup>11</sup> , NPP <sup>11</sup>
HR6	AMO <sup>8</sup> , Atlantik Nispi Nemi <sup>18</sup> , Ak Deniz Nispi Nemi <sup>7</sup> , Zonal Rüzgar <sup>8</sup>
HR7	AMO <sup>8</sup> , Atlantik Nispi Nemi <sup>18</sup> , Kuzey Atlantik SST <sup>9</sup> , NPP <sup>11</sup>
HR8	AMO <sup>8</sup> , SLP <sup>13</sup> , Ak Deniz Nispi Nemi <sup>7</sup> , AMM <sup>16</sup>
HR9	AMO <sup>8</sup> , Atlantik Nispi Nemi <sup>18</sup> , Ak Deniz Nispi Nemi <sup>7</sup> , NPP <sup>11</sup>

\*Üst rakam iklim endeksi ile SYİ arasındaki gecikme süresidir.

**Çizelge 4.35.** SYEİ tabanlı kuraklık maharetle belirleyicileri

Homojen Yağış Bölge	En iyi kuraklık tahmin edicileri
HR1	AMO <sup>6</sup> , Atlantik Nispi Nemi <sup>18</sup> , NAO, NPP <sup>11</sup>
HR2	SLP <sup>9</sup> , NAO <sup>15</sup> , AMM <sup>16</sup> , NPP <sup>11</sup>
HR3	Atlantik Nispi Nemi <sup>18</sup> , NAO <sup>15</sup> , SLP <sup>13</sup> , NPP <sup>11</sup>
HR4	Atlantik Nispi Nemi <sup>18</sup> , NAO <sup>15</sup> , NAO <sup>11</sup> , NPP <sup>11</sup>
HR5	AMO <sup>8</sup> , Atlantik Nispi Nemi <sup>18</sup> , Kuzey Atlantik SST <sup>11</sup> , SLP <sup>13</sup>
HR6	AMO <sup>8</sup> , Atlantik Nispi Nemi <sup>18</sup> , SLP <sup>13</sup> , AMM <sup>16</sup>
HR7	AMO <sup>8</sup> , Atlantik Nispi Nemi <sup>18</sup> , SLP <sup>13</sup> , SOI <sup>9</sup>
HR8	AMO <sup>8</sup> , Atlantik Nispi Nemi <sup>18</sup> , SLP <sup>13</sup> , SOI <sup>9</sup>
HR9	Atlantik Nispi Nemi <sup>18</sup> , SLP <sup>9</sup> , SLP <sup>13</sup> , Zonal Rüzgar <sup>12</sup>

\*Üst simge iklim endeksi ile SYİ arasındaki gecikme süresidir.

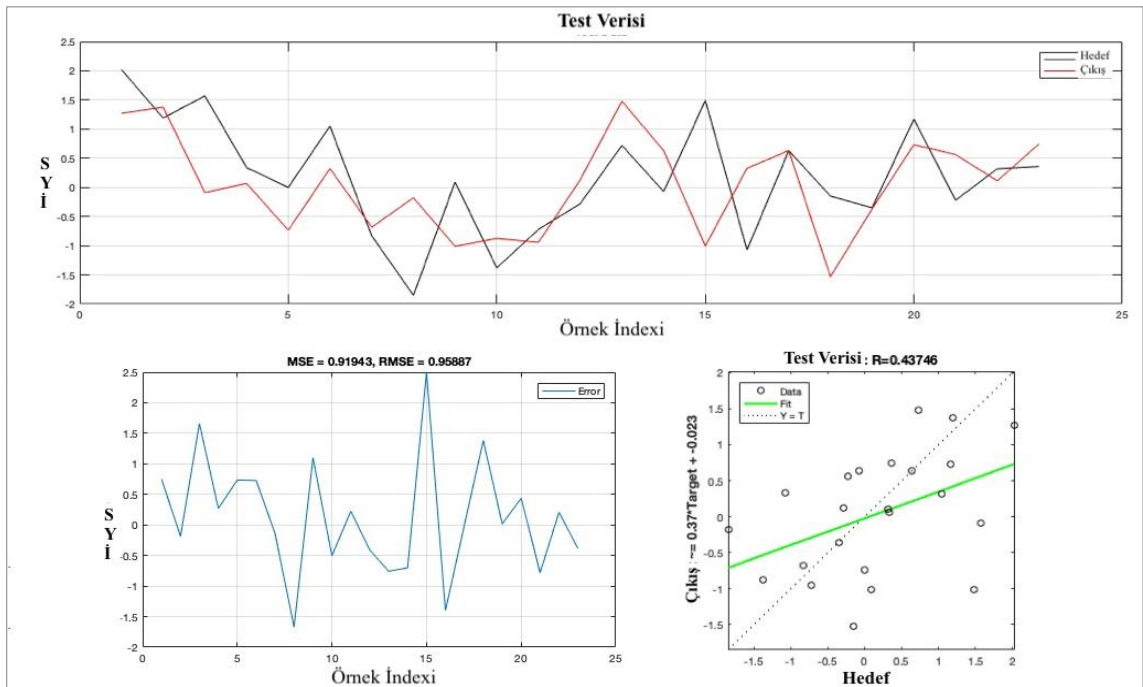
**Şekil 4.51.** Giriş üyelik fonksiyon örneği



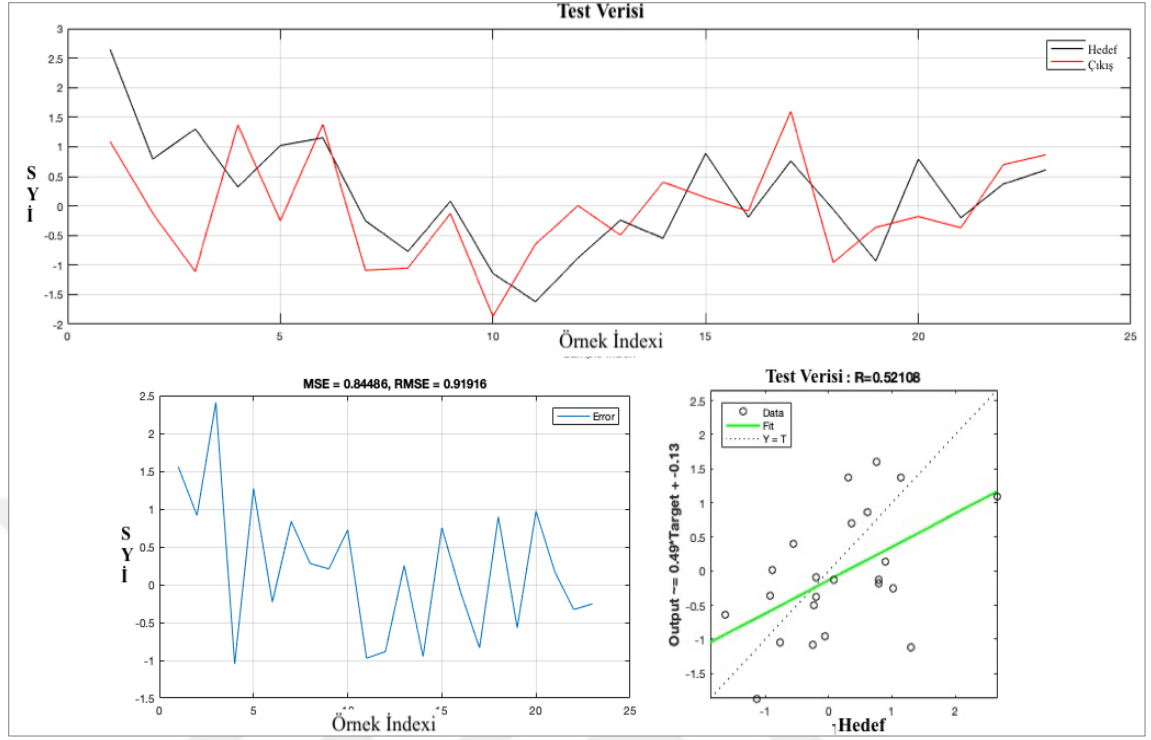
ANFIS tahmininin tahmin doğruluğu, SYİ ve SYEİ modelleri için sırasıyla Çizelge 4.36 ve Çizelge 4.37'de sunulmaktadır. RH1 ve RH2 için ANFIS modelini kullanarak tahmin edilen ve gözlenen SYİ ve SYEİ değerleri, Şekil 4.52, Şekil 4.53, Şekil 4.54, Şekil 4.55'da gösterilmiştir. Ayrıca, tüm HR'lar için gözlemlenen ve tahmin edilen SYİ ve SYEİ serileri Ek 4'de sunulmuştur.

**Çizelge 4.36.** SYİ modeli için ANFIS tahmin doğruluğu

Homojen yağış bölge	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE
HR1	0,19	0,92	0,96
HR2	0,27	0,84	0,92
HR3	0,55	0,52	0,72
HR4	0,30	0,81	0,90
HR5	0,38	0,71	0,84
HR6	0,30	0,85	0,92
HR7	0,40	0,89	0,94
HR8	0,31	0,87	0,93
HR9	0,58	0,55	0,74



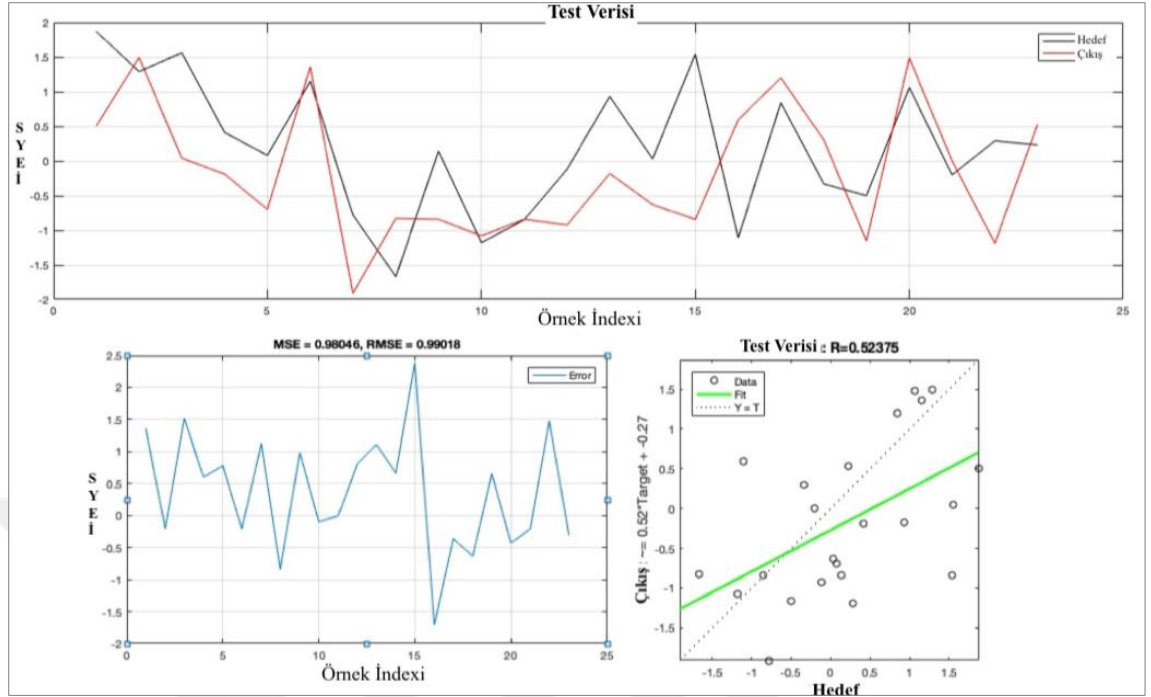
**Şekil 4.52.** HR1 için ANFIS tabanlı SYİ tahmin sonuçları



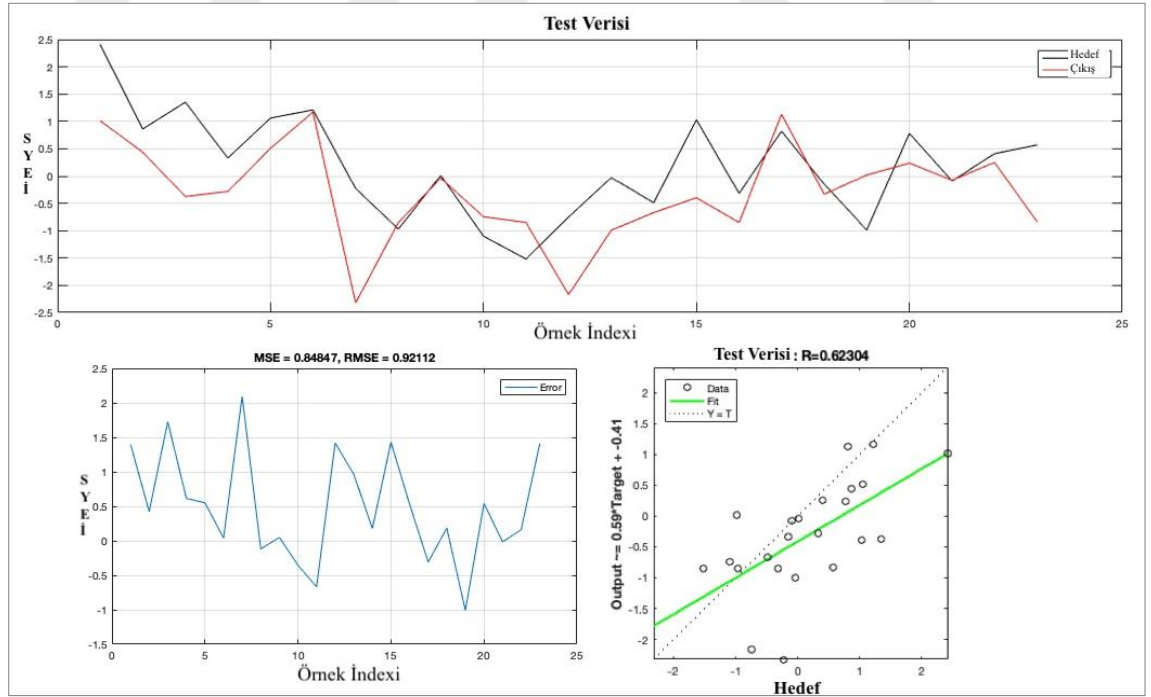
Şekil 4.53. HR2 için ANFIS tabanlı SYİ tahmin sonuçları

Çizelge 4.37. SYEİ modeli için ANFIS tahmin doğruluğu

Homojen Yağış Bölge	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE
HR1	0,27	0,98	0,99
HR2	0,38	0,85	0,92
HR3	0,62	0,36	0,60
HR4	0,64	0,34	0,59
HR5	0,66	0,33	0,57
HR6	0,67	0,50	0,71
HR7	0,66	0,52	0,72
HR8	0,67	0,31	0,56
HR9	0,76	0,38	0,62

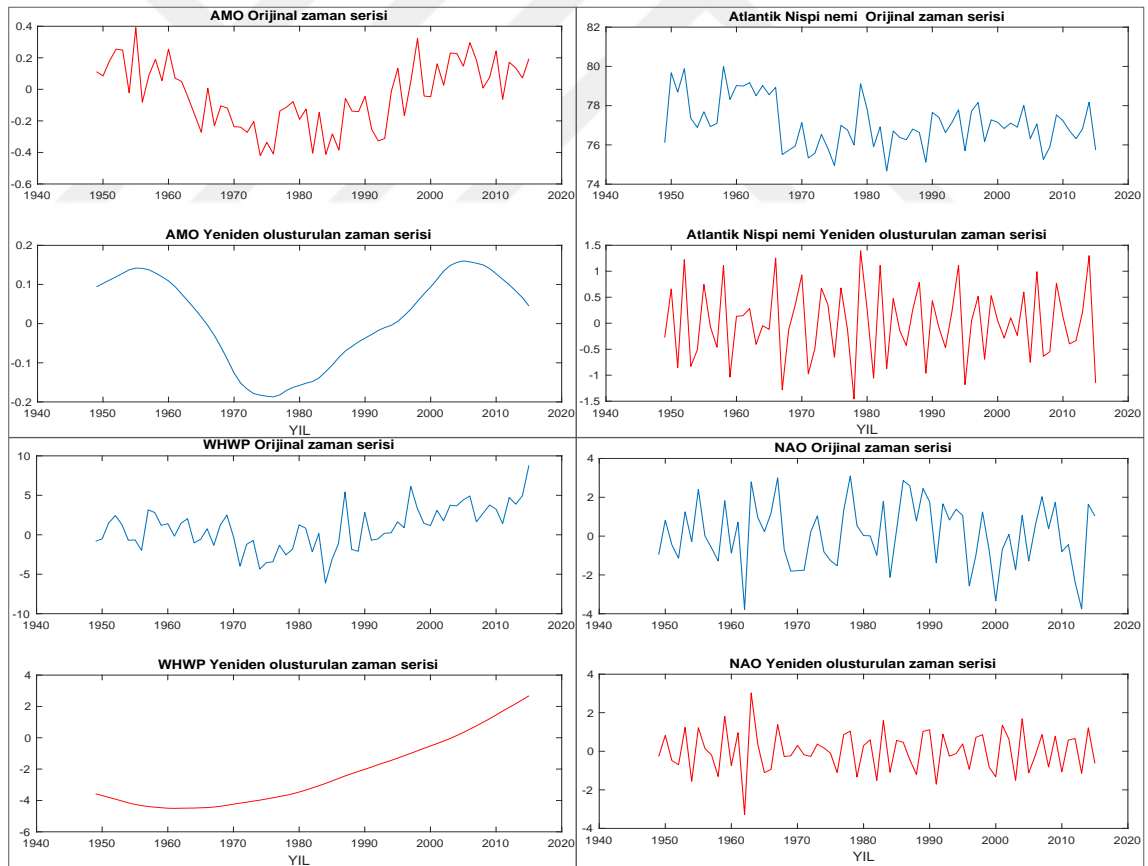


Şekil 4.54. HR1 için ANFIS tabanlı SYEİ tahmin sonuçları

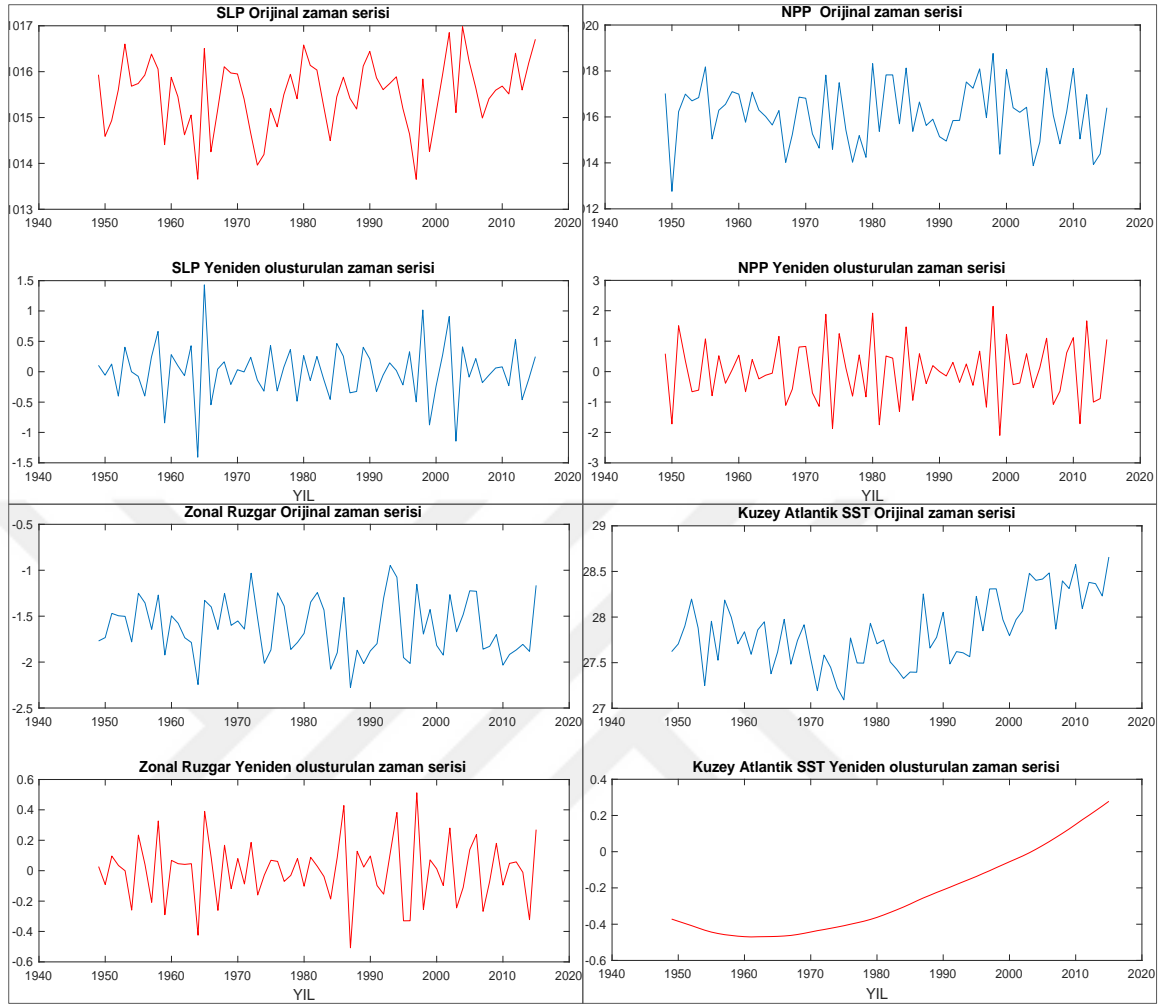


Şekil 4.55. HR2 için ANFIS tabanlı SYEİ tahmin sonuçları

Çizelge 4.36 ve Çizelge 4.37'de görülebileceği gibi, SYEİ serileri için tahmin doğruluğu SYİ'dan daha iyi. Bu kuraklık endeksleri tahmin etmek için kullanılan iklim endeksleri sıcaklık değişimleri ile güçlü bir şekilde bağlantılıdır. SYİ'den farklı olarak SYEİ, hesaplama için yağış verilerinin yanı sıra sıcaklık verileriyle birlikte içerir. Bu nedenle, iklim değişikliğinin kuraklık olayları üzerindeki etkisini değerlendirmek için SYEİ'nin kullanılabilirliğine ek olarak, büyük ölçekli iklim endeksleri kullanılarak SYİ'den daha iyi tahmin edilebilecek bir endekstir. ANFIS tabanlı tahmin sonuçları, neredeyse tüm HR'lerin SYİ serisi ve  $R^2$ 'leri 0,50'in altında olduğu gibi SYEİ serisi de HR1 ve HR2 için tatmin edici değildir. Tahmin doğruluğunu arttırmak için girdilerin zaman serileri DWT ayrıştırma ve yeniden yapılandırma tekniği kullanılarak belirtildi. Yeniden yapılandırılmış sinyal, Şekil 4.56, Şekil 4.57 ve Şekil 4.58'de sunulmaktadır.

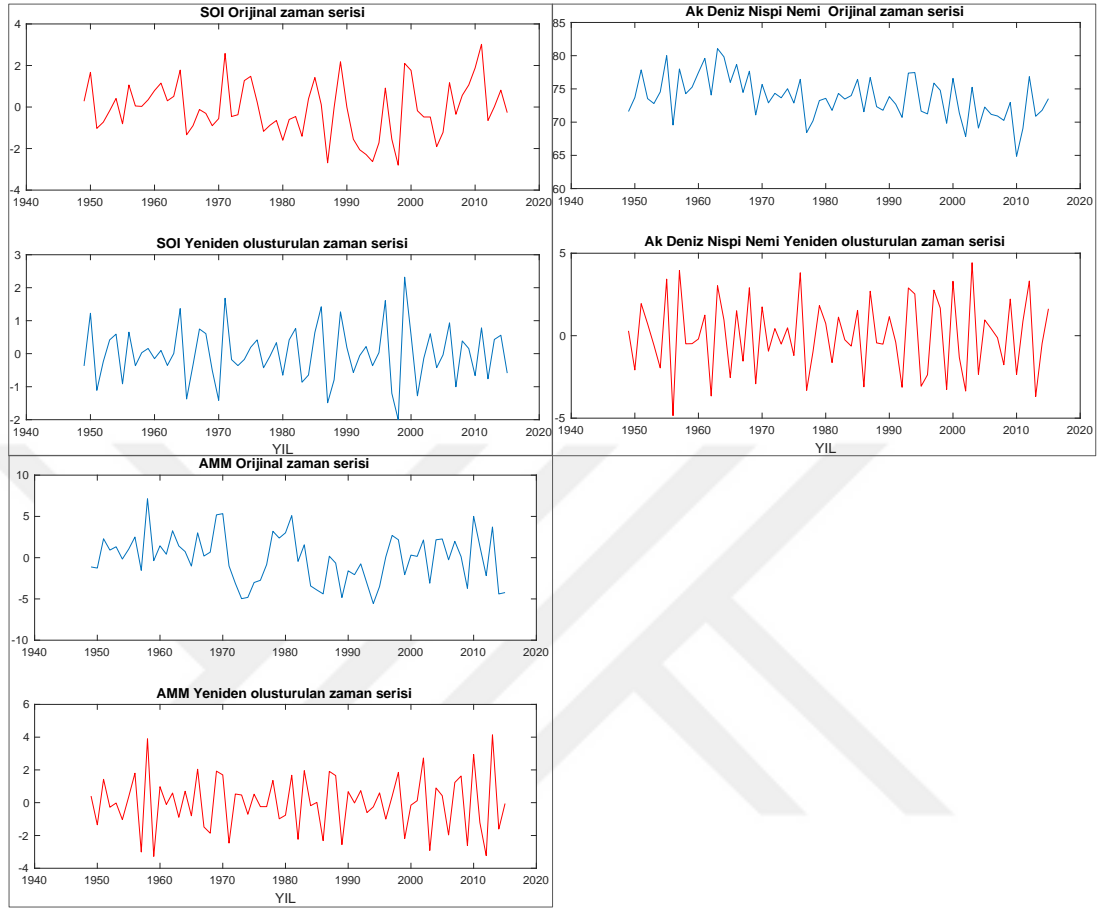


**Şekil 4.56.** AMO, Atlantik nispi nemi, WHWP ve NAO orijinal ve DWT zaman serileri



**Şekil 4.57.** SLP, NPP, Zonal Rüzgar ve Kuzey Atlantik SST orijinal ve DWT zaman serisi

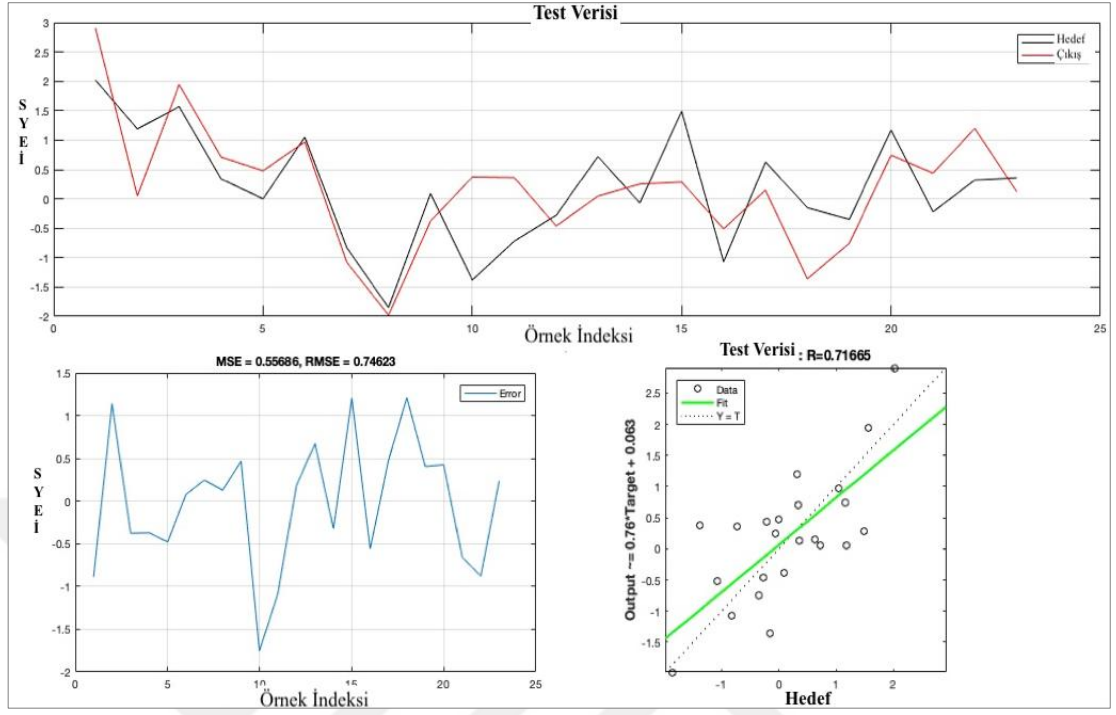
SYİ ve SYEİ serilerini tahmin etmek için, ANFIS modelinde giriş değişkenlerinin yeniden yapılandırılmış dizileri kullanıldı. Bu yeni tahmin modeli Dalgacık-ANFIS olarak adlandırılmaktadır. Çizelge 4.38, Çizelge 4.39, Dalgacık-ANFIS modeli için tahmin doğruluğunu göstermektedir. RH1 ve RH2 için Dalgacık-ANFIS modelini kullanarak tahmin edilen ve gözlenen SYİ ve SYEİ değerleri, Şekil 4.59, Şekil 4.60, Şekil 4.61 ve Şekil 4.62’de gösterilmektedir, ayrıca, tüm HR’ların için Ek 4’de göstermektedir.



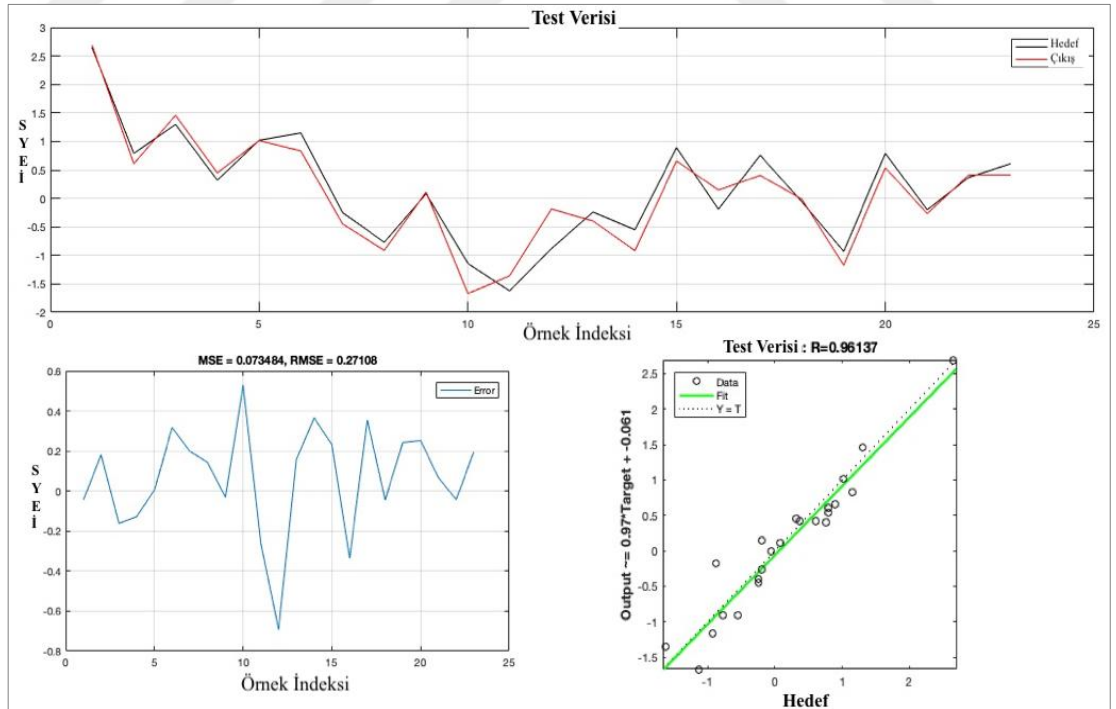
Şekil 4.58. SOI, Akdeniz nispi nemi ve AMM Orijinal ve DWT zaman serileri

Çizelge 4.38. SYİ modeli için dalgacık-ANFIS tahmin doğruluğu

Homojen Yağış Bölge	$R^2$	MSE	RMSE
HR1	0,52	0,56	0,75
HR2	0,92	0,07	0,27
HR3	0,94	0,07	0,26
HR4	0,92	0,09	0,30
HR5	0,94	0,06	0,24
HR6	0,92	0,07	0,27
HR7	0,88	0,11	0,33
HR8	0,90	0,11	0,32
HR9	0,90	0,08	0,29



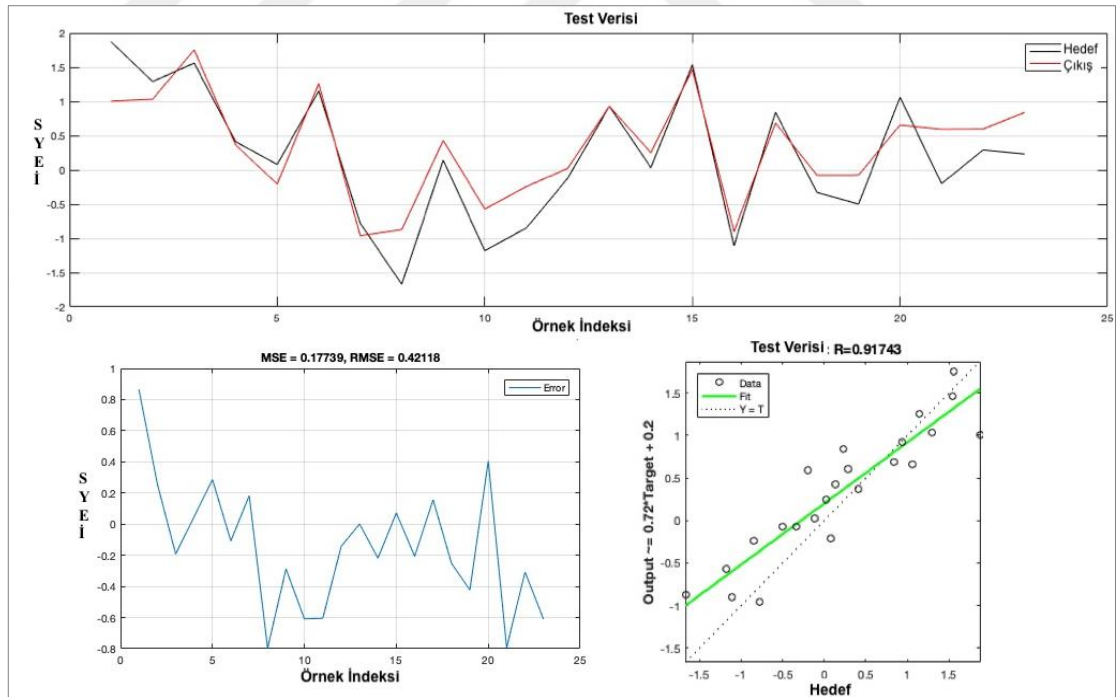
Şekil 4.59. HR1 için dalgacık-ANFIS tabanlı SYİ tahmin sonuçları



Şekil 4.60. HR2 için dalgacık-ANFIS tabanlı SYİ tahmin sonuçları

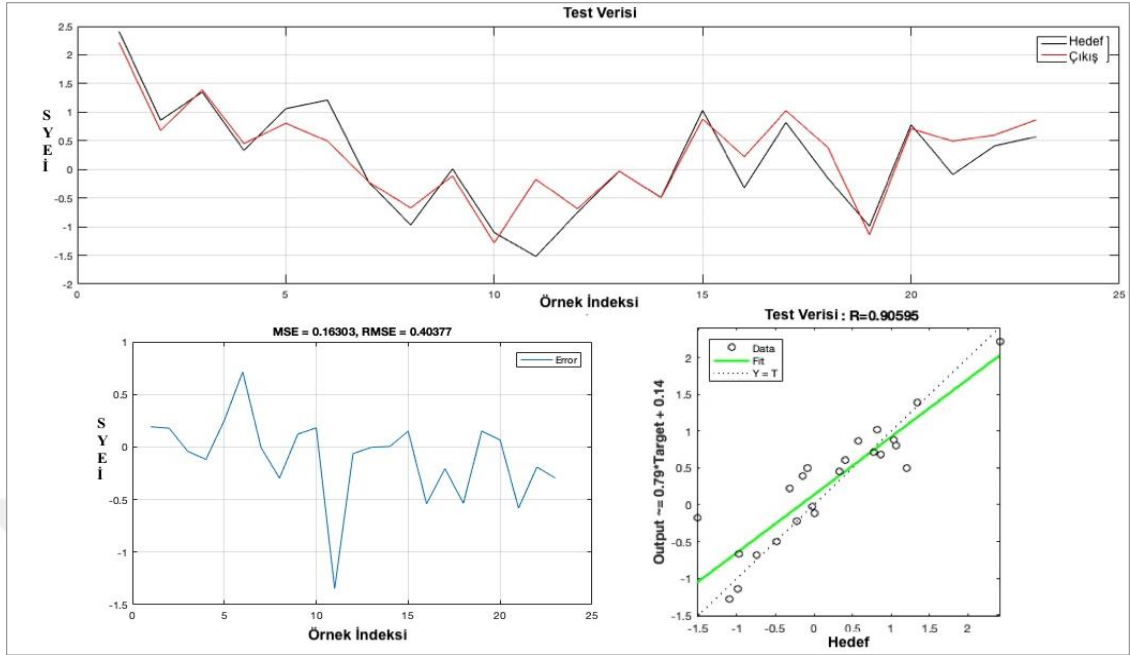
Çizelge 4.39. SYEİ modeli için dalgacık-ANFIS tahmin doğruluğu

Homojen Yağış Bölge	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE
HR1	0,85	0,18	0,42
HR2	0,83	0,16	0,40
HR3	0,77	0,20	0,44
HR4	0,92	0,09	0,31
HR5	0,88	0,13	0,36
HR6	0,86	0,11	0,33
HR7	0,88	0,10	0,31
HR8	0,90	0,12	0,35
HR9	0,86	0,11	0,34



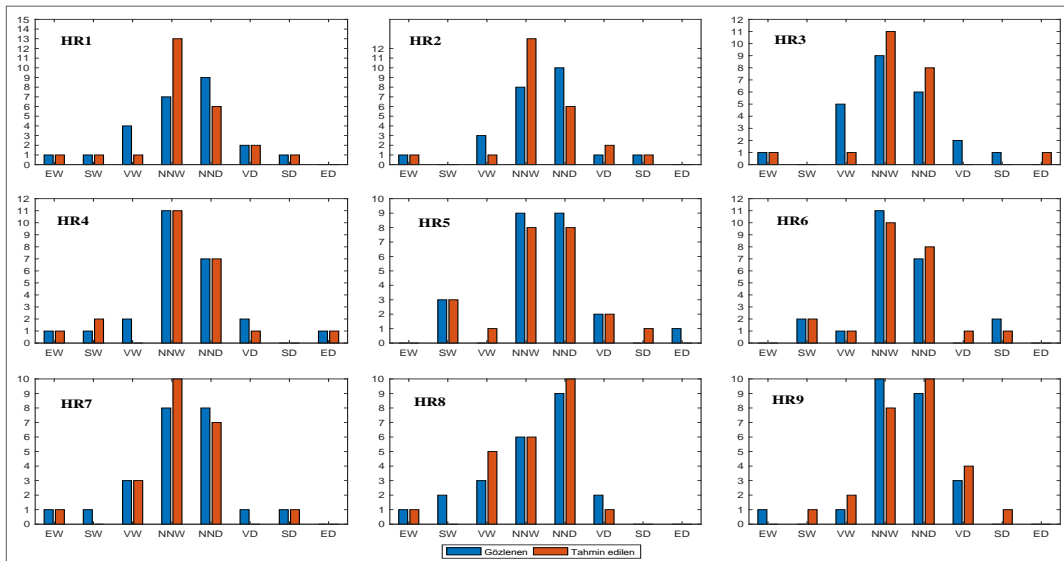
Şekil 4.61. HR1 için dalgacık-ANFIS tabanlı SYEİ tahmin sonuçları



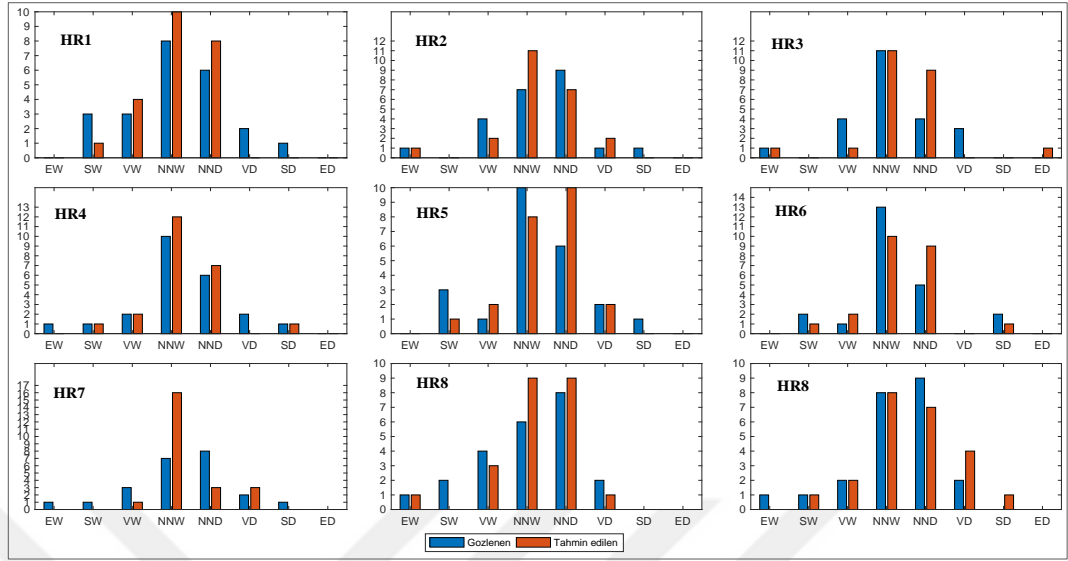


**Şekil 4.62.** HR2 için dalgacık-ANFIS tabanlı SYEİ tahmin sonuçları

Dalgacık-ANFIS tahmin modelini kullanarak, hem SYİ hem de SYEİ serisini kullanan tahmin edilen ve gözlenen kuraklık sınıfları iki örneklemlili t test'ine dayanarak %95 anlamlılık düzeyinde eşittir. Gözlenen ve tahmin edilen kuraklık sınıfları Şekil 4.63 ve Şekil 4.64'de sunmaktadır.



**Şekil 4.63.** Gözlemlenen ve tahmin edilen SYİ dayalı kuraklık sınıfları



**Şekil 4.64.** Gözlemlenen ve tahmin edilen SYEİ dayalı kuraklık sınıfları

\*EW: Extremely Wet, SW: Severely Wet, VW: Very Wet, NNW: Near Normal Wet, NND: Near Normal Dry, VD: Very Dry, SD: Severely Dry, ED: Extremely Dry

Nijer üzerinden SYİ ve SYEİ dayalı kuraklık için tatmin edici bir tahmin modeli elde edildi. Seçilen tahminciler ve kuraklık endeksleri arasındaki asgari gecikme süresi 6 aydır (Çizelge 4.34 ve Çizelge 4.35). Kuraklık oluşumundan önce yönetim, hem de kuraklığın azaltılması için gerekli kaynakların seferber edilmektedir. Böylece, ülkedeki kuraklık olayının felakete dönüşmesi ve ülkenin şu anda maruz kaldığı acil durumdan kaçınılması önlenabilir.

Sahel'deki uzun süreli kuraklığın ortaya çıkmasından bu yana, bu bölge üzerinde maharetli kuraklık tahmin modelinin uygulanması zor bir konudur. Doğru kuraklık tahmin modelinin uygulanmasında kilit faktör olan maharetli tahmincinin seçiminin karmaşıklığı, Sahel ülkelerindeki kuraklık tahmininin zorlu görevine daha fazla zorluk katmaktadır. Mevcut model, kuraklık oluşumu ile olan ilişkisinin niteliğine bakılmaksızın (doğrusal veya doğrusal olmayan) her türlü öngörücüyü dahil etme kabiliyetine sahiptir. Bu nedenle, model odun kesimi, sera etkisi, aşırı otlatma veya ekim alanlarının uzatılması gibi insan faaliyetlerinin etkilerini içerebilecek yeni öngörücülere uyarlanabilir.

Becerikli tahmincilerin seçimi titizlikle, 16 potansiyel öngörücü arasında doğrusal korelasyon ve çapraz dalgacık analiziyle titizlikle gerçekleştirildi; Tahmin edicilerin otomatik olarak seçilmesi, daha fazla sayıda tahmincinin varlığında daha iyi bir seçenek olacaktır Abdourahamane *et al.* (2019) çalışması bu durumda yararlı olabilir.



## 5. SONUÇ

Nijer'deki büyük ölçekli iklim endekslerine ilişkin meteorolojik kuraklık özellikleri yağış homojen bölge (HR) ölçeğinde araştırıldı, ardından her bir HR için bir kuraklık tahmin modelin uygulandı. Ülke genelinde dokuz HR tespit edildi; her HR için eğilim ve periyodiklik SYİ ve SYEİ kullanılarak kuraklık ölçüm parametreleri olarak uygun bir şekilde değerlendirildi. SYİ'de bulunan trend ile SYEİ serilerindeki tendin arasında yapılan bir karşılaştırmadan sıcaklık artışının kuraklık trendlerini olumsuz etkilediğini göstermektedir. Ek olarak, SYEİ ile büyük ölçekli iklim endeksleri arasındaki ilişki, aynı iklim endekslerine sahip olan SYİ'ye göre daha güçlüdür.

Sonuç olarak, SYEİ'nin tahmin doğruluğu hem ANFIS hem de Dalgacık-ANFIS modeli için SYİ'dan daha iyi performans gösterdi; ancak genel olarak tahmin modeli, tüm HR'lar için en az 6 ay gecikme süresiyle tatmin edilebilmektedir. Bu karşılaştırmalardan kuşkusuz SYEİ'nin Nijer üzerinden küresel ısınma altında uygun bir kuraklık ölçüm parametresi olduğunu doğrulayabiliriz. Ek olarak, bu tezde elde edilen sonuçlar Nijer üzerindeki yağış değişkenliğinden yalnızca Atlantik havzasının sorumlu olmadığını göstermiştir. Akdeniz ve Pasifik gibi diğer okyanus havzaları ve yerel iklim koşulları da HR'ya bağlı olarak ülke genelinde yağış modelini etkilemektedir.

Bu tez, Sahel bölgenin uzun süreli kuraklık fenomenini Nijer'e göre bir mekânsal bakış açısıyla daha iyi anlamaya yardımcı olmaktadır. Bundan dolayı, Sahel'in uzun süreli kuraklığının sona ermesi veya ısrar etmesi üzerine bilimsel bir tartışmaya cevap vermiştir ve 21. yüzyılın Nijer'deki kuraklığı klimatolojisine dair görüşler vermektedir. Öte yandan, ülke içindeki HR'yi ve idari bölgelerin üzerindeki karşılık gelen kuraklık koşullarını temsil etmek için kullanılan haritalar, yerel kuraklığa hazırlık ve su kaynakları planlaması için uygun bir araçlardır. Batı Afrika Sahel'inde (WAS) kuraklığı araştıran çalışmaların çoğu tüm bölge için ortalama bir yağış verisi olarak değerlendirilmiş olduğundan, bu çalışma Nijer üzerinde kuraklık oluşumunu homojen bir yağış bölgesi ölçeğinde iyice değerlendiren ilk çalışmalarından biridir.

Dahası, bu tezde kullanılan yöntemler, iklim değişikliği koşulları dahil olmak üzere hem kuraklık hem de ıslak durumu değerlendirmek ve tahmin etmek için farklı iklim özelliklerine sahip dünyanın diğer bölgelerine uygulanabilir. Ayrıca, yerinde iklim verilerinin (yağış ve sıcaklık) kuraklığı analiz etmek için CRU verileriyle birlikte kullanılması kuraklığa veri kıt ülkeler üzerinden analiz etmek için uygun bir alternatiftir.

Her ne kadar kuraklığın Nijer'deki sıklığı 1990'lardan sonra önemli ölçüde azalmış olsa da, sonuçları hala yıkıcı; ve en kötüsü, suya bağlı başka bir tür afet taşkın olmak üzere ortaya çıkmasıyla, 21. yüzyılın başından itibaren ortaya çıkmaktadır.



**KANAKLAR**

- Abdourahamane, Z. S., and Acar, R., 2018. Analysis of meteorological drought variability in Niger and its connection with climate indices. *Hydrological Sciences Journal*, 63(8), 1203-1218.
- Abdourahamane, Z. S., Acar, R., and Serkan, Ş., 2019. Wavelet–copula-based mutual information for rainfall forecasting applications. *Hydrological Processes*, 33(7), 1127-1142.
- ACMAD. 2017. African center of meteorological application for development. Niamey, Niger, <http://www.acmad.net/new/?q=en/home> (30.09.2018).
- Adamowski, K., Prokoph, A., and Adamowski, J., 2009. Development of a new method of wavelet aided trend detection and estimation. *Hydrological Processes*, 23, 2686-2696.
- Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716-723.
- Akrami, S. A., Nourani, V., and Hakim, S. J. S., 2014. Development of nonlinear model based on wavelet-anfis for rainfall forecasting at klang gates dam. *Water Resources Management*, 28(10), 2999-3018.
- Alexandersson, H., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6, 661-675.
- Alexandersson, H., and Moberg, A., 1997. Homogenization of swedish temperature data. 1. Homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology*, 17(1), 25-34.
- Bacanli, U. G., Firat, M., and Dikbas, F., 2009. Adaptive neuro-fuzzy inference system for drought forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23(8), 1143-1154.
- Barbé, L. L., and Lebel, T., 1997. Rainfall climatology of the hapex-sahel region during the years 1950–1990. *Journal of Hydrology*, 188(1-4), 43-73.
- Bardossy, A., Bogardi, I., and Duckstein, L., 1990. Fuzzy regression in hydrology. *Water Resources Research*, 26(7), 1497-1508.
- Bardossy, A., Stehlik, J., and Caspary, H. J., 2002. Automated objective classification of daily circulation patterns for precipitation and temperature downscaling based on optimized fuzzy rules. *Climate Research*, 23(1), 11-22.
- Barua, S., Ng, A. W. M., and Perera, B. J. C., 2012. Artificial neural network-based drought forecasting using a nonlinear aggregated drought index. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(12), 1408-1413.
- Belayneh, A., Adamowski, J., Khalil, B., and Ozga-Zielinski, B., 2014. Long-term spi drought forecasting in the awash river basin in ethiopia using wavelet neural network and wavelet support vector regression models. *Journal of Hydrology*, 508, 418-429.
- Below, R., Grover-Kopec, E., and Dilley, M., 2007. Documenting drought-related disasters. *The Journal of Environment & Development*, 16(3), 328-344.
- Bennis, S., Berrada, F., and Kang, N., 1997. Improving single-variable and multivariable techniques for estimating missing hydrological data. *Journal of Hydrology*, 191(1-4), 87-105.

- Berhanu, B., Seleshi, Y., Demisse, S. S., and Melesse, A. M., 2016. Bias correction and characterization of climate forecast system re-analysis daily precipitation in ethiopia using fuzzy overlay. *Meteorological Applications*, 23, 230-243.
- Brunsell, N. A., 2010. A multiscale information theory approach to assess spatial-temporal variability of daily precipitation. *Journal of Hydrology*, 385(1-4), 165-172.
- Buishand, T. A., 1981. The analysis of homogeneity of long-term rainfall records in the netherlands. Royal Nederlands Meteorological Institute, De Bilt, The Netherlands.
- Buishand, T. A., 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology*, 58(1-2), 11-27.
- Byun, H. R., Lee, S. J., Morid, S., Choi, K. S., Lee, S. M., and Kim, D. W., 2008. Study on the periodicities of droughts in korea. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 44(4), 417-441.
- Charney, J., Stone, P. H., and Quirk, W. J., 1975. Drought in the sahara: A biogeophysical feedback mechanism. *Science*, 187, 434-435.
- Chou, C. M., 2011. Wavelet-based multi-scale entropy analysis of complex rainfall time series. *Entropy*, 13(1), 241-253.
- Choubin, B., Malekian, A., Samadi, S., Khalighi-Sigaroodi, S., and Sajedi-Hosseini, F., 2017. An ensemble forecast of semi-arid rainfall using large-scale climate predictors. *Meteorological Applications*, 24(3), 376-386.
- Chow, V. T., 1964. *Handbook of applied hydrology: A compendium of water-resources technology*. McGraw-Hill, 1495 p, New York.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., David, R., and Mays, L. W., 1988. *Applied hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- Corp, I., 2011. *Ibm spss statistics for windows (Version 20.0. Armonk)*. IBM Corp., New York, NY.
- Cretaux, J. F., and Birkett, C., 2006. Lake studies from satellite radar altimetry. *Comptes Rendus Geoscience*, 338(14-15), 1098-1112.
- Dai, A., Lamb, P. J., Trenberth, K. E., Hulme, M., Jones, P. D., and Xie, P., 2004. The recent sahel drought is real. *International Journal of Climatology*, 24, 1323-1331.
- Dash, M. K., Pandey, P. C., Vyas, N. K., and Turner, J., 2013. Variability in the enso-induced southern hemispheric circulation and antarctic sea ice extent. *International Journal of Climatology*, 33(3), 778-783.
- Daubechies, I., 1992. Ten lectures on wavelets. *Proceedings of the Regional conferences series on applied mathematics*, Philadelphia, Pennsylvania.
- Dehghani, M., Saghafian, B., Saleh, F. N., Farokhnia, A., and Noori, R., 2014. Uncertainty analysis of streamflow drought forecast using artificial neural networks and monte- carlo simulation. *International Journal of Climatology*, 34(4), 1169-1180.
- Deo, R. C., and Sahin, M., 2015. Application of the artificial neural network model for prediction of monthly standardized precipitation and evapotranspiration index using hydrometeorological parameters and climate indices in eastern australia. *Atmospheric Research*, 161, 65-81.
- Dieppois, B., Durand, A., Fournier, M., Diedhiou, A., Fontaine, B., Massei, N., Nouaceur, Z., and Sebag, D., 2015. Low-frequency variability and zonal contrast in sahel

- rainfall and atlantic sea surface temperature teleconnections during the last century. *Theoretical and Applied Climatology*, 121, 139-155.
- Djibo, A., Karambiri, H., Seidou, O., Sittichok, K., Philippon, N., Paturel, J., and Saley, H., 2015. Linear and non-linear approaches for statistical seasonal rainfall forecast in the sirba watershed region (sahel). *Climate*, 3, 727-752.
- DMN. 2017. Direction de la météorologie nationale. Niamey, Niger, <http://www.meteo-niger.org> (05-11-2017).
- Dracup, J. A., Lee, K. S., and Paulson, E. G., 1980. On the statistical characteristics of drought events. *Water Resources Research*, 16(2), 289-296.
- Duckstein, L., and Bogardi, I., 1991. Reliability with fuzzy elements in water quantity and quality problems. *Water resources engineering risk assessment*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 231-251.
- Duffy, P. B., Doutriaux, C., Fodor, I. K., and Santer, B. D., 2001. Effect of missing data on estimates of near-surface temperature change since 1900. *Journal of Climate*, 14(13), 2809-2814.
- Fallah-Ghalhary, G. A., Habibi-Nokhandan, M., Mousavi-Baygi, M., Khoshhal, J., and Barzoki, A. S., 2010. Spring rainfall prediction based on remote linkage controlling using adaptive neuro-fuzzy inference system (anfis). *Theoretical and Applied Climatology*, 101(1-2), 217-233.
- Folland, C. K., Palmer, T. N., and Parker, D. E., 1986. Sahel rainfall and worldwide sea temperatures, 1901-85. *Nature*, 320, 602-607.
- French, M. N., Krajewski, W. F., and Cuykendall, R. R., 1992. Rainfall forecasting in space and time using a neural network. *Journal of Hydrology*, 137(1-4), 1-31.
- Giannini, A., Michel, M., and Verstraete, M., 2008. A climate model-based review of drought in the sahel: Desertification, the re-greening and climate change. *Global and Planetary Change*, 64, 119-128.
- Gibbs, W. J., and Maher, J. V., 1967. Rainfall deciles as drought indicators. Australian Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia.
- Gilbert, R. O., 1987. Statistical methods for environmental pollution monitoring. Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, 320 p.
- Githungo, W., Otengi, S., Wakhungu, J., and Masibayi, E., 2016. Infilling monthly rain gauge data gaps with satellite estimates for asal of kenya. *Hydrology*, 3(4).
- Goswami, P., and Srividya. 1996. A novel neural network design for long range prediction of rainfall pattern. *Current Science*, 70(6), 447-457.
- Gouhier, T. C., Grinsted, A., and Simko, V., 2016. Biwavelet: Conduct univariate and bivariate wavelet analyses (Version 0.20.10). <http://biwavelet.r-forge.r-project.org>
- Grossmann, A., and Morlet, J., 1984. Decomposition of hardy function into square integrable wavelets of constant shape. *J. Math. Anal.*, 5, 723-736.
- Guerrero-Salazar, P., and Yevjevich, V., 1975. Analysis of drought characteristics by the theory of runs. *Hydrology Paper Nr. 80*. Fort Collins: Colorado State University.
- Guha-Sapir, D., Below, R., and Hoyois, P., 2014. Em-dat: The cred/ofda international disaster database. Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium, [www.emdat.be](http://www.emdat.be) ( 20.01.2018).
- Hamed, K. H., 2008. Trend detection in hydrologic data: The mann-kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*, 349, 350-363.



- Hargreaves, G. H., and Samani, Z. A., 1982. Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the Irrigation & Drainage Division*, 108(3), 225-230.
- Harris, I., Jones, P. D., Osborn, T. J., and Lister, D. H., 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the cru ts3.10 dataset. *International Journal of Climatology*, 34, 623-642.
- Hsu, K. L., Gao, X. G., Sorooshian, S., and Gupta, H. V., 1997. Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. *Journal of Applied Meteorology*, 36(9), 1176-1190.
- ICPAC., 2016. Inter-governmental authority on development (igad) climate prediction and application centre (icpac). Nairobi, Kenya, <http://www.icpac.net/index.php/about-us.html> (30.12.207).
- INS-Niger. 2016. Tablo de bord social. Institut Nationale de la Statistique du Niger, Niamey, Niger.
- IPCC. 2007. Climate change 2007: Synthesis report. Contribution of working groups i, ii and iii to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Jang, J. S. R., 1993. Anfis: Adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*.
- Jaruskova, D., 1996. Change-point detection in meteorological measurement. *Monthly Weather Review*, 124(7), 1535-1543.
- Jennrich, R. I., and Sampson, P. F., 1966. Rotation for simple loadings. *Psychometrika*, 31, 313-323.
- Jeong, C., Shin, J. Y., Kim, T., and Heo, J. H., 2012. Monthly precipitation forecasting with a neuro-fuzzy model. *Water Resources Management*, 26(15), 4467-4483.
- Jolliffe, I. T., 1986. Principal component analysis and factor analysis. *Principal component analysis*, Springer Series in Statistics. Springer, New York, NY, 115-128.
- Jolliffe, I. T., 2002. Principal component analysis for time series and other non-independent data. *Principal component analysis*, 2nd ed., Springer, New York, NY, 299-337.
- Joshi, N., Gupta, D., Suryavanshi, S., Adamowski, J., and Madramootoo, C. A., 2016. Analysis of trends and dominant periodicities in drought variables in india: A wavelet transform based approach. *Atmospheric Research*, 182, 200-220.
- Kaiser, H. F., 1959. Computer program for varimax rotation in factor analysis. *Educational and psychological measurement*, 413-420.
- Kambhatla, N., and Leen, T. K., 1997. Dimension reduction by local principal component analysis. *Neural Computation*, 9(7), 1493-1516.
- Kendall, M. G., 1975. Rank correlation methods. Charles Griffin, London, United Kingdom.
- Keyantash, J., and Dracup, J. A., 2002. The quantification of drought: An evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, 1167 - 1180.
- Kong, X., Hu, C., and Duan, Z., 2017. Principal component analysis networks and algorithms. Springer Singapore, 323 p, Singapore.
- Kousky, V. E., Kagano, M. T., and Cavalcanti, I. F. A., 1984. A review of the southern oscillation: Oceanic- atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus A*, 36A(5), 490-504.

- Kuligowski, R. J., and Barros, A. P., 1998. Experiments in short-term precipitation forecasting using artificial neural networks. *Monthly Weather Review*, 126(2), 470-482.
- Kumar, P., and Foufoula-Georgiou, E., 1993. A multicomponent decomposition of spatial rainfall fields: 2. Self-similarity in fluctuations. *Water Resources Research*, 29(8), 2533-2544.
- L'Hote, Y., Mahe, G., Some, B., and Triboulet, J. P., 2002. Analysis of a sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000; the drought continues. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 47(4), 563-572.
- Lebel, T., and Ali, A., 2009. Recent trends in the central and western sahel rainfall regime (1990–2007). *Journal of Hydrology*, 375(1), 52-64.
- Lélé, M. I., and Omar, B., 1993. Climate forecast in africa. World Meteorological Organisation, Geneva 2, Switzerland.
- Lewis, S. M., Fitts, G., Kelly, M., and Dale, L., 2014. A fuzzy logic-based spatial suitability model for drought-tolerant switchgrass in the united states. *Computers and Electronics in Agriculture*, 103, 39-47.
- Maftai, C., 2015. Extreme weather and impacts of climate change on water resources in the dobrogea region. IGI Global, USA, 480.
- Mamdani, E. H., 1974. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers-London*, 121, 1585-1588.
- Mark, S., Michael, H., and Deborah, A. W., 2012. Standardized precipitation index user guide. World Meteorological Organization (WMO) Geneva 2, Switzerland.
- McCulloch, W. S., Pitts, W., 1943. A logical calculus of the ideas imminent in nervous activity. *Bulletin and Mathematical Biophysics*, 5, 115–133.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J., 1993. Relationship of drought frequency. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Department of Atmospheric Science Colorado State University, Anaheim, California.
- Mekanik, F., Imteaz, M. A., and Talei, A., 2016. Seasonal rainfall forecasting by adaptive network-based fuzzy inference system (anfis) using large scale climate signals. *Climate Dynamics*, 46, 3097-3111.
- Mendel, J. M., 1995. Fuzzy-logic systems for engineering - a tutorial. *Proceedings of the Ieee*, 83(3), 345 - 377.
- Mishra, A. K., and Singh, V. P., 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2), 204-216.
- Morid, S., Smakhtin, V., and Bagherzadeh, K., 2007. Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices. *International Journal of Climatology*, 27(15), 2103-2111.
- Nayak, P. C., Sudheer, K. P., and Jain, S. K., 2014. River flow forecasting through nonlinear local approximation in a fuzzy model. *Neural Computing & Applications*, 25, 1951-1965.
- Nese, J. M., and Greci, L. M., 1998. A world of weather: Fundamentals of meteorology. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, USA.
- Nguyen, H. T., Prasad, N. R., Walker, C. L., and Walker, E. A., 2003. A first course in fuzzy and neural control. CHAPMAN & HALL/CRC, New York Washington D.C.

- Ochoa-Rivera, J. C., 2008. Prospecting droughts with stochastic artificial neural networks. *Journal of Hydrology*, 352(1-2), 174-180.
- Özelkan, E. C., Ni, F., and Duckstein, L., 1996. Relationship between monthly atmospheric circulation patterns and precipitation: Fuzzy logic and regression approaches. *Water Resources Research*, 32, 2097-2103.
- Ozger, M., Mishra, A. K., and Singh, V. P., 2009. Low frequency drought variability associated with climate indices. *Journal of Hydrology*, 364(1-2), 152-162.
- Partal, T., and Kisi, O., 2007. Wavelet and neuro-fuzzy conjunction model for precipitation forecasting. *Journal of Hydrology*, 342(1-2), 199-212.
- Partal, T., and Kucuk, M., 2006. Long-term trend analysis using discrete wavelet components of annual precipitations measurements in marmara region (Turkey). *Physics and Chemistry of the Earth*, 31(18), 1189-1200.
- Paulhus, J. L. H., and Kohler, M. A., 1952. Interpolation of missing precipitation records. *Monthly Weather Review*, 80(8), 129-133.
- Penman, H. L., 1948. Evaporation from open water, bare soils and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical*.
- Pepler, P. T., Uys, D. W., and Nel, D. G., 2016. A comparison of some methods for the selection of a common eigenvector model for the covariance matrices of two groups. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 45(8), 2917-2936.
- Pesti, G., Shrestha, B. P., Duckstein, L., and Bogardi, I., 1996. A fuzzy rule-based approach to drought assessment. *Water Resources Research*, 32(6), 1741-1747.
- Peterson, T. C., Easterling, D. R., Karl, T. R., Groisman, P., Nicholls, N., Plummer, N., Torok, S., Auer, I., Boehm, R., Gullett, D., Vincent, L., Heino, R., Tuomenvirta, H., Mestre, O., Szentimrey, T., Salinger, J., Forland, E. J., Hanssen-Bauer, I., Alexandersson, H., Jones, P., and Parker, D., 1998. Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: A review. *International Journal of Climatology*, 18(13), 1493-1517.
- Petkovic, D., Gocic, M., and Shamshirband, S., 2016. Adaptive neuro-fuzzy computing technique for precipitation estimation. *Facta Universitatis-Series Mechanical Engineering*, 14, 209-218.
- Pettitt, A. N., 1979. A nonparametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28, 126-135.
- Pongracz, R., Bogardi, I., and Duckstein, L., 1999. Application of fuzzy rule-based modeling technique to regional drought. *Journal of Hydrology*, 224(3-4), 100-114.
- Ponvert-Delisles, D. R., Lau, A., and Balamaseda, C., 2007. La vulnerabilidad del sector agrícola frente a los desastres: Reflexiones generales. *Revistas Zonas áridas*, 11(1), 174-194.
- R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria.
- Ramirez, M. C. V., Velho, H. F. D., and Ferreira, N. J., 2005. Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to the sao paulo region. *Journal of Hydrology*, 301(1-4), 146-162.
- Randall, D. A., 2004. An introduction to the general circulation of the atmosphere. Princeton University Press, Department of Atmospheric Science Colorado State University, <https://press.princeton.edu/titles/10520.html> (10.01.2018).

- Rezaeianzadeh, M., Stein, A., and Cox, J. P., 2016. Drought forecasting using markov chain model and artificial neural networks. *Water Resources Management*, 30(7), 2245-2259.
- Roesch, A., and Schmidbauer, H., 2014. Waveletcomp: Computational wavelet analysis. R package. 1.0. Vienna, Austria, <https://CRAN.R-project.org/package=WaveletComp> (02.11.2017).
- SADC. 2012. Southern african development community, gaborone, botswana. <http://www.sadc.int/sadc-secretariat/services-centres/climate-services-centre/> (10.12.2017).
- Santos, M., and Fragoso, M., 2013. Precipitation variability in northern portugal: Data homogeneity assessment and trends in extreme precipitation indices. *Atmospheric Research*, 131, 34-45.
- Searcy, J. K., and Hardison, C. H., 1960. Double mass curves. *Manual of hydrology: Part 1. General surface water techniques*. US Geological Survey, Water-Supply, Paper 1541-B.
- Şen, Z., 2015. Applied drought modeling, prediction, and mitigation. 484 p, Elsevier Science, Burlington.
- Shirmohammadi, B., Moradi, H., Moosavi, V., Semiromi, M. T., and Zeinali, A., 2013. Forecasting of meteorological drought using wavelet-anfis hybrid model for different time steps (case study: Southeastern part of east azerbaijan province, iran). *Natural Hazards*, 69, 389-402.
- Simolo, C., Brunetti, M., Maugeri, M., and Nanni, T., 2010. Improving estimation of missing values in daily precipitation series by a probability density function-preserving approach. *International Journal of Climatology*, 30(10), 1564-1576.
- Singh, P., and Borah, B., 2013. Indian summer monsoon rainfall prediction using artificial neural network. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27(7), 1585-1599.
- Stone, M., 1979. Comments on model selection criteria of akaike and schwarz. *Journal of the Royal Statistical Society*, 41(2), 276-278.
- Suhaila, J., Deni, S. M., and Jemain, A. A., 2008. Detecting inhomogeneity of rainfall series in peninsular malaysia. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 44(4), 369-380.
- Suparta, W., and Alhasa, K. M., 2015. Adaptive neuro-fuzzy interference system. *Modeling of troposphere delays using anfis*, 1, Springer International Publishing, 5-18.
- Tall, A., Mason, S. J., van Aalst, M., Suarez, P., Ait-Chellouche, Y., Diallo, A. A., and Braman, L., 2012. Using seasonal climate forecasts to guide disaster management: The red cross experience during the 2008 west africa floods. *International Journal of Geophysics*, 2012, 12.
- Tarhule, A., and Tarhule-Lips, R. F. A., 2001. Discontinuities in precipitation series in the west african sahel. *Physical Geography*, 22(5), 430-448.
- Thiessen, A. H., 1911. Precipitation for large areas. *Monthly Weather Review*, 39, 1082-1084.
- Thorntwaite, C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.
- Tinsley, H. E. A., and Tinsley, D. J., 1987. Uses of factor-analysis in counseling psychology research. *Journal of Counseling Psychology*, 34(4), 414-424.

- Tosunoglu, F., and Can, I., 2016. Application of copulas for regional bivariate frequency analysis of meteorological droughts in Turkey. *Natural Hazards*, 82(3), 1457-1477.
- UNDP. 2006. Human development report 2006. United Nations Development Programme, New York, USA.
- Vicente-Serrano, S., 2006. Differences in spatial patterns of drought on different time scales: An analysis of the iberian peninsula. *Water Resources Management*, 20(1), 37-60.
- Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., and Lopez-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. *Ann. Maths. Statist.*, 12(4), 347-395.
- Wang, L., Chen, K., Ong, Y. S., Cheng, C.-T., Lin, J.-Y., Sun, Y.-G., and Chau, K., 2005. Long-term prediction of discharges in manwan hydropower using adaptive-network-based fuzzy inference systems models. *Advances in Natural Computation*, 1152-1161.
- White, D., Richman, M., and Yarnal, B., 1991. Climate regionalization and rotation of principal components. *International Journal of Climatology*, 11(1), 1-25.
- Wijngaard, J. B., Tank, A., and Konnen, G. P., 2003. Homogeneity of 20th century european daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology*, 23(6), 679-692.
- Wilhite, D. A., and Glantz, M. H., 1985. Understanding: The drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10(3), 111-120.
- Wold, S., Esbensen, K., and Geladi, P., 1987. Principal component analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2(1-3), 37-52.
- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., and Cavadias, G., 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes*, 16, 1807-1829.
- Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., and Khan, F. I., 2011. A review of drought indices. *Environmental Reviews*, 19, 333-349.

## ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Nijer Cumhuriyetindeki Dosso şehrinde doğdu. İlk ve ortaokul eğitimini Dosso'da tamamladı. Lise eğitimi ise Nijer Cumhuriyetindeki Maradi şehrinde tamamladı. Haziran 2013 yılında Oriente Üniversitesi (Küba Cumhuriyetinde) İnşaat Fakültesinde, Hidrolik bölümünden Yüksek Mühendis olarak mezun oldu. 2015 yılından itibaren Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Doktora yapmaktadır. Yayınladığı bilimsel makaleler arasında aşağıdaki yayınlar bulunmaktadır:

- Abdourahamane, Z. S., and Acar, R., (2018). Fuzzy rule-based forecast of meteorological drought in western Niger. *Theoretical and Applied Climatology*. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2365-5>
- Abdourahamane, Z. S., and Acar, R., (2018) Analysis of meteorological drought variability in Niger and its connection with climate indices, *Hydrological Sciences Journal*, 63:8, 1203-1218, <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1489542>
- Abdourahamane, Z. S., (2018). Investigating the Relationship Between Summer Rainfall Variability in Niger and El Niño3 Index. *International Symposium on Applied Sciences and Engineering - ISASE2018*, 26-28 November 2018 / Erzurum, Turkey, ISBN: 978-605-68837-2-9
- Abdourahamane, Z. S., Acar, R., and Serkan, Ş., (2019). Wavelet–copula- based mutual information for rainfall forecasting applications, *Hydrological Processes*. <https://doi.org/10.1002/hyp.13391>