İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN YAĞIŞ-SICAKLIĞA ETKİSİ VE KURAKLIK ANALİZİ: AKARÇAY ÖRNEĞİ

DOKTORA TEZİ

İsmail DABANLI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN YAĞIŞ-SICAKLIĞA ETKİSİ VE KURAKLIK ANALİZİ: AKARÇAY ÖRNEĞİ

DOKTORA TEZİ

İsmail DABANLI
(501102500)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zekai ŞEN

ŞUBAT 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501102500 numaralı Doktora Öğrencisi İsmail DABANLI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "TÜRKİYE'DE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN YAĞIŞ-SICAKLIĞA ETKİSİ VE KURAKLIK ANALİZİ: AKARÇAY ÖRNEĞİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Zekai ŞEN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Necati AĞIRALİOĞLU** İstanbul Teknik Üniversitesi	……..
	Prof. Dr. Mehmet KÜÇÜKMEHMETOĞLU Gebze Teknik Üniversitesi	……..
	Prof. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN İstanbul Teknik Üniversitesi	…….
	Doç. Dr. Ahmet DOĞAN Yıldız Teknik Üniversitesi	……

Teslim Tarihi : 06 Ocak 2017
Savunma Tarihi : 14 Şubat 2017

Oğlum Yusuf'a, eşim Merve'ye ve aileme

ÖNSÖZ

Türkiye'de iklim değişikliğinin yağış ve sıcaklıklara etkisiyle kuraklık analizini kapsayan bu çalışma gerek kapsam gerek modelleme safhaları gerekse de elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında son derece başarılı bir süreç olarak görülmelidir. Akademik gelişimime pek çok katkıları olan bu süreçte edinilen bilgi ve becerilerin gelecek akademik çalışmalara ilham vereceğinden şüphem yoktur.

Doktora tezimin hazırlanması safhasında başta şahsıma duyduğu güven ve gösterdiği harika yönetim ile her türlü destekleri dolayısıyla danışmanım, saygıdeğer hocam Prof. Dr. Zekai ŞEN'e, teşekkürü bir borç bilirim. Tezimin kuraklık ile ilgili bölümüne danışmanlık yapan bir yıl boyunca ABD'de beraber çalıştığım Clemson Üniversitesi Glenn İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Ashok Kumar MISHRA'ya değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca tez izleme heyetinde yer alan hocalarım Prof. Dr. Necati AĞIRALİOĞLU ve Prof. Dr. Mehmet KÜÇÜKMEHMETOĞLU'na değerli katkılarından dolayı saygı ve şükranlarımı sunarım. Bununla birlikte tez savunma sınavıma katılarak, tezimin nihai haline görüş ve yorumlarıyla katkı sağlayan Prof. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN'e ve Doç. Dr. Ahmet DOĞAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmasının Amerika ayağını Doktora Sırası Araştırmacı Bursiyer olarak (1059B141501044) destekleyen TÜBİTAK'a teşekkürlerimi arz ederim. Tez çalışmamın çeşitli safhalarında desteğini esirgemeyen, modelleme çalışmalarında teknik altyapısını paylaşan Su Vakfı'na, İstanbul Teknik Üniversitesi'ne ve Türkiye Çevre Koruma Vakfı'na şükranlarımı sunarım. Çalışmamda kullanılan verilerin temin edilmesine yardımcı olmalarından dolayı Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi arz ederim.

Modelleme ve altölçekleme çalışmasına verdikleri destek ve yardımlardan dolayı Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖZTOPAL'a hassaten şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım sırasında yoğun meşguliyetime sabırla katlanan eşime ve bu süreçte her zaman yanımda olarak desteklerini esirgemeyen ailemin bütün fertlerine ve de özellikle teslim sürecindeki katkılarından dolayı yiğenim Yaşar DABANLI'ya teşekkür ederim.

Şubat 2017

İsmail DABANLI
(İnşaat Müh.-Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
SEMBOLLER ..... **xiii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xxiii**
SUMMARY ..... **xxv**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı 2
1.2 İklim Değişikliği 'ne Giriş 2
1.2.1 Küresel dolaşım modeli (KDM) 2
1.2.2 IPCC raporları 3
1.2.2.1 SRES raporları 4
1.3 Çalışma Alanı ve Özellikleri 7
1.3.1 Uygulama verisi 7
1.3.2 Fiziksel özellikler 9
2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ **11**
2.1 Genel 11
2.2 Türkiye ve İklim Değişikliği 15
2.3 İklim Değişikliği Çalışmalarında Tarihi Süreç 18
2.4 İklim Modellemesi 20
3. ALT ÖLÇEKLEME VE TAHMİN **23**
3.1 Su Vakfı İstatistiki Alt Ölçekleme Modeli 23
3.1.1 Noktasal toplam yarı-varyogram modeli (NTYV) 24
3.1.2 Beyaz Markov süreci (BMS) 25
3.1.2.1 BMS bilgisayar yazılımı 26
3.2 Uygulama ve Tahmin 27
3.2.1 BMS hesaplamaları ve sonuçları 27
3.2.1.1 Aylık toplam yağış BMS hesaplamaları ve sonuçları 27
3.2.1.2 Aylık ortalama sıcaklık BMS hesaplamaları ve sonuçları 37
3.2.2 İstasyon ölçeğinde sonuçların değerlendirmesi 47
3.2.3 Akarçay Havzası ölçeğinde sonuçların değerlendirmesi 48
3.3 Model Sonuçlarının Geçerlilik Kontrolü 50
4. GİDİŞ (TREND) ANALİZİ **55**
4.1 Gözlem Verileri Gidiş (Trend) Analizi 55
4.1.1 Giriş 55
4.1.2 Metodoloji 57
4.1.2.1 İnovatif-Şen trend metodu 57
4.1.2.2 Mann-Kendall trend metodu 58
4.1.2.3 Doğrusal regresyon analiz metodu 60

4.1.2.4 Sperman’s Rho ve Theil-Sen eğim metodu 60
4.1.3 Uygulama 61
4.1.3.1 İnovatif-Şen trend metodu 61
4.1.3.2 Mann-Kendall trend metodu 69
4.1.3.3 Doğrusal regresyon analizi metodu 70
4.1.3.4 Sperman (Rho) ve Theil-Sen Eğim yöntemi 76
4.1.4 Sonuç 77
4.2 Tahmin Verileri Üzerinde Trend Analizi 79
4.2.1 Afyon istasyonu tahmin verileri trend analizi 80
4.2.2 Akşehir istasyonu tahmin verileri trend analizi 82
4.2.3 Bolvadin istasyonu tahmin verileri trend analizi 84
4.2.4 Çay istasyonu tahmin verileri trend analizi 86
4.2.5 Sultandağı istasyonu tahmin verileri trend analizi 87
4.2.6 Şuhut istasyonu tahmin verileri trend analizi 89
4.2.7 Sonuç 91
4.3 İnovatif-Şen Trend Metodu Pilot Uygulaması 92
5. KURAKLIK ANALİZİ 99
5.1 Giriş 99
5.2 Uygulama Alanı ve Veri 102
5.3 Metodoloji 103
5.3.1 Kuraklık göstergesi 103
5.3.2 Asal Bileşen Çözümlemesi (PCA) 104
5.3.3 Hızlı Fourier dönüşümü (FFT) 106
5.4 Uygulama 106
5.4.1 Kuraklığın alan değişkenliği 106
5.4.2 Kuraklığın zaman değişkenliği 112
5.4.3 Kuraklık dönüş süreleri analizi 115
5.5 Sonuç 117
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 119
6.1 Özet ve Sonuçlar 119
6.2 Öneriler 124
KAYNAKLAR 127
EKLER 135
ÖZGEÇMİŞ 197

KISALTMALAR

BBF : Bölgesel Bağımlılık Fonksiyonu
BMS : Beyaz Markov Süreci
EH40PYC : Max-Planck-Institute for Meteorology
ENSO : El-Nino South Oscilation
FFT : Fast Fourier Transform
GCM : Global Circulation Model
HFCs : Kloroflorokarbon
HadCM : Hadley Centre Coupled Model
IPCC : International Panel on Climate Change
İDKK : İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu
İYF : İhtimal yoğunluk fonksiyonu
JDI : Joint Drought Index
KDM : Küresel Dolaşım Modeli
KMC : K-Means Clustering
MDI : Multivariate Drought Index
MK : Mann-Kendall
MSDI : Multivariate Standardized Drought Index
MWP : Markov Whitening Process
NSE : Nash-Sutcliffe efficiency
NAO : North Atlantic Oscilation
NTYV : Noktasal Toplam Yarı-Varyogram Modeli
PBIAS : Percent Bias
PCA : Principle Component Analysis
PDF : Probability Density Function
PDSI : Palmer Drought Severity Index
Ppm : Parts per Million
RCP : Representative Concentration Pathway
RDF : Regional Dependence Function
RDI : Reconnaissance Drought Index
RPC : Rotated Principle Component
SDR : Standart Deviation Ratio
SPEI : Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
SPI : Standardized Precipitation Index
SRES : Special Report on Emissions Scenarios
SVAM : Su Vakfı Altölçekleme Modeli
TDI : Triple Drought Indicator
TWF : Turkish Water Foundation
TYV : Toplam Yarı-Varyogram Modeli
UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation
WMO : World Meteorological Organisation

SEMBOLLER

a	**:** Kuraklık alanı
h	**:** Hurst kasayısı
n	**:** Veri sayısı
p	**:** Korelasyon yüzdesi
w	**:** Ağırlık katsayısı
$\mathbf{X_t}$	**:** 1. Derece Markov süreci
v	**:** Toplam açıklanan varyans yüzdesi
Z	**:** Bölgesel Bağımlılık Fonksiyonu (BBF)
$\mathbf{Z_t}$	**:** Beyaz Markov süreci (BMS)
α	**:** Bağımsız ve Markov süreçleri standart sapma oranı
β	**:** Oran katsayısı
λ_n	**:** Özdeğer veya yükleme
Γ	**:** Gamma İYF
η_t	**:** Beyaz bağımsız süreç
ρ	**:** Korelasyon katsayısı
σ	**:** Standart sapma
ω	**:** Frekans

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : İklim değişikliğinin Türkiye üzerinde beklenen etkileri **18**
Çizelge 2.2 : İklim verisi üreten merkezler ve modeller (IPCC,2007)..... **20**
Çizelge 3.1 : Test sonuçlarının sınıflandırılması (Moriasi ve diğ., 2007). **52**
Çizelge 3.2 : Model test sonuçları ve başarı sınıflandırmaları. **53**
Çizelge 4.1 : Trend analizi sonuçları **69**
Çizelge 4.2 : Mann-Kendall testi trend analizi sonuç tablosu **69**
Çizelge 4.3 : Doğrusal regresyon testi trend analizi sonuç tablosu **70**
Çizelge 4.4 : Spearman's Rho and Theil-Sen Eğimi trend analizi sonuçları..... **77**
Çizelge 4.5 : Trend analiz metotlarının sonuçlarının kıyaslanması..... **78**
Çizelge 4.6 : Ergene nehri ana kollarında bulunan istasyonlara ait trend vektörleri. **95**
Çizelge 4.7 : Ergene nehri yan kollarında bulunan istasyonlara ait trend vektörleri. **95**
Çizelge 4.8 : Mann-Kendall trend analizi sonuçları **96**
Çizelge 5.1 : SPI kuraklık sınıflandırmaları (Agnew, 2000)..... **104**
Çizelge 5.2 : Mevsimlik ve yıllık kuraklık dönüş periyotları..... **116**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Küresel çevirimler (Url-1). **3**
Şekil 1.2 : Farklı SRES senaryolarına göre küresel ortalama sıcaklık artışı projeksiyonları (IPCC, 2007). **5**
Şekil 1.3 : SRES senaryoları gösterimi. **5**
Şekil 1.4 : RCP tiplerine göre radyoaktif zorlama grafikleri (Meinshausen ve diğ, 2011). **7**
Şekil 1.5 : Akarçay havzasının Türkiye üzerindeki coğrafik konumu ve Türkiye üzerine düşen KDM düğüm noktalarının dağılımı. **8**
Şekil 1.6 : Gözlem istasyonlarına ait aylık ortalama yağış verileri (1981–2010).. **8**
Şekil 1.7 : Gözlem istasyonlarına ait aylık ortalama sıcaklık verileri (1981–2010). **9**
Şekil 1.8 : Akarçay havzası fiziki haritası ve gözlem istasyonlarının konumları. **10**
Şekil 2.1 : Küresel ortalama sıcaklığın artışının hava sirkülasyonuna etkisi (Şen ve diğ., 2010). **12**
Şekil 2.2 : Küresel ortalama sıcaklığın yıllara göre değişimi (Hansen ve diğ., 2010). **13**
Şekil 2.3 : Türkiye üzerinde etkili olan hava akımları. **16**
Şekil 3.1 : Teorik BBF'ler ve ağırlık katsayısı-mesafe ilişkisi. **24**
Şekil 3.2 : Ham BBF ve NTYV değerleri (Şen ve diğ., 2010). **25**
Şekil 3.3 : EH40PYC senaryoları ile gözlem verilerinin Gamma toplam ihtimal yoğunluk fonksiyonu ilişkisi. **28**
Şekil 3.4 : HadCM3 senaryoları ile gözlem verilerinin Gamma toplam ihtimal yoğunluk fonksiyonu ilişkisi. **29**
Şekil 3.5 : En uygun korelasyona sahip iç bağımlılık dizisi. **30**
Şekil 3.6 : Beyaz Markov Süreci öncesi EH40PYC senaryoları sıklık grafikleri. **31**
Şekil 3.7 : Beyaz Markov Süreci sonrası EH40PYC senaryoları sıklık grafikleri. **32**
Şekil 3.8 : Beyaz Markov Süreci öncesi HadCM3 senaryoları sıklık grafikleri.. **33**
Şekil 3.9 : Beyaz Markov Süreci sonrası HadCM3 senaryoları sıklık grafikleri. **34**
Şekil 3.10 : İç bağımlılığı ayarlanmış verilerin standart sapma ilişkisi. **35**
Şekil 3.11 : İç bağımlılığı ayarlanmış verilerin korelasyon katsayısı ilişkisi. **36**
Şekil 3.12 : İç bağımlılığı ayarlanmış aylık ortalama yağışlar (mm). **37**
Şekil 3.13 : EH40PYC senaryoları ile gözlem verilerinin Gamma toplam İYF ilişkisi. **38**
Şekil 3.14 : HadCM3 senaryoları ile gözlem verilerinin Gamma toplam İYF ilişkisi. **39**
Şekil 3.15 : En uygun korelasyona sahip iç bağımlılık dizisi. **40**
Şekil 3.16 : Beyaz Markov Süreci öncesi EH40PYC senaryoları sıklık grafikleri. **41**

Şekil 3.17 : Beyaz Markov Süreci sonrası EH40PYC senaryoları sıklık grafikleri. **42**
Şekil 3.18 : Beyaz Markov Süreci öncesi HadCM3 senaryoları sıklık grafikleri. . **43**
Şekil 3.19 : Beyaz Markov Süreci sonrası HadCM3 senaryoları sıklık grafikleri. **44**
Şekil 3.20 : İç bağımlılığı ayarlanmış verilerin standart sapma ilişkisi. **45**
Şekil 3.21 : İç bağımlılığı ayarlanmış verilerin korelasyon katsayısı ilişkisi. **46**
Şekil 3.22 : İç bağımlılığı ayarlanmış Aylık ortalama sıcaklıklar (°C). **47**
Şekil 3.23 : Akarçay havzası aylık ortalama yağış tahminleri zaman serileri a) EH40PYC b) HadCM3 (2011–2100). **49**
Şekil 3.24 : Akarçay havzası yıllık ortalama sıcaklık tahminleri zaman serileri a) EH40PYC b) HadCM3 (2011–2100). **50**
Şekil 4.1 : Azalan, artan ve trend olmayan serilerin gösterimi. **58**
Şekil 4.2 : Afyon istasyonu trend durumları. **62**
Şekil 4.3 : Şuhut istasyonu trend durumları. **63**
Şekil 4.4 : Sultandağı istasyonu trend durumları. **64**
Şekil 4.5 : Akşehir istasyonu trend durumları. **65**
Şekil 4.6 : Bolvadin istasyonu trend durumları. **67**
Şekil 4.7 : Çay istasyonu trend durumları. **68**
Şekil 4.8 : Afyon istasyonu doğrusal regresyon analizi. **71**
Şekil 4.9 : Şuhut istasyonu doğrusal regresyon analizi. **72**
Şekil 4.10 : Sultandağı istasyonu doğrusal regresyon analizi. **73**
Şekil 4.11 : Akşehir istasyonu doğrusal regresyon analizi. **74**
Şekil 4.12 : Çay istasyonu doğrusal regresyon analizi. **75**
Şekil 4.13 : Bolvadin istasyonu doğrusal regresyon analizi. **76**
Şekil 4.14 : Afyon istasyonu aylık toplam yağış tahminleri trend grafikleri. **80**
Şekil 4.15 : Afyon istasyonu aylık ortalama sıcaklık tahminleri trend grafikleri. . **81**
Şekil 4.16 : Akşehir istasyonu aylık toplam yağış tahminleri trend grafikleri. **82**
Şekil 4.17 : Akşehir istasyonu aylık ortalama sıcaklık tahminleri trend grafikleri. **83**
Şekil 4.18 : Bolvadin istasyonu aylık toplam yağış tahminleri trend grafikleri. ... **84**
Şekil 4.19 : Bolvadin istasyonu aylık ortalama sıcaklık tahminleri trend grafikleri. **85**
Şekil 4.20 : Çay istasyonu aylık toplam yağış tahminleri trend grafikleri. **86**
Şekil 4.21 : Çay istasyonu aylık ortalama sıcaklık tahminleri trend grafikleri. **87**
Şekil 4.22 : Sultandağı istasyonu aylık toplam yağış tahminleri trend grafikleri. . **88**
Şekil 4.23 : Sultandağı istasyonu aylık ortalama sıcaklık tahminleri trend grafikleri. **89**
Şekil 4.24 : Şuhut istasyonu aylık toplam yağış tahminleri trend grafikleri. **90**
Şekil 4.25 : Şuhut istasyonu aylık ortalama sıcaklık tahminleri trend grafikleri. .. **91**
Şekil 4.26 : Ergene havzası gözlem istasyonları konumları. **92**
Şekil 4.27 : Lüleburgaz istasyonu trend grafikleri. **94**
Şekil 5.1 : Türkiye geneli aylık ortalama yağış dağılımı. **103**
Şekil 5.2 : Toplam açıklanan varyans yüzdeleri. **107**
Şekil 5.3 : SPI yüklemelerinin alansal korelasyon haritaları. **109**
Şekil 5.4 : Mevsimsel (SPI-3) kuraklık alanları. **110**
Şekil 5.5 : Yıllık (SPI-12) kuraklık alanları. **111**
Şekil 5.6 : Mevsimlik (üst) ve yıllık (alt) kuraklık alanları. **112**
Şekil 5.7 : Mevsimlik (sol) ve yıllık (sağ) RPC zamansal serileri. **113**
Şekil 5.8 : Mevsimlik (SPI-3) kuraklıktan etkilen alan yüzdeleri. **114**
Şekil 5.9 : Yıllık (SPI-12) kuraklıktan etkilen alan yüzdeleri. **115**

Şekil 5.10 **:** Mevsimlik (sol) ve yıllık (sağ) FFT analiz sonuçları. **117**
Şekil A.1 **:** Akşehir istasyonu gözlem verileri ile tahmin verileri kıyaslanması a) EH40PYC-Yağış b) HadCM3-Yağış c) EH40PYC-Sıcaklık d) HadCM3-Sıcaklık. **137**
Şekil A.2 **:** Akşehir istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **138**
Şekil A.3 **:** Akşehir istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **139**
Şekil A.4 **:** Akşehir istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **140**
Şekil A.5 **:** Akşehir istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **141**
Şekil A.6 **:** Akşehir istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100). **142**
Şekil A.7 **:** Akşehir istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100). **143**
Şekil A.8 **:** Akşehir istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100). **144**
Şekil A.9 **:** Akşehir istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100). **145**
Şekil B.1 **:** Bolvadin istasyonu gözlem verileri ile tahmin verileri kıyaslanması a) EH40PYC-Yağış b) HadCM3-Yağış c) EH40PYC-Sıcaklık d) HadCM3-Sıcaklık. **147**
Şekil B.2 **:** Bolvadin istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **148**
Şekil B.3 **:** Bolvadin istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **149**
Şekil B.4 **:** Bolvadin istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **150**
Şekil B.5 **:** Bolvadin istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **151**
Şekil B.6 **:** Bolvadin istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100). **152**
Şekil B.7 **:** Bolvadin istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100). **153**
Şekil B.8 **:** Bolvadin istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100). **154**
Şekil B.9 **:** Bolvadin istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100). **155**
Şekil C.1 **:** Çay istasyonu gözlem verileri ile tahmin verileri kıyaslanması a) EH40PYC-Yağış b) HadCM3-Yağış c) EH40PYC-Sıcaklık d) HadCM3-Sıcaklık. **157**
Şekil C.2 **:** Çay istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **158**
Şekil C.3 **:** Çay istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **159**
Şekil C.4 **:** Çay istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **160**
Şekil C.5 **:** Çay istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **161**

Şekil C.6 **:** Çay istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100)..... **162**
Şekil C.7 **:** Çay istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100)..... **163**
Şekil C.8 **:** Çay istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100)..... **164**
Şekil C.9 **:** Çay istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100)..... **165**
Şekil D.1 **:** Sultandağı istasyonu gözlem verileri ile tahmin verileri kıyaslanması a) EH40PYC-Yağış b) HadCM3-Yağış c) EH40PYC-Sıcaklık d) HadCM3-Sıcaklık. **167**
Şekil D.2 **:** Sultandağı istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **168**
Şekil D.3 **:** Sultandağı istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **169**
Şekil D.4 **:** Sultandağı istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **170**
Şekil D.5 **:** Sultandağı istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **171**
Şekil D.6 **:** Sultandağı istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100)..... **172**
Şekil D.7 **:** Sultandağı istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100)..... **173**
Şekil D.8 **:** Sultandağı istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100)..... **174**
Şekil D.9 **:** Sultandağı istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100)..... **175**
Şekil E.1 **:** Şuhut istasyonu gözlem verileri ile tahmin verileri kıyaslanması a) EH40PYC-Yağış b) HadCM3-Yağış c) EH40PYC-Sıcaklık d) HadCM3-Sıcaklık. **177**
Şekil E.2 **:** Şuhut istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100)..... **178**
Şekil E.3 **:** Şuhut istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100)..... **179**
Şekil E.4 **:** Şuhut istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100)..... **180**
Şekil E.5 **:** Şuhut istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100)..... **181**
Şekil E.6 **:** Şuhut istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100)..... **182**
Şekil E.7 **:** Şuhut istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100)..... **183**
Şekil E.8 **:** Şuhut istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100)..... **184**
Şekil E.9 **:** Şuhut istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100)..... **185**
Şekil F.1 **:** Afyon istasyonu gözlem verileri ile tahmin verileri kıyaslanması a) EH40PYC-Yağış b) HadCM3-Yağış c) EH40PYC-Sıcaklık d) HadCM3-Sıcaklık. **187**

Şekil F.2 **:** Afyon istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **188**
Şekil F.3 **:** Afyon istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **189**
Şekil F.4 **:** Afyon istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **190**
Şekil F.5 **:** Afyon istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100). **191**
Şekil F.6 **:** Afyon istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık toplam sıcaklık tahminleri (2011-2100). **192**
Şekil F.7 **:** Afyon istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık toplam sıcaklık tahminleri (2011-2100). **193**
Şekil F.8 **:** Afyon istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık toplam sıcaklık tahminleri (2011-2100). **194**
Şekil F.9 **:** Afyon istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık toplam sıcaklık tahminleri (2011-2100). **195**

TÜRKİYE'DE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN YAĞIŞ-SICAKLIĞA ETKİSİ VE KURAKLIK ANALİZİ: AKARÇAY ÖRNEĞİ

ÖZET

Bu çalışma iklim değişikliğinin Akarçay havzasındaki yağış ve sıcaklığa etkisinin ve de Türkiye genelinde kuraklığın değerlendirilmesini kapsamaktadır. Tezin uygulama kısımları üç ana bölümden ibarettir. İlk bölüm istatistik alt ölçekleme, iklim modelinin kurulumu ve iklim değişkenlerinin (yağış ve sıcaklık) gelecek tahmini ile ilgilidir. Geliştirilmek suretiyle Su Vakfı tarafından sunulan istatistik alt ölçekleme modeli, aylık toplam yağış ve ortalama sıcaklık verilerinin tahmini için kullanılmıştır. Modelinin alan değişkenliği Bölgesel Bağımlılık Fonksiyonu (BBF) ile zaman değişkenliği de Beyaz Markov Süreçleri (BMS) ile kontrol edilmektedir. BBF süreci, Küresel Dolaşım Modeli (KDM) senaryolarının alan değişkenliğini, BMS süreci de zaman değişkenliğini ayarlanmasında kullanılmıştır. İklim değişikliğinin yağışlar ve sıcaklıklar üzerindeki etkisi Max-Plank Meteoroloji Enstitüsü (EH40PYC) ve Hadley Merkezi (HadCM3) modellerine ait SRES A2 ve B2 senaryoları kullanılarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Akarçay havzasında yağışların ortalama değeri değişmemekle birlikte, aşırı yağışların artacağı; sıcaklıklarda ise yıllık ortalama sıcaklıkların %(0.3–0.4) arasında bir artış göstereceği sonucuna varılmıştır. Elde edilen tahmin verileri model geçerliliğini ortaya koymak için sınanmıştır. Alt ölçekleme modeli Nash-Sutcliffe verimliliği (Nash-Sutcliffe Efficiency-NSE) Yüzde Eğilim (Percent Bias-PBIAS) ve Standart Sapma Oranı (Standart Deviation Ratio-SDR) sınamalarına göre "Çok İyi" seviyesinde 2011–2100 arasında yağış ve sıcaklık tahminleri üretmiştir. Elde edilen sonuçlara göre EH40PYC ve HadCM3 (A2 ve B2) senaryoları yardımıyla elde edilen tahmin verilerinin ortalama ve standart sapma değerlerinin hata oranı %5'in altında kalmıştır.

İkinci uygulama bölümünün ana konusunu kapsamlı trend (gidiş) analizleri oluşturmaktadır. Bu bölümün temel hedeflerinden ilki Akarçay havzasında gözlem ve model tahmin verileri üzerinde trend analizi yapmaktır. İkinci hedef ise İnovatif-Şen ve diğer klasik trend analizi yöntemleri arasındaki farkı ortaya koymaktır. Ayrıca bu çalışma kapsamında ilk defa İnovatif-Şen yöntemi üzerine ±5% ve ±10% trend zarf eğrileri ilave edilmiştir. İnovatif-Şen yönteminin diğer klasik yöntemlere göre üstünlüğü elde edilen sonuçlarla ispat edilmiştir. İnovatif-Şen yönteminin başka alanlara ve değişik verilere de kolaylıkla uygulanabilirliğini göstermek amacıyla ayrıntılı trend analizi sonuçları elde etmek için Ergene havzasında akım, yağış, sıcaklık ve nisbi nem verileri için de uygulama yapılmıştır. Tüm trend analizleri neticesinde aşırı yağışlar ile bütün sıcaklık değerlerinin değişik oranlarda artan trende sahip oldukları ortak sonucuna ulaşılmıştır.

Tez çalışmasının son uygulama bölümü Türkiye genelinde kuraklığın alan ve zaman değişkenliklerinin değerlendirilmesini içermektedir. Bu değişkenlikler Türkiye'deki oldukça üniform olarak dağılmış 250 istasyonun 1931–2010 yılları arasındaki 80 yıllık kayıtları kullanılarak değerlendirilmiştir. Kuraklık analizinde standart yağış

göstergesinin (Standardized Precipitation Index-SPI) farklı zaman ölçeklerindeki serileri (SPI-1, SPI-3, SPI-6, SPI-6_{NE} (SPI-6 Nisan-Eylül) ve SPI-12) kullanılmıştır. Asal bileşen çözümlemesinde (Principle Component Analysis-PCA) kuraklığın alan değişkenliğini ortaya koymak için SPI serileri kullanılmıştır. SPI serilerinin Türkiye üzerindeki korelasyon (>%50) haritalarının benzerliğinden istifade edilerek, beş SPI serisi temel alınarak iki gruba (İlk grup: SPI-1, SPI-3, SPI-6_{NE}; İkinci grup: SPI-6 ve SPI-12) ayrılmıştır. Aynı sonucu verecek işlemlerin tekrarından kaçınmak için her bir SPI serisi yerine, her gruptan birer adet temsilci SPI serisi belirlenmiştir. SPI-3 ve SPI-12 mevsimlik ve yıllık kuraklık karakterlerini ortaya koymak için her gruptan temsilci olarak seçilmişlerdir. Dört farklı (F1, F2, F3 ve F4) homojen kuraklık alanları mevsimlik ve yıllık ölçeklerde Türkiye üzerinde belirlenmiştir. Kuraklığın tekerrür süreleri ise PCA analiz sonuçlarının hızlı Fourier dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT) işlemine tabi tutulmasıyla elde edilmiştir. Mevsimlik ve yıllık kuraklık alanlarının her biri için biri uzun diğeri de kısa dönem süresi olmak üzere ikişer adet tekerrür süresi belirlenmiştir. Yapılan analiz sonucunda varyans puanının %10'dan büyük olan yüklemelerin (F1 ve F2) daha kararlı oldukları; küçük olan yüklemelerin (F3 ve F4) kararsız yüklemeler olduğu ve temsil ettikleri korelasyon alanlarının da aynı şekilde kararsız oldukları ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara göre, PCA hesaplamaları sonucunda seçilecek yüklemelerin sayısı sadece toplam açıklanan varyans ile değil, aynı zamanda korelasyon yüzdesi ve yüklemelerin analiz yapılan bölge üzerinde kapladığı alanın dikkate alınması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

CLIMATE CHANGE IMPACT ON PRECIPITATION-TEMPERATURE IN TURKEY AND DROUGHT ANALYSIS: AKARCAY CASE STUDY

SUMMARY

This study aims to provide a comprehensive assessment of climate change impacts on precipitation and temperature in the Akarcay basin and so drought assessment over whole Turkey mainland. First two chapter is related to general introduction and literatüre reviews of thesis subjects. The application contents of the thesis consist three basic chapters. Finally, obtained original results and suggestions are presented in last (sixth) chapter. Future predictions of precipitation and temperature are presented in unique figures for each year between 2011 and 2100 in the attachment section.

The first chapter is related to statistical downscaling climate model setup and future predictions of climate variables (precipitation and temperature). The statistical climate downscaling model suggested by the Turkish Water Foundation (TWF) is further developed and applied to predict monthly precipitations and temperatures. The theoretical basis of the TWF model depends on two distinctive parts, which are combined in a cyclical behavior for adjusting the predictions with local ground observations. The first part considers the spatial manner of the hydro-meteorological variables through the innovative RDF, which provides estimations on the coordinate (point) basis from general circulation model (GCM) coarsely produced grid point data to finer resolutions. Another ingredient of the TWF model is for temporal adjustment through the Markov whitening process (MWP), which is necessary for adjusting the serial structure temporal similarity of scenario data to the observations. Owing to the stochastic behavior of precipitation and temperature, it is hard to predict in daily scales. The optimal scale to estimate future rainfall and temperature should be monthly, and therefore, the TWF model is based on monthly precipitation calculations and projections. The impacts of climate change on monthly precipitation and temperature are studied by SRES A2 and B2 emission scenarios, which are downloaded from Max Plank Institute (EH40PYC) and Hadley Center (HadCM3).

The prediction results indicate that mean monthly precipitations may not change in future, however, extreme precipitation may increase. Temperature predictions revealed that mean annual temperatures have been increasing in (0.3–0.4) % percent per year. Future precipitation and temperature predictions are tested for validation. The downscaling model has reasonably acceptable skill in highly accurate precipitation and temperature estimation from 2011 to 2100 with regard to standard deviation ratio (SDR), Nash–Sutcliffe efficiency (NSE) and percent bias (PBIAS) criteria. The future prediction variables' mean and standard deviation estimations for EH40PYC and HadCM3 (A2 and B2) scenarios yield less than 5% error.

The TWF downscaling model predictions reveal that future projection's mean precipitation and standard deviation under the light of EH40PYC and HadCM3 SRES scenarios (A2 and B2) are obtained as 40.06 mm and 14.31 mm in Akarcay basin, respectively. The preservation of effective spatial dependence together with the

temporal character of observations has the major importance in the TWF model. Monthly precipitation distributions are fitted perfectly by Gamma probability distribution functions (PDF) and the first order serial correlation coefficients give satisfactory results according to adjusted scenario data. The validation of the TWF model results is rewarded as "very good" except for two test results in Suhut station which are rewarded as "satisfactory". Consequently, the TWF model performs highly accurate results regarding SDR, NSE, and PBIAS validation tests.

Similarly, TWF model results for temperature illustrates that EH40PYC and (HadCM3) A2 and B2 scenarios are obtained as 11.49˚C (11.48˚C) and 8.15 ˚C (8.18 ˚C) in Akarcay basin, respectively. Consequently, the TWF model performs highly accurate results regarding SDR, NSE, and PBIAS validation tests. The validation of the TWF model temperature predictions is rewarded as "very good" in all stations.

The comprehensive trend analysis is the main subject of the second application chapter. The main purposes of this chapter are to provide trend analysis on both observation and prediction variables in Akarcay basin to identify the comparison between the Innovative-Şen and classical trend analyses. Also, Innovative-Şen trend detection method is applied to different parameters in Ergene basin to support model validation and usefulness in any catchments. The superiority of Innovative-Şen method on other classical trend tests is supported by outputs of analysis. The common outputs of these trend analyses are that temperature and extreme precipitation values in increasing trend manners at different ratios. In Akarcay catchment trend analysis, the significance levels at ±5% and ±10% levels are suggested for the first time on the Innovative-Şen trend template, which works with the categorization of given data into a set of classes such as "low", "medium" and "high" values. However, the classical approaches consider holistic monotonic trend identification without categorization. For the application of these trend methodologies monthly precipitation, temperature, relative humidity and wind velocity records for 30-year (1981-2010) duration are selected from Akarcay drainage basin. It is observed that MK and Innovative-Şen trend tests provided similar results only for wind velocities at one station (Cay) with significantly decreasing manner. However, linear regression test did not indicate any significant trend at all stations for all variables. Beside this, Spearman's Rho test results point out the negative trend in all variables except relative humidity. Furthermore, Theil-Sen slope indicates three possibilities of the trend (decreasing, increasing, and no trend) based on station and variables. The present study revealed that Innovative-Şen trend analysis method has some advantages compared to the Mann-Kendall, Spearman's Rho, Theil-Sen slope and linear regression methods. One main advantage is that it does not have any assumptions (e.g., serial correlation, non-normality, sample number, etc.) as in the Mann-Kendall method. Moreover, the trends can be detected at different categories as "low", "medium" and "high" data value ranges with consideration of the trend percentage lines, which help to provide reliable trend tendencies for future prediction of climate change impacts on hydro-meteorological variables in future. The linguistic extractions are important for engineering studies, management, and operations. However, these kinds of information can be found rather rarely in literature. One of the most significant contributions of this study is to provide detailed linguistic trend information for any category or cluster ("low", "medium, "high") with significance percentage scores. It is the first time, the trend percentage lines, which are parallel to 1:1 (45°) straight-line, have been given in this study. To further development of this method, statistical significant test, can be combined for quantitative applications in future researches.

Moreover, Innovative-Şen trend methodology is implemented on surface flow (runoff), precipitation, temperature and relative humidity records in Ergene Basin in order to obtain detailed trend information and illustrate model practicability in any area easily. Two of the frequently used trend analysis methods are the Mann-Kendall (MK) trend test and the innovative-Şen trend categorization approaches. The MK trend test is well-known for monotonic trend identification within the whole time series duration. The innovative-Şen method provides partial trends in each category. Furthermore, "very high" and "very low" categories indicate the possibilities of floods and droughts, respectively. The application of the two methodologies is presented for hydro-meteorological (precipitation, temperature, humidity, and runoff) time series records at 8 observation stations in the European part of Turkey within the Ergene drainage basin. As for the Innovative-Şen trend analysis methodology, the data is divided into 5 clusters ("very low", "low", "medium", "high" and "very high") in order to investigate the trend behavior in detail. Although the Innovative-Şen method gives more linguistic information for trends in most of the classes, but the MK trend test does not show significant trend and it does not provide any linguistic information. With the help of the innovative-Şen trend outputs, it is documented that the climate change impacts on temperature are considerably dominant. The results indicate that Ergene Basin temperatures have significantly increasing trend in the whole records especially in "high" and "very high". These results support the idea that Ergene Basin may be vulnerable to more dry seasons in the future.

Finally, the last application chapter of the thesis consists of spatial and temporal drought assessment over whole Turkey mainland. The spatial and temporal variability of droughts is presented by evaluating homogeneously distributed 250 meteorology station records from 1931 to 2010 for 80 years' duration. The drought analysis is implemented by using the Standardized Precipitation Index (SPI) in terms of SPI-1, SPI-3, SPI-6, SPI-6AS (SPI-6 April to September) and SPI-12. The principle component analysis (PCA) is used to identify a spatial pattern of droughts by applying SPI series. These five SPI series are classified into two groups (First: SPI-1, SPI-3, SPI-6 and; Second: SPI-6 and SPI-12) due to their similar spatial correlation (>50%) pattern on Turkey. In order to avoid repetition of obtaining same results by analyzing both SPI series; one representative SPI member is determined. SPI-3 and SPI-12 are selected as a representative member of each group for investigating seasonal and annual drought patterns. Four different well-defined homogeneous regions (F1, F2, F3, and F4) are determined by using seasonal and annual SPI series over Turkey mainland to illustrate vulnerable drought areas. Spectral drought characteristics are generated using PCA loadings with their incorporation with the fast Fourier transform (FFT) method. Seasonal and annual return cycles (long and short term) are identified individually for each homogeneous region.

A relationship among correlation area (A_n), correlation coefficient (CC), principle component numbers (F_n) and total variances explained (V_{exp}) are investigated by assessing four well-defined drought vulnerable homogeneous regions (F1, F2, F3, and F4) over Turkey mainland. Mean percentages of extreme, severe, and moderate drought areas are calculated as 5.31% (4.69%), 5.63% (5.00%) and 7.19% (7.81%) for SPI-3 (SPI-12) regarding all wet and dry conditions within 80 years in all drought vulnerable regions. Spectral characteristics of drought are also further investigated based on fast Fourier transform (FFT) method. Long term (≥10 years) and short-term (<10 years) return periods of drought are investigated based on rotated principle components (RPCs) for SPI-3 (SPI-12) in F1, F2, F3 and F4 as a 14.29-4.00

(14.29-5.56), 20.00-4.76 (20.00-4.76), 100.00-2.44 (100.00-10.00), and 10.00-3.85 (100.00-6.67) years respectively. Finally, it is observed that while, southeastern and western parts of Turkey (F1 and F2 regions) are more stable due to the highly-correlated variances of spatial patterns; middle and few pockets in northern areas of Turkey (described by F3 and F4) are less stable regions because of the low-correlated variance scores (below 10%).

1. GİRİŞ

Su hayatın vazgeçilmez kaynağı olduğu gibi aynı zamanda tüm canlıların ortak varlığıdır. Suyun verimli kullanımı ve sürdürülebilir yönetimi başta insanlık için olmak üzere daha da özel ölçekte Türkiye için çok önemlidir. İklim değişikliği üzerinde yapılan araştırmalar tüm dünyada iklim değişikliklerinin meydana geldiğini açıkça ortaya koymaktadır. Türkiye'de iklim değişikliğinin en önemli etkileri kendilerini su kaynaklarının azalması yönünde göstermektedir. Zaten Türkiye yüzeysel su miktarı bakımından uluslararası kabul görmüş standartlara göre su fakiri ülke sınıfında yer almaktadır. İklim değişikliğinin Türkiye'nin gelecekteki yüzeysel su kaynaklarına etkisinin hangi mertebede olacağının tahmini çok daha önemli duruma gelmektedir. Bu yönde geliştirilecek tahminler ve üretilecek stratejilerin Türkiye'nin su yönetiminin geleceğe yönelik projeksiyonuna ışık tutması beklenmektedir. Su kaynakları ve iklim değişikliği konularında yapılacak araştırmaların TÜBİTAK tarafından da öncelikli çalışma alanlarından birisi olarak gösterilmesi bu konunun öneminin altını bir kez daha çizmektedir. Gerek Birleşmiş Milletler'in gerekse Avrupa Birliği'nin su ve iklim değişikliği üzerindeki çalışmaları ve direktifleri de seçilen tez konusunun güncel ve önemli olduğuna işaret etmektedir.

Türkiye iklim değişikliğinin pek çok farklı yüzüyle karşı karşıya kalmaktadır. Ani ve çok şiddetli yağışlar, taşkınlar, kuraklık ve aşırı sıcaklık bu tehditlerden sadece iklim ve çevre üzerinde görülenlerden bazılarıdır. İklim değişikliğinin yıkıcı etkilerini ötelemek ve iklim değişikliği ile mücadele edebilmek için mevcut durumun tüm yönleriyle ele alınıp kavranması gerekmektedir. Akdeniz ülkeleri arasında en çok iklim değişikliğinden etkilenen ülkelerden biri olan Türkiye'de azalan su kaynakları sonucu tarım faaliyetlerinde de ciddi sıkıntılar ortaya çıkmaktadır. Yaz sıcaklıklarının artması, kış yağışlarının azalması, kıyı aşınımı (erozyonu) ile taşkın ve kuraklık sıklıklarının artış eğiliminde olması bütüncül olarak iklim değişikliği ile mücadelenin hayati meselelerden biri olduğunu göstermektedir.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Yapılan tezin amacı Türkiye'de iklim değişikliğinin yağış ve sıcaklığa etkisinin belirlenmesini, trend durumlarının muhtemel sonuçları ortaya koymaktır. Ayrıca bu çalışma kapsamında Türkiye genelinde kuraklık araştırmasının yapılması, kuraklığın alan ve zaman bileşenlerinin ortaya konulması hedeflenmiştir. Bunların yanında Akarçay havzası için geliştirilen yeni gidiş (trend) yöntemlerinin yalnızca Akarçay havzasına değil, Türkiye'nin bütün havzalarında benzer çalışmanın yapılabileceğini göstermek niyetiyle ön (pilot) çalışma olarak Ergene havzasında da gidiş analizi uygulaması ele alınacaktır. Bu konuda mevcut olan yaklaşım ve modellerin eleştirel değerlendirmelerinin sonrasında yapılacak değişikliklerin veya ilave yenilikçi çalışmaların pratik uygulama alanlarına sokulması yönünde önerilerde bulunulacaktır. Geliştirilen bu yaklaşımların uygulaması Akarçay Havzası özelinde Türkiye'nin tüm havzalarına yaygınlaştırılması için önerilerde bulunulacaktır.

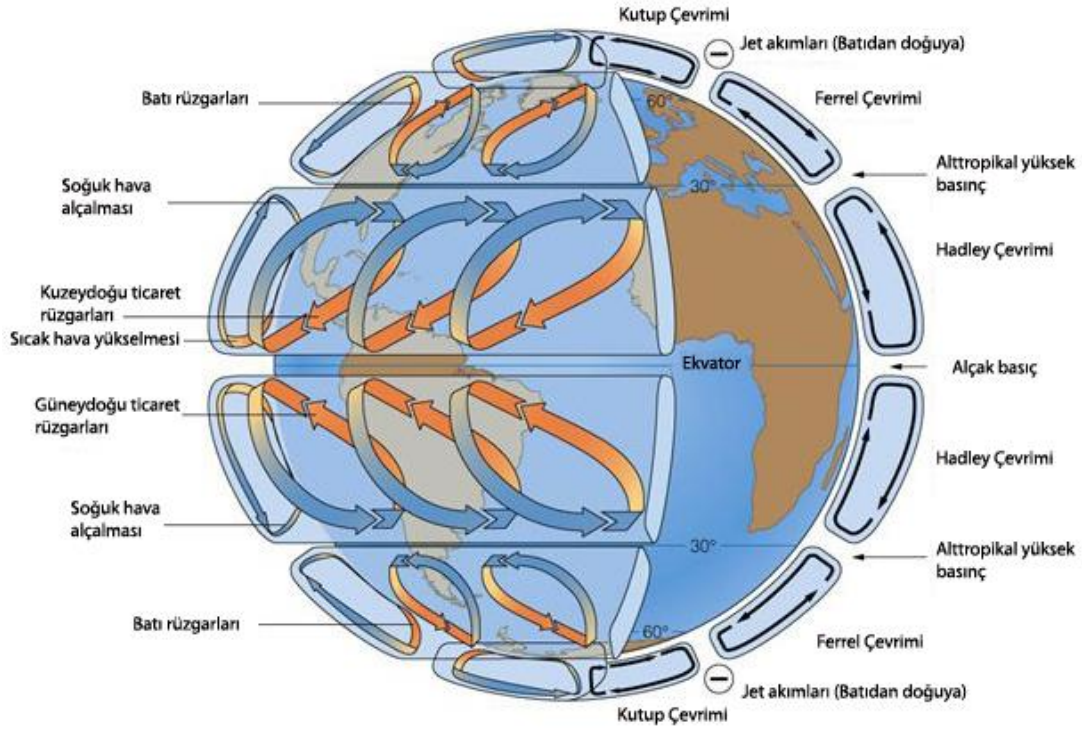
1.2 İklim Değişikliği 'ne Giriş

İklim değişikliğini tüm boyutları ile kavrayabilmek ve günümüze kadar yapılan çalışmaları kısaca özetlemek gerekmektedir. En temel iklim bilgileri ve iklim değişikliği bilimsel alt yapısı konusunda düşünülen temel bilgiler aşağıda alt başlıklar altında kısaca açıklanmaya çalışılmıştır.

1.2.1 Küresel dolaşım modeli (KDM)

Atmosferde cereyan eden hava ve iklim olaylarını matematik açıdan modellemek ve benzetimler (simülasyonlar) yapmak için Küresel Dolaşım Modelleri (KDM) (General Circulation-Climate Model, GCM) dünyanın değişik merkezlerinde geliştirilmektedir. KDM'lerde üç boyutlu uzay ortamında fiziki olarak temsil edilen model denklemlerine dördüncü boyut olan zaman faktörü de eklenerek sayısal çözümlemeler yapılmaktadır. İklim alt bileşenlerinin birbirleriyle etkileşimi belli varsayımlar ve kabuller yardımıyla model denklemlerinin içerisine dâhil edilmişlerdir. Genelde atmosferik modellerin yatay çözünürlüğü 250 km olup düşey çözünürlüğü 1 km civarındadır. Okyanus modellerinin çözünürlüğü ise 125–250 km ve 200–400 km arasında değişiklik göstermektedir (Şen ve diğ. 2010).

Atmosfer içerisinde dünyanın dönmesiyle birlikte ortaya çıkan genel hava dolaşımları Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Temel olarak 3 dolaşım görüldüğü üzere ekvatordan orta enlemlere doğru olan Hadley dolaşımı, orta enlemlerden kutuplara doğru olan orta enlemler dolaşımı ya da Ferrel dolaşımı ve kutup dolaşımıdır.



Şekil 1.1 : Küresel çevirimler (Url-1).

- Bu üç dolaşımların tamamı tüm KDM yaklaşımlarında dinamik matematik modeller ile temsil edilmektedir. Temel olarak bu denklemlerin dayandığı ilkeler,
- Momentumun korunumu (Hareket),
- Kütlenin korunumu (Süreklilik),
- Enerjinin korunumu (Termodinamik),
- İdeal gazların durum denklemleri,

olarak dört ana başlık altında toplanabilir.

1.2.2 IPCC raporları

Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli asıl adıyla "The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)" 1988 yılında Dünya Meteoroloji Örgütü (World

Meteorological Organization-WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme-UNEP) tarafından iklim değişikliği ile mücadele etmek amacıyla kurulmuştur. IPCC'nin kuruluş hedefleri arasında iklim değişikliği olgusunun bilimsel yönlerini araştırmak, gelecekteki muhtemel riskleri belirlemek, iklim değişikliğine uyum (adaptasyon) seçeneklerini ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin ötelenmesi için bilimsel değerlendirmeler ve raporlar ortaya koymak yer almaktadır.

IPCC ilk değerlendirme (1st Assesment Report-AR1) raporunu 1990 yılında yayınlamıştır. 1992 yılında 2. Değerlendirme raporu yayınlanmadan önce Tamamlayıcı Raporlar (Supplementary Reports) yayınlanmıştır. 2. Değerlendirme raporu (2nd Assesment Report-SAR), 1995 yılında, 3. Rapor (3rd Assesment Report-TAR) 2001 yılında ve 4. Değerlendirme Raporu (4th Assesment Report-AR4) 2007 yılında yayınlanmıştır.

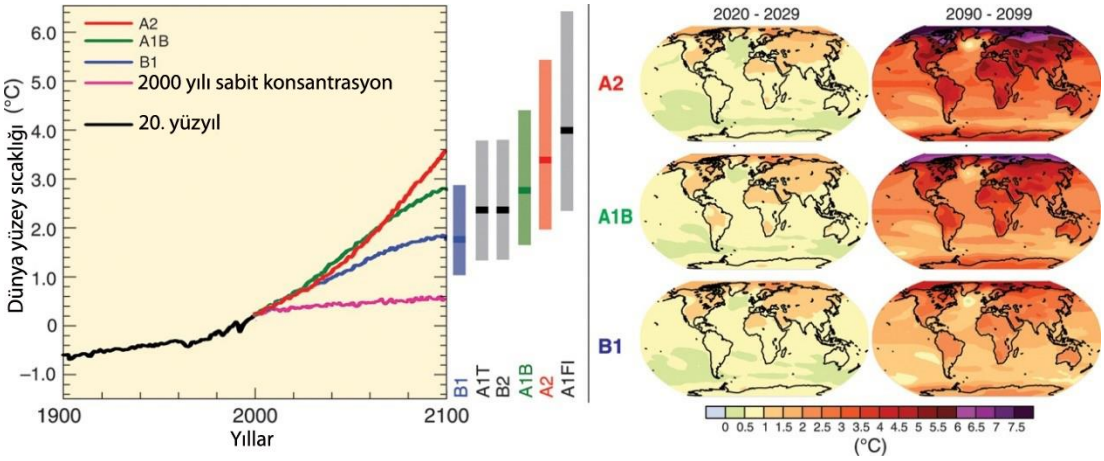
5. Değerlendirme Raporu (5th Assesment Report-AR5), iklim değişikliği ile ilgili tespit edilen bulgulara binlerce yeni çalışma ilave etmiştir. Dört farklı başlık altında toplanan raporlar 2013 ve 2014 yıllarında yayınlanmıştır. IPCC, son raporu AR4'te alıntı yapılan bulgular güncellenerek, daha fazla verinin ve gelişmiş tekniklerin mevcut olduğu alanlarda sonuçları geliştirilmiş ve yeni alanlardaki gelişmelerin altı çizilmiştir. Toplamda 85 ülkeden 831 bilim insanı AR5 raporunun 3 farklı çalışma grubunda yer almıştır.

2016 yılı Nisan ayından başlamak üzere 6. Değerlendirme Raporu (6th Assesment Report-AR6) çalışmalarına başlanmıştır. AR6'nın grup çalışmaları 2021 sonunda, sentez raporu da 2022 yılı içerisinde bitirilip yayınlanması planlanmış durumdadır.

1.2.2.1 SRES raporları

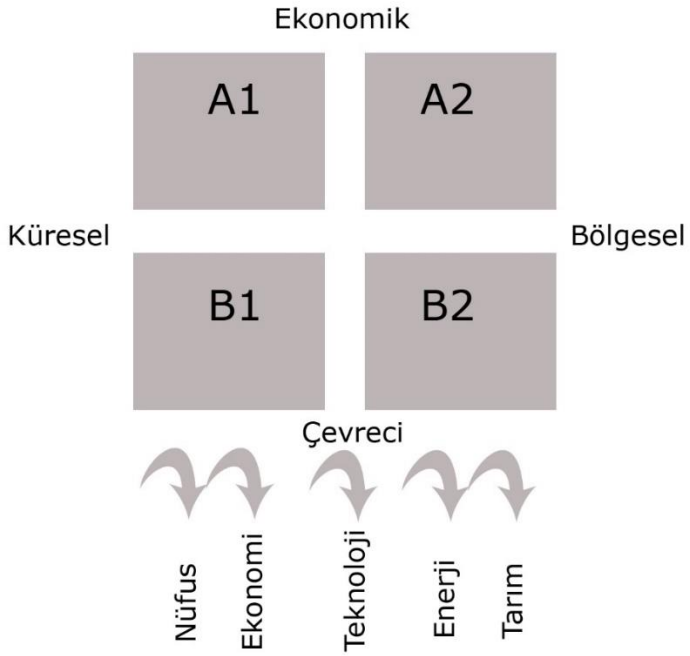
Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Teşkilatı ile Dünya Meteoroloji Teşkilatı (UNESCO ve WMO) ortaklaşa kurulan IPCC, 2000 yılında atmosferik çevrede salınımlarını keşfetmek için senaryolar hazırlamış, bu senaryoları Emisyon Senaryoları Özel Raporu (Special Reports on Emission Scenerios-SRES) adı altında yayınlamıştır. A1, A2, B1 ve B2 olmak üzere 4 farklı senaryo ile atmosfere salınan sera gazları ile askı maddeleri miktarına tesir eden etkenler dikkate alınarak SRES senaryoları geliştirilmiştir. Her bir senaryo, farklı nüfus, sosyal, ekonomik, teknolojik ve çevre gelişimlerinin sürekli artışı üzerine bina edilmiştir. SRES ortalama yüzey

sıcaklılarının artışına dair projeksiyon grafiği Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde A2 senaryolarının en kötümser senaryo olduğunu söylemek mümkün görünmektedir.



Şekil 1.2 : Farklı SRES senaryolarına göre küresel ortalama sıcaklık artışı projeksiyonları (IPCC, 2007).

SRES senaryolarının temsil ettiği alt bileşenler Şekil 1.3'te gösterilmiştir. Buna göre soldan sağa gidildikçe küresel ölçekten bölgesel ölçeğe, yukarıdan aşağıya gidildikçe de ekonomik bileşenlerden daha çok çevreci bileşenlere doğru bir temsiliyet söz konusu olmaktadır. Her bir senaryo dizisi farklı düzeylerde sera gazı salınımını ifade etmektedir. Önemli bir husus ise SRES senaryolarının hiçbir özel iklim yumuşatma politikasını dikkate alınmamış olmasıdır.



Şekil 1.3 : SRES senaryoları gösterimi.

A1 senaryoları: Bu senaryo kabullerinde, bölgeler arası ekonomik farklılıklar az ama sosyal ve kültürel gelişmişlik düzeyi birbirine yakındır. Hızlı teknolojik ve ekonomik gelişimi temsil eden bu senaryo, alt bileşen olarak üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlardan ilki, A1F1 yoğun fosil yakıt kullanımını temsil etmekte; ikincisi, A1T fosil kaynaklı olmayan enerji kaynaklarını kullanımını temsil etmekte ve üçüncüsü A1B sınıfı ise tüm enerji kaynaklarının dengeli kullanımını temsil etmektedir.

A2 senaryoları: Bu senaryo kümesinin tanımı arasında tüm yerel karakteristiklerin muhafaza edilerek kendi kendine yetebilen tektür (homojen) olmayan bir hayat kabulü yer almaktadır. Küresel nüfusun sürekli arttığı, ekonomik gelişimin daha çok bölgesel ölçekte olduğu, ekonomik ve teknolojik gelişimin daha hassas olduğu bir dünya hayatını tanımlamaktadır.

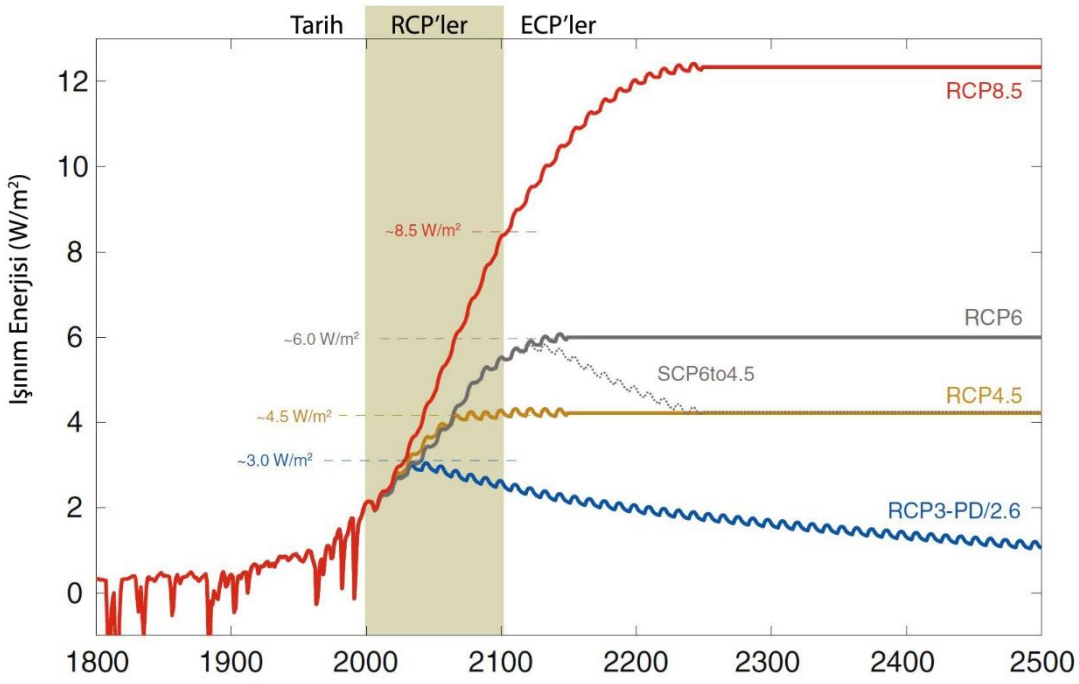
B1 senaryoları: A1 senaryo kabulleri dikkate alındığında benzerlik gösteren ancak ekonomik, teknolojik alanda daha hızlı artış gösterip yüzyıl yarısından sonra yavaşlamayı temsil eden bir senaryo türüdür. Buna ilaveten temiz enerji kaynaklarının daha çok kullanımını kabul edip atmosferdeki madde sayısının azalacağı varsayımı üzerine kurulmuştur. Sürdürülebilirliğin önem kazandığı bu senaryoda ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik önem arz etmektedir.

B2 senaryoları: B1 senaryosundaki gibi sürdürülebilirliğin önemli bir bileşen olarak kabul edildiği bu senaryoda, A2'den daha az bir nüfus artışı kabulü yapılmıştır. B1 ve A1 senaryolarına göre teknolojik gelişmişlik hem çeşitlilik kazanmış hem de daha hızlı olacağı kabul edilmiştir. Sosyal eşitlik ve çevresel korumanın ön planda olduğu bu senaryoda bölgesel ölçekler ön planda tutulmuştur.

Yukarıda açıklanan tüm senaryo çeşitlerinin kabullerinin sayısallaştırılmasında kullanılan veriler, Birleşmiş Milletler, Dünya Bankası gibi küresel ölçekte istatistiki veri üreten merkezlerden alınarak senaryo içerisine dâhil edilmiştir. Bütünleşik değerlendirme modellerinde A1'den üç olmak üzere diğer senaryolarla birlikte toplam 6 senaryo grubu ile bütünleşik bir değerlendirme imkânı elde edilmiştir (Şen ve diğ., 2010).

SRES senaryolarından A2 ve A1F1 ile güncel (Represantative Concentration Pathway-RCP) RCP8.5 senaryoları arasında çok yakın benzerlik vardır. RCP senaryoları 2300'lü yıllarda ışınım enerjisinin (Birim alana düşen güneş enerjisi

W/m^2) sabit değere ulaşılacağı varsayılarak paralel projeksiyon yöntemiyle ortaya konulmuş senaryolardır. SRES senaryolarında ise gelecekte herhangi bir konsantrasyon veya ışınım enerjisi sabitesi dikkate alınmamıştır. Her ne kadar senaryo üretim şekilleri birbirinden farklı olsa da sonuçlar itibari ile SRES senaryoları ile RCP senaryoları benzerlik göstermektedir. Şekil 1.4'te bazı RCP senaryolarının radyoaktif zorlama çeşitlerinin grafikleri gösterilmiştir.



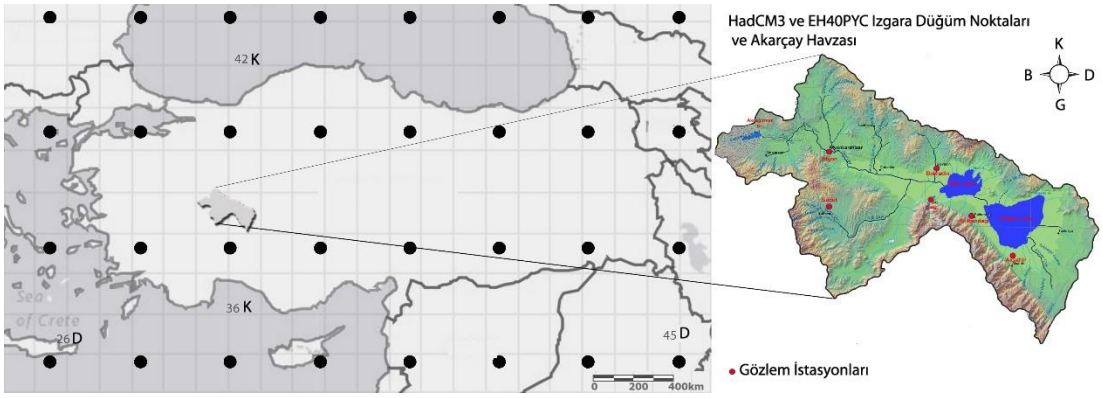
Şekil 1.4 : RCP tiplerine göre radyoaktif zorlama grafikleri (Meinshausen ve diğ, 2011).

1.3 Çalışma Alanı ve Özellikleri

1.3.1 Uygulama verisi

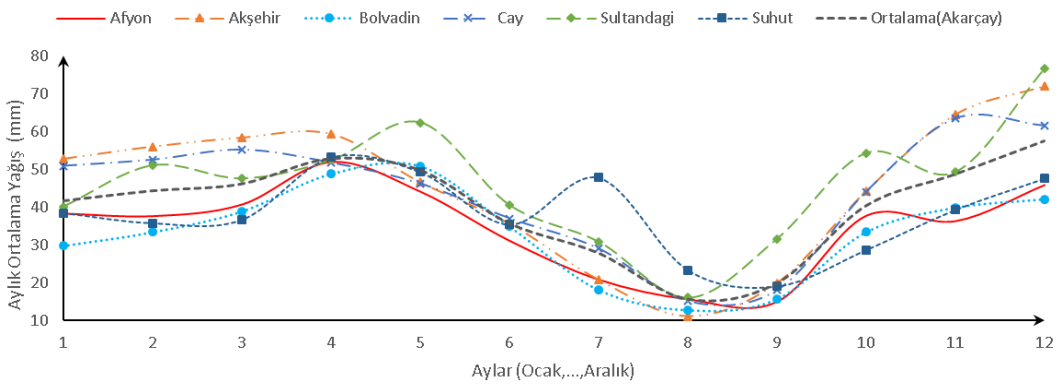
SRES senaryoları içerisinden Akarçay havzası gözlem istasyonlarının durumu dikkate alınarak Türkiye'nin ekonomik sosyolojik, teknolojik ve demografik özellikleri dikkate alındığında en uygun senaryo türleri olarak A2 ve B2 senaryoları seçilmiştir. Şekil 1.3'ten de anlaşıldığı üzere A2 ve B2 senaryoları bölgesel özelliklerin ön planda olduğu senaryoları temsil etmektedir. Türkiye'ye coğrafi olarak yakınlıkları göz önüne tutulan merkezlerden EH40PYC (Max-Planck-Institute for Meteorology, Germany) ve HadCM (Hadley Centre Coupled Model, England) A2 ve B2 senaryoları seçilmiştir. Gözlem ve senaryo verileri alt ölçekleme yöntemi ile havza ölçeğine indirilip aylık toplam yağış ve ortalama sıcaklık verileri 2100 yılına kadar tahmin edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan HadCM ve EH40PYC sıcaklık ve yağış senaryo verilerinin temin edildiği küresel merkezlerde Türkiye üzerinde veri üretilen 32 düğüm noktası Şekil 1.5'te verilmiştir. Aynı şekilde çalışma alanı olan Akarçay havzasının Türkiye üzerindeki coğrafi konumu da gösterilmektedir.



Şekil 1.5 : Akarçay havzasının Türkiye üzerindeki coğrafik konumu ve Türkiye üzerine düşen KDM düğüm noktalarının dağılımı.

Çalışma alanı olan Akarçay havzasında toplamda 6 farklı gözlem istasyonuna ait veriler kullanılmıştır. Afyon, Akşehir, Bolvadin, Çay, Sultandağı ve Şuhut istasyonlarından elde edilen 1981–2010 arası aylık yağış ve aylık ortalama sıcaklık verileri modelleme çalışmalarında kullanılmıştır. Gözlem istasyonlarına ait aylık ortalama yağış grafikleri Şekil 1.6'da gösterilmiştir. Bu istasyonların genelinde bahar aylarında yağışlar artarken yaz aylarında ciddi bir azalış göstermektedir. Ancak Şuhut ve Sultandağı istasyonlarının ortalama değerleri diğer dört istasyondan biraz daha farklılık göstermektedir.

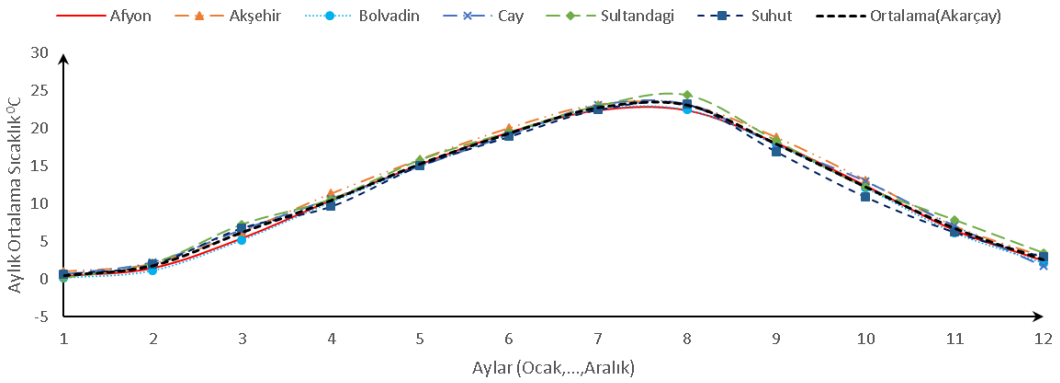


Şekil 1.6 : Gözlem istasyonlarına ait aylık ortalama yağış verileri (1981–2010).

Meteorolojik istatistiklere göre yıllık ortalama yağış havza genelinde yaklaşık 400 mm olarak verilmekte ve bu yağışların akışa geçen miktarının $490x10^6$ m^3/yıl olarak

belirtilmektedir (TÜBİTAK, 2013). Çalışmada kullanılan gözlem verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü veri arşivlerinden temin edilmiştir.

Gözlem istasyonlarına ait 1981–2010 yıllarına ait aylık ortalama sıcaklık verileri Şekil 1.7'de sunulmuştur. Sıcaklık verilerine ait grafikler incelendiğinde aylık ölçekte birbirine yakın değerlerin olduğu görülmektedir. Havzanın alansal küçüklüğü ve istasyonlar arası mesafenin kısalığı zaten sıcaklık farklarının fazla olmayacağı beklentisiyle birebir uyum göstermektedir.

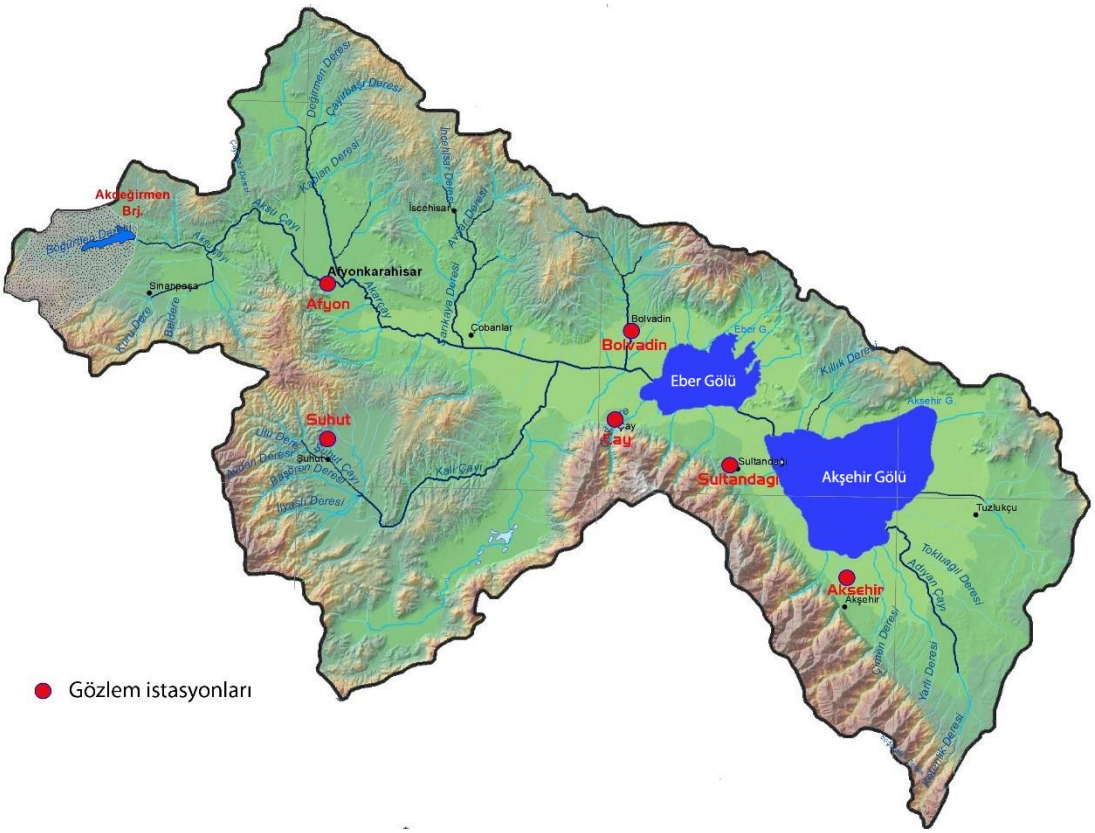


Şekil 1.7 : Gözlem istasyonlarına ait aylık ortalama sıcaklık verileri (1981–2010).

1.3.2 Fiziksel özellikler

Akarçay havzası Ege, Akdeniz ve İç Anadolu bölgelerinin birleştiği bir noktada, 30° 02'-31° 51' Doğu boylam ve 38° 04'-39° 09' Kuzey enlemleri arasında yer alan kapalı bir havzadır. Havzanın Türkiye üzerindeki konumu Şekil 1.5'te gösterilmiştir. Toplam 7989 km^2'lik alana sahip havzanın fiziki özelliklerinin daha belirgin olduğu ve havza içerisinde kullanılan gözlem istasyonlarının konumları Şekil 1.8'te sunulmuştur. Havzanın batı sınırı Afyonkarahisar il sınırlarında iken doğu sınırları Konya ili sınırları içerisinde kalmaktadır. Havzanın doğu-batı doğrultusundaki uzunluğu yaklaşık 160 km, eni ise 70 km civarındadır. Şekil 1.8'de de görüldüğü üzere Eber gölüne dökülen Akarçay'ın başlıca kolları Araplı deresi, Gali (Kali) çayı, Çay deresi, Yeniköy deresi, Engilli deresi ve Adıyan suyudur. Adıyan suyu aşağı Akarçay alt havzasında yer alıp Akşehir gölüne dökülmektedir. Eber ve Akşehir göllerini birbirine bağlayan bir kanal bulunmaktadır. Ancak azalan yağışlar ile birlikte her iki göl seviyesinin de azalmasından neredeyse kuruma noktasına gelmesinden dolayı Eber ve Akşehir göllerinden birbirine akış neredeyse sıfırlanmış durumdadır. Akarçay ve kollarının yıl içerisindeki akım rejimi düzensiz ve enerji üretmeye elverişli olmadığı için havzada bulunan barajlar genellikle içme suyu ve sulama amaçlı yapılardır. Nacak çayı

üzerinde içme suyu amaçlı Akdeğirmen barajı, Seyitler deresi üzerinde sulama amaçlı Seyitler barajı, Gali çayı üzerinde sulama amaçlı Selevir barajı ve 2016 yılı itibariyle Çay deresi üzerinde inşası devam eden Çay barajı havzada bulunan önemli yapılardandır. Havzada, ayrıca, sulama ve taşkın koruma amaçlı küçük çaplı pek çok gölet bulunmaktadır. Havzanın güney sınırları Sultan dağları ile kuzey sınırları da Emir dağları ile sınırlandırılmıştır. Havzanın orta kesimi geniş düzlükler ve ovalardan meydana gelmektedir.



Şekil 1.8 : Akarçay havzası fiziki haritası ve gözlem istasyonlarının konumları.

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

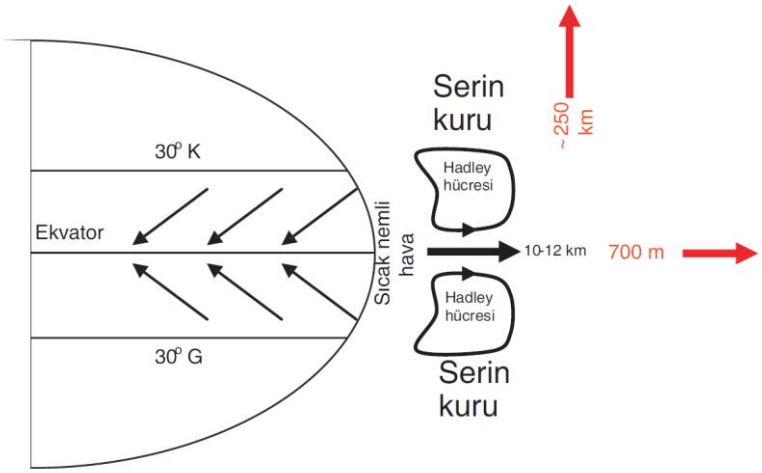
2.1 Genel

Dünya üzerinde elde edilen kayıtlara göre küresel ortalama yüzey sıcaklığı,1901'den beri 0.89˚C yükselmiştir. Bu sıcaklık artışının 0.6˚C'lik kısmı 1950'den sonra gerçekleşmiştir. Küresel yüzey sıcaklığı halen artma eğilimindedir. Dünya buzullarının yılda yaklaşık 275 milyon tonu yok olmaktadır. Grönland buzullarının buz kaybı yıllık 215 milyar tona, Antarktika'nın yıllık kaybı 147 milyar tona ulaşmıştır. Küresel deniz seviyesi yükselme miktarı, 1901 yılından bu yana 19 cm'ye ulaşmıştır ve halen yıllık 3.2 mm yükselmektedir. Olağanüstü hava olaylarında, 1950'den beri bazı bölgelerde sıcak dalgaların sıklıklarındaki (frekansındaki) artışlar ve birçok şiddetli yağışlar gibi birçok değişiklik meydana gelmiştir (IPCC, 2013).

İklim bir bölgede gözlenen uzun süreli atmosferik olayların ortalamasına verilen isimdir. Genelde ortalama kabul edilen zaman aralığı 30 yıl olduğu için uzun süreden kasıt 30 yıldan fazla olan zaman aralığını kapsamaktadır. Bir bölgenin ikliminde kısa süreli değişikler iklim değişikliğini yansıttığının söylenmesi zor iken bu değişiklikler hava durumu ile açıklanabilir. Atmosferin dinamik yapısı nedeniyle meydana gelen hava olayların tahmini oldukça zordur. Yapılan tahminlerin tutarlılığı kısa süreler için oldukça geçerli; uzun süreli tahminlerin hata payının yüksek olması gözden kaçmamalıdır. İklim değişikliği tahminlerinde de genel gidişatın ve ortalama değerlerin tahmin edilmesi esastır. Ortalama etrafında değişen hava olayların kaçınılmaz olduğu unutulmamalıdır.

İklim bilimi olarak bilinen klimatoloji; bir bölgenin sahip olduğu coğrafi şartlara göre atmosfer değişkenlerinin araştırılmasını kapsamaktadır. Alışılagelmiş genel hava olayların uzun yıllar sonucu değişmiş olması ancak iklim değişikliği ile açıklanabilir. Ekvator bölgesinde yer alan sıcak kuşak ülkeleri üzerindeki hava dolaşımı (sirkülasyonu) dünyanın ortalama sıcaklığının artması sonucu daha geniş bir çevrime sahip olup kurak ve sıcak hava akımlarını kuzeye doğru kaydırmaktadır. Özellikle,

Türkiye'nin iklimi güneyden gelen kurak ve sıcak hava hareketleri sonucu daha kötü durumlarla karşılaşacağı beklenilmektedir. Bu sirkülasyon Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Küresel ortalama sıcaklığın artışının hava sirkülasyonuna etkisi (Şen ve diğ., 2010).

İklim üzerinde meydana gelecek değişikliğin en belirgin etkisi yağışlar ve sıcaklıklar üzerinde olacağı kesindir. Dolayısı ile yağış ve sıcaklığa bağlı olarak, tarımdan, ekonomiye, yeraltı suyundan yüzey sularına kadar pek çok sektör ve alanın etkilenmesi beklenilmektedir. Bu kaçınılmaz gelecek için öncelikle mevcut sistemlerin durumunun tespit edilmesi ve gelecek projeksiyonlarına yönelik politikalar üretilmesi son derece önemlidir.

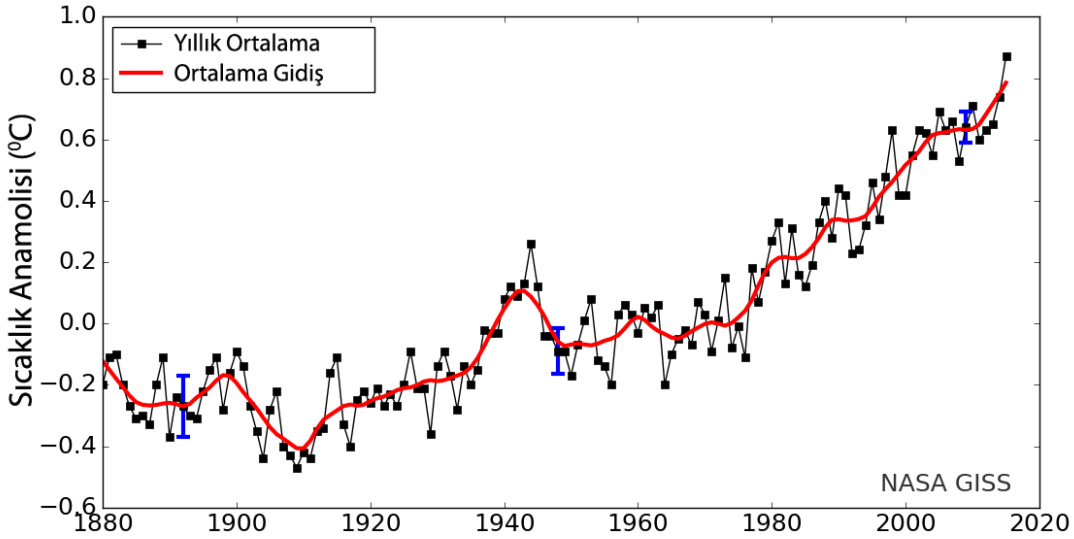
Dünya üzerinde bulunan ve hayatı etkileyen temel sistemler olan, atmosfer (Havaküre), hidrosfer (Suküre), kroyosfer (Buzküre), litosfer (Kayaküre) ve biyosfer (Canlıküre) sürekli birbirleriyle etkileşim içerisinde bulunarak iklim olaylarını meydana getirmektedir. Hayatın temel kaynağı olan güneş enerjisinin genel dolaşımı atmosfer ve yer küre arasındaki bu sistemlerde meydana gelmektedir. Güneşten gelen enerjinin yaklaşık %51'i yeryüzünde %19'u da atmosfer ve bulutlarda yutulurken (absorbe edilirken) %4'ü albedo ile %20'si bulut yansıması ile, %6'sı da atmosfer yansıması ile geri dönmektedir.

Güncel tabirleriyle "sera etkisi" ve "ozan tabakasının incelmesi" iklim değişikliğinin en basit iki kavramıdır. Atmosfere salınan ve güneş ışınlarını tutucu etkiye sahip gazların artışı ve aynı şekilde ozon tabakasının incelmesi dünyanın gittikçe daha fazla ısınmasına sebebiyet vermektedir. Küresel ısınma olarak da karşımıza çıkan bu durum dünya iklimi üzerinde çok çeşitli etkilere sahiptir. Buzulların erimesi, deniz yüzeyi sıcaklıklarının artması, olağanüstü iklim olaylarının görülmesi (fırtına, sel, tayfun,

tornado), kar örtüsünün azalması, kış uykusu sürelerinin kısalması ve deniz seviyesinin yükselmesi bu etkilere örnek olarak verilebilir. Bu değişimin önüne geçilmesinin tek yolu özellikle gelişmiş ülkelerin atmosfere saldıkları (CO_2) ve türevi sera etkisine sahip gazların salınımlarının kontrol altına alınmasına bağlıdır.

Gelişen teknoloji ile birlikte insan ile doğal çevrenin etkileşimi de sürekli artmakta ve farklı boyutlarda devam etmektedir. Örneğin, tarım alanında insan gücüne dayalı sistem artık yerini tamamen makineleşmeye bırakması dolayısı ile bu makineleşme neticesinde karbon ve sera etkisi yapan gazların (CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, PFCs ve SF_6) salımı sürekli artmıştır. Bunun yanında taşıtların artması, yapı teknolojilerinin ve yapısal alanların artması bir bütün olarak değerlendirildiğinde hepsinin iklimin doğal yapısını bozucu etkileri olduğu rahatlıkla görülebilir.

Atmosferde özellikle 19. Yüzyıl sonlarından itibaren sanayileşme ile birikmeye başlayan zararlı gazların etkisi 1980 ve 1990'lı yıllarda belirgin olarak fark edilmeye başlamıştır. Şekil 2.2'de görüldüğü üzere küresel ortalama sıcaklıklar sürekli bir artış eğilimindedir.



Şekil 2.2 : Küresel ortalama sıcaklığın yıllara göre değişimi (Hansen ve diğ., 2010).

1800 yılların başında atmosferde bulunan CO_2 miktarı ppm (milyonda bir parça) cinsinden 280'e tekabül ederken bugün Havai'de bulunan Mauna Loa gözlem istasyonunun verisine göre Temmuz 2016 itibari ile CO_2 miktarı 406.81 ppm değerine ulaşmıştır. Yapılan araştırmalara göre atmosfere salınan CO_2 miktarının yarısı deniz ve okyanus suyunda çözünerek veya kara ekosisteminde emilerek yutulmktadır (absorbe edilmektedir). Atmosferdeki CO_2 artışı, salınan CO_2 miktarının yarısı

mesabesinde olduğu ileri sürülmektedir. Orman yangınları ve bitki örüsünün değişmesi bu oranı tahmin edileceği üzere doğrudan etkilemektedir.

İklim değişikliği olaylarının gelecekteki faaliyetleri nasıl etkileyeceği hususu göz önüne alındığında birçok teori ve fikirler ileriye sürülmektedir. Bunları meydana getiren sebepler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Şen ve diğ., 2010):

- Atmosferde sera etkisine sebebiyet veren gazların çoğunluğu insan faaliyetleri sonunda ortaya çıkmaktadır.
- Tedbirlerin alınmaması halinde atmosferdeki CO_2 konsantrasyonunun 2050 yılına kadar sanayi devriminin başladığı 1800 yıllarındaki miktarın iki katına ulaşması beklenmektedir (2016 yılı itibari ile artış %45 mertebelerindendir).
- CO_2 miktarının ikiye katlanması halinde yeryüzü sıcaklığında 1.5 ile 4.5 °C arasında bir artış olması beklenmektedir.

Kara ve deniz sıcaklıklarının birbiriyle paralel artış göstermesi yapılan ölçümlerle tespit edilmiş ve sırasıyla 0,52 ve 0,61 ^oC/yy (yy: yüz yıl) olarak hesaplanmıştır. Kuzey yarım küredeki sıcaklık kayıtlarına bakıldığında, 1990 yılları son 1000 yılın en sıcak yılları olduğu görülmektedir. Atmosferde bulunan su buharı miktarı ile kuzey yarım kürede özellikle 1950'li yıllardan sonra gece gündüz sıcaklık farklılıklarının azalması birbiriyle uyumlu sonuçlar vermektedir (Türkeş, 1998).

Küresel atmosferik sıcaklığın 1 ^oC artması sonucu dünyanın ekolojik dengesinin mevcut durumdakine göre çok daha kötü şekilde etkileneceği aşikârdır. Tahrip olup yok olan orman alanlarının tekrar eski haline gelebilmesi güçleşecek, yağışların azalmasının bir sonucu olarak su kaynaklarının azalması gerçekleşecektir. Özellikle, Türkiye ikliminin, güneyinde yer alan Ortadoğu ve Arap ülkelerinin iklimine benzer bir duruma gelecek olması ayrıca önemli bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun somut karşılığı olarak eş sıcaklık eğrilerinin 700–750 m yükselmesi beklenilmektedir. Göl ve akarsuların sıcaklık ortalamalarının artması ise biyolojik çeşitliliğin değişmesine sebebiyet verecektir. Kuraklık ve taşkın gibi olağanüstü iklim olaylarının sıklıklarının artacak olması su kalitesinin de değişmesine sebebiyet verecek, mevcut arıtma sistemlerini değişen su kalitesine göre tekrardan iyileştirmek (rehabilite etmek) zarureti ortaya çıkacaktır. Artan sıcaklıklarla birlikte buharlaşmanın hızla armasının beklenmesi su kaynaklarının tuz çözünürlülüğünü artırarak tuzluluk problemi orta çıkaracaktır. Yine taşkın olayları esnasında aşınma (erozyon) önemli bir

çevresel felaket olarak karşımıza çıkabilecektir. Kıyı alanlarında deniz seviyesinin yükselmesi, kıyı taşkınları, gelgit genliğinin değişimi sosyo kültürel ve ekonomik hayatı derinden etkileyecek doğa olayları olarak karşımıza çıkacaktır (Şen ve diğ., 2010).

İklim değişikliğinin etkisi sadece doğa üzerinde değil insan üzerinde de özellikle sağlık alanında büyük etkileri olabilecektir. Sıcak hava dalgalarının artacak olması solunumla alakalı rahatsızlıkları artırıcı etki yapacağı tahmin edilmektedir. Taşkınlar ve fırtınalar doğrudan insan hayatını etkileyen ölümle sonuçlanabilecek felaketler olduğundan bu tip olaylar sonucu kaybedilen maddi manevi değerlerin yıkıcı etkisi ile psikolojik vakaların da artış göstermesi öngörülmektedir. Özellikle viritük hastalıkların sıcaklık artışları ile birlikte yayılmasının da daha kolay hale geleceği tahmin edilebilir. Örneğin, özellikle Afrika ülkelerinde sivrisinek vasıtası ile yayılan Malarya hastalığının yayılımı, eğer sıcaklık artışı 3–5 ^{o}C arasında gerçekleşirse, dünya nüfusunun yaklaşık %50'si tehdit altına gireceği tahmin edilmektedir (IPCC, 2007). Bu örnekler gibi iklim değişikliğini sadece doğa ile açıklamak eksik kalacaktır. İnsanlık bu değişiklikten her alanda olumsuz olarak etkilenerek nasibini alacaktır.

2.2 Türkiye ve İklim Değişikliği

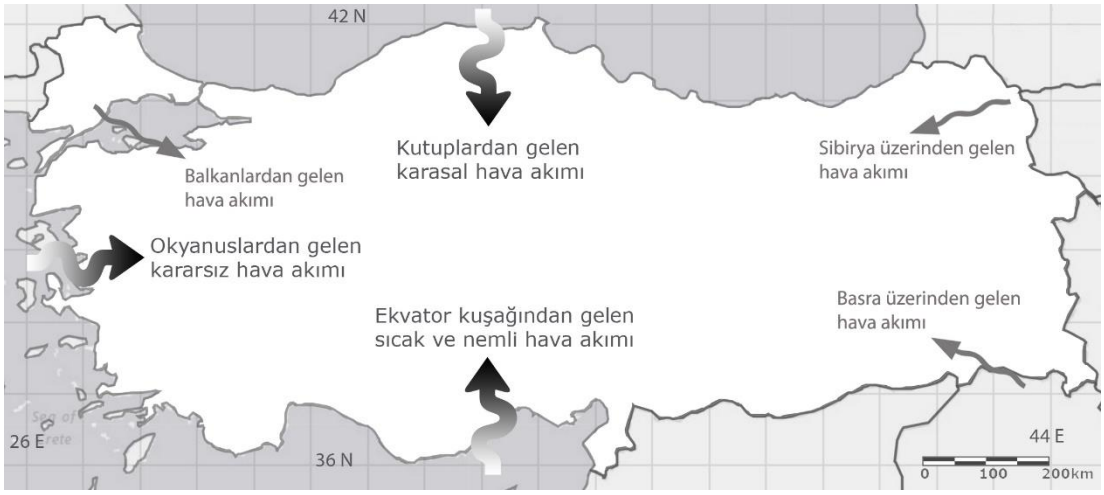
İklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden Türkiye'de elbette tüm dünya ülkeleri gibi nasibini alacaktır. Hatta coğrafi koşulları sebebiyle beklenen etkiler ciddi oranda sosyal hayatı ve ekosistemi olumsuz yönde etkileyeceği tahmin edilmektedir. Beklenen etkilere en çarpıcı örnek çölleşmenin artması ve su kaynaklarının azalış gidişinde (trendinde) olması gösterilebilir. Örneğin, Ege ve İç Anadolu bölgelerinde yer alan Tuz, Akşehir ve Eber göllerinin yüzey alanlarının giderek küçülmesi iklim değişikliğinin etkilerinin en somut örneklerindendir.

Kuraklığın artması ile birlikte tarımsal sulama ihtiyacının artması, kontrolsüz yeraltı kuyularından pompajla aşırı su çekimine sebebiyet vermektedir. Bu durum yeralt su seviyesinin düşmesine, dolayısı ile bitki köklerinin suya erişmekte yetersiz kalmasına ve nihayetinde kurumasına sebep olmaktadır. Ayrıca deniz seviyesinde beklenen bir yükselme sahil kesimlerindeki yeraltı su kaynaklarının da tuzlanacağı anlamına geleceğinden, tatlı su kaynaklarında gelecekte büyük sıkıntıların ortaya çıkması muhtemeldir. Bunun en somut örneği olarak Konya ovası verilebilir. Aşırı pompaj yeraltı su seviyesinin çok fazla düşmesine sebep olduğu için yüzeysel su kaynakları da

beslenemez hale gelmiştir. Bu durumun doğal sonucu olarak, gelecekte tarımsal faaliyetlerin çeşitliliğinin değişmesi beklenilmelidir. Tarımın dışında şehirlerin içme suyu ihtiyaçlarının zamanla artmasına karşın, su kaynaklarının azalması ciddi su sıkıntısı meydana getirecektir.

Orman yangınlarının artmış olması da yine sıcaklıkların artmasıyla açıklanabilir bir felaket olarak karşımıza çıkmaktadır. Her yıl Akdeniz ve Ege bölgelerinde meydana gelen yangınlar sonucu hektarlarca orman kül olmaktadır. Yangının çıkmasında terör ve ya insan faktörünün de önemli payı olsa da bilinçsizce orman alanlarına bırakılan yansıtıcı cam gibi atıklar da mercek vazifesi görüp aşırı sıcaklıklarda ilk kıvılcımı başlatabilmektedir. Bu yüzden insanların bilinçli olması ve eğitimi de iklim değişikliği ile mücadele de son derece önemlilik arz etmektedir.

Türkiye üzerinde etkili olan ve iklimi doğrudan etkileyen hava akımları Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Yaz aylarında ya da sıcak hava dalgalarının kaynağı Ekvator yönünden gelen sıcak hava hareketleri, kış aylarında da kuzeyden ya da Sibirya üzerinden gelen hava akımları daha etkili olmaktadır. Karadeniz bölgesinin kıyıya paralel uzanan yüksek dağları sebebiyle kuzeyden gelen soğuk hava akımı yükselerek bölgenin bol miktarda yağış almasına sebep olmaktadır. Yaz aylarında ise Türkiye'nin güneyinde yer alan Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri uzun süre kurak dönem yaşamaktadır.



Şekil 2.3 : Türkiye üzerinde etkili olan hava akımları.

Karadeniz bölgesi denize paralel dik yamaçlarının olması sebebiyle özellikle fırtına sonucu sık sık taşkınlar ile gündeme gelmektedir. Toprak kayması, nehir erozyonu ile birlikte yalnızca doğa tahrip olmamakta, bilinçsiz ve plansız dere yataklarına yerleşim

sonucu onlarca insan da hayatlarını kaybetmektedir. Bu tip sel ve toprak kayması gibi olayların gelecekte daha sık gündeme gelmesi muhtemeldir.

Sıcak günlerin artacak olması insan faaliyetlerini kısıtlamakla birlikte üretkenlik ve verim kaybına da sebebiyet verebilecektir. Doğal olarak enerji tüketimi hızla artacaktır. Sıcaklık artışına paralel olarak Türkiye'de de dünyadaki gibi bazı salgın hastalıklar daha kolay ortaya çıkabilecek veya yayılabilecektir. Yukarıdaki etkilerin ya da beklenilen sonuçların tamamı bir bütün olarak değerlendirildiğinde, karşımıza bütüncül sosyo-ekonomik güçlükler çıkacağı aşikârdır.

Türkiye'nin değişik iklim bölgelerinde gözlenen kuraklık süreleri genellikle birbirinden farklılık gösterir. Bunun en önemli sebebi yükselti olduğu gibi Karadeniz dağlarının ve Akdeniz Torosları'nın kıyıya paralel uzanması ve Ege Bölgesi'nde ise kıyıya dik uzanması gösterilebilir. Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Ege kıyılarında ve İç Anadolu bölgesinde kurak dönem Türkiye ortalamasının üzerinde olup yaklaşık 6–7 ay olarak tespit edilmiştir. Marmara Bölgesi ve Doğu Anadolu'nun güney kısımlarında bu süre 5–6 ay arasında değişirken, Doğu Anadolu'nun kuzeyi ve Karadeniz Bölgesinde bu süre 2–4 aya kadar gerilemektedir (Sırdaş, 2002).

Yakın zamanda Türkiye'nin maruz kaldığı normal olmayan iklim olayları şu şekilde sıralanabilir:

- 2004 yılında kar yağışının azalmış olması ve dağlardaki kar sınırının yükselmesi,
- 2007 yılında aşırı sıcaklıklar nedeniyle Marmara bölgesinde özellikle aşırı kuraklık görülmesi,
- 2010 yılında sıcak hava dalgalarının etkisiyle orman yangınlarının artması,
- 2010 yılında Karadeniz bölgesinde (özellikle Rize) sıklıkla aşırı yağışlar sonucu taşkınların görülmesi (Sibille ve Walmsley, 2014),
- 2015 yılında Doğu Karadeniz bölgesinde (Artvin) aşırı yağışlar sonucu taşkın ve heyelan görülmesi.

IPCC 4. Değerlendirme Raporu'na göre Türkiye'de sıcaklıklar 2.5 ^{0}C ile 4 ^{0}C arasında artış gösterebilecektir. Bozkurt ve Şen'in (2011) çalışmalarında ulaştıkları sonuçta ise yaz ve sonbahar deniz suyu sıcaklıklarının arttığının ve bunun ani taşkınlara sebebiyet verebileceğinin altını çizmişlerdir. Türkiye'deki yağışların gelecekteki durumlarını

ortaya koymaya çalışan Hemming ve diğ. (2010) 21 yüzyılın ilk yarısında Türkiye'nin batısında yağışların %5 ila %25 arasında azalacağını belirtmiştir. İklim değişikliğinin Türkiye üzerindeki etkileri ve bu etkilerden hangi sektörlerin daha fazla etkileneceği aşağıdaki Çizelge 2.1'de açıklanmaya çalışılmıştır (ÇŞB, 2012).

Çizelge 2.1 : İklim değişikliğinin Türkiye üzerinde beklenen etkileri.

Etkiler	Yoğunluk	Etkilenecek Bölgeler	Sektörler
Akarsu rejimlerinin değişmesi	Düşük	Bütün Bölgeler	Ekosistem ve biyolojik çeşitlilik
Yüzeysel suların azalması	Orta	Batı Anadolu	Tarım ve sulama sistemleri
Şehir şebekeleri suyu kıtlığı	Yüksek	İstanbul, Aydın, Nevşehir, Bursa	Şehirler
	Orta	Afyonkarahisar, İzmir, Kayseri, Muğla, Manisa	Tarım, Endüstri ve Enerji
Taşkınlar	Orta	Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri	Sağlık ve Tarım
Toprak Kaybı/Tuzlanma	Düşük	Akdeniz, Karadeniz ve Ege Bölgeleri	Turizm, Biyolojik Çeşitlilik, Deniz Endüstrisi ve Ekosistem
	Orta	Güneybatı Anadolu	Tarım, Sağlık ve Ekosistem
Kıyı erozyonu	Düşük	Karadeniz Bölgesi	Balıkçılık ve İşsizlik
Orman yangınları	Orta	Batı Anadolu	Turizm ve Tarım
Deniz ekosisteminin bozulması	Düşük	Akdeniz, Karadeniz ve Ege Bölgeleri	Ekosistem
Tür göçleri	Düşük	Akdeniz Bölgesi	Turizm, Tarım ve Gıda Güvenliği
Tarımsal üretkenliğin azalması	Orta	Akdeniz ve Ege kıyıları	Tarım ve Gıda Güvenliği
Hidroelektrik potansiyelin azalması	Düşük	Akdeniz Bölgesi	Enerji ve Endüstri
Deniz üretkenliğinin azalması	Düşük	Akdeniz Bölgesi	Sulama sistemleri, Tarım ve Gıda Güvenliği

Akarçay havzası da coğrafi konumu itibari ile Akdeniz, Ege ve İç Anadolu bölgelerinin kesişim noktasında bulunmasından dolayı yaz aylarında güneyden gelen sıcak hava akımlarının etkisinde gittikçe uzayan kurak dönemler yaşarken, kış aylarında ise kuzeyden gelen ağır ve sert karasal iklim yaşamaktadır. Yaz ve kış aylarındaki ortalama sıcaklık farkının fazla olması havzanın önemli karakteristik özelliklerindendir. Balkanlar üzerinden Türkiye üzerine ulaşan soğuk hava kütlesi ile güneyden gelen sıcak hava kütlesinin Ege ve Akdeniz bölgeleri üzerinde çarpışması sonucu bahar aylarında cephesel yağışlara sebep olmaktadır.

2.3 İklim Değişikliği Çalışmalarında Tarihi Süreç

3–14 Haziran 1992 yılında toplanan Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda (Rio Konferansı) dünyadaki en önemli çevre sorunlarından olan iklim

değişikliği ve çölleşme sorunları ilk defa gündeme getirilmiştir. Küresel ısınmayı engellemek amacıyla, beşeri faaliyetler sonucunda atmosfere salınan sera gazı miktarının sınırlandırılmasını hedefleyen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) (United Nations Framework Convention on Climate Change) imzaya açılmış ve 21.03.1994 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

Kyoto Protokolü'nün tarafı olan Türkiye'de de iklim değişikliği konusunda yapılan çalışmalar bu yıllarda başlamıştır. Türkiye atmosferde tehlikeli bir boyuta varan insan kaynaklı sera gazı salımlarının (emisyonlarının) iklim sistemi üzerindeki olumsuz etkisini önlemek ve belli bir seviyede durdurmak için akdedilen "İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne 24.05.2004 tarihinde 189. taraf olarak resmen katılmıştır.

Kyoto Protokolü'nün hayata geçebilmesi için sera etkisine sebebiyet veren gazların %55'i oranında salımı yapan ülkeler tarafından imzalanması şartı bulunduğundan son olarak 18.11.2004 tarihinde Rusya Federasyonu'nun da onaylamasıyla Kyoto Protokolü 16.02.2005 tarihinde resmen yürürlüğe girmiştir. Türkiye 26.08.2009 tarihinde Kyoto Protokolü'ne resmen taraf olmuştur (DSİ, 2012).

İklimle mücadele hususunda son zamanlarda yapılan mücadelenin değerlendirildiği ve gelecekte nasıl bir politika izleneceğinin belirlenmesi hususunda Aralık 2015'te IPCC Taraflar Toplantısı (COP21) Paris'te yapılmıştır. Bu toplantı sonunda ismi Paris Anlaşması olan yeni bir anlaşma Birleşmiş Milletlere üye tüm ülkelerin oy birliği ile 12.12.2015 tarihinde kabul edilmiştir. Varılan bu uzlaşma sonucu Paris Anlaşması'nın nihai metni 22.04.2016 tarihinde New York'ta imzalanmıştır. Paris Anlaşması'na göre küresel sıcaklık artışının 1.5–2 ^{0}C arasında tutulması kararlaştırılmıştır. Paris Anlaşması'nın imza koyan taraf ülkelerde geçerli olabilmesi için her ülkenin meclisinde anlaşmanın oylanıp kabul edilmesi gerekmektedir.

İklim değişikliğinin zararlı etkilerinin önlenmesi için gerekli tedbirlerin alınması, yapılacak çalışmaların daha verimli olabilmesi, kamu ve özel sektör kurum ve kuruluşları arasında eşgüdüm (koordinasyon) sağlanması amacıyla 2001/2 sayılı Genelge ile "İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu (İDKK)" kurulmuştur. İDKK'nın ve görevleri arasında Türkiye'nin şartları da dikkate alınarak uygun iç ve dış politikaların belirlenmesi de yer almaktadır. Kurulun yapısı; 06.01.2012 tarih ve 28165 Sayılı Resmi Gazetede yayınlanan 2012/2 sayılı Genelge ile son dönemde kurulan yeni

bakanlıklar, bakanlık adı ve teşkilat yapılarındaki değişikliklerle uyumlu hale getirilerek yeniden düzenlenmiştir.

2.4 İklim Modellemesi

İklim değişikliği modellemesi oldukça karmaşık bileşenlere sahip bir modelleme çeşididir. İlk aşaması KDM (Küresel Dolaşım Modellemesi) olarak bilinen dünyanın sayılı merkezlerinde çalıştırılan küresel modelleri kapsamaktadır. Dünya üzerinde farklı merkezde yüksek kapasiteli bilgisayarlar vasıtası ile oldukça düşük çözünürlüklü senaryo verileri üretilmektedir. Güncel iklim verisi üreten merkezlerin ve modellerinin isimleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : İklim verisi üreten merkezler ve modeller (IPCC,2007).

Merkez	Kısaltma	Model
Pekin İklim Merkezi, Çin	BCC	CM1
Bjerknes İklim Araştırmaları Merkezi, Norveç	BCCR	BCM2.0
Kanada İklim Modelleme ve Analiz Merkezi, Kanada	CCCma	CGCM3
Ulusal Meteoroloji Araştırmaları Merkezi, Fransa	CNRM	CM3
Avustralya Ulusal Bilimsel ve Endüstriel Araştırmaları Kurumu, Avustralya	CSIRO	Mk3.0
Max-Planck Meteoroloji Enstitüsü, Almanya	MPI-M	ECHAM5-OM
Bonn Üniversitesi Meteoroloji Enstitüsü, Almanya	MIUB	
KMA Meteoroloji Araştırmaları Enstitüsü, Güney Kore	METRI	ECHO-G
MPI-M Model ve Veri Grubu, Almanya	M&D	
Atmosfer Fizikleri Enstitüsü, Çin	LASG	FGOALS-g1.0
Jeofizik Dinamik Akışkan Laboratuvarı, ABD	GFDL	(CM2.0)-(CM2.1)
Goddard Uzay Araştırmaları Enstitüsü, ABD	GISS	(AOM) / (E-H) / (E-R)
Sayısal Matematik Enstitüsü, Rusya	INM	CM3.0
Pierre Simon Laplace Enstitüsü, Fransa	IPSL	CM4
Tokyo Üniversitesi Atmosfer ve Okyanus Araştırmaları Enstitüsü, Japonya	AORI	
Ulusal Çevre Araştırmaları Enstitüsü, Japonya	NIES	MIROC3.2
Deniz-Kara Bilimleri ve Teknolojileri Ajansı, Japonya	JAMSTEC	
Meteoroloji Araştırmaları Enstitüsü, Japonya	MRI	CGCM2.3.2
Ulusal Atmosfer Araştırmaları Merkezi, ABD	NCAR	(PCM)-(CSCM3)
Birleşik Krallık Meteoroloji Ofisi, İngiltere	UKMO	(HadCM3)-(HadGEM1)
Ulusal Jeofizik ve Volkan Araştırmaları Enstitüsü, İtalya	INGV	SXG 2005

Diğer aşaması ise alt ölçekleme olarak isimlendirilen çalışmalardır. Alt ölçekleme de kendi içerisinde istatistik, dinamik ve hibrit (istatistik ve dinamik) olmak üzere alt kategorilere ayrılmaktadır. İklim modellerinin tahmin sonuçlarının içerdiği hata boyutunun en az %15 mertebesinde olduğu göz önüne alınmalıdır. KDM'ler kendi içerisinde bazı kabulleri içeren senaryolar altında çalışmaktadır. Bunlardan halen güncelliğini koruyan SRES senaryo modelleri bu çalışmada kullanılmıştır. Burada

kullanılan alt ölçekleme modeli istatistiki bir alt ölçekleme yöntemi olarak iklim parametrelerinin bölgesel değişimini ayarlamak için BBF (Bölgesel Bağımlılık Fonksiyonu), zaman değişimini ayarlamak için ise BMS (Beyaz Markov Süreci) aşamalarından meydana gelmektedir.

İklim modellerinden isabetli sonuç alınabilmesi iklim sisteminde bulunan ve baskın rol oynayan NAO, ENSO, buzul erimeleri, bitki örtüsü gibi girdilerin doğru şekilde modellenmesine bağlıdır. Zaman ve mekân çözünürlüklerinin de ayarlanması geleceğe dair iklim tahminleri yapmak için son derece önemlidir. KDM merkezlerinde üretilen düşük çözünürlüklü verilerin alt ölçekleme yöntemi ile yüksek çözünürlükte mühendislik hesaplamalarında kullanılabilecek verilerin elde edilmesi işlemi hassas bir ayarlama (tuning) konusudur.

Atmosferik olayların karmaşık yapısı, fizik kanunlarından enerji, kütle ve momentumun korunumu ilkelerine göre matematik olarak modellenebiliyor olmasına karşın, bu olayları temsil eden diferansiyel denklemlerin analitik çözümünün olmaması sistemin karmaşıklığını ve modellemenin zorluğunu gözler önüne sermektedir. Analitik çözüm yapılamadığı takdirde tek seçenek gözlemlere dayalı sayısal çözümleme yapmaktır. Bu sayısal çözümleri yapabilmek için de hafızası ve işlem kapasitesi çok yüksek bilgisayarlara ihtiyaç vardır. Sayısal çözümlemenin uzun süreçler sonucunda tamamen rastgele çözümler üretebileceği de Şen ve diğ. (2010) tarafından ileri sürülmüş iklim olaylarının kontrol altına alınamayacağının altı çizilmiştir. Bu durumda gözlemlere dayalı kabuller gelecek tahminleri için belirli bir hata yüzdesi içerisinde ortalama sonuç verebileceği dikkate alınmalıdır. Özellikle tektür (homojen) ve üniform veri kabulü büyük ölçekli hesaplamalarda sıkıntılı sonuçlar verebileceği, ancak küçük ölçekli hesaplamalarda daha makul sonuçlar verebileceği unutulmamalıdır. Ortalama değerler ile planlama yapmanın sakıncası ise ortalamanın etrafında dalgalanan ani sapmaların yok edilmiş olmasıdır. Örneğin, taşkın ve kuraklık biri ortalamanın üzerindeki ani sapmayı diğeri de ortalamanın altındaki sapmayı temsil etmektedir.

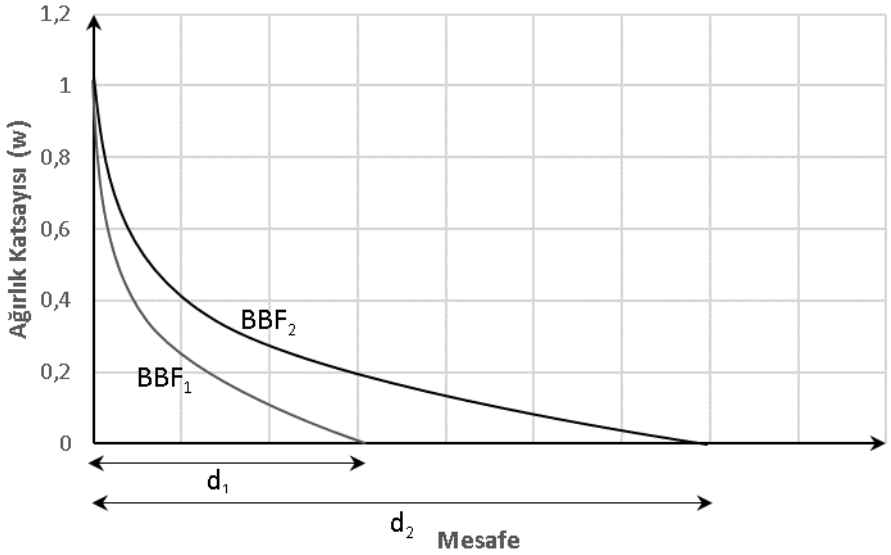
3. ALT ÖLÇEKLEME VE TAHMİN

3.1 Su Vakfı İstatistiki Alt Ölçekleme Modeli

Önceki bölümde açıklanan KDM ile SRES A2 ve B2 senaryolarına ait aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış verileri Hadley ve Max Plank merkezlerinden elde edilen senaryo verileri kullanılarak alt ölçekleme yapmak üzere hazır hale getirilmiştir. Gözlem istasyonlarından elde edilen yağış ve sıcaklık verilerinin çalışmada göz önünde tutulan tüm istasyonlarda ölçülen veriler ile aralarındaki mesafeleri esas alarak bölgesel bağımlılık fonksiyonlarının (BBF) hesaplanması alt ölçekleme sürecinin ilk adımını meydana getirmektedir.

BBF fonksiyonlarının farklı özelliklere sahip çeşitli şekillerine literatürde rastlamak mümkündür. Mesela, BBF fonksiyonlarının teorik olarak parabol şeklinde olabileceği ileri sürülen örneklerden birisidir (Gilchrist ve Creesman, 1954). Tesir yarıçapları ile alakalı ilk bilimsel çalışma ise Creesman (1959) tarafından, tesir yarıçaplarının 1500 km, 750 km ve 500 km olarak ileri sürülmesiyle ortaya çıkmıştır. Bir başka çalışmada ise başlangıç tahmin değerlerinin ara değer hesaplama (enterpolosyon yapılmak) suretiyle ardışık olarak yinelenerek tesir yarıçapı belirlenmeye çalışılmıştır (Bergthhorsson ve Döös, 1955). Literatürde öne çıkan diğer bir yaklaşım da Barnes (1964) tarafından Gauss olasılık fonksiyonlarına benzer BBF'ler karşımıza çıkmaktadır. En akılcı ve bölgesel tahmin yapmaya elverişli olanı Barnes'in yaklaşımıdır. Bu yöntemlerin en önemli eleştirilen yönü tamamının bölgesel gözlem verilerine dayanmadan teorik olarak birtakım varsayımları ileri sürmeleridir.

Bu çalışmada kullanılan BBF hesaplamalarının temeli Şen (1989), Öztopal (1998) ve Şen ve Öztopal (2001) çalışmalarına dayanmaktadır. BBF'lerin teorik olarak karakteristik eğrileri Şekil 3.1'de verilmiştir. Yatay eksen mesafeyi düşey eksen ise ağırlık katsayısı oranını (w) göstermektedir.



Şekil 3.1 : Teorik BBF'ler ve ağırlık katsayısı-mesafe ilişkisi.

BBF yaklaşımı yakın zamanda Arap yarımadasındaki iklim projeksiyonlarının belirlenmesi için de Şen ve diğ., (2012) tarafından da kullanılmıştır. BBF'lerin sıfıra yakın değerler aldığı noktanın başlangıç noktasına uzaklığı tesir yarıçapı olarak tanımlanır. Değişkenin bölgesel bağımlığı ne kadar az olursa tesir yarıçapının da o nispette küçük olması beklenir. Tesir yarıçapının dairesel olarak 360 derece etrafına etki ettiği kabulü yapılmıştır. BBF'ler yardımı ile elde edilen meteorolojik parametrelerin genel matematik formülü aşağıda verilmiştir.

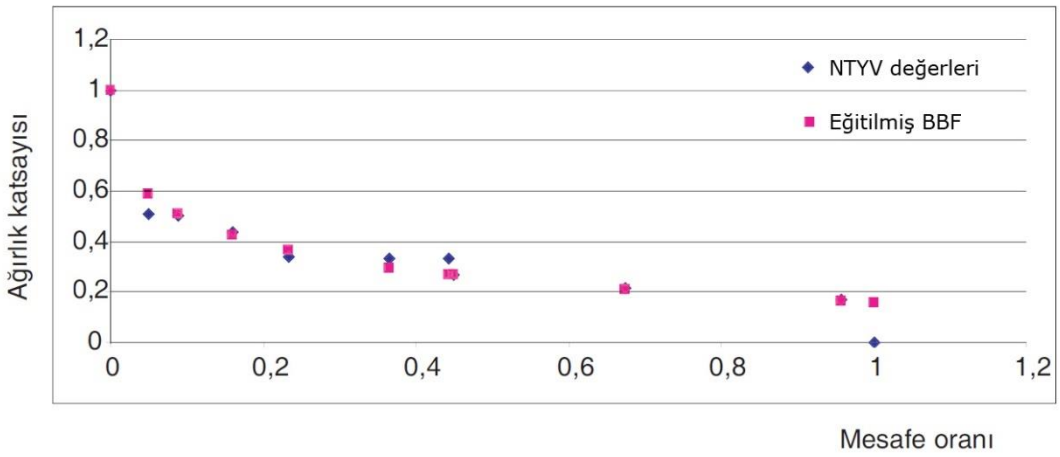
$$Z_e = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \right) Z_i \qquad (3.1)$$

Alt ölçekleme işleminde kullanılan bu formülde Z_e, tahmin edilecek istasyondaki meteorolojik değişkeni, Z_i, n tane komşu istasyondaki değişkeni ve w, ağırlık katsayısını temsil etmektedir. Denklemde kullanılan ağırlık yüzdeleri mesafe ile azalarak sıfır değerine yaklaşmaktadır. Zaman bileşeninin bu çalışmada ay olarak kabul edilmiş olmasına karşılık istenildiği takdirde gün ve yıl olarak da seçilebilir.

3.1.1 Noktasal toplam yarı-varyogram modeli (NTYV)

KDM verilerinin düşük çözünürlükte olması bölgesel çalışma yapmaya imkân vermemektedir. Bu verilerin alt ölçekleme yapılarak daha yüksek çözünürlüklere taşınması zaruridir. Bunun için noktasal toplam yarı-varyogram modeli (NTYV)

kullanılmıştır (Şen, 1989). Genetik algoritma yöntemi ile Barnes fonksiyonu eğitilerek KDM düğüm noktalarındaki değerler bu çalışmada kullanılan istasyonlara taşınmıştır. Eğitilmiş BBF ile NTYV arasındaki örnek ilişki Şekil 3.2'te görüldüğü üzere Şen ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmada ortaya konulmuştur.



Şekil 3.2 : Ham BBF ve NTYV değerleri (Şen ve diğ., 2010).

3.1.2 Beyaz Markov süreci (BMS)

KDM'lerin düğüm noktalarında ürettikleri tahmin verileri, geçmiş gözlemlere dayalı ortalama sentetik değerlerdir. Dolayısı ile alt ölçekleme yolu ile daha yüksek çözünürlükte istasyon temelinde elde edilen veriler de sentetik veri sınıfına girmektedir. Mevcut istasyonundaki geçmiş veriler ile alt ölçeklemeye yarayan NTYV yöntemi ile istasyon noktasına indirgenmiş veriler arasında uyum bulunmamaktadır. Başarılı tahmin sonuçları elde edilebilmesi için istatistik olarak geçmiş gözlem verileri ile indirgenmiş verilerin birbirine benzetilmesi şarttır. Bu benzerliği sağlamak amacıyla Beyaz Markov Süreçleri (BMS), çalışmada kullanılan istasyon verilerine uygulanmış ve tahminler elde edilmiştir.

BMS yöntemi ardışık ve yinelemeli hesaplamalar gerektirdiğinden uygun bir algoritma ile tahminler kolayca elde edilebilmektedir. Bu hesaplamaların en önemli özelliği kısa süreli bağımlılık gösterğesi olan korelasyon katsayısının ve uzun süreli bağımlılığı temsil eden Hurst katsayısının (h) sentetik veriler içerisinde korunmasıdır. Hurst katsayısı BMS hesaplamalarında sentetik verinin çok uzun olması durumunda asimptotik artış göstererek 0.5'e yaklaşır (Şen ve diğ., 2010). BMS modelinin temel felsefesinde normal bağımsız süreçler ile birinci dereceden Markov süreçlerinin birleşmesi yatmaktadır. Birici dereceden korelasyon katsayısına sahip süreç ile bağımsız sürece ait otokorelasyon katsayıları kıyaslanarak arasından en yüksek

değerdeki katsayı seçilmektedir. Böylece bağımlı süreç ile bağımsız süreç birleştirilerek mevcut gözlem verileri ile sentetik veriler tekrar ayarlanabilmektedir.

BMS nihai karışımı olan, Z_t, fonksiyonunun açık hali şöyledir.

$$Z_t = X_t + \beta\eta_t \tag{3.2}$$

Burada X_t, birinci dereceden Markov sürecini; η_t, beyaz bağımsız süreci; son olarakta β, oran katsayısını temsil etmektedir. Korelasyon katsayılarının ρ, hesaplanma yönteminde ise k-inci dereceden bağımlılık katsayısı hesaplamasındaki denklemaşağıda verilmiştir.

$$\rho_k = \alpha\rho_m{}^k \tag{3.3}$$

Bu denklemde yer alan bağımsız ile bağımlı süreçin standart sapmalarının oranını veren alfa α, katsayısının açık hali,

$$\alpha = \frac{1}{((1+\beta^2)/\sigma_m^2)} \tag{3.4}$$

ifadesi ile veilmektedir.. Gerekli matematik işlemler yapıldıktan sonra birinci dereceden BMS fonksiyonunun k-incı dereceden korelasyon katsayısı son nihai halini almıştır.

$$\rho_k = \rho\rho_m{}^{k-1} \tag{3.5}$$

BMS hesaplamaları Şen (1974) tarafından hidrolojik hesaplamalarda kullanılan ARIMA (1,0,1) süreçlerinin basit bir yaklaşımını ifade ettiği ileri sürülmüştür.

3.1.2.1 BMS bilgisayar yazılımı

Bu çalışmada yukarıda özet olarak kısaca açıklanmaya çalışılan BMS süreç hesaplamaları KDM sonuçları ile gözlem verileri arasındaki uyumu sağlamak için kullanılmıştır. Bağımsız süreç ile bağımlı süreçlerin standart sapmalarının oranını veren α katsayısının belirlenmesi, bu benzetimin başarılı biçimde gerçekleştirilmesi için son derece öneme sahiptir. Bunun için gözlem ve alt ölçeklenmiş KDM verilerinin

istatistik parametrelerine göre üretilen rastgele bağımsız süreçlerden en yüksek α değerine sahip bağımsız süreç dizisi tespit edilerek nihai ayarlama işlemi yapılmıştır. Bu karmaşık ve tekrarlı pek çok işlem gerektiren süreçler Şen ve diğ.'nin (2010) çalışmasının üzerine Matlab tabanlı bir program bina edilip geliştirilmek suretiyle başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen programın açık kodlarının telif hakları Su Vakfı'na ait olduğu için aşağıda sadece program tanıtım bilgisine yer verilmiştir.

---

function [ssf, norg, nors]=Climate_change_final_process(gd,sd)

Bu program 4 Ekim 2008 tarihinde Zekai ŞEN tarafından yazılmış, 14 Nisan 2015 tarihinde İsmail DABANLI ve Zekai ŞEN tarafından güncellenmiştir. Nihai program 09 Mart 2016 da sonlandırılmıştır.

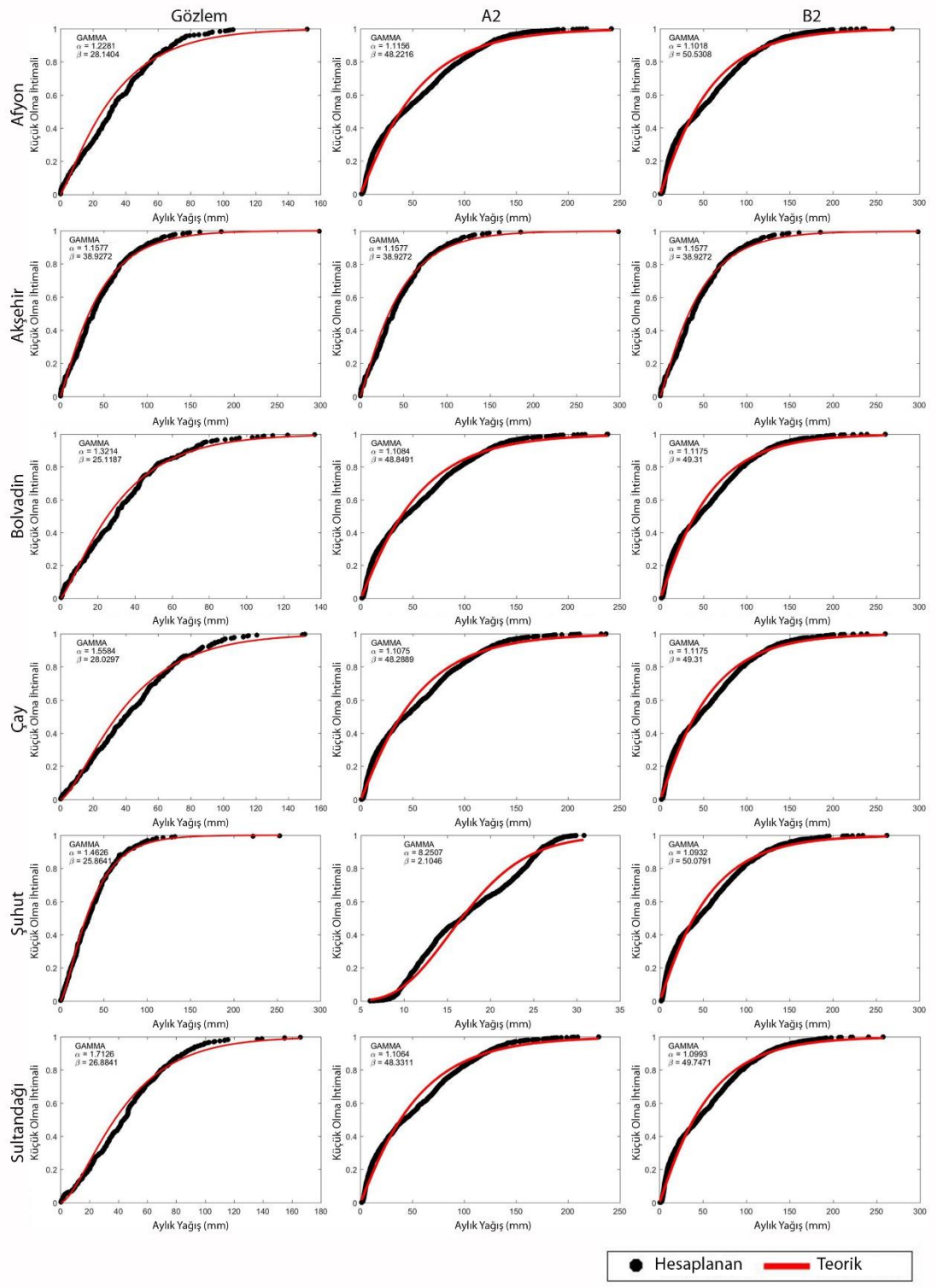
3.2 Uygulama ve Tahmin

3.2.1 BMS hesaplamaları ve sonuçları

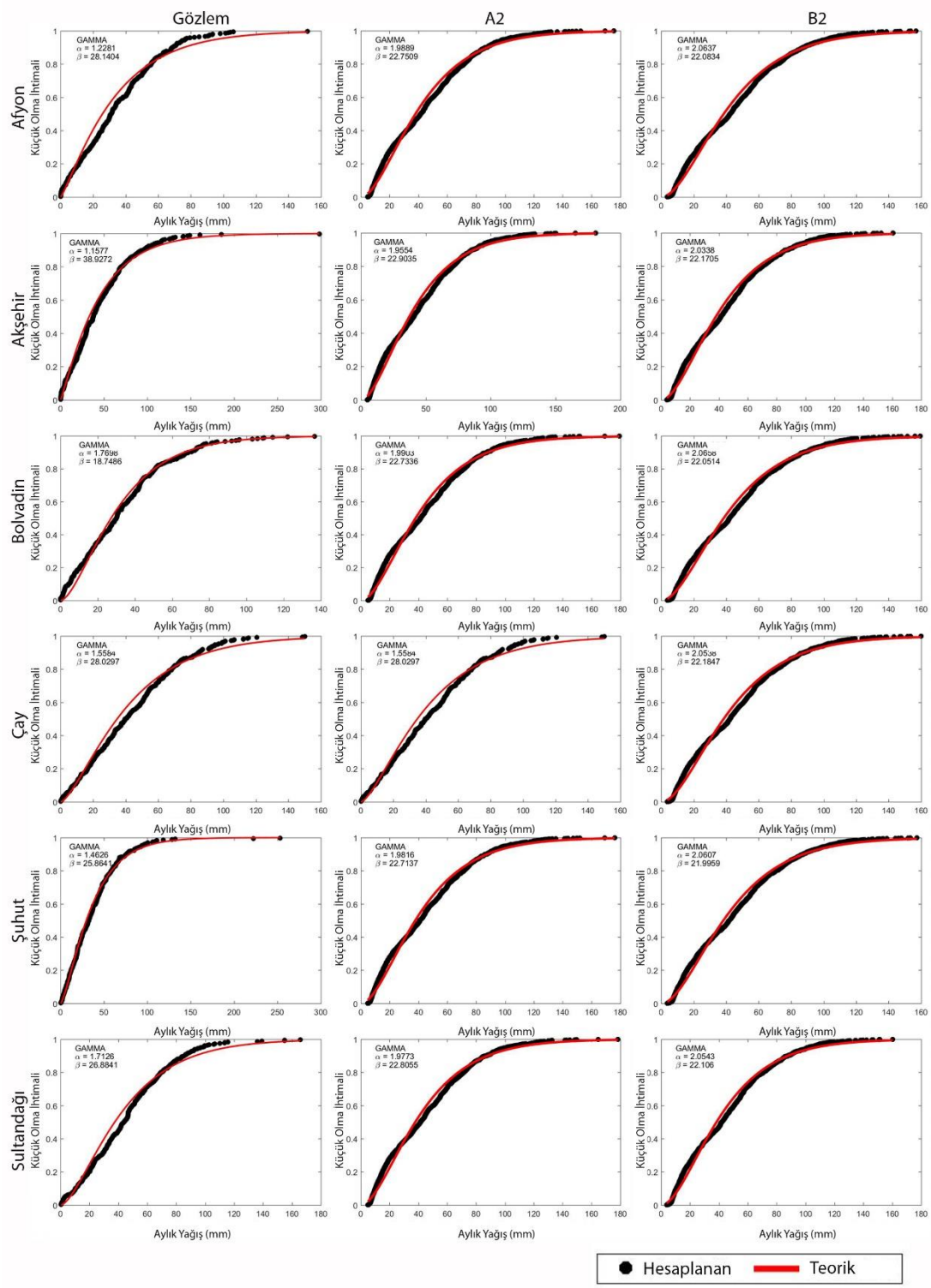
Akarçay havzasında bulunan altı adet meteoroloji istasyonlarında 1981–2010 tarihleri arasındaki gözlem verileri kullanarak Türkiye üzerindeki düğüm noktalarında veri üreten iki merkeze ait (HadCM3 ve EH40PYC) A2 ve B2 senaryolarına göre sırasıyla NTYV ve BMS hesap adımları uygulanarak 2100 yılına kadar sıcaklık ve yağış tahmini yapılmıştır. Bu bölümde BMS hesaplamalarının grafikler üzerinden sonuçları karşılaştırmalı olarak ortaya koyulmaya çalışılmış ve nihai elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

3.2.1.1 Aylık toplam yağış BMS hesaplamaları ve sonuçları

BMS hesaplamalarının temelinde iklim parametrelerini genelde en iyi şekilde temsil eden Gamma ihtimal yoğunluk fonksiyonlarından (İYF) yararlanılmıştır. Şekil 3.3 ve 3.4'te sırasıyla EH40PYC ve HadCM3 senaryoları aylık toplam yağış ile gözlem verilerinin Gamma toplam İYF'lere göre ne derece uygun olduğu gösterilmiştir. Bütün senaryo verileri Gamma İYF ile oldukça yüksek uyumlu olduğu görülürken, içlerinde sadece Şuhut istasyonunda EH40PYC-A2 senaryo verisinin daha az uyumlu olduğu görülmüştür.



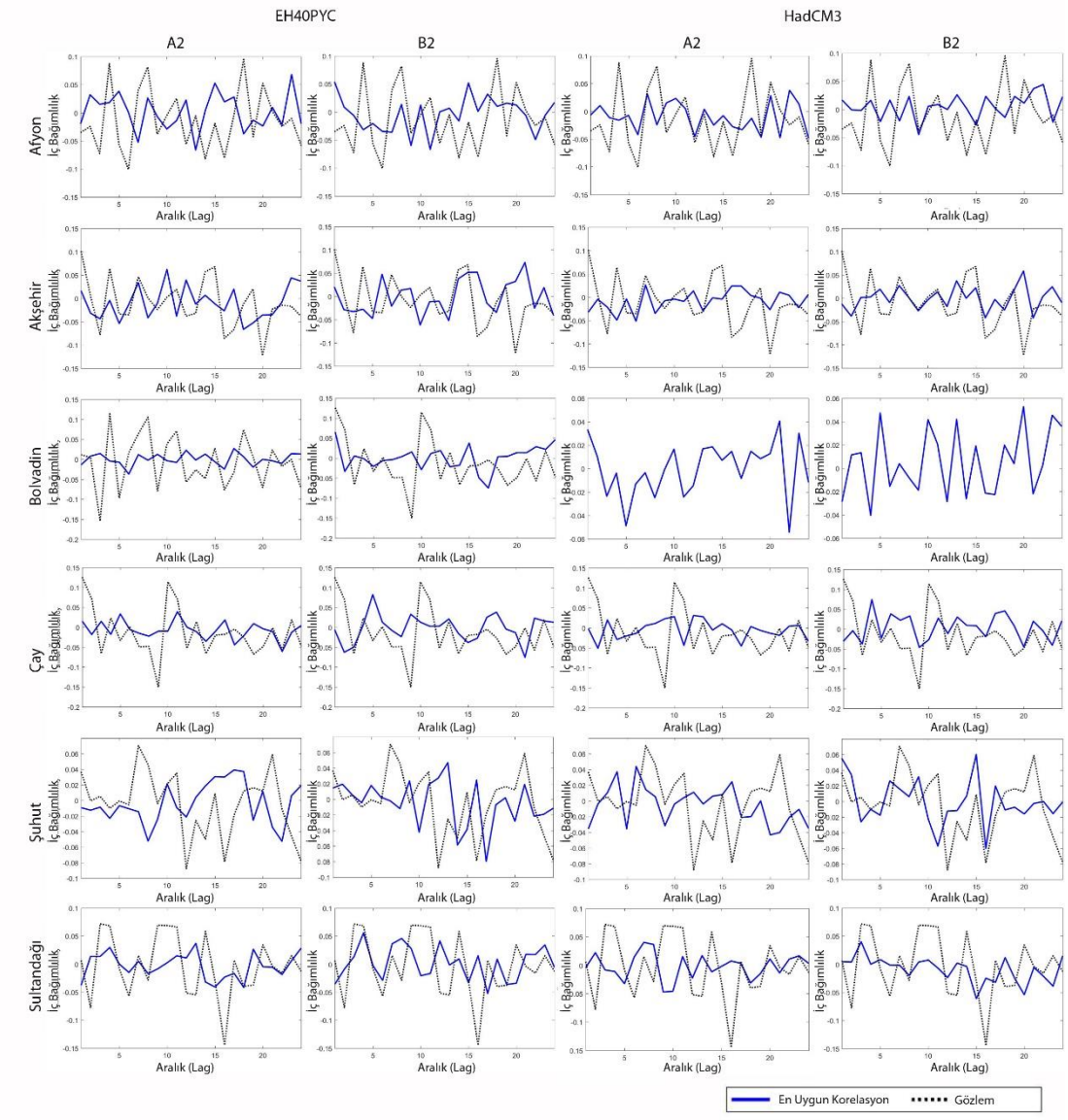
Şekil 3.3 : EH40PYC senaryoları ile gözlem verilerinin Gamma toplam ihtimal yoğunluk fonksiyonu ilişkisi.



Şekil 3.4 : HadCM3 senaryoları ile gözlem verilerinin Gamma toplam ihtimal yoğunluk fonksiyonu ilişkisi.

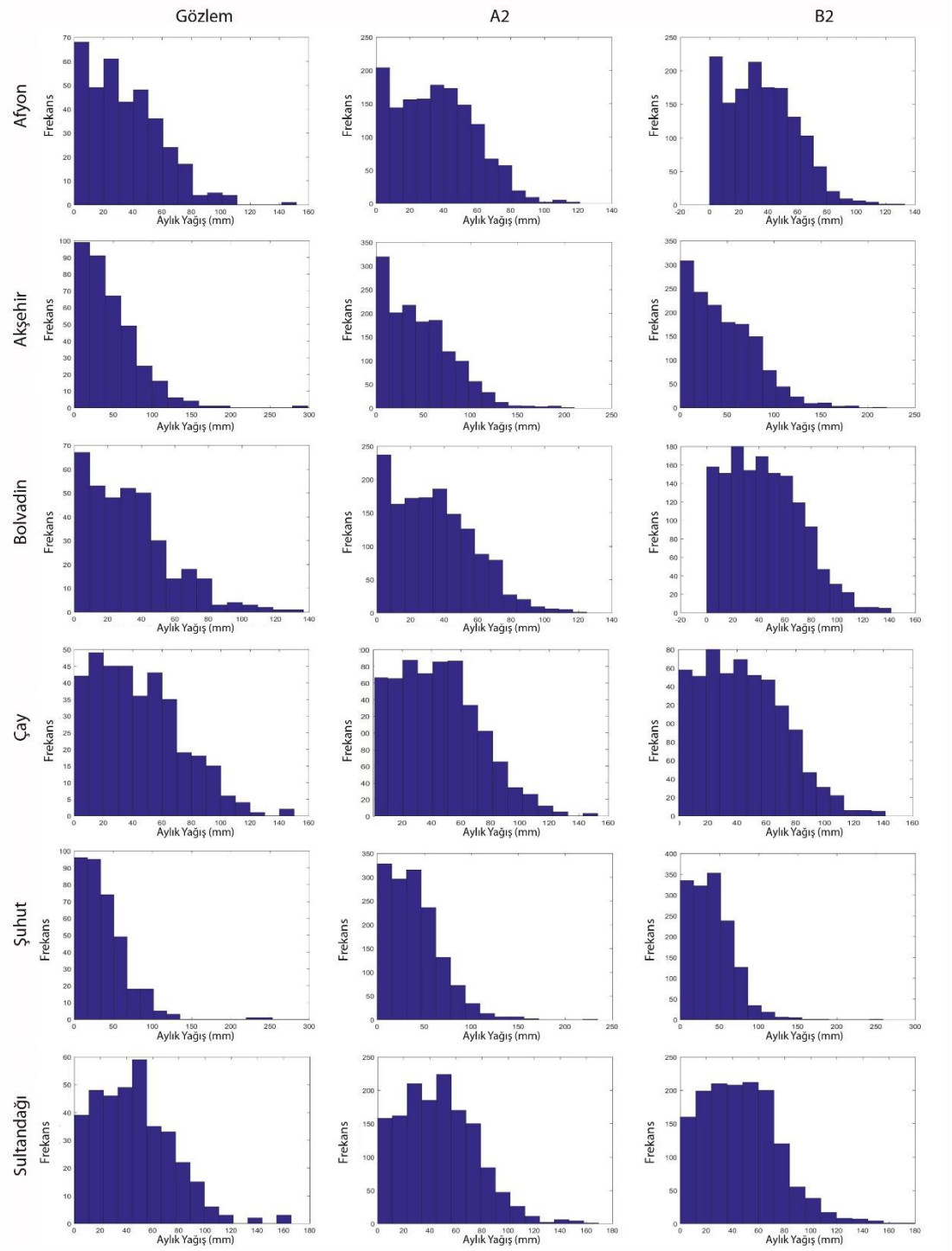
Teorik altyapısı yukarıdaki bölümlerde anlatılan bağımlı ve bağımsız süreçlerin birleştirilmesi sırasında en önemli aşamalardan birisi α korelasyon katsayısının belirlenmesidir. Birbirinden bağımsız üretilen 100 adet bağımsız dizi içerisinde hata oranının en küçük ve korelasyon katsayısının en büyük olduğu dizi farklı senaryolar

için üretilmiş ve kıyaslamalı olarak yağış verileri Şekil 3.5'te matris halinde sunulmuştur. Bu grafiklerde yatay eksen aralığı (lag) gösterirken düşey eksen iç bağımlılığı göstermektedir. Aralık uzunluğu olarak tüm hesaplamalarda iklim değişkenlerinin periyodik yapısı da dikkate alınarak 24 aylık bir süre seçilmiştir.



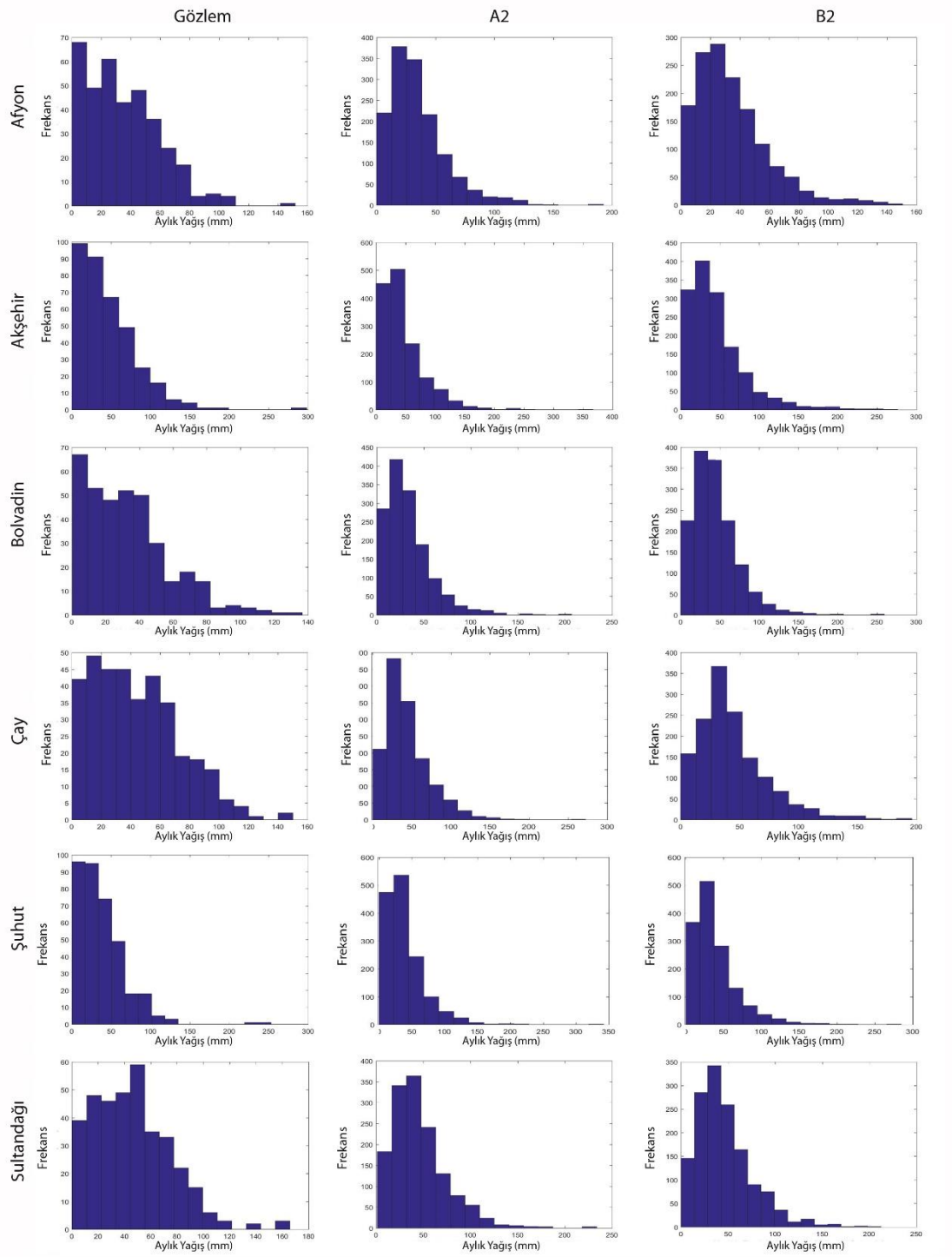
Şekil 3.5 : En uygun korelasyona sahip iç bağımlılık dizisi.

BMS hesaplamaları öncesi kıyaslama yapabilmek için gözlem yağış değerleri ile NTYV ile istasyon ölçeğine indirgenmiş EH40PYC senaryo tahmin verilerine ait sıklık grafikleri Şekil 3.6'da verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde gözlem ile tahmin verilerinin sıklık değerlerinin birbirine oldukça benzer oldukları ancak benzerlik oranın çok yüksek olmadığı rahatça görülmektedir.



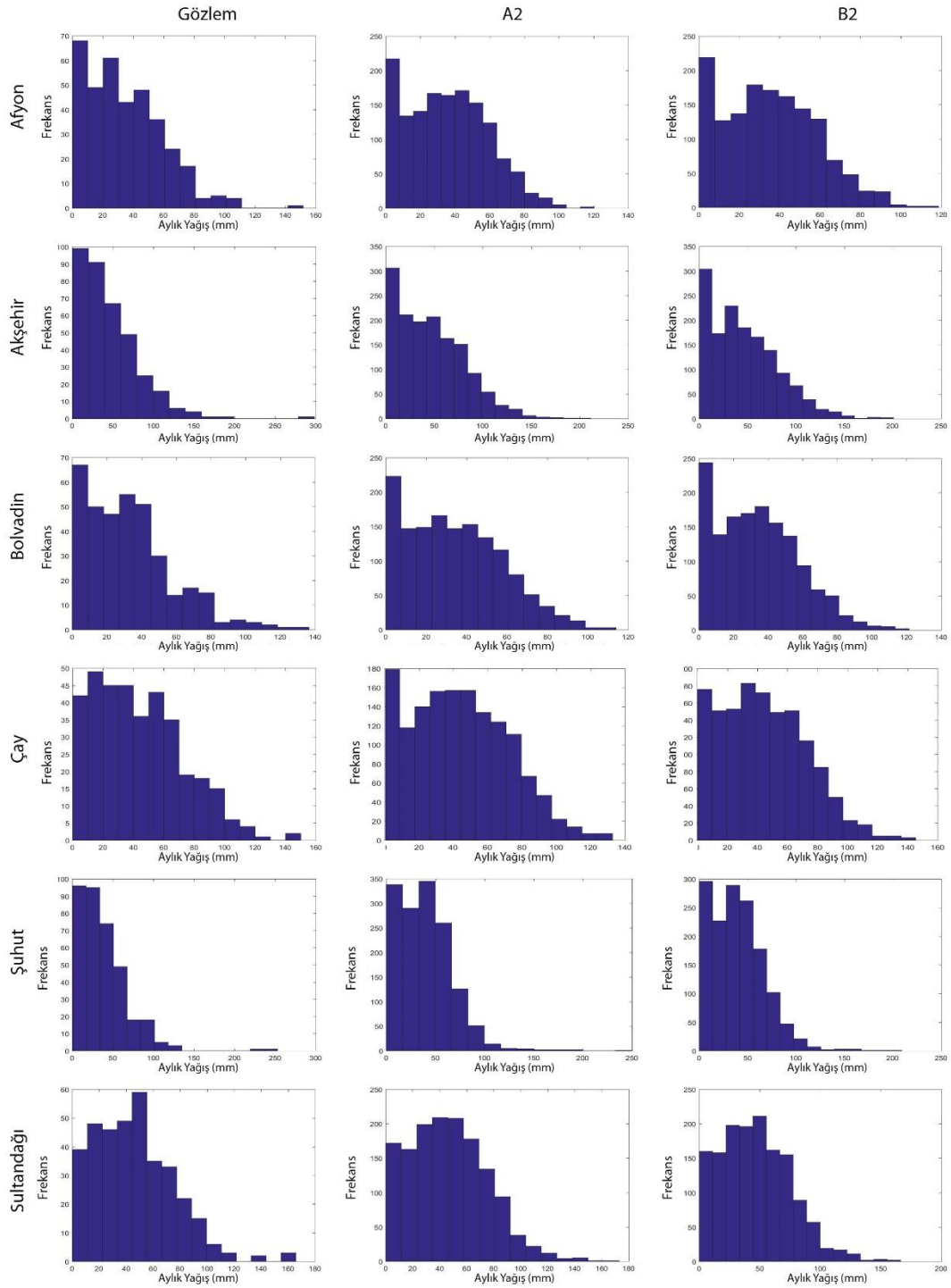
Şekil 3.6 : Beyaz Markov Süreci öncesi EH40PYC senaryoları sıklık grafikleri.

BMS hesaplamaları ve ayarlamaları sonrası EH40PYC senaryolarına ait sıklık diyagramları Şekil 3.7'de görülmektedir. Gözlem ile tahmin verilerinin sıklık diyagramları dağılımlarının benzerliklerinin BMS sonrası biraz daha azalmasına rağmen Gamma İYF'ye daha uygun dağılımlar elde edildiği anlaşılmaktadır.

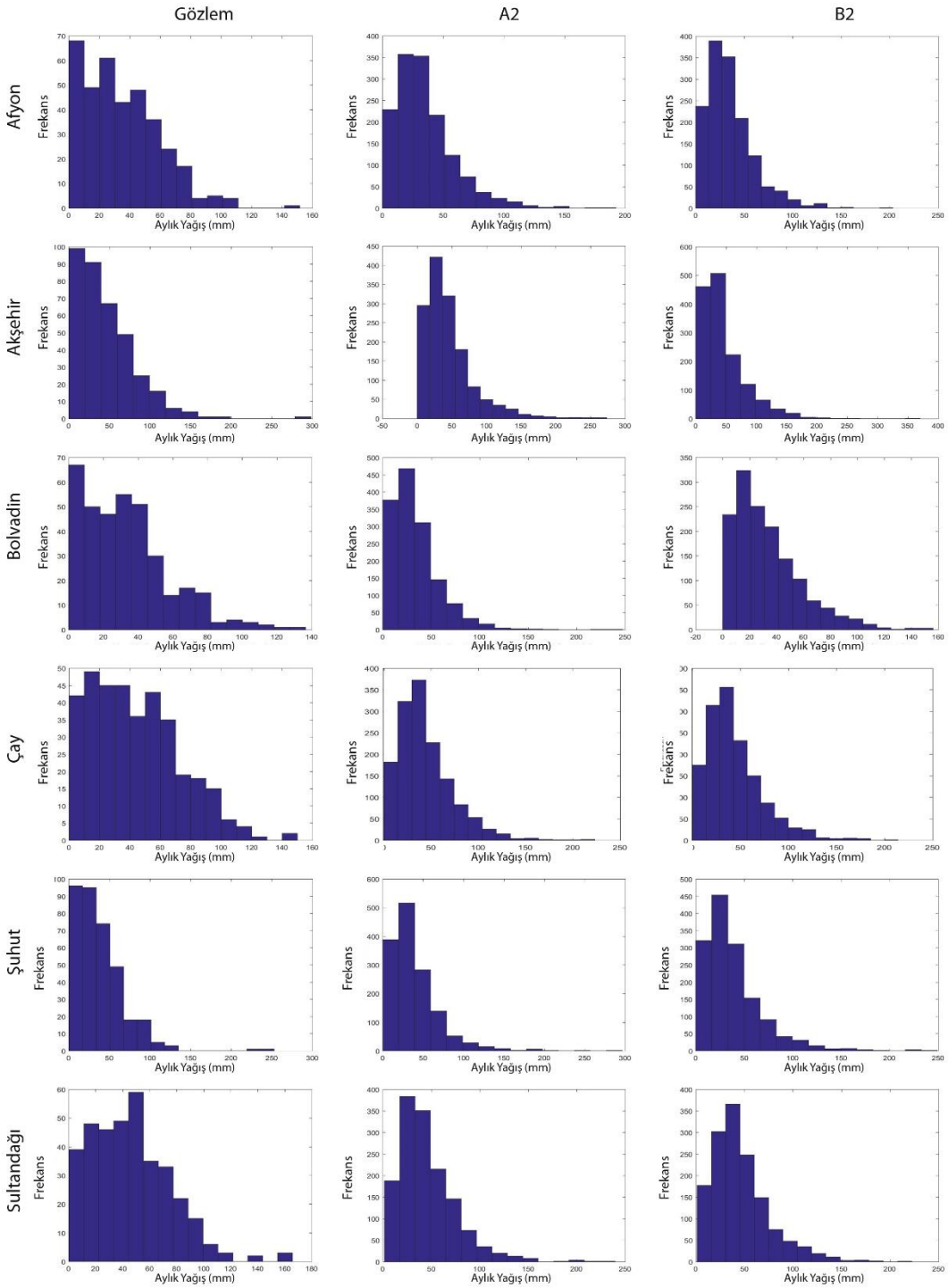


Şekil 3.7 : Beyaz Markov Süreci sonrası EH40PYC senaryoları sıklık grafikleri.

Yukarıdaki uygulama ve açıklamalara benzer olan aynı sıklık diyagramları HadCM3 aylık toplam yağış verileri için de elde edilerek sırasıyla BMS öncesi ve sonrası sıklık grafikleri Şekil 3.8 ve 3.9'da verilmiştir. Bu grafiklere bakarak da gözlem değerlerindeki en sık görülen değer ile tahmin verilerinin işaret ettiği görülmesi muhtemel en sık yağış değerleri elde edilebilmektedir.



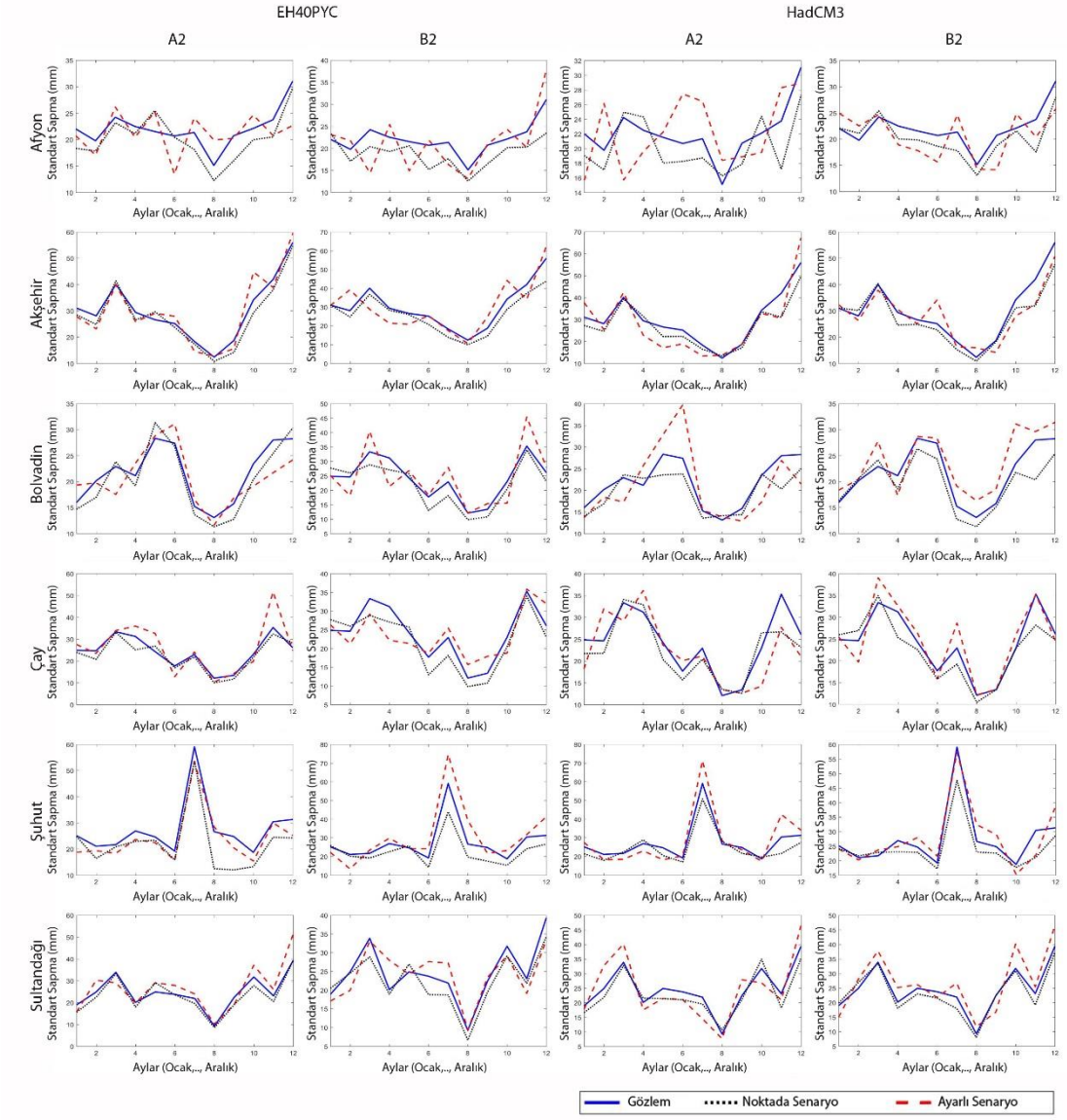
Şekil 3.8 : Beyaz Markov Süreci öncesi HadCM3 senaryoları sıklık grafikleri.



Şekil 3.9 : Beyaz Markov Süreci sonrası HadCM3 senaryoları sıklık grafikleri.

Gözlem verileri ile tahmin verilerinin standart sapması benzerliğinin mümkün olan en yüksek dereceden sağlanması modelin başarı ilkelerinden birisidir. Bunun için gözlem verilerinin, NTYV uygulanmış alt ölçeklenmiş noktadaki senaryo verilerinin ve iç bağımlılığı ayarlanmış senaryo yağış verilerinin aylara göre standart sapma ilişkisi Şekil 3.10'da verilmiştir. Genel olarak, standart sapma değerleri birbirleriyle benzer karakterde olmasına rağmen, özellikle Afyon meteoroloji istasyonunda bu benzerliğin

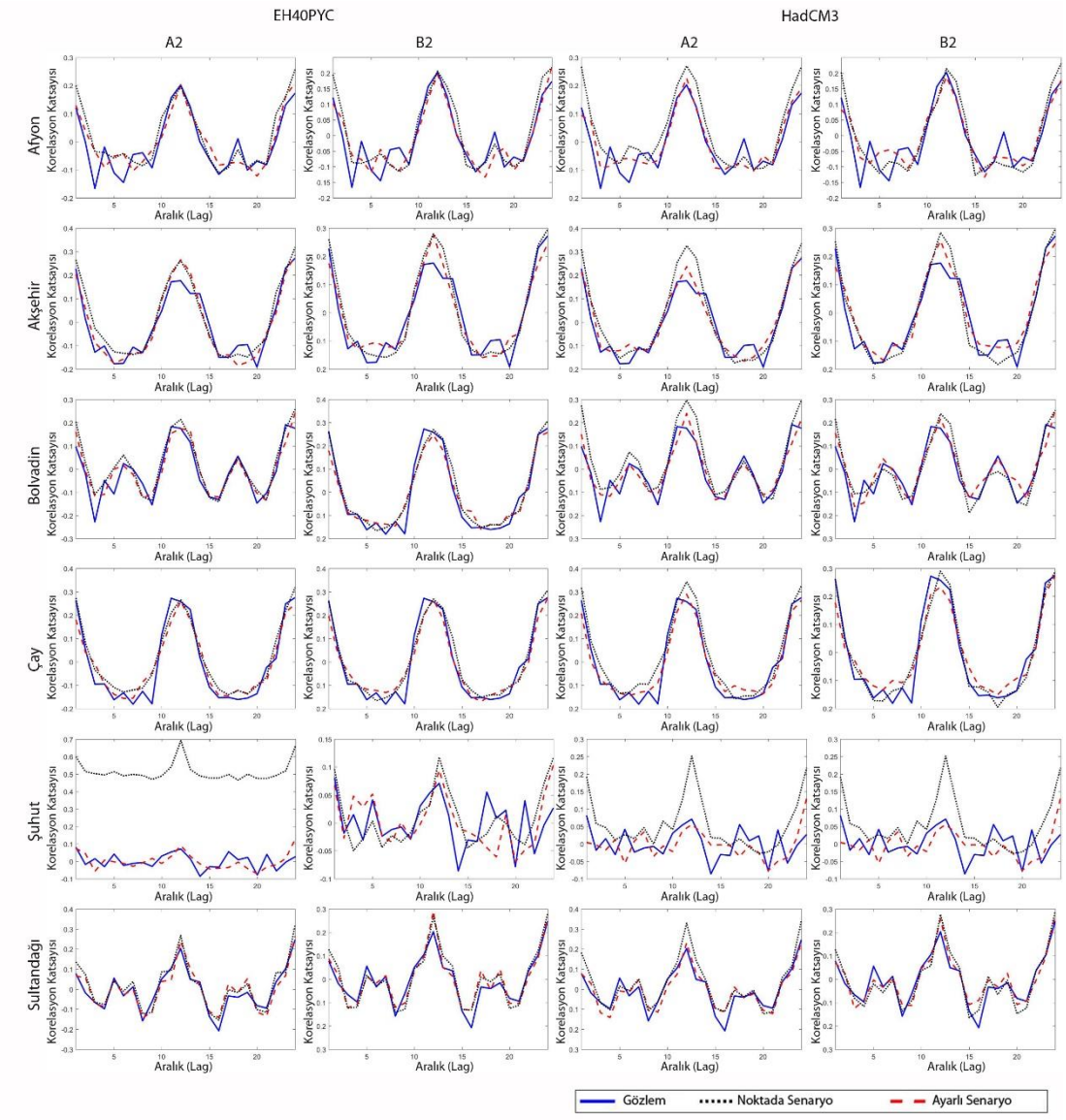
en düşük seviyelere gerilediği görülmektedir. Ayrıca, Haziran ayı Bolvadin istasyonunda görüldüğü gibi ayarlanmış standart sapma değerlerinin gözlem ve noktadaki senaryo verilerinden farklı olduğu görülmektedir. Bu durum yağış gibi kendi içerisinde rastgelilik içermesinden dolayı normal olarak değerlendirilmiştir. Standart sapma değerlerinin tam olarak birbirine çok yakın çıkması da zaten beklenilen bir durum değildir.



Şekil 3.10 : İç bağımlılığı ayarlanmış verilerin standart sapma ilişkisi.

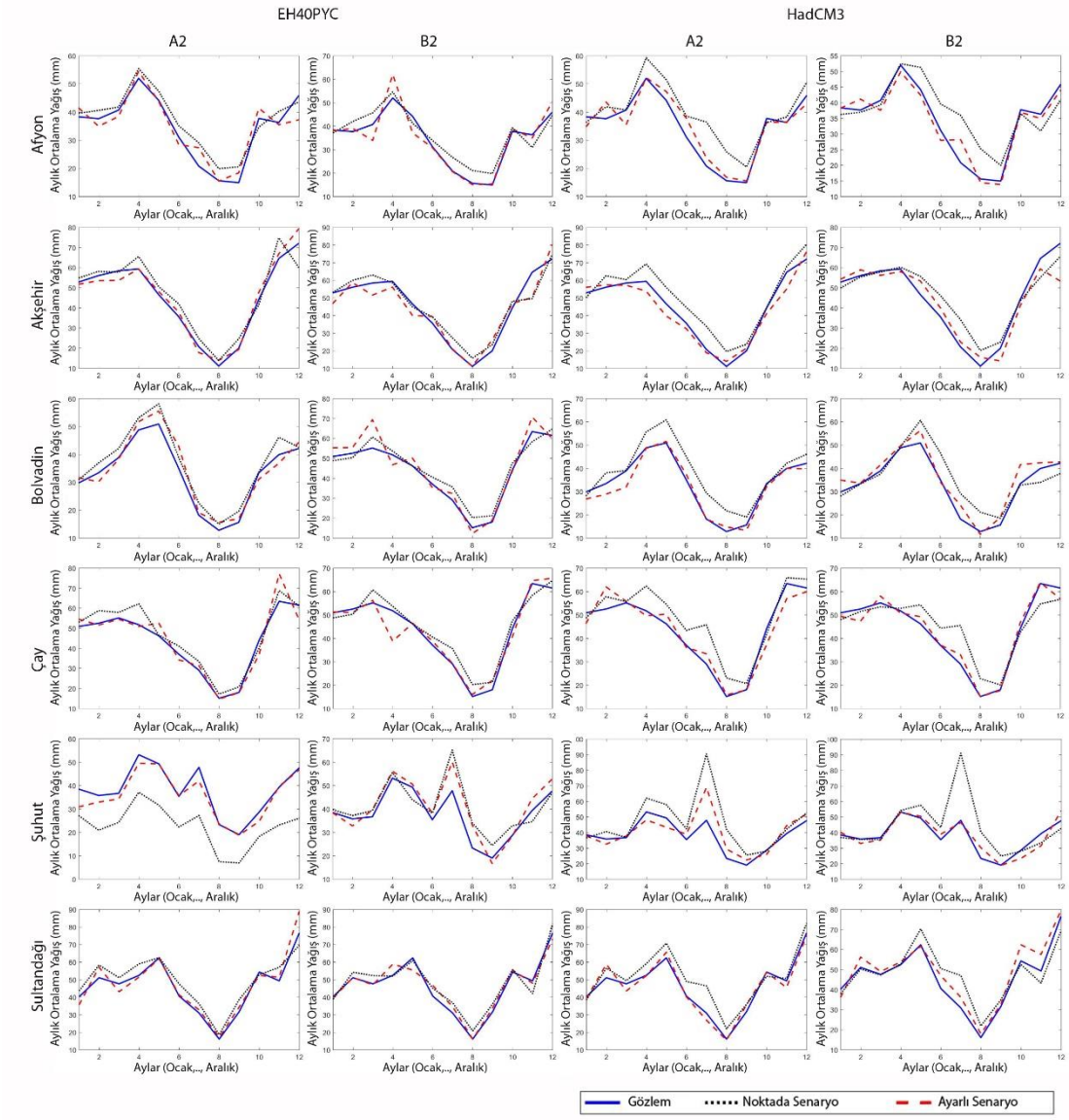
Model başarı kriterlerinin başında korelasyon katsayısının gözlem verileri ile tahmin verileri arasındaki uyumluluk gelmektedir. Yağış değerleri için Şekil 3.11'de BMS süreci öncesi ve sonrası korelasyon katsayısının değişimi görselleştirilmiştir. Tüm grafiklerden açıkça anlaşıldığı üzere BMS ayarlamaları sonrası korelasyon katsayıları gözlem verileri ile mükemmel bir düzeyde uyum kazanmıştır. Özellikle, Şuhut

istasyonunda EH40PYC-A2 senaryosunda BMS ayarlamasının ne derece önemli olduğu apaçık şekilde ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.11 : İç bağımlılığı ayarlanmış verilerin korelasyon katsayısı ilişkisi.

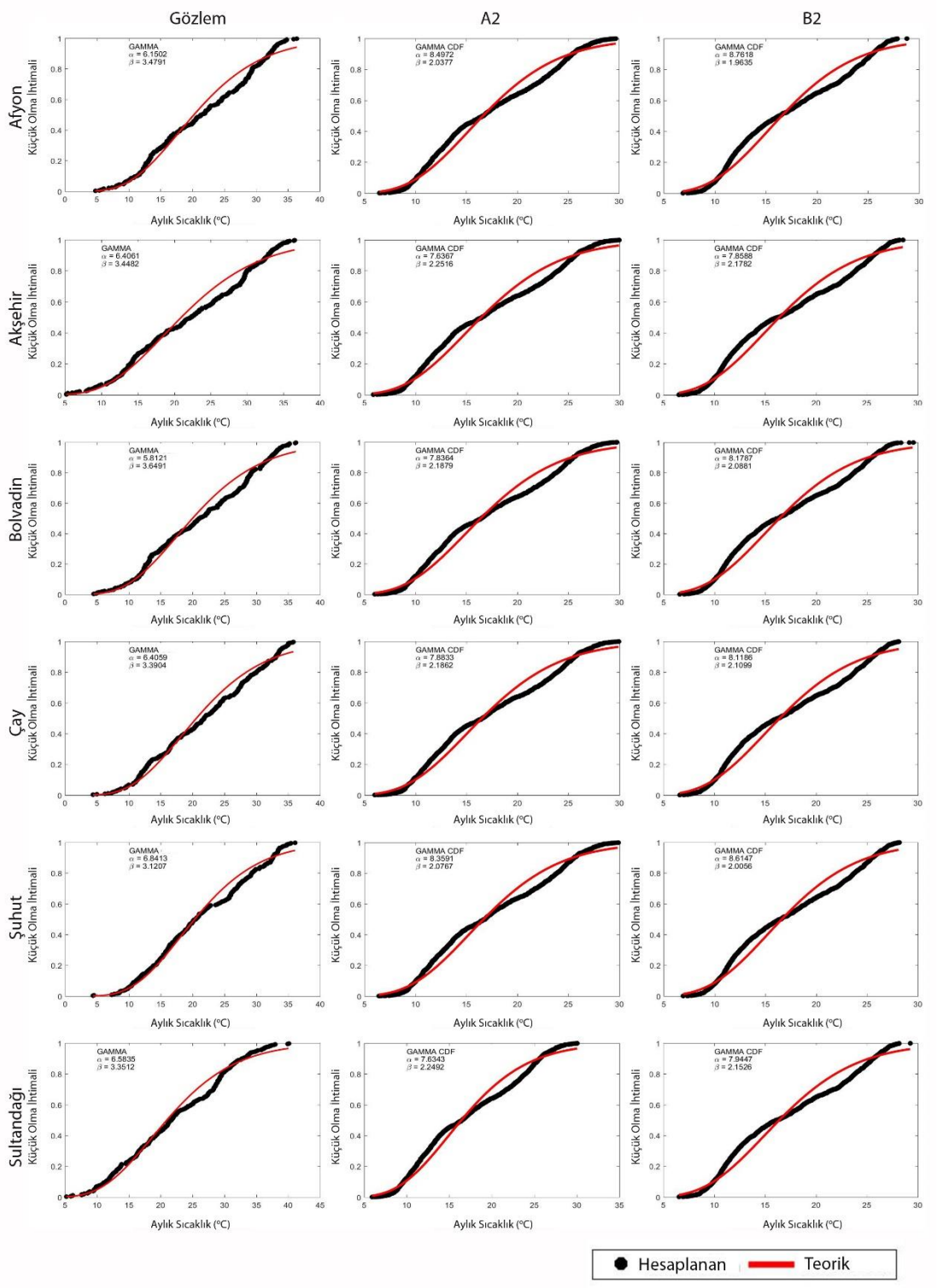
Son olarak yağış verileri için her ne kadar gelecekte yağış rejimlerinde değişiklik olması kaçınılmaz olsa da, bu değişikliklerin aylık ortalamalardan sapması çok küçük mertebelerinde olacağı tahmin edildiğinden gözlem verileri ile tahmin verilerinin aylık ortalama değerlerinin yakınlığı büyük önem arz etmektedir. BMS süreci öncesi ve nihai ayarlanmış tahmin verilerinin aylık ortalamalarının kıyaslanması Şekil 3.12'de görülmektedir. Tüm istasyonlarda ayarlanmış senaryo yağış ile gözlem verilerinin gayet yüksek bir uyum içerisinde olduğu sonucu elde edilmiştir. Böylece yağış gözlem ve tahmin verilerinin uyum ve tutarlılığının yüksekliği konusunda oldukça tatmin edici bir sonuç olarak değerlendirilmelidir.



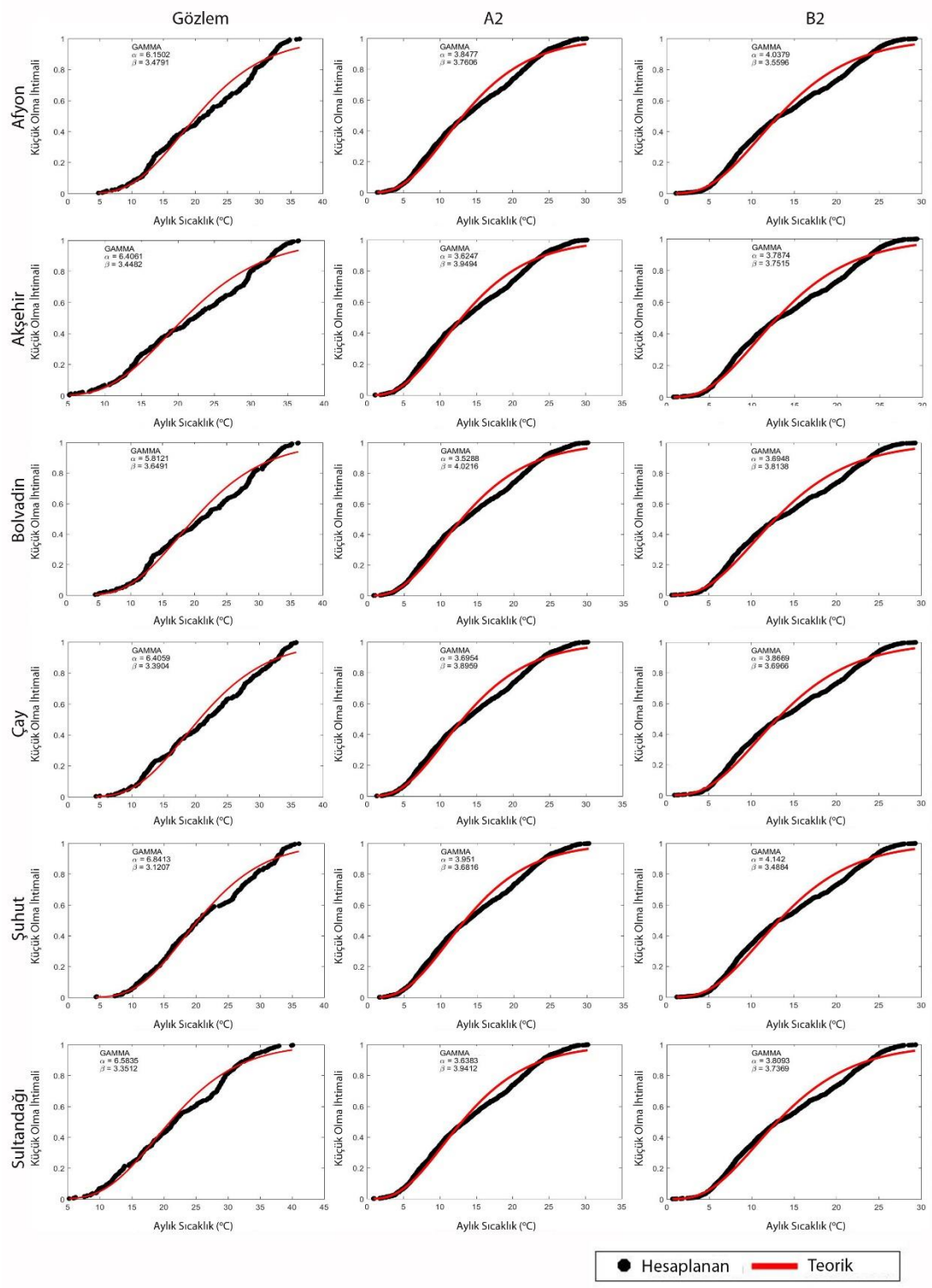
Şekil 3.12 : İç bağımlılığı ayarlanmış aylık ortalama yağışlar (mm).

3.2.1.2 Aylık ortalama sıcaklık BMS hesaplamaları ve sonuçları

Yağış verilerinin alt ölçekleme ve BMS ayarlamaları başarı ile tamamlandıktan sonra aynı istasyonlarda 1981–2010 yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklık verileri ile EH40PYC ve HadCM3 A2 ve B2 senaryo verileri kullanılarak 2100 yılına kadar olması muhtemel aylık ortalama sıcaklık tahminleri yapılmıştır. Aynen yağış verilerinde olduğu gibi tüm NTYV senaryo verileri ile gözlem aylık sıcaklık verileri Gamma toplam İYF'ye uydurulmuş halleri Şekil 3.13 ve 3.14'te verilmiştir.



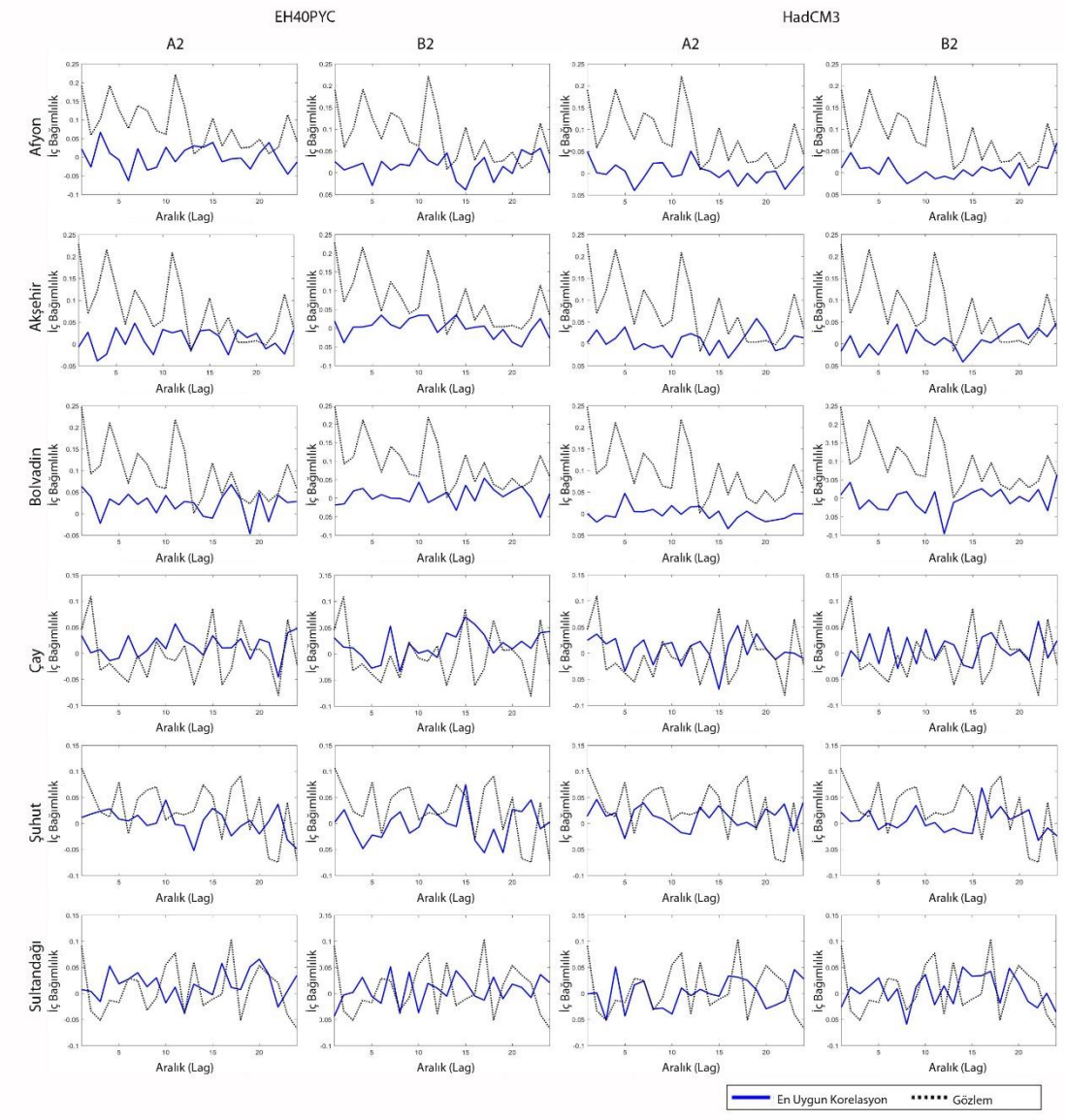
Şekil 3.13 : EH40PYC senaryoları ile gözlem verilerinin Gamma toplam İYF ilişkisi.



Şekil 3.14 : HadCM3 senaryoları ile gözlem verilerinin Gamma toplam İYF ilişkisi.

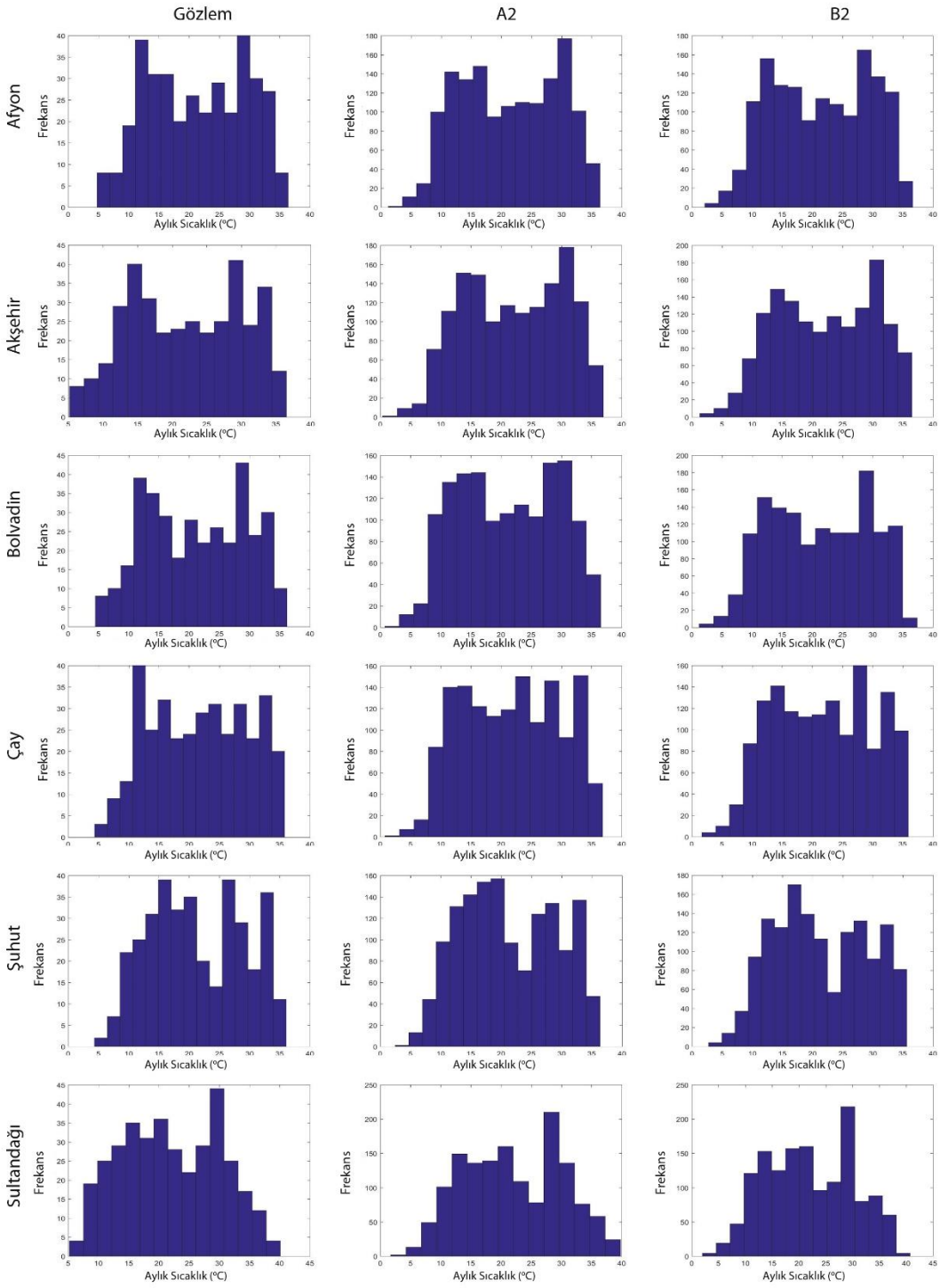
İç bağımlılığın 24 aylık aralık (lag) durumuna göre çizdirilmesi sonucu elde edilen grafikler Şekil 3.15'te sunulmuştur. En uygun korelasyona ait grafiğin gözlem verilerine göre daha dar bir aralık içerisinde dalgalandığı anlaşılmaktadır. Aylık sıcaklık verilerine göre ortaya çıkan dizinin korelasyon katsayısı ile gözlem verilerinin korelasyon sayısı arasındaki fark her bir yatay eksen değerine göre oldukça küçük

kalmıştır. Bu farkın küçük olması BMS hesaplamalarının tutarlılığını göstermesi açısından ayrıca oldukça önemli bir gösterge olarak değerlendirilebilir.

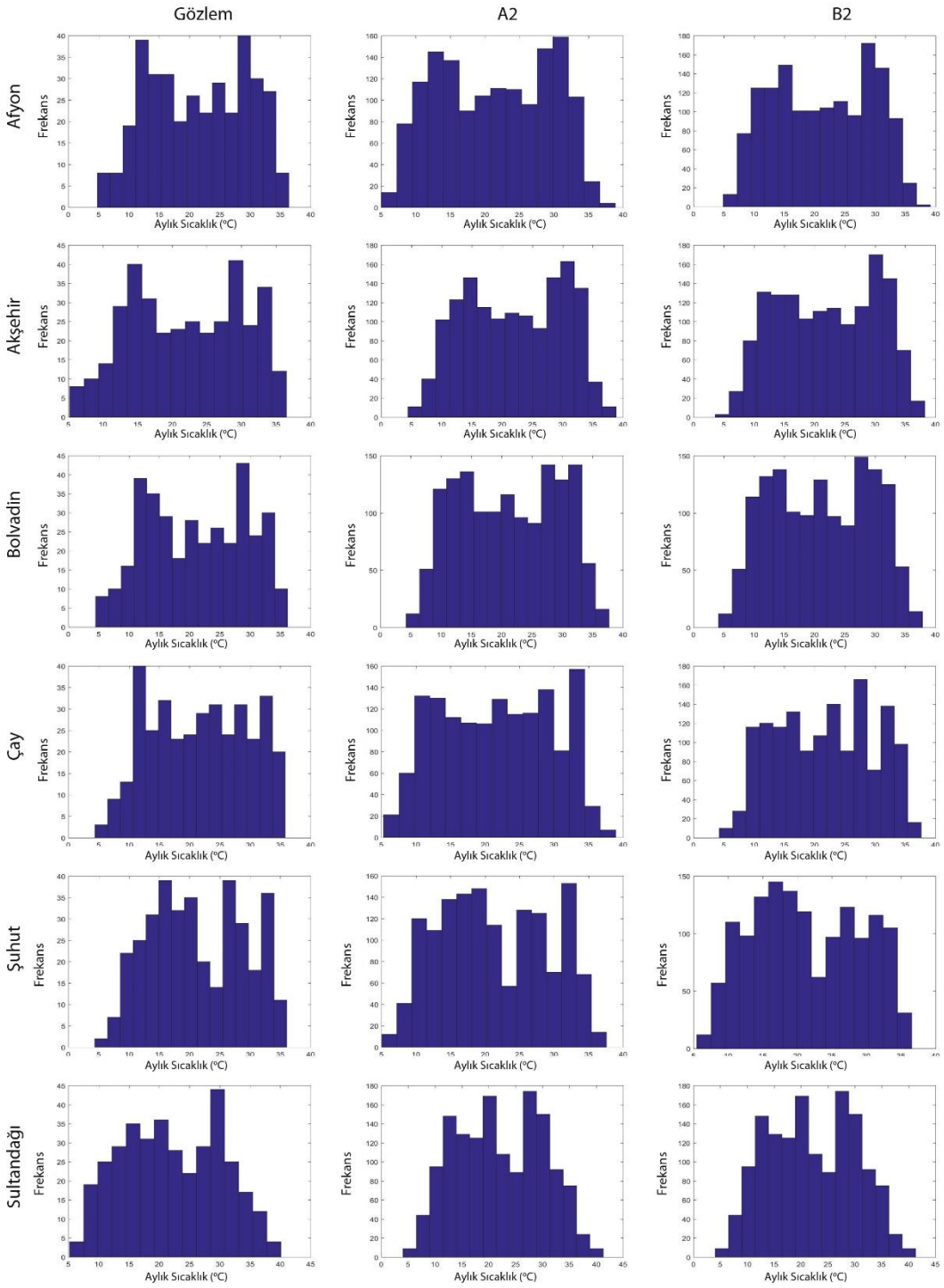


Şekil 3.15 : En uygun korelasyona sahip iç bağımlılık dizisi.

Aylık ortalama sıcaklık değerlerinin değişim aralığının 0–40 ^{o}C arasında olması sebebiyle çalışma alanındaki istasyonlara ait hem gözlem hem de BMS öncesi ve sonrası durumlarına göre elde edilen sıklık grafiklerinin en sık görülen değere sahip olmadıkları anlaşılmaktadır. Şekil 3.16 ve Şekil 3.17 sırasıyla EH40PYC senaryo verilerinin BMS süreci öncesi ve sonrası sıklık grafiklerini göstermektedir. Bu dağılımlardan yaz ayları ile kış aylarının ortalama değerlerinin görülme sıklıkları diğer değerlere göre daha yüksek sıklıkta olması sebebiyle 2 ayrı tepe (pik) değer karşımıza çıkmaktadır.

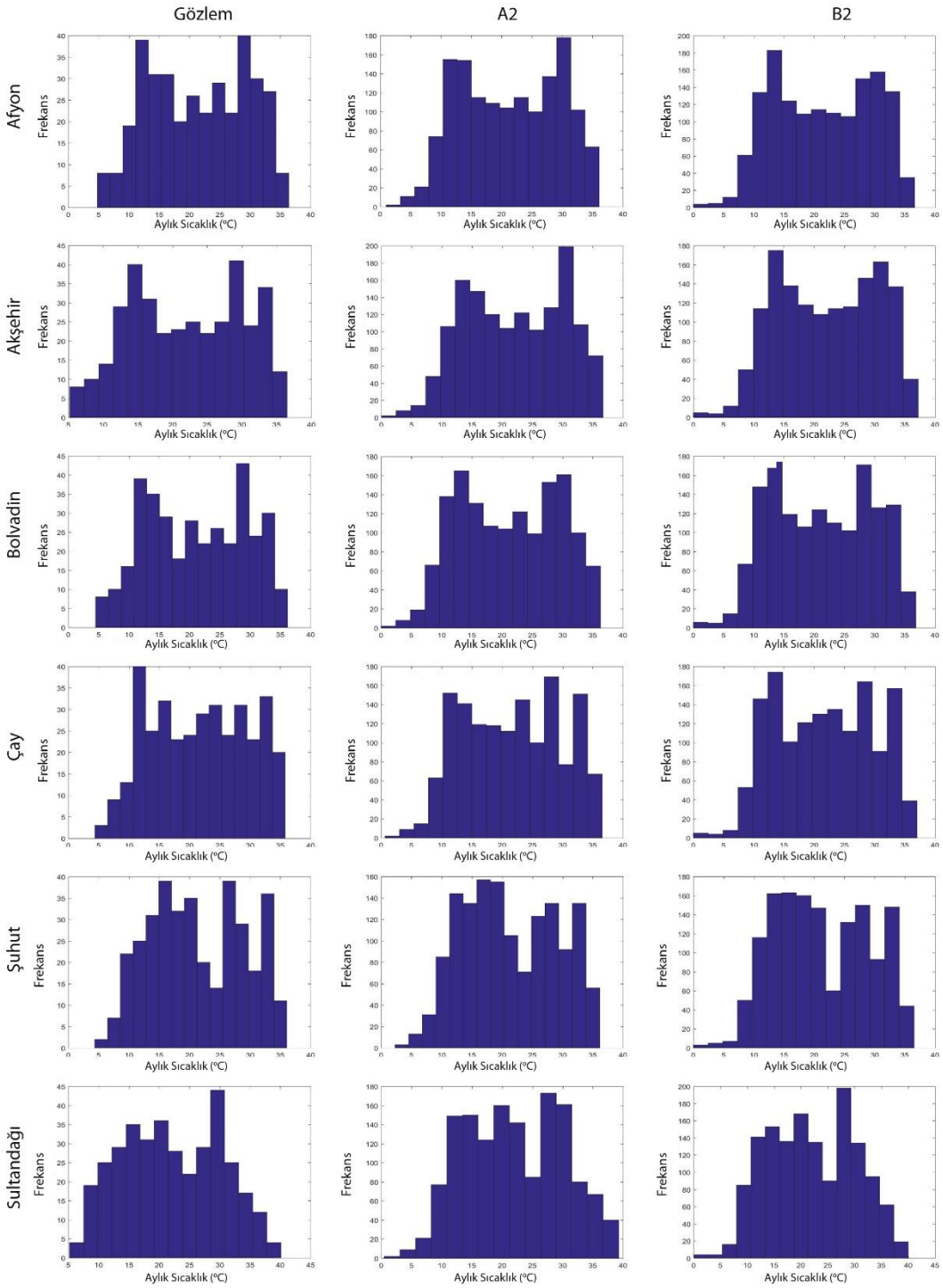


Şekil 3.16 : Beyaz Markov Süreci öncesi EH40PYC senaryoları sıklık grafikleri.

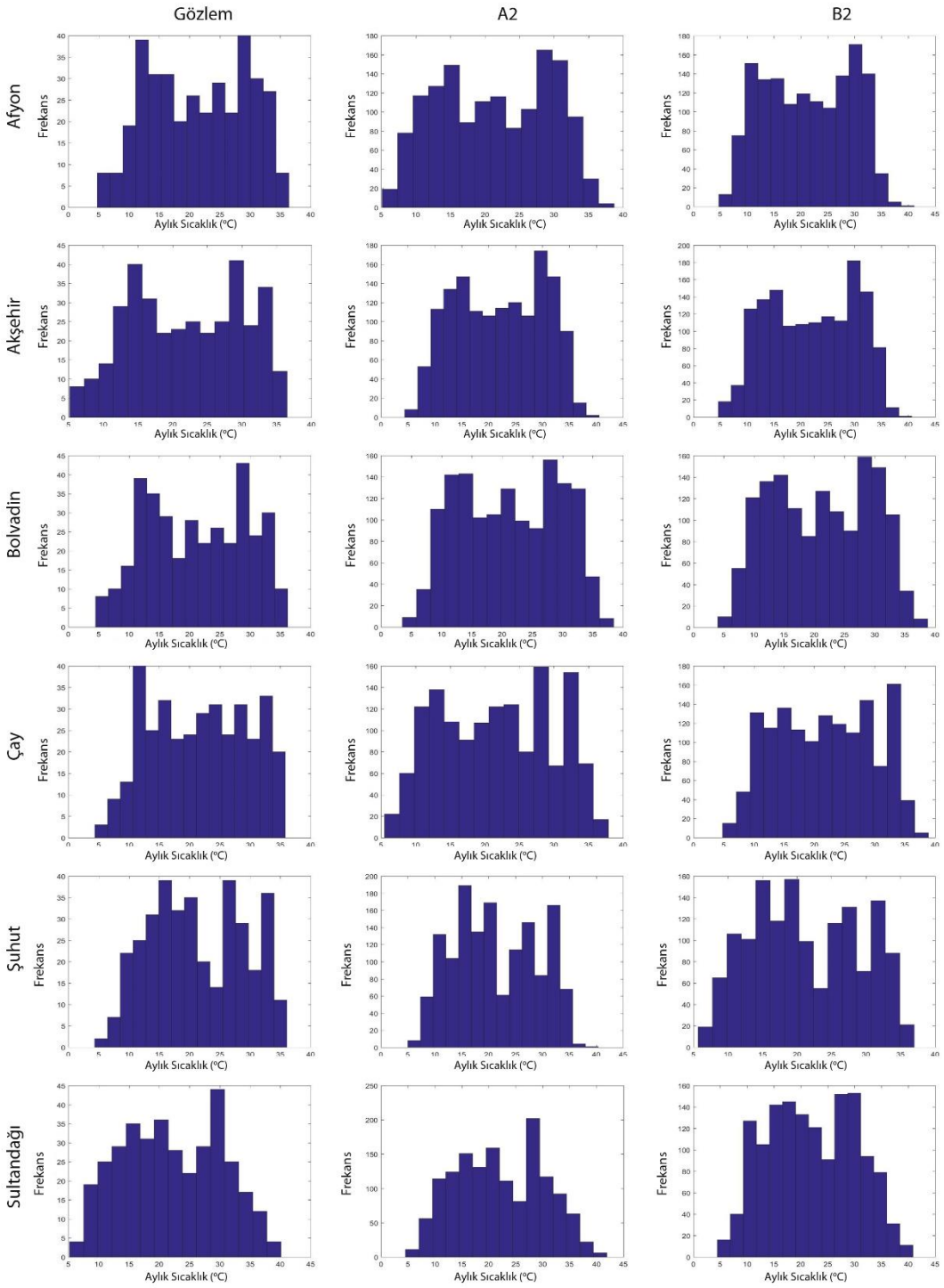


Şekil 3.17 : Beyaz Markov Süreci sonrası EH40PYC senaryoları sıklık grafikleri.

HadCM senaryoları sıklık grafikleri de aynen EH40PYC senaryolarında olduğu gibi benzer sonuç vermektedir. Zaten gözlem verilerinin sıklık grafiğine bakılırsa tahmin verilerinin de doğası gereği gözlem dağılımına uyması beklenmektedir. Şekil 3.18 noktaya indirgenmiş sıcaklık verilerinin sıklık dağılımlarını gösterirken, Şekil 3.19 da BMS süreci sonrası iç bağımlılığı ayarlanmış senaryo dizilerinin sıklık dağılımlarını göstermektedir.

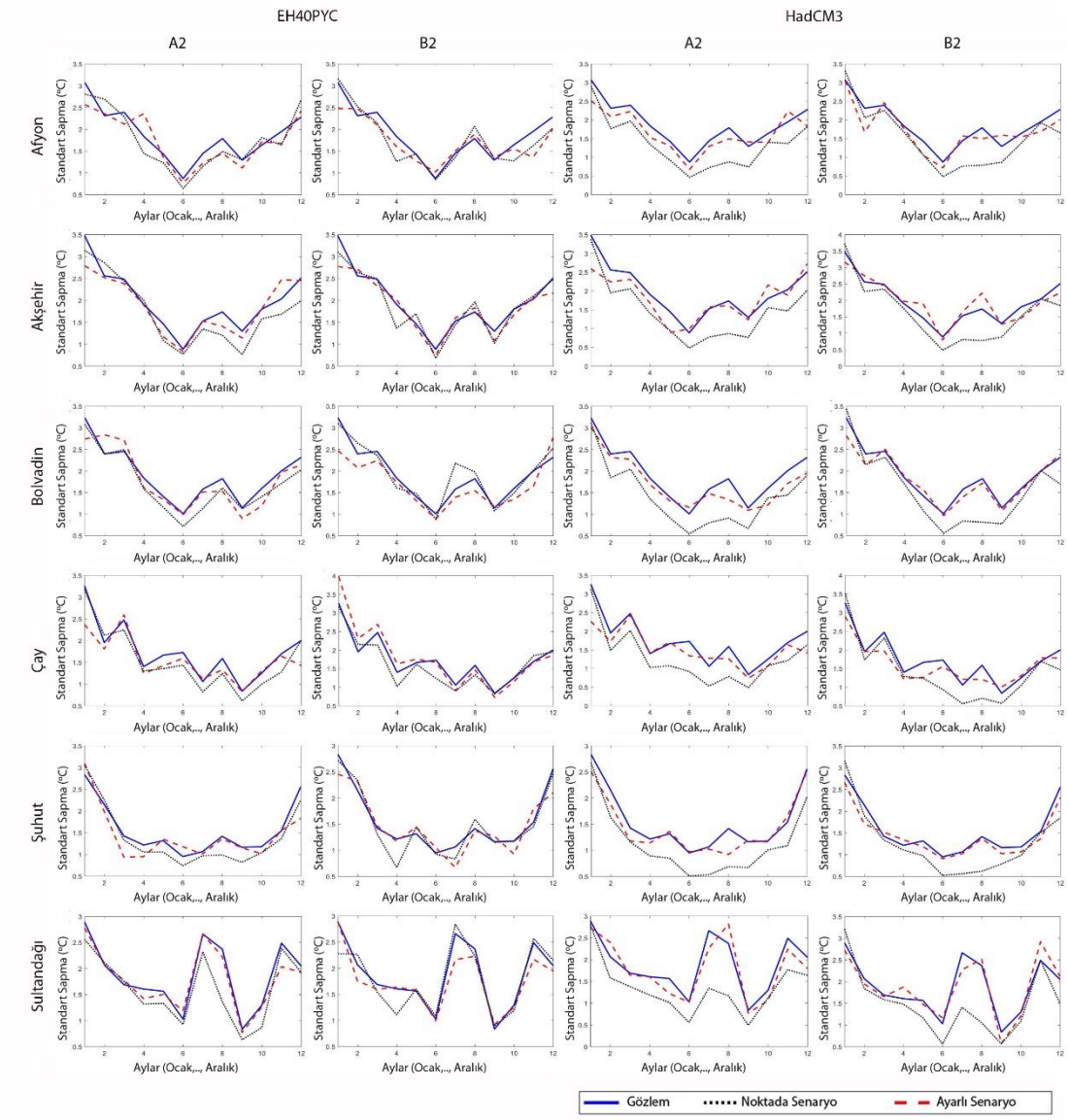


Şekil 3.18 : Beyaz Markov Süreci öncesi HadCM3 senaryoları sıklık grafikleri.



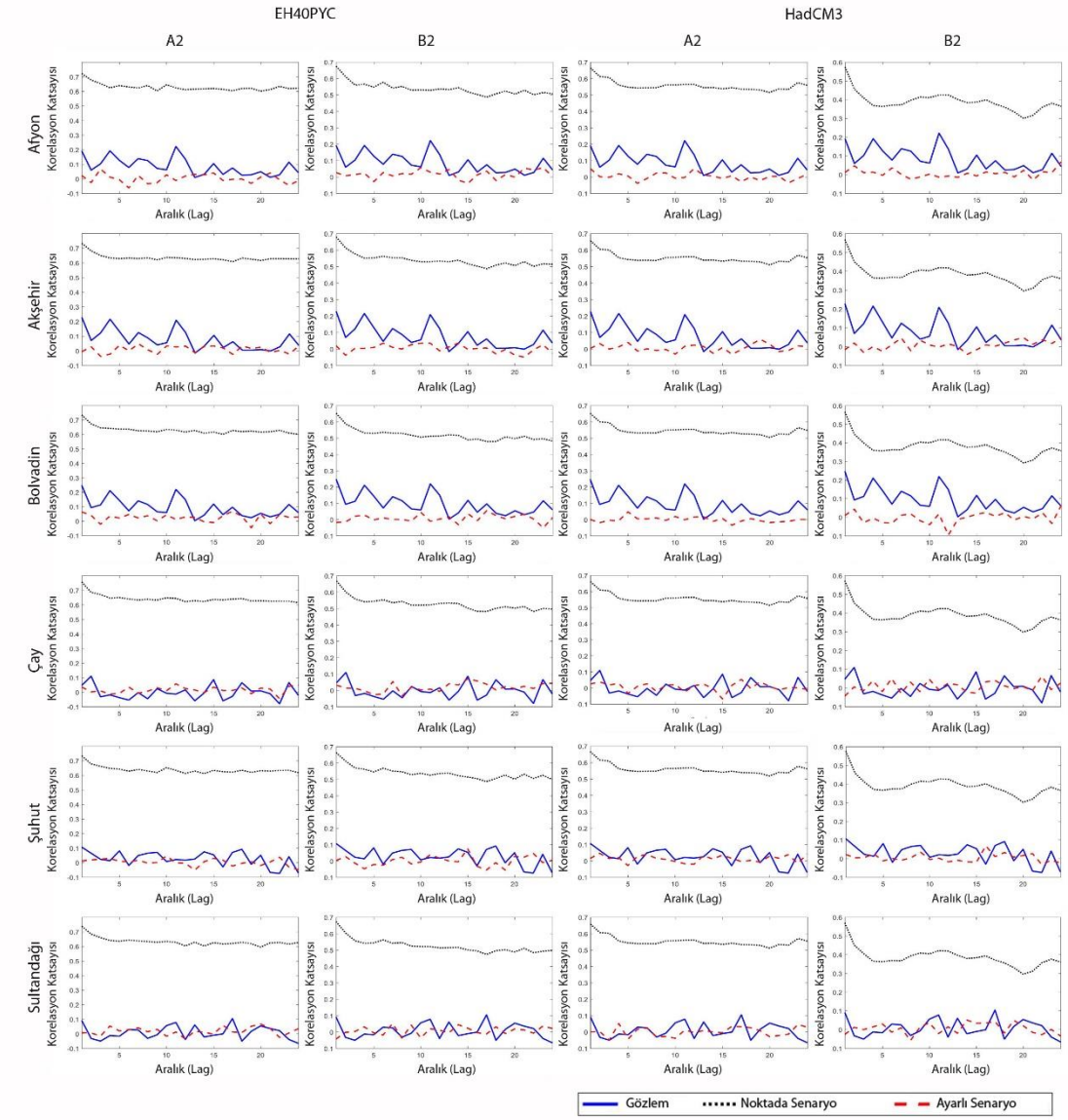
Şekil 3.19 : Beyaz Markov Süreci sonrası HadCM3 senaryoları sıklık grafikleri.

Şekil 3.20 HadCM3 senaryolarına ait aylık sıcaklık ortama ve gözlem değerleri ile BMS süreci öncesi ve sonrası standart sapma değişimini aylara göre göstermektedir. BMS ayarlamalarının başarısı bu grafiklerden açıkça anlaşılmaktadır. Gözlem ile ayarlanmış senaryo verilerinin standart sapma değerleri birbirine oldukça yaklaşmıştır.



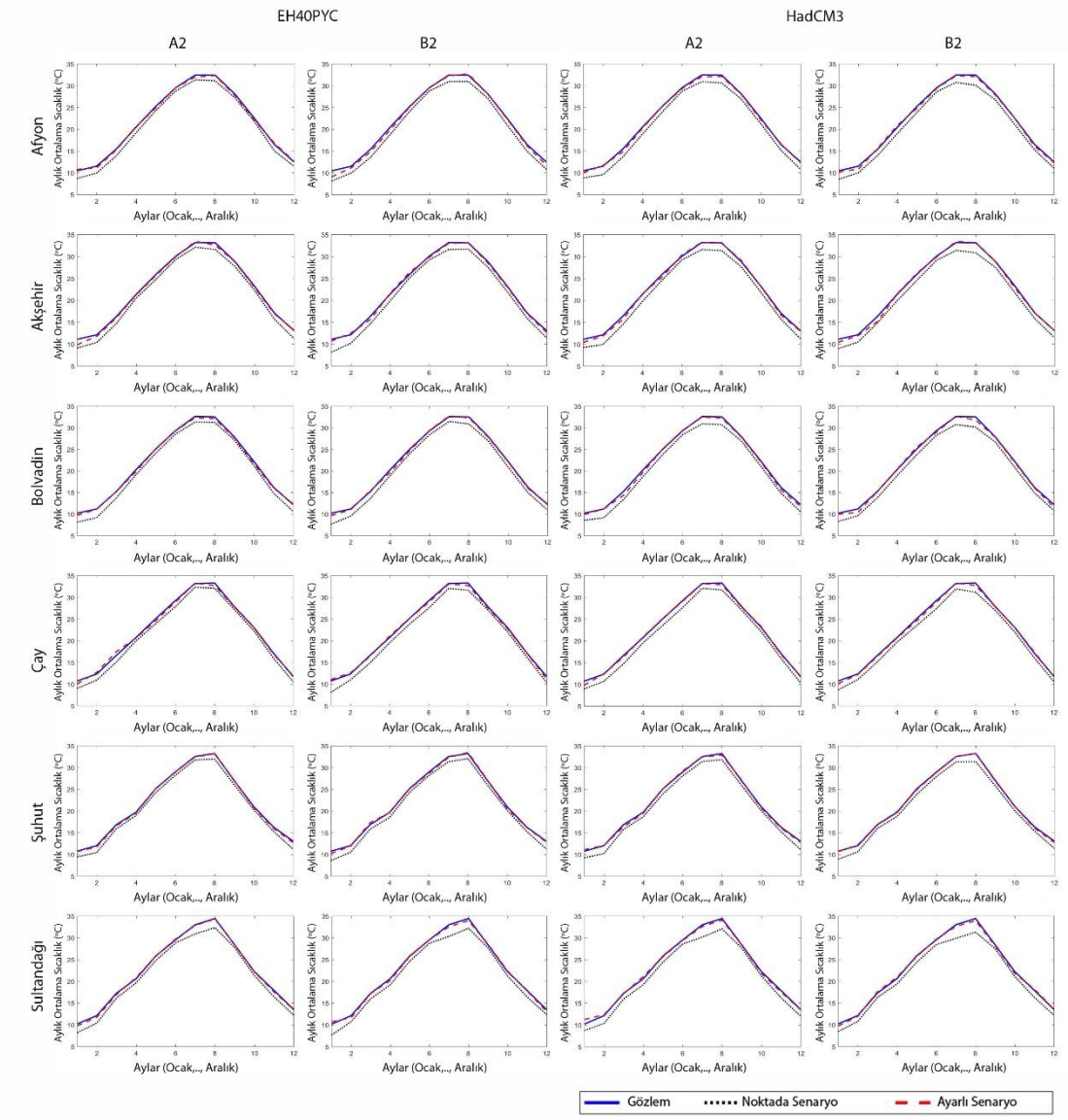
Şekil 3.20 : İç bağımlılığı ayarlanmış verilerin standart sapma ilişkisi.

Korelasyon katsayılarının benzemişimi en net olarak HadCM3 senaryoları aylık ortalama sıcaklık verilerinde ortaya çıkmıştır. NTYV ile nokta ya da istasyon koordinatlarına indirgenen verilerin korelasyon katsayıları ile gözlem verilerinin korelasyon katsayısı arasındaki farklar tüm istasyonlar için oldukça fazla iken, BMS ayarlaması sonucu benzeşimi oldukça yüksek bir değere ulaşmıştır. Şekil 3.21 yüksek başarımlı korelasyon katsayısı benzeşim grafiklerini göstermektedir.



Şekil 3.21 : İç bağımlılığı ayarlanmış verilerin korelasyon katsayısı ilişkisi.

Son olarak en önemli kriterlerden birisi olan aylık ortalama sıcaklık benzeşimleri Şekil 3.22'de matris halinde sunulmuştur. HadCM3 aylık ortalama sıcaklık verilerinin ayarlanmış tahmin ile gözlem verileri ortalamalarının aylık ölçekte birbirleriyle çok uyumlu hale getirildiği bu grafiklerden açıkça anlaşılmaktadır. NTYV sonrası elde edilen verilerle gözlemler arasında az da olsa fark bulunurken, BMS sonrası bu fark neredeyse ortadan kaldırılmış veya en aza indirilmiştir.



Şekil 3.22 : İç bağımlılığı ayarlanmış Aylık ortalama sıcaklıklar (^{o}C).

3.2.2 İstasyon ölçeğinde sonuçların değerlendirmesi

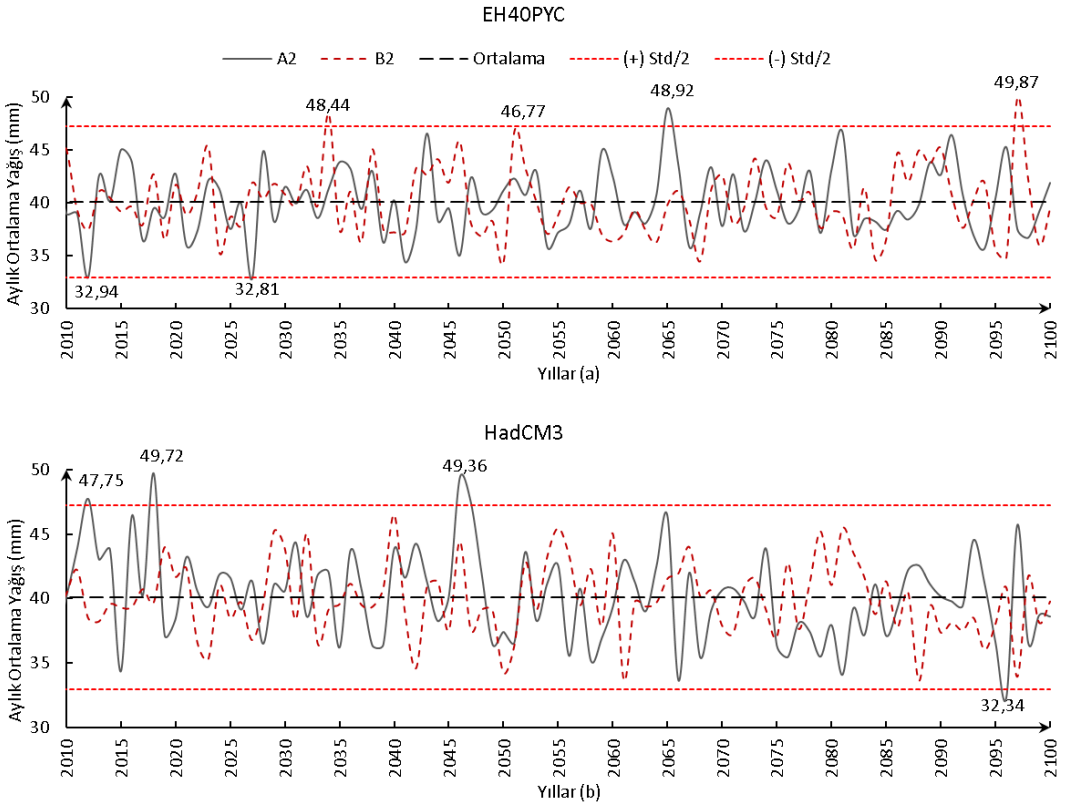
Akarçay havzası içerisinde modelleme için seçilen yağış ve sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı istasyonlara ait iklim modeli sonuçları gözlem dönemleriyle kıyaslanarak ayrı ayrı grafikler halinde sunulmuştur. 1981–2010 gözlem periyodu için her bir istasyonda iklim modeli sonuçları da elde edilerek gözlemlerle kıyaslanmıştır. Genel karakter olarak, tüm istasyonlarda aylık toplam yağış karakterleri birbirine benzer sonuçlar vermiştir. Model ile gözlem verilerinin tepe değerlerde birbirinde farklı sonuçlar verdiğini söylemek mümkündür. Ancak, sıcaklık zaman serisine bakıldığında gözlemlerle tahmin verilerinin mükemmel bir uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Her bir istasyon için sunulan grafiklerden ilki gözlem dönemi kıyaslanması için verilmiştir. Takip eden grafikler ise aylık toplam yağış ile aylık ortalama sıcaklık

senaryo tahmin değerlerinin 2100 yılına kadar ayrı ayrı sunulmuştur. Bu grafikler sayesinde kolaylıkla 2100 yılına kadar bütün istasyonlarda beklenilen yağış miktarları ve ortalama sıcaklıklar 10'ar yıllık periyotlar halinde görülebilmektedir. Toplam yağış miktarı yıldan yıla gözle görülebilir dalgalanmalar yaparken yıllık ortalama sıcaklık tahminlerinde yıldan yıla sıcaklık değerlerindeki fark oldukça azdır. Zaten sıcaklık ortalamalarında çok büyük fark beklemek de gerçekçi değildir.

Gözlem istasyonlarına ait 10 yıllık zaman dilimlerinde yığışımlı toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık durumlarını gösteren ayrıntılı tahmin değerleri Ekler bölümünde tezin sonunda sunulmuştur.

3.2.3 Akarçay Havzası ölçeğinde sonuçların değerlendirmesi

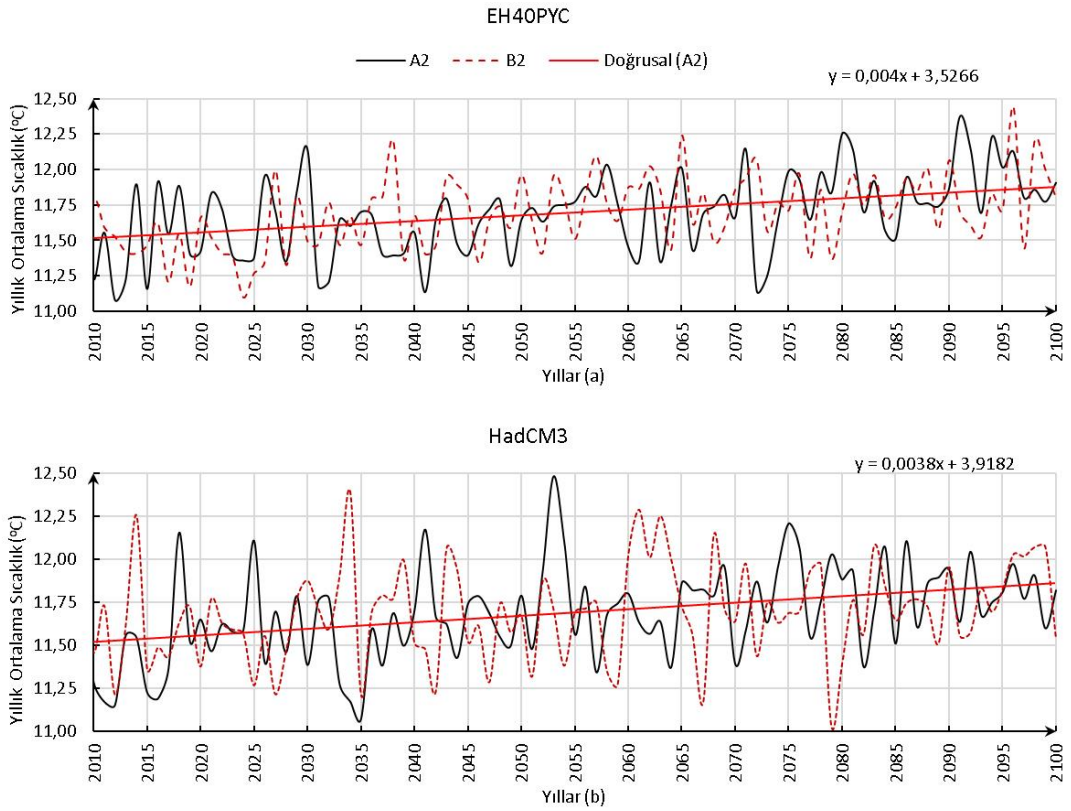
Akarçay havzası iklim modeli sonuçları altı istasyonda elde edilen tahmin verilerinin aritmetik ortalamaları alınmak suretiyle elde edilmiştir. Şekil 3.23'de 2011–2100 yıllarına ait aylık ortalama yağış zaman serileri görülmektedir. Hem EH40PYC hem HadCM3 senaryolarında görüldüğü üzere ortalamalar sabittir. Ancak, zaman içerisindeki yağış miktarının dağılışı farklılık göstermektedir. Gözlem verileri ortalamasının üzerinde yağış alan yıllarda taşkın riski olabileceği akla gelmelidir. Ortalama yağış değerinin (40,06 mm/ay) üzerinde her yağışlı yıl için taşkın tehlikesinden (riskinden) bahsetmek mümkün değildir. Bu yüzden gözlem verilerinin standart sapma ortalamaları alınarak bir eşik seviyesi belirlenmiştir. Bu seviyenin üzerinde olan yağışlar bazı yıllarda taşkın, altında olan yağışlarda bazı yıllarda kuraklık beklentisini artırılabilir. Kuraklık ve taşkın analizi elbette bu kadar basite indirgenerek açıklanabilecek bir iklim olayı olmadığının altını çizilerek bu değerlerin sadece bir uyarı niteliğinde olduğu kabul edilmelidir.



Şekil 3.23 : Akarçay havzası aylık ortalama yağış tahminleri zaman serileri a) EH40PYC b) HadCM3 (2011–2100).

Bu değerlendirmeler ışığında EH40PYC-A2 senaryosu için 2065 yılında ortalamdan bir hayli fazla (48.92 mm/ay) yağış beklenilmektedir. Aynı senaryo için en yakın 2027 (32.81 mm/ay) yılında ciddi bir kuraklık beklenilebilir. Aynı EH40PYC-B2 senaryoları dikkate alındığında, taşkın riski beklenilen yıllar sırasıyla grafikten 2034 (48.44 mm/ay), 2051 (46.77 mm/ay) ve 2097 (49.87 mm/ay) olarak okunabilmektedir. HadCM3-A2 senaryosuna göre ise yakın gelecekte standart sapma eşiğinin üzerinde yağış beklenen yıllar 2018 (49.72 mm/ay) ve 2046 (49.36 mm/ay) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca aynı senaryo için uzak gelecekte 2096 yılı için ortalama yağışlarda ciddi bir azalma (32.34 mm/ay) beklenilmektedir. Elbette zikredilen yıllardaki tahminler o yıllar etrafında bulanık olarak değerlendirilmelidir. Tahmin edilen yılların öncesinde ve sonrasında tespit edilen olağanüstü iklim olayları yaşanabilir.

Sıcaklık tahminlerine gelindiğinde ise yıllara göre senaryo verilerinin gidişatı Şekil 3.24'de görülebilmektedir. Tüm senaryo verileri için ortalama değerlere bakıldığında sıcaklıkların sürekli artan bir eğilimde olduğu görülmektedir. Örneğin, EH40PYC senaryoları için 2011 yılı başında ortalama sıcaklık 11.50 ^{o}C civarında iken, 2100 yılında 0.30 ^{o}C artarak 11.80 ^{o}C olması beklenilmektedir.



Şekil 3.24 : Akarçay havzası yıllık ortalama sıcaklık tahminleri zaman serileri a) EH40PYC b) HadCM3 (2011–2100).

Benzer şekilde HadCM3 senaryoları için de bu artış yaklaşık olarak aynı değerleri işaret etmektedir. Ortalama değerlerin eğimleri göz önüne alındığında yıllık ortalama sıcaklıkların %0.3–0.4 arasında bir artış göstereceği söylenebilir. Yıllık sıcaklık ortalama değerleri her bir senaryo tahmini için farklılık göstermektedir. Özellikle ortalamanın üzerinde diğer tepe (pik) noktalara kıyasla daha büyük değere sahip olan yıllara kuraklık açısından dikkat etmek gerekebilir. Örneğin, 2027 yılı için EH40PYC senaryoları ortalama sıcaklığın ortalamanın bir hayli üzerinde olacağını ve aynı yıl yağış miktarının da ciddi azalma göstereceğine işaret etmektedir. Yakın gelecekte muhtemelen 2027 yılı etrafında havza genelinde ciddi bir kuraklık riski beklenilebilir.

3.3 Model Sonuçlarının Geçerlilik Kontrolü

Mühendislik hesaplamalarında kullanılan matematik veya fizik temelli modellerin hepsi belirli sınırlar içerisinde hata oranı içermektedir. Bir modelin başarılı olup olmadığı sonuçlar elde edildikten sonra mutlaka hata kontrolüne veya model sonuçlarının geçerlilik sınamasına (testine) bakılarak karar verilmelidir. Hidroloji ve

iklim çalışmalarında da hatanın belirli bir yüzdeyi aşmaması gerekmektedir. Bu alanda sıkça kullanılan sınama yöntemlerinden Nash-Sutcliffe verimliliği (Nash-Sutcliffe Efficiency-NSE) (Nash and Sutcliffe, 1970), Yüzde Eğilim (Percent Bias-PBIAS) ve Standart Sapma Oranı (Standart Deviation Ratio-SDR) sınamaları model sonuçlarının kontrolü için kullanılmıştır. Bütün sınamalarda kullanılan Pi değerleri aylık ortamaları göstermektedir. (n=1,2,…,12)

Normalize edilmiş istatistik değer olan NSE katsayısı gözlem ve tahmin verileri arasındaki ilişkiyi aylık ölçekte aşağıdaki formülde gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır:

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(P_i^{gözlem} - P_i^{tah\min} \right)^2}{\sum_{i=1}^{n} \left(P_i^{gözlem} - P_{ortalama}^{tah\min} \right)^2} \right] \tag{3.6}$$

Bu denklemde NSE katsayısı $-\infty$ ile 1 arasında değişmektedir. Sonucun 1 veya 1'e yakın bir değer olması modelin çok iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

PBIAS ise model tahmin verilerinin gözlem verilerinden büyük ya da küçük olma eğilimlerini gösteren bir sınama olarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilmektedir:

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(P_i^{gözlem} - P_i^{tah\min} \right) x100}{\sum_{i=1}^{n} \left(P_i^{gözlem} \right)} \tag{3.7}$$

Bu sınamanın en iyi sonucu PBIAS katsayısının 0 (sıfır) olması durumunda elde edilmektedir. Sıfırdan büyük değerlerde modelin yüksek sıfırdan küçük olması durumunda ise düşük tahmin yaptığını göstermektedir. Sonucun sıfır etrafında küçük değerlerde olması model sonuçlarının doğruluğu açısından önem arz etmektedir.Son sınama olan SDR, hata karelerinin en küçüklerinin standart sapmalarının oranı olarak da ifade edilebilir. Eniyi (optimum) sonuç SDR değerinin 0 (sıfır) olması durumunda elde edilirken küçük değerler model tahminlerinin başarılı olduğunu göstermektedir. SDR sınaması (testi) aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilmektedir:

$$SDR = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(P_i^{gözlem} - P_i^{tahmin}\right)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(P_i^{gözlem} - P_{ortalama}^{tahmin}\right)^2}} \tag{3.8}$$

Sınama sonuçlarının kıyaslanabilmesi için referans aralıklar Çizelge 3.1'de verilmiştir. Sonuçların davranış ve verimlilik (performans) sınıflandırılması değişik aralıklara göre 4 farklı bulanık alt gruba ayrılmıştır.

Çizelge 3.1 : Test sonuçlarının sınıflandırılması (Moriasi ve diğ., 2007).

Performans Puanı	SDR	NSE	PBIAS (%)
Çok iyi	$0.00 \leq SDR \leq 0.50$	$0.75 < NSE \leq 1.00$	$PBIAS \leq \pm 1.00$
İyi	$0.50 < SDR \leq 0.60$	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$
Kabul edilebilir	$0.60 < SDR \leq 0.70$	$0.50 \leq NSE \leq 0.65$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$
Kabul edilemez	$SDR > 0.70$	$NSE < 0.50$	$PBIAS \geq \pm 25$

Yukarıdaki çizelgede verilen değer aralıklarına göre aylık ortalama yağış ve sıcaklık tahminleri için elde edilen sonuçlar verimlilik (performans) oranlarıyla birlikte Çizelge 3.2'de sunulmuştur. Aynı çizelgede gözlem ortalama değerleri ile standart sapma değerleri de ayrı ayrı sütunlarda kıyaslama yapabilmek için sunulmuştur. Sınama sonuçları hem yağış tahminleri hem de sıcaklık tahminleri için "Çok İyi" derecesi alarak tahminlerin çok başarılı olduğunu göstermektedir. Yalnızca Şuhut istasyonuna ait yağış verilerinin HadCM3-A2 senaryosuna göre elde edilen tahminler NSE ve SDR sınamalarından başarıyla geçmiş olmalarına rağmen "Kabul Edilebilir" derecesi almışlardır. Akarçay havzasını temsil eden istasyonlara ait ortalama değerler de aynı şekilde tüm sınamalarından "Çok İyi" derecesi alarak geçmiştir. Bu sonuçlar alt ölçekleme modelinin başarısını ve doğruluğunu teyit etmektedir. Yağış ve sıcaklık tahminleri kıyaslandığında sınama sonuçlarının sıcaklık tahminlerinde çok daha iyi sonuçlar verdiği ayrıca görülmektedir.

Çizelge 3.2 : Model test sonuçları ve başarı sınıflandırmaları.

İstasyonlar	Yağış (mm)												Sıcaklık (ºC)										
	Gözlem Yağış (mm)		KDM Merkezi	A2					B2					Gözlem Sıcaklık (ºC)		A2					B2				
	μ (mm)	σ (mm)		μ (mm)	σ (mm)	NSE	SDR	PBIAS (%)	μ (mm)	σ (mm)	NSE	SDR	PBIAS (%)	μ (ºC)	σ (ºC)	μ (ºC)	σ (ºC)	NSE	SDR	PBIAS (%)	μ (ºC)	σ (ºC)	NSE	SDR	PBIAS (%)
Afyon	34,56	11,87	EH40PYC	34,71	10,94	0,88	0,34	-0,44	34,60	13,56	0,86	0,38	-0,11	11,40	8,14	11,29	8,02	1,00	0,04	0,93	11,05	8,50	1,00	0,07	3,02
			HadCM3	35,21	11,42	0,90	0,31	-1,88	34,07	11,18	0,93	0,26	1,41			11,18	8,11	1,00	0,04	1,88	11,23	8,15	1,00	0,04	1,50
Akşehir	45,07	19,41	EH40PYC	45,72	20,19	0,98	0,15	-1,45	43,96	18,46	0,91	0,30	2,46	12,09	8,15	11,84	8,31	1,00	0,06	2,03	11,95	8,21	1,00	0,04	1,12
			HadCM3	43,55	18,99	0,96	0,21	3,37	43,86	17,26	0,90	0,31	2,68			11,91	8,37	1,00	0,05	1,47	11,91	8,36	1,00	0,05	1,46
Bolvadin	33,19	12,36	EH40PYC	34,48	13,04	0,92	0,29	-3,88	33,26	13,80	0,86	0,38	-0,20	11,21	8,25	11,01	8,21	1,00	0,04	1,80	11,06	8,31	1,00	0,04	1,32
			HadCM3	31,85	12,40	0,94	0,24	4,04	35,86	12,74	0,89	0,33	-8,05			10,94	8,38	1,00	0,05	2,42	10,99	8,34	1,00	0,05	1,94
Çay	43,68	15,89	EH40PYC	44,15	17,71	0,90	0,31	-1,07	43,34	15,67	0,94	0,24	0,77	11,72	8,14	11,63	8,03	1,00	0,05	0,73	11,59	8,02	1,00	0,04	1,13
			HadCM3	43,41	15,54	0,94	0,25	0,62	43,73	15,31	0,98	0,16	-0,10			11,59	8,20	1,00	0,04	1,11	11,53	8,14	1,00	0,04	1,64
Sultandağı	46,04	15,80	EH40PYC	47,22	18,04	0,94	0,24	-2,56	46,57	14,56	0,96	0,19	-1,14	12,06	8,20	11,95	8,31	1,00	0,03	0,92	11,93	8,13	1,00	0,04	1,11
			HadCM3	45,97	16,50	0,97	0,18	0,15	49,12	16,47	0,94	0,25	-6,69			12,05	7,94	1,00	0,05	0,14	11,96	8,12	1,00	0,04	0,86
Şuhut	37,83	10,56	EH40PYC	35,63	10,19	0,90	0,32	5,80	40,88	12,56	0,75	0,50	-8,07	11,35	7,91	11,20	8,00	1,00	0,03	1,31	11,25	7,98	1,00	0,04	0,89
			HadCM3	40,03	12,65	0,54*	0,68*	-5,81	37,86	11,38	0,85	0,39	-0,08			11,26	7,91	1,00	0,03	0,83	11,29	7,91	1,00	0,02	0,56
Ortalama	40,06	14,31		40,16	14,80	0,90	0,29	-0,26	40,59	14,41	0,90	0,31	-1,43	11,64	8,13	11,49	8,15	1,00	0,04	1,30	11,48	8,18	1,00	0,04	1,38

(*) İşaret olan değerler: “Kabul Edilebilir”
(*) İşaret olmayan değerler: “Çok İyi”

4. GİDİŞ (TREND) ANALİZİ

4.1 Gözlem Verileri Gidiş (Trend) Analizi

4.1.1 Giriş

İklim değişikliğinin herhangi bir havzada atmosfer ve hidroloji değişkenleri üzerindeki sosyo-ekonomik etkileri afet boyunda olabilmektedir. Dünyanın pek çok bölgesinde kuraklık ve taşkın gibi iklim olaylarının sıklık (frekansı) ve yoğunluğu artma eğilimi göstermektedir. Genel olarak, gözlem verileri ortalama değerler üzerinden hesap edildiği için taşkın ve kuraklık gibi aşırı değerleri tanımlamakta yetersiz kalmaktadır. Ölçülmüş değişkenlerin ya da gözlem verilerinin sınıflandırılması kuraklık ve taşkın tanımlaması için son derece önemlidir. En az üç bulanık sınıflandırma yapıldığı takdirde ("Düşük", "Orta" ve "Yüksek") bilimsel olarak kuraklık ve taşkın gibi nadir rastlanan olaylar tanımlanabilir veya daha sağlıklı olarak tahmin edilebilir (Şen, 2010).

İklim değişikliğinin etkileri arasında çevre ve insan üzerinde pek çok etkisi olduğu söylenebilir. Endüstri devriminden sonra bu etkiler dünyanın çevre ve atmosferin doğal dengesini tehdit eder duruma gelmiştir. Özellikle, atmosfere salınan karbon salımlarının (emisyonunun) artması küresel ortalama yıllık sıcaklıkların artmasını tetiklemiş ve ortalama yüzey sıcaklığı 1901'den bu yana yaklaşık 0.89 ˚C arttığı gözlemlenmiştir (IPCC, 2007). Ayrıca, alışılmış iklim olayları aşamalı olarak değişmeye başlamıştır. Doğal su kaynakları özellikle Doğu Akdeniz, Orta Doğu ve Afrika ülkelerinde iklim değişikliğinin bu olumsuz etkilerine maruz kalmaktadır (Minville ve diğ., 2008).

IPCC tarafından en son yayınlanan AR5 raporuna göre dünyanın ortalama yüzeysel sıcaklığı en yüksek CO_2 salınım senaryosu dikkate alındığında 2.6 ˚C ile 4.8 ˚C arasında artması tahmin edilmektedir. Ayrıca, aynı raporda küresel sıcaklık artmasına paralel olarak, sıcaklık dalga sıklığı ve süresinin de %90'ın üzerinde artacağı vurgulanmıştır (Chen ve diğ., 2014; Cobaner ve diğ., 2014). Kurak bölgelerde aşırı yağış ve sıcaklıkların etkisi ile kurak alanlar daha da kurak, yağışlı alanlar da daha da yağışlı hale geldiği yine AR5 raporunda vurgulanan konular arasındadır (IPCC, 2013).

İklim değişikliği etkisi altında, araştırma, uyum (adaptasyon) ve zararları hafifletme çalışmaları (mitigation) her millet için olduğu gibi her bölge için de önem arz etmektedir. İklim değişikliğinden en çok etkilenecek bölgeler arasında Kuzey Avrupa, Doğu Afrika, Kuzey Amerika (Kanada), Güney Amerika (Arjantin) ve bazı Asya bölgeleri gösterilebilir (IPCC, 2007). Bunların yanında diğer bölgelerde de bariz şekilde görüldüğü üzere yağışlar azalım eğilimindedir. Örneğin, 2050 yılına kadar Türkiye'de özellikle Akdeniz ikliminin etkisi altında kalan bölgelerde önemli bir şekilde yağışların azalması beklenmektedir (Şen ve diğ., 2010). Buna rağmen, bazı bölgelerde açıkça yağışların gidiş temayülü (trendi) tahmin edilememektedir (Prăvălie ve Bandoc, 2015).

Özellikle, Türkiye ve benzer iklim ve coğrafi özelliklerine sahip tropik iklime sahip orta kuşak ülkeleri iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkileriyle gelecekte en önemli problem olarak yüzleşeceklerdir. Yağışların azalmasına ek olarak IPCC AR5 raporuna göre küresel ısınmadan kaynaklı akım rejimlerinin de ortalama olarak 15%-20% arasında azalması beklenmektedir (Jiang ve diğ., 2014). İklim değişikliği olayları parametresine ve duruma göre azalan, duruma göre de artan trend gösterebilmektedir. Mesela, sıcaklık gözlemleri artan eğilim gösterirken, yağış kayıtları azalış eğilimine işaret edebilmektedir. (Gocic ve Trajkovic, 2013). Eğer hidrometeorolojik değişkenler gözle görülebilir bir trende sahip olursa, gelecekte ortaya çıkabilecek iklim olaylarını tahmin etmek kolaylaşacaktır.

Literatürde, gidiş (trend) çözümlemesi (analizi) için pek çok yöntem ileri sürülmüştür. Yakın tarihte Şen (2012) tarafından İnovatif(Yenilikçi)-Şen 1:1 (45°) doğrusal grafik formundaki trend yöntemi ortaya atılmıştır. Bu yöntemin en önemli özelliği hiçbir varsayımı içermemesidir. Bu yaklaşımın Mann-Kendall, Spearman rho ve Sen-eğim yöntemlerine kıyasla en önemli faydası göz önünde tutulan zaman serisinin bağımlı veya bağımsız olması fark etmeksizin tüm veri serilerine uygulanabilir olmasıdır. Bu üstün özelliğinden dolayı, İnovatif-Şen yöntemi pek çok araştırmacı tarafından hidrolojik ve iklim verilerinin zaman serilerinin analizinde kullanılmıştır (Sonali ve Kumar, 2013; Timbadiya ve diğ., 2013; Markus ve diğ., 2014; Mishra ve Coulibaly 2014; Haktanir ve Citakoglu, 2014). Mann-Kendal (Mann, 1945; Kendall, 1975), Spearman's rho (Sen, 1968) ve doğrusal analiz (Bezak ve diğ., 2014) yöntemlerini karşılaştırma yapabilmek için çeşitli yöntemler uygulanarak karşılaştırılabilse bile,

hiçbir varsayım yapmaksızın bütün zaman serilerine uygulanmaları mümkün değildir (Haan, 1977).

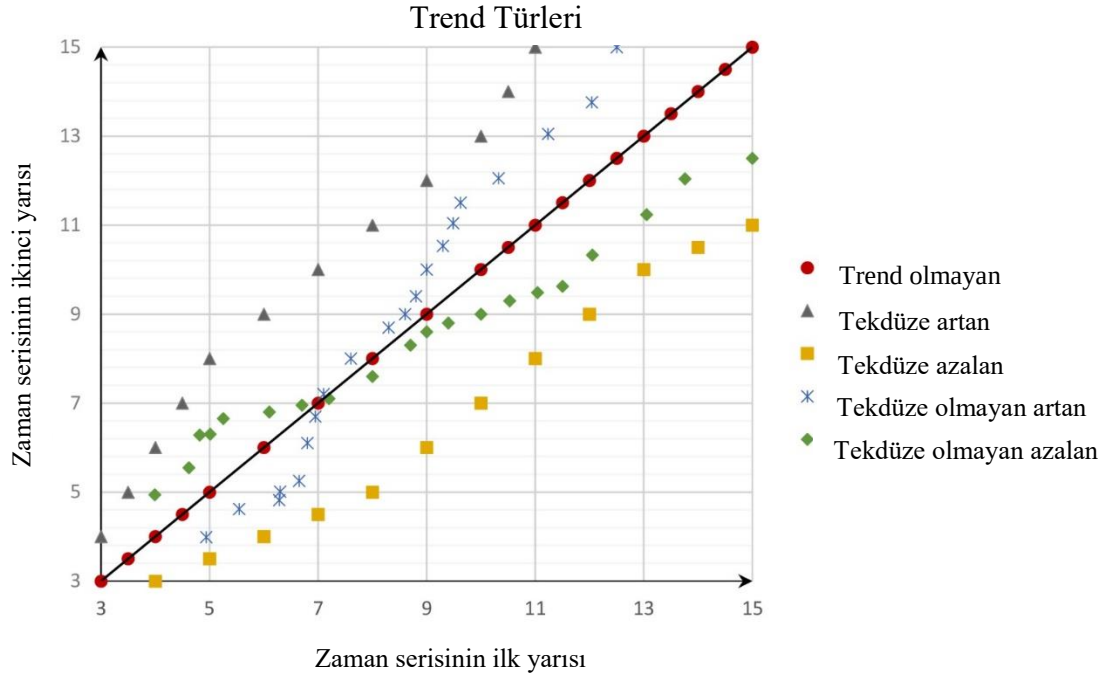
Bu bölümde, Akarçay havzasında bulunan gözlem istasyonlarında kayıtları tutulan meteorolojik verilere İnovatif-Şen yöntemi geliştirilmek sureti ile uygulanmış ve trend karakterleri belirlenmiştir. Bu çalışmada ilk defa trend zarf eğrileri tanımı kullanılmış ve yenilik olarak İnovatif-Şen yöntemine trend zarf eğrileri ilave edilmiştir. Ayrıca karşılaştırma yapabilmek amacıyla, Mann-Kendall, Spearman's rho, Theil-Sen eğim ve doğrusal analiz yöntemleri gözlem verileri olan sıcaklık, yağış, nisbi nem ve rüzgâr hızı zaman serilerine uygulanmıştır. Son olarak, iklim değişikliğinin meteorolojik veriler üzerindeki etkisi gidiş (trend) analiz sonuçlarına göre yorumlanarak ortaya konulmuştur.

4.1.2 Metodoloji

4.1.2.1 İnovatif-Şen trend metodu

Bu yöntemde gözlem verileri başlangıç tarihinden itibaren eşit uzunlukta ikiye bölünerek küçükten büyüğe doğru sıralanır. İlk alt seri x-eksenine, ikinci alt seri ise y-eksenine gelecek şekilde Kartezyen koordinat düzlemine Şekil 4.1'de görüldüğü şekilde yerleştirilir. Eğer veriler 1:1 (45°) doğrusu üzerine düşer veya bu doğruya çok yakın düşerse pratik olarak incelenen seride trendin olmadığı anlaşılır. Eğer veriler 1:1 (45°) doğrusu üstüne (altına) düşer ve sürekli eğriden uzaklaşacak şekilde artıyor (azalıyor) ise bu trend türüne tekdüze (monotonic) artan (azalan) trend ismi verilmektedir. Sürekli bir artış (azalış) küçük değerlerde göstermeyip, değerler büyüdükçe artan (azalan) karakterde olan serilere de tekdüze olmayan (non-monotonic) artan (azalan) trende sahip seriler denilmektedir.

Bu açıklama ve bakış açısıyla hidrometeorolojik verilerin zaman serileri uzman bakış açısı altında en az "düşük", "orta" ve "yüksek" olmak üzere 3 alt sınıfa ayrılabilir. Böylece verinin kendi içerisinde kritik öneme sahip özellikle yüksek ve düşük değerlerin durumları daha gerçekçi bir biçimde ortaya konabilir. Özellikle yüksek değerlerin örneğin yağış verisi ele alındığında taşkın riskine ve sıklığına işaret ettiği anlaşılırken, düşük değerleri de kuraklık sıklık durumuna işaret eder. Gelecekte taşkınların daha sık görülüp görülmeyeceği, ya da kuraklığın aynı şekilde daha az veya daha fazla sıklıkta gerçekleşip gerçekleşmeyeceği kolaylıkla anlaşılabilir.



Şekil 4.1 : Azalan, artan ve trend olmayan serilerin gösterimi.

Bu çalışmada İnovatif-Şen trend metodu üzerine ilk defa 1:1 (45°) doğrusuna paralel olarak çizilen ±%5 ve ±%10 trend zarf eğrileri çizilmek suretiyle yöntem geliştirilmiştir. Bu trend zarf eğrileri sayesinde sözel çıkarımlar sayısal nicelik kazanarak nesnel (objektif) değerlendirme imkanı elde edilmiştir.

4.1.2.2 Mann-Kendall trend metodu

Parametrik olmayan Mann-Kendall (MK) trend sınaması iklim verilerinin tekdüze (monotonic) gidişlerini değerlendirmek amacıyla çok geniş kullanım alanına sahiptir. Ayrıntılı uygulama usulü yöntemin ilk kez ortaya atıldığı makalelerde açıklanmıştır (Mann, 1945; Kendall, 1975). MK istatistik Z değeri standart normal dağılım tablosuyla %95 güven aralığında veya istenilen başka yüzdelerde (α = 95%) karşılaştırılır. Hesaplanan Z mutlak değeri $|Z| > |Z1-\alpha/2|$, değerinden büyük olduğu durumda sıfır (H_0) hipotezi geçersiz olur ve trend istatistiki olarak belirgin bir şekilde vardır. Tersi durumda (H_1) varsayımı geçerli olup, istatistiki olarak trendin olmadığına işaret eder. MK sınaması istatistik değeri (S) aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanabilir.

$$\operatorname{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & ; \quad x_j > x_i \\ 0 & ; \quad x_j = x_i \\ -1 & ; \quad x_j < x_i \end{cases} \tag{4.1}$$

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1+1}^{n} \operatorname{sgn}(x_j - x_i) \tag{4.2}$$

Bu denklemlerde x_i ve x_j veri değerlerini temsil ederken i, j harfleri indisi ve n değeri de zaman serisinin uzunluğunu temsil etmektedir. S değerinin pozitif olması trendin artan olduğunu gösterirken, negatif oluşu azalan trende işaret etmektedir. Veri uzunluğunun n>10'dan büyük olduğunda ve veriler normal dağılıma uygun olduğu durumlarda serinin varyansı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir.

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{p} t_i (t_i - 1)(2t_i + 5)}{18} \tag{4.3}$$

Bu denklemde p bağımlı grup sayısını; t_i bağımlı grup içerisindeki veri değerini göstermektedir. Eğer seri içerisinde herhangi bir bağımlı grup var ise bu denklem içerisinde yer alan toplam işlemi göz ardı edilebilir. Serinin varyansı hesaplandıktan sonra standart Z değeri aşağıdaki denklem vasıtası ile elde edilebilir.

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & If \quad S > 0 \\ 0 & If \quad S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & If \quad S < 0 \end{cases} \tag{4.4}$$

MK testinin uygulanmasından önce seri korelasyonunun verilen zaman serisinden ön beyazlaştırma işlemi kullanılarak arındırılması gerekmektedir. Eğer hesaplanan korelasyon katsayısı, r_1, belirgin ise MK sınaması uygulamadan önce ön beyazlaştırma işlemi yapılması gerektiği tavsiye edilmektedir (Von Storch ve Navarra, 1995). Korelasyon katsayısının kabul edilen güven aralığındaki kritik değeri test yönteminin tek veya çift yönlü olmasına bağlıdır. Tek yönlü sınama varsayımı göz önüne alındığında, genelde çift yönlü varsayım sınama sonucunda da korelasyon katsayısı sıfırdan büyük olmaktadır. Bunun tam tersi olarak öncelikle çift yönlü sınama varsayımı dikkate alındığında korelasyon katsayısının tek yönlü sınamada eksi veya artı olacağı bilinememektedir. Bu durumu açıklamak için bağımsız serilerin

korelasyon olasılık limitleri Salas ve diğ. (1980) tarafından yapılan çalışmada ayrıntıları ile verilmiştir.

4.1.2.3 Doğrusal regresyon analiz metodu

Doğrusal regresyon çözümleme yöntemi parametrik bir yaklaşım olarak tek değişkenli serilerin gidiş (trend) eğiminin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Eğer trend ortalama doğrusu artı eğimli ise artan trend karakterli bir seri, eksi eğimli ise de azalan karakterli bir seri var anlamına gelmektedir. Bu yöntemde küçük trend eğimlerinin gözle görülür bir şekilde belirlenmesi zor olmakla birlikte hesap yapıldığı takdirde verinin tamamı hakkında trendin olup olmadığı konusunda bilgi verebilir.

4.1.2.4 Sperman's Rho ve Theil-Sen eğim metodu

Sperman's Rho testi MK sınamasına benzemekle birlikte paramatik olmayan doğrusal ya da doğrusal olmayan trenleri belirleyen tekdüze bir kuvvettir. Genel olarak, trendin olmadığı durumları tanımlar (Dahmen ve Hall, 1990). Bu sınamada sıfır (H_0) hipotezi, bütün verilerin zaman serisi içerisinde bağımsız ve normal dağılıma uygun olması gerekir ve bu durum trendin olmadığına işarettir. Alternatif varsayım olan (H_1) kabul edildiğinde ancak azalan veya artan trendden bahsetmek mümkündür (Yue ve diğ., 2002). Bu yöntemde sınama istatistik değeri olan D ve standartlaştırılmış test istatistik değeri Z_{SR}, sırasıyla aşağıdaki ifadelerle gösterilmiştir.

$$D = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{n}(R_i - i)^2}{n(n^2 - 1)} \tag{4.5}$$

$$Z_{SR} = D\sqrt{\frac{(n-2)}{(1-D^2)}} \tag{4.6}$$

Bu denklemlerde R_i, i. gözlem sırasını; n ise örnek seri boyutunu temsil etmektedir. Z_{SR} değerinin artı olması artan trendin varlığına işaret ederken, eksi olması azalan yönde trendi göstermektedir.

Theil-Sen eğim yöntemi ise verilen zaman serisinin eğiminin büyüklüğünü belirlemede kullanılmaktadır (Theil, 1950; Sen, 1968). Bu yöntem doğrusal regresyon analizi ile kıyaslandığında, ortalama değerden sapan değerlerin eğim üzerindeki etkisini sınırlandırmaktadır. Trend eğimi, β simgesiyle ifade edilmekle ve geçerli denklemi şöyledir.

$$\beta = Median\left(\frac{x_j - x_i}{j - i}\right) \qquad i < j \tag{4.7}$$

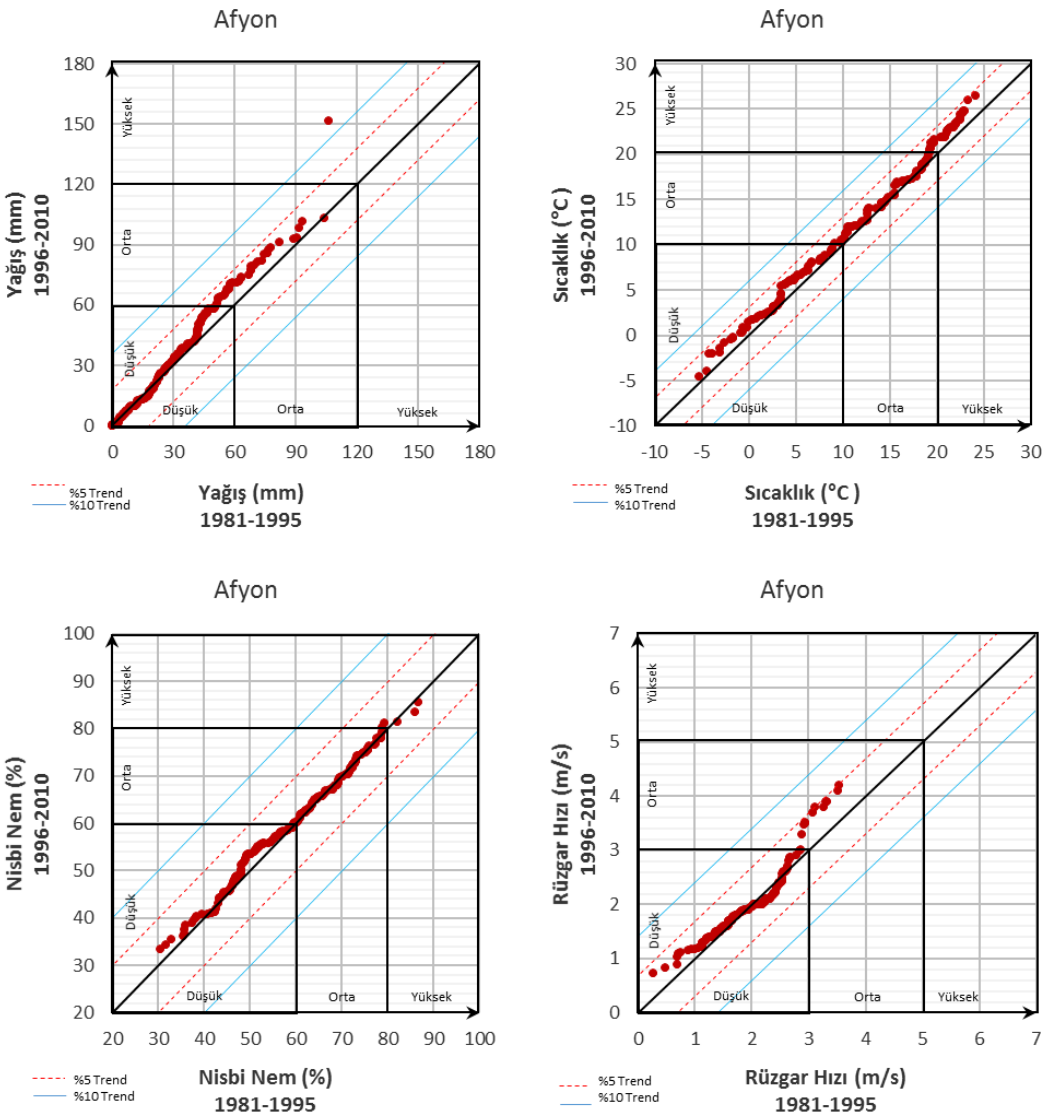
Burada, x_i, zaman serisinin i ve j yıllarındaki değerini göstermektedir.

4.1.3 Uygulama

4.1.3.1 İnovatif-Şen trend metodu

Yukarı Akarçay alt havzasında ilk trend araştırması Afyon istasyonunda yapılmıştır. Şekil 4.2'de görüleceği üzere yağış, sıcaklık, nisbi nem ve zemin hizasında ölçülen rüzgâr hızına ait trend grafikleri görülmektedir. Grafik üzerinde yer alan sınıflandırma sınırları genel ortalama değerler dikkate alınarak uzman görüşü ilave edilerek belirlenmiştir. Açıkça görüldüğü üzere rüzgâr hızındaki çalkalanma diğer değişkenlere göre daha fazladır. Bu durum coğrafi özellikleri göze alındığında Afyon istasyonu özelinde Akdeniz'in ılıman hava ve karasal hava akımlarının değişim noktalarından kaynaklandığı ileri sürülebilir. Rüzgâr hızı verisinin orta değerdeki grubunda yer alan veriler için yaklaşık %4 (+) artış eğilimi görülürken, düşük hız grubunda yer alan veriler için açık bir gidişten bahsetmek mümkün değildir. Sınıflandırma sınırları dikkate alındığında Afyon istasyonu için yüksek hız grubunda veriye rastlanmamıştır.

Yağış grafiği ele alındığında özellikle yüksek yağış grubuna düşen verilerin artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bunun ana sebebi iklim değişikliği nedeniyle aşırı yağışların son zamanlarda artış göstermesi yorumu yapılabilir. Buna ilaveten, grafikte görüldüğü üzere düşük yağış grubundaki veriler ortalama %2 (+) artış trendi gösterirken; orta değerdeki verilerde de yaklaşık %4 (+) artış trendi gözlemlenmektedir.

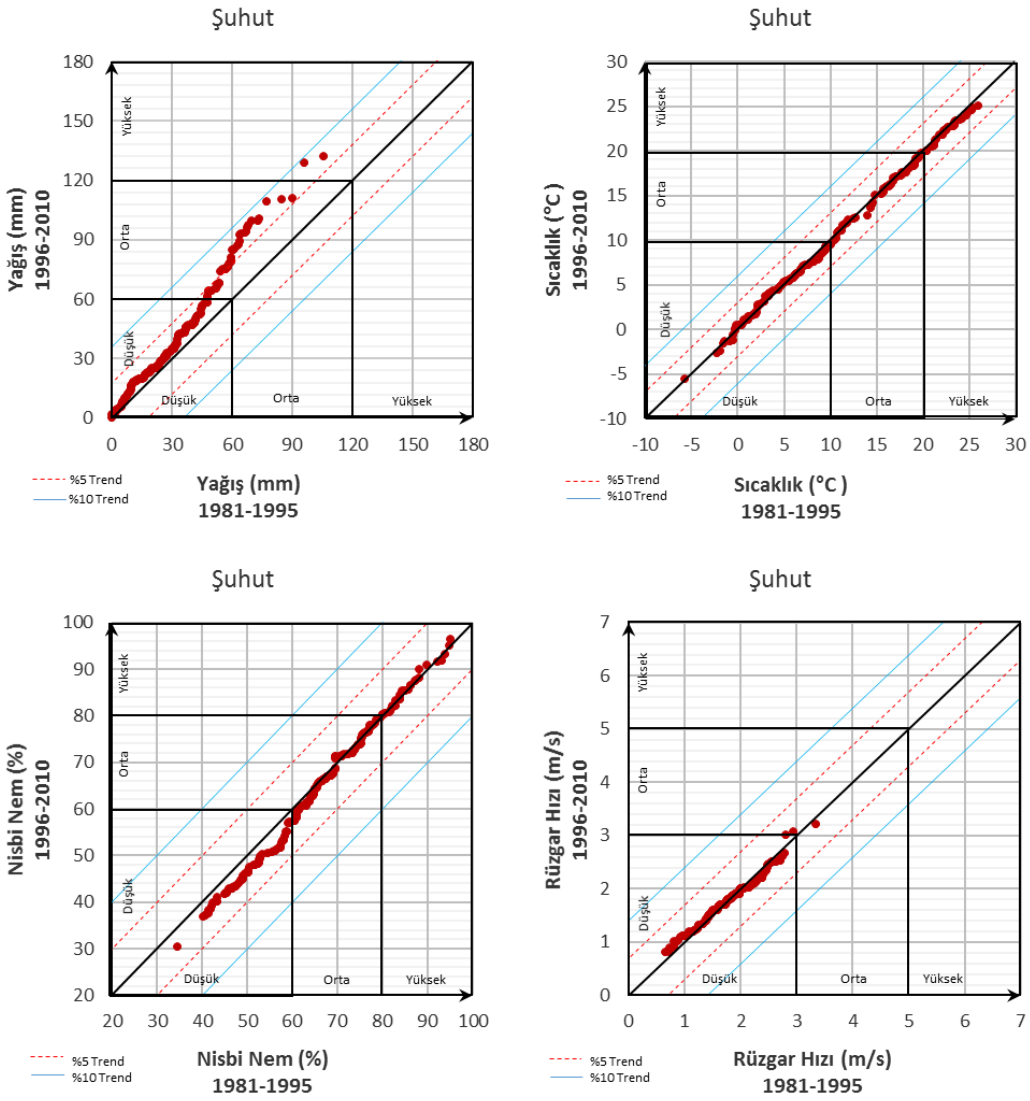


Şekil 4.2 : Afyon istasyonu trend durumları.

Aynı grafiğin sıcaklığa ait olan kısmında sırasıyla düşük, orta ve yüksek değer gruplarında yer alan veriler %3 (+), %1 (+) ve %4 (+) artış trendi göstermektedirler. İklim değişikliğinin Türkiye üzerindeki sıcaklıklara artırıcı tesir yaptığı dikkate alındığında, sıcaklık artış trendinin beklentilerle örtüştüğü görülmektedir. Özellikle, 20 °C üzerinde bulunan sıcaklıkların gelecekte çok daha hızlı bir şekilde artış eğilimine gireceği söylenebilir.

Diğer taraftan, nisbi nem verilerine gelince tekdüze bir trendden bahsetmek oldukça zordur. Orta değerdeki verilerde herhangi bir trend gözlenmezken düşük değerlerin %1 (+) artış eğiliminde olduğu, yüksek gruptaki değerlerin ise tam aksine %1 (-) azalış eğiliminde oldukları söylenebilir.

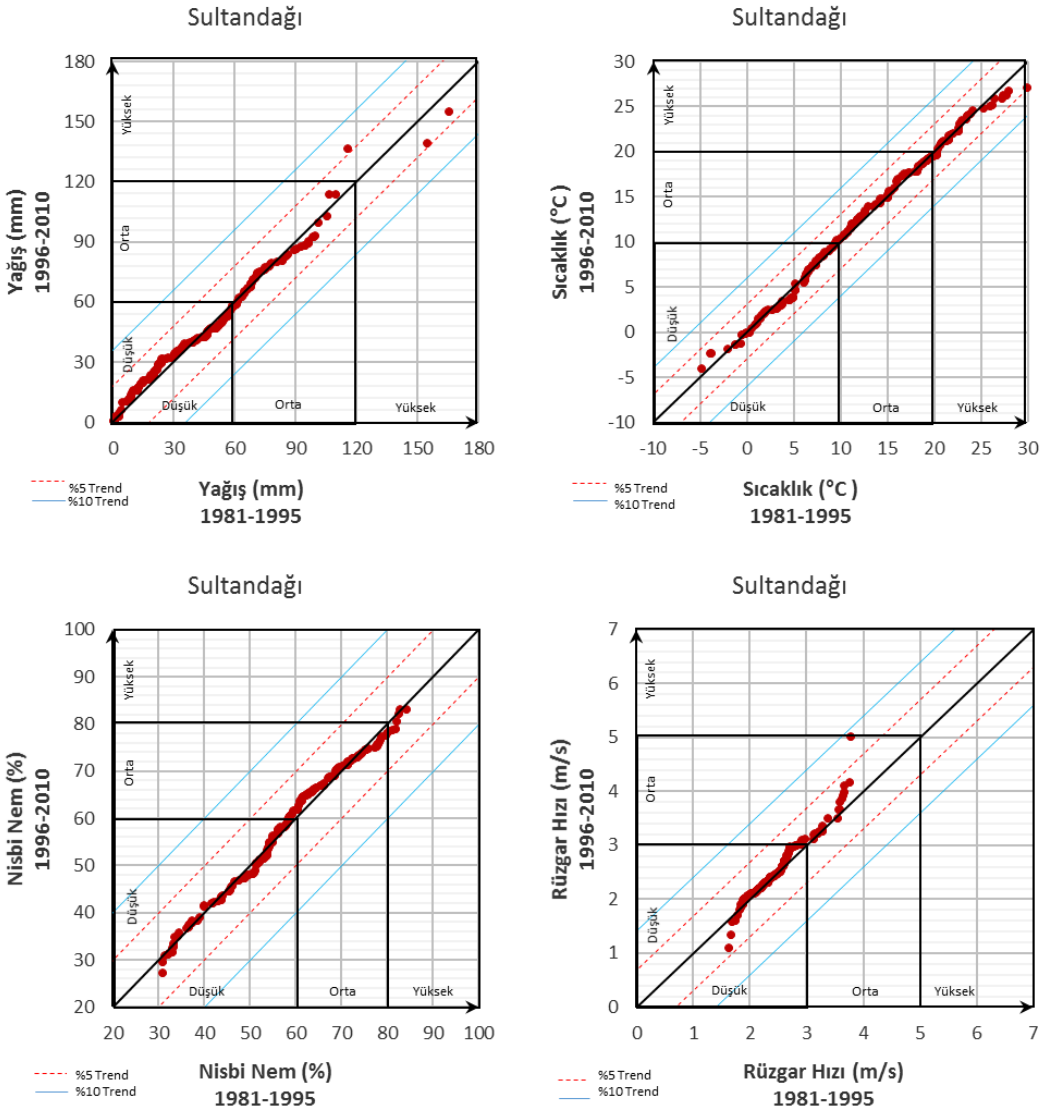
Şuhut istasyonuna ait trend analiz sonuçları da benzer yaklaşımla Şekil 4.3'te görülmektedir. Buna göre yağış verilerinde açıkça tüm alt gruplarda artış trendi görülmektedir. Hatta düşük değerlerden yüksek değerlere gidildikçe trend büyüklüğü artmakta, düşük değerler için, %2 (+); orta ve yüksek değerler için ortalama %7 (+) gibi güçlü bir artış görülmektedir. Sıcaklık verilerinde ise sadece yüksek değerlerin çok az da olsa %1 (-) azalışa geçtiği söylenebilir. Nisbi nem verilerinde de orta ve yüksek değerdeki veriler tam olarak tarafsız eksen üzerine düşerken sadece düşük değerdeki veriler ortalama %2 (-) azalış eğilimindedir.



Şekil 4.3 : Şuhut istasyonu trend durumları.

Rüzgâr hızına bakıldığında, verilerin büyük bir bölümünün düşük kategori içerisinde kaldığı görülmekte olup herhangi bir trend belirlenememiştir. Orta grupta yer alan az sayıda verinin tarafsız eksenin her iki tarafına da dağılmış olmasından dolayı trend için herhangi bir yorum yapılamamıştır.

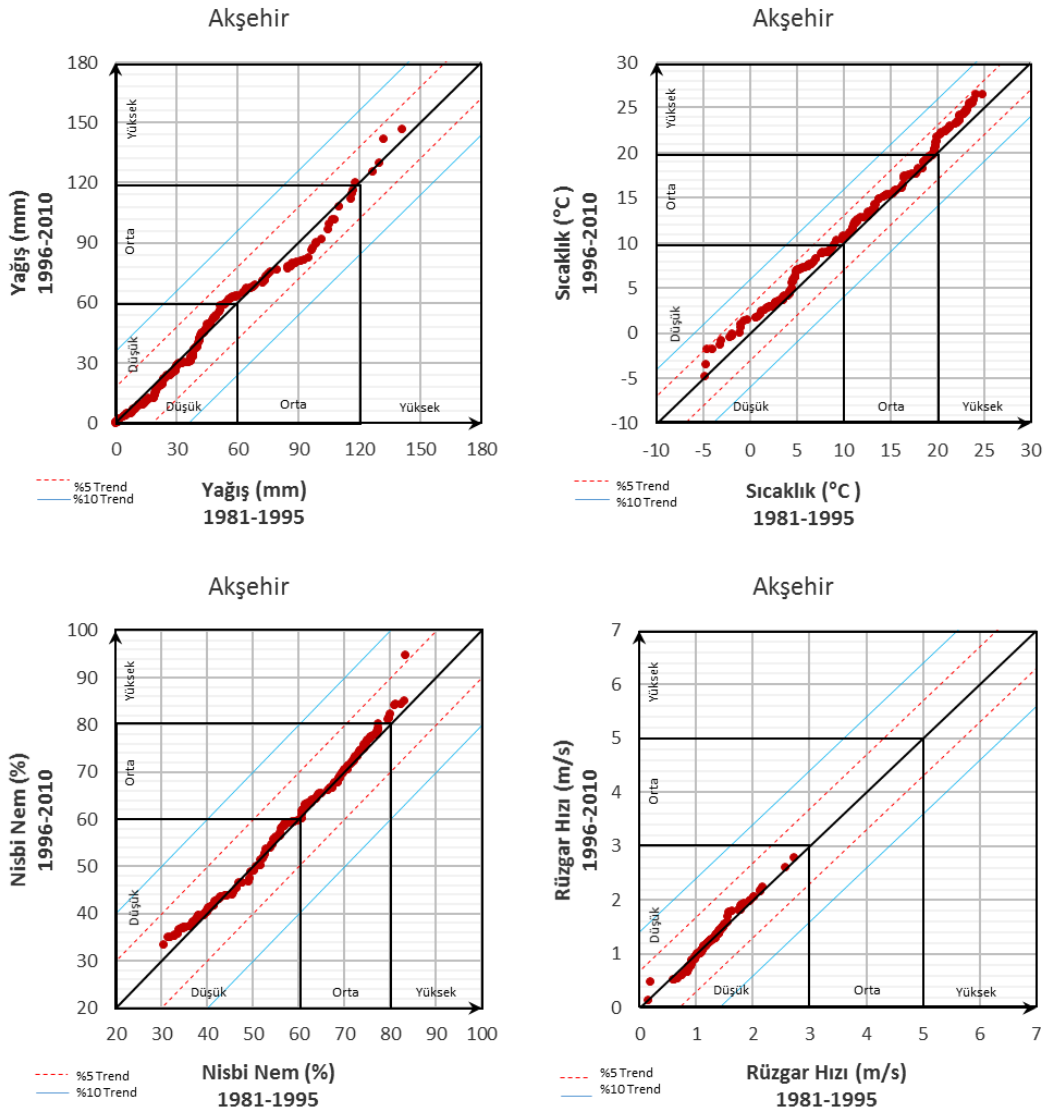
Sultandağı istasyonuna ait eğilim grafikleri de Şekil 4.4'te görülmektedir. İlk olarak yağış verilerine bakıldığında alt grupların hiçbirisinde açık bir şekilde trend görülmemektedir. Yüksek sınıfta yer alan verilerin azlığı göz önüne alındığında her ne kadar tarafsız eksenin her iki tarafına da saçılmış olsalar da ortalama bir gidişten bahsetmek mümkün görünmemektedir.



Şekil 4.4 : Sultandağı istasyonu trend durumları.

Benzer yaklaşımla nisbi nem verilerinde de tüm veriler tarafsız doğru üzerine düştüğü için trend görünmemektedir. Sıcaklık verilerinde düşük ve orta değerdeki verilerde de herhangi bir trend gözlenmezken yüksek değerlerin ortalamasına bakıldığında %2 (-) azalış eğilimine işaret etmektedir. Düşük ve orta sınıflar arasında dağılan rüzgâr hızı verilerinde ise orta değerler için %3 (+) artış eğilimi ön plana çıkarken düşük sınıftaki değerlerde ortalamaya göre herhangi bir eğilimden bahsetmek mümkün olmamıştır.

Akşehir istasyonu Aşağı Akarçay alt havzasında Akşehir gölüne komşu olan önemli bir konuma sahiptir. Bu bölge özellikle Akşehir gölünün yerel iklim koşullarını etkilediği alanlar içerisinde kalmaktadır. Şekil 4.5 bu istasyonda ölçülmüş parametrelere ait trend analiz sonuçlarını göstermektedir. İlk grafik olan yağış verilerinin durumuna bakılırsa yüksek yağış grubunda yer alan verilerin yaklaşık %1 (+) artış eğilimine sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.5 : Akşehir istasyonu trend durumları.

Orta gruptaki değerlerde aksi bir durum söz konusu olup %2 (-) azalış trendi gözlemlenmiştir. Düşük gruptaki değerlerinde açıkça 1:1 doğrusal çizgisinin bir tarafında kümelenmemeleri sebebiyle herhangi bir trend yöneliminden bahsetmek mümkün olmamaktadır.

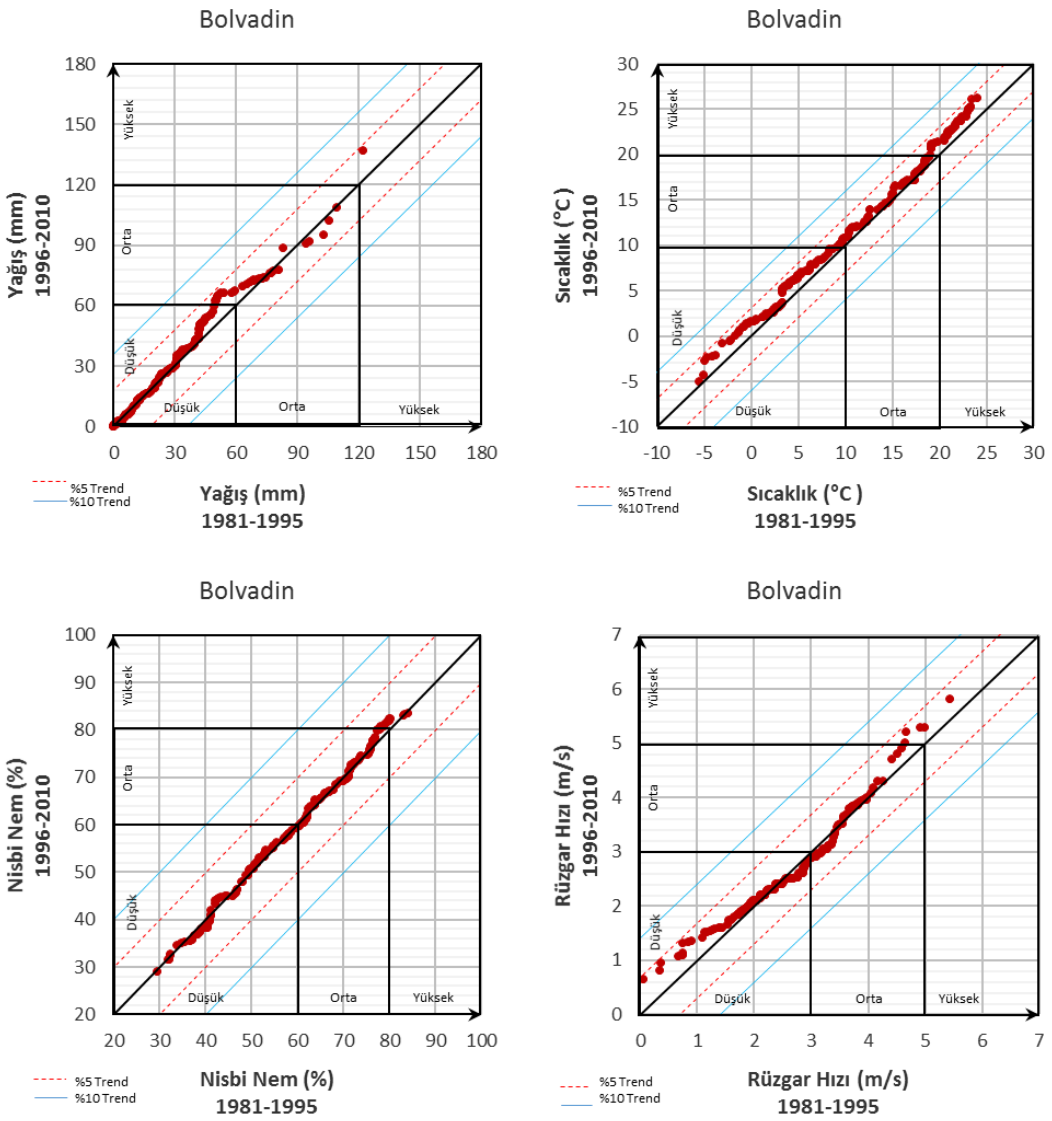
Sıcaklık verilerine bakıldığında açık bir şekilde tüm alt gruplardan artış trendinin olduğu görülmektedir. Düşük gruptaki veriler %3 (+) gibi bir artış oranı yakalarken, orta ve yüksek değerdeki veriler sırasıyla %1 (+) ve %4 (+) artış trendine sahip oldukları görülmektedir.

Nisbi nem verilerinde sadece yüksek değerdeki verilerin ortalama %1 (+) artış eğiliminde belirir. Bu durum yüksek sıcaklıklar neticesinde Akşehir gölünden buharlaşmanın artması ile açıklanabilir. Rüzgâr hızı trend eğilimine bakıldığında, verilerin düşük hız değerli grup içerisinde kümelendiği görülmekte ama açıkça herhangi bir trend eğilimi tespit edilememektedir.

Akarçay havzası içerisinde yer alan ikinci büyük göl olan Eber gölü kenarında bulunan Bolvadin istasyonuna ait trend analiz sonuçları da olarak Şekil 4.6'da görülmektedir. Yağış verilerinden düşük gruptaki değerler ortalamaya göre %1 (+) artış eğilimi gösterirken, orta gruptaki veriler ortalamaya göre herhangi bir trende sahip olmadıkları tespit edilmiştir. Yüksek grupta ise diğer istasyonlarda olduğu gibi az sayıda ve bu istasyon özelinde üst üste düşen değerler olmasından dolayı %4 (+) gibi güçlü bir uç (olağanüstü) yağışların artışı tespit edilebilir.

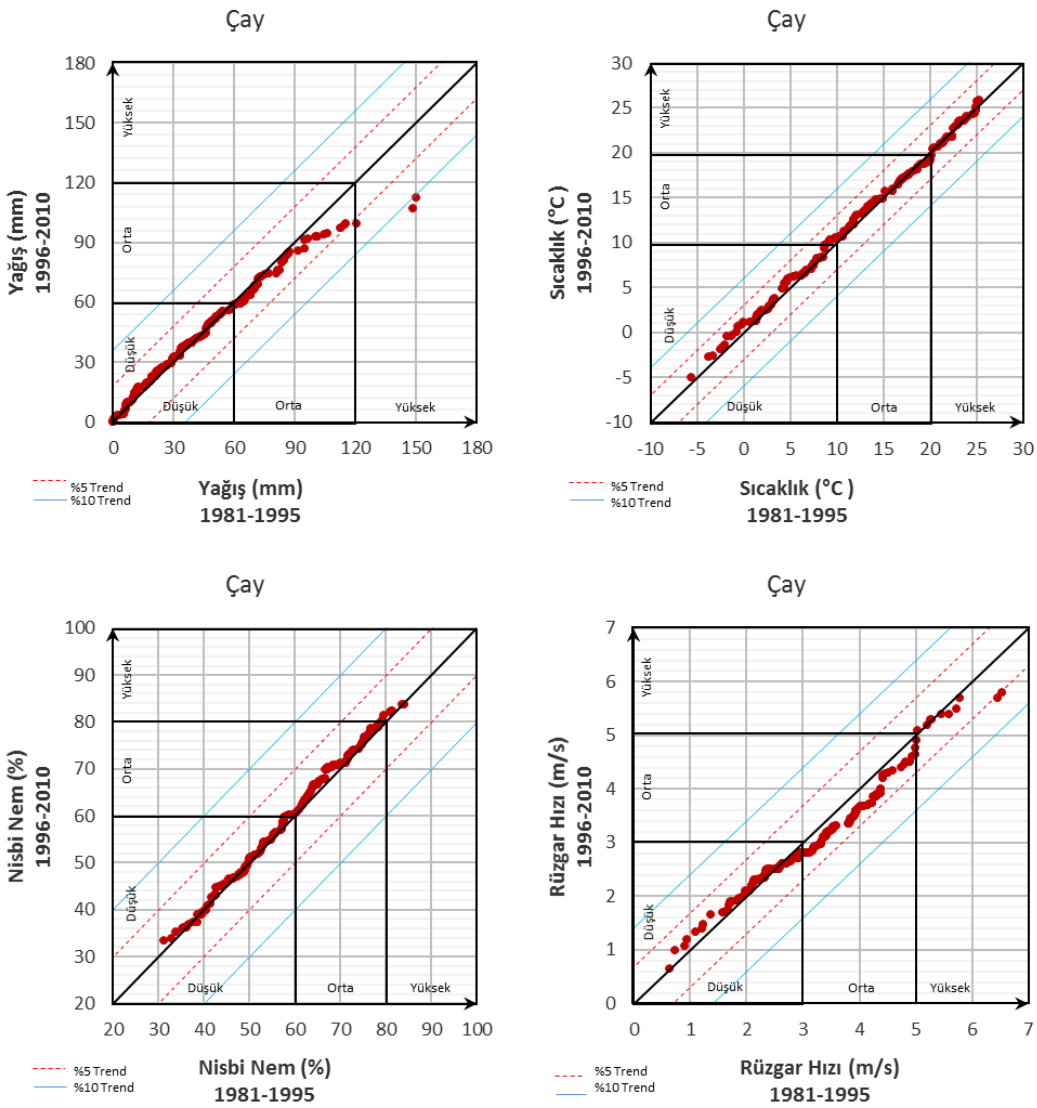
Sıcaklık grafiğinde düşük ve yüksek değerlerde %3 (+) artış eğilimi açıkça görülürken, orta değerlerde bu artış %1 (+)'e düştüğü anlaşılmaktadır. Tarafsız eksen üzerine düşen nisbi nem değerleri doğal olarak herhangi bir eğilime işaret etmezken, rüzgâr hızı verilerinde, yalnızca yüksek sınıfta yer alan değerler %3 (+) artış trendi göstermektedir.

Havzanın güney sınırınıdaki Sultan Dağları eteğinde bulunan Çay istasyonu için elde edilen trend sonuçları Şekil 4.7'de özetlenmiştir. Yağış verileri sınıflandırma için y ekseninde bulunan değerler dikkate alındığı için yüksek sınıfta hiçbir veri yer almamış, orta sınıftaki veriler de grafiğe göre %4 (-) azalış eğilimi göstermektedir. Düşük sınıftaki değerlerin ise gözle görülür bir trende sahip olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.6 : Bolvadin istasyonu trend durumları.

Sıcaklık kayıtlarındasadece düşük değerli veriler %1 (+) artış trendi göstermektedir. Nisbi nem verilerinde de sadece tek bir grupta trend tespit edilmiş, orta değerli verilerin ortalamalarının %1 (+) artış eğiliminde olduğu görülmüştür. Son olarak rüzgâr hızı verilerinde orta ve yüksek değer gruplarında %3 (-)'er azalış eğilimi tespit edilirken düşük değerli grup verileri herhangi bir eğilim tespit edilememiştir.



Şekil 4.7 : Çay istasyonu trend durumları.

Yukarıda ayrıntılı bir şekilde istasyon temelnde yorumlanan tüm trendlerin daha net anlaşılabilmesi için Çizelge 4.1'de özet verilmiştir. Şekiller üzerinde de görülen referans aralıklar bu tabloda da açıkça görülmektedir. Yağış için havza ortalamaları dikkate alındığında grupların alt ve üst sınır değerleri sırasıyla 60 mm ve 120 mm seçilmiştir. Bu sınır değerler sıcaklık verileri için 10 °C ve 20 °C olarak belirlenirken, nisbi nem verileri için 60 mm ve 80 mm olarak tespit edilmiştir. Rüzgâr hızı için alt ve üst sınır değerler sırası ile 3 m/s ve 5 m/s olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1 : Trend analizi sonuçları.

Parametre	Yağış (mm)			Sıcaklık (°C)			Nisbi Nem (%)			Rüzgâr Hızı (m/s)		
Alt Grup	Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
Referans Aralık	<60	60-120	>120	<10	10-20	>20	<60	60-80	>80	<3	3-5	>5
Afyon	2%	4%	12%	3%	1%	4%	1%	Yok	-1%	Yok	4%	--
Şuhut	2%	7%	7%	Yok	Yok	-1%	-2%	Yok	Yok	Yok	Yok	--
Sultandağı	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	-2%	Yok	Yok	Yok	Yok	3%	--
Akşehir	Yok	-2%	1%	3%	1%	4%	Yok	Yok	1%	Yok	--	--
Cay	Yok	-4%	--	1%	Yok	Yok	Yok	1%	Yok	Yok	-3%	-3%
Bolvadin	1%	Yok	4%	3%	1%	3%	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	3%

4.1.3.2 Mann-Kendall trend metodu

Çizelge 4.2 Mann–Kendall (MK) trend sınaması havzada bulunan altı istasyon için ayrı ayrı seri korelasyon etkisi giderildikten sonra uygulanan sonuçları göstermektedir.

Çizelge 4.2 : Mann-Kendall testi trend analizi sonuç tablosu.

İstasyon	Veri Aralığı	Parametre	MK Test İstatistiği	Hesaplanan Z Değeri	Kritik Z Değeri α=5%	H_0 Hipotezi	Trend (±)
Afyon	1981–2010	Yağış	1858	0.4157	±1.96	Kabul	Yok
		Sıcaklık	2867	0.2091	±1.96	Kabul	Yok
		Nisbi nem	633	0.7818	±1.96	Kabul	Yok
		Rüzgâr hızı	-667	0.7704	±1.96	Kabul	Yok
Şuhut	1981–2010	Yağış	4257	0.0621	±1.96	Kabul	Yok
		Sıcaklık	172	0.9403	±1.96	Kabul	Yok
		Nisbi nem	-1249	0.5844	±1.96	Kabul	Yok
		Rüzgâr hızı	-478	0.8344	±1.96	Kabul	Yok
Sultandağı	1981–2010	Yağış	-374	0.8701	±1.96	Kabul	Yok
		Sıcaklık	736	0.7473	±1.96	Kabul	Yok
		Nisbi nem	6	0.9903	±1.96	Kabul	Yok
		Rüzgâr hızı	1460	0.5225	±1.96	Kabul	Yok
Akşehir	1981–2010	Yağış	-1542	0.4994	±1.96	Kabul	Yok
		Sıcaklık	3040	0.1829	±1.96	Kabul	Yok
		Nisbi nem	213	0.9260	±1.96	Kabul	Yok
		Rüzgâr hızı	-2221	0.3305	±1.96	Kabul	Yok
Çay	1981–2010	Yağış	-556	0.8078	±1.96	Kabul	Yok
		Sıcaklık	1139	0.6179	±1.96	Kabul	Yok
		Nisbi nem	1252	0.5835	±1.96	Kabul	Yok
		Rüzgâr hızı	-5340	0.0193	±1.96	Ret	Var (-)
Bolvadin	1981–2010	Yağış	243	0.9155	±1.96	Kabul	Yok
		Sıcaklık	3132	0.1700	±1.96	Kabul	Yok
		Nisbi nem	-523	0.8190	±1.96	Kabul	Yok
		Rüzgâr hızı	370	0.8715	±1.96	Kabul	Yok

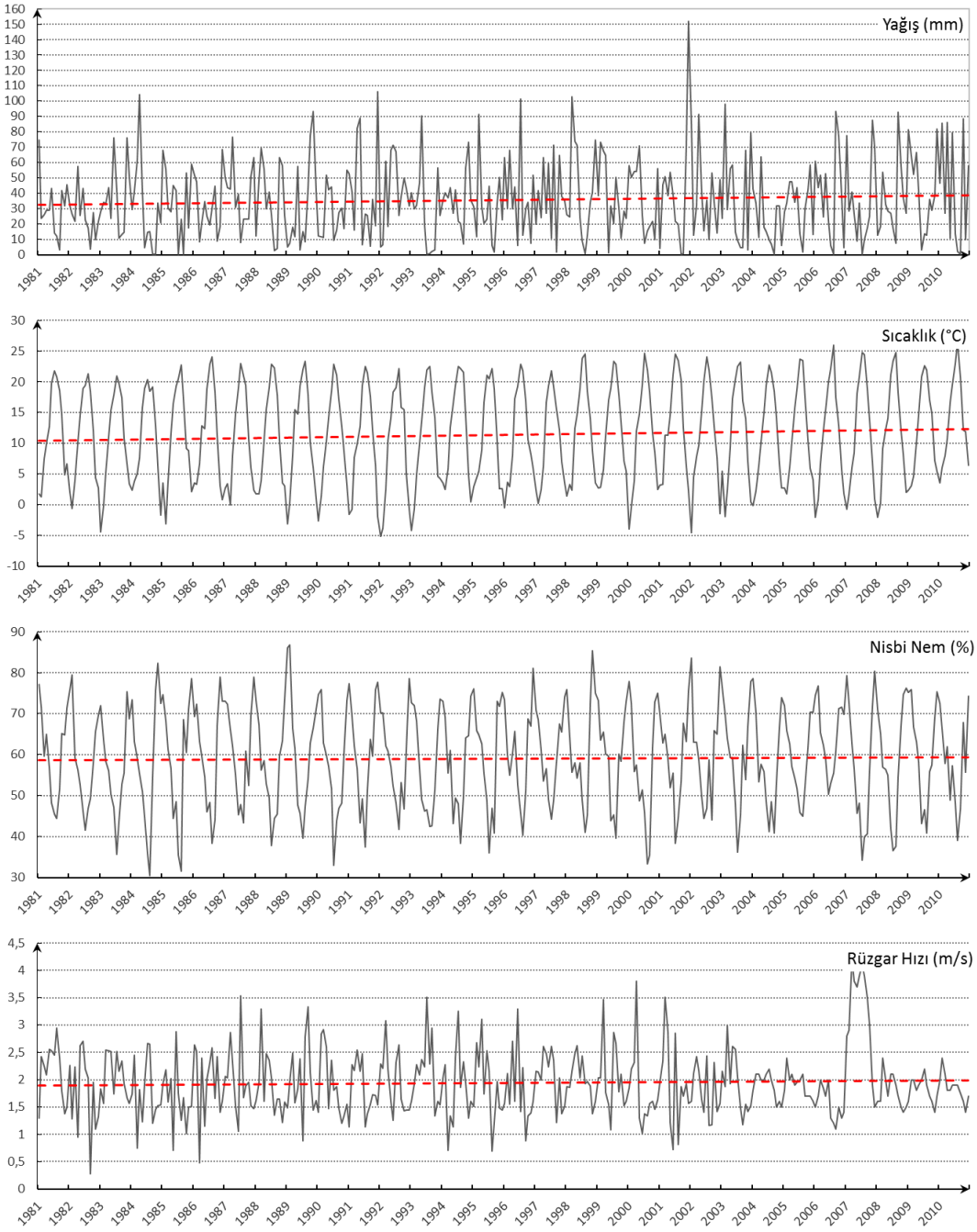
Sadece Çay istasyonu rüzgâr hızı verisinde tekdüze azalış trendi tespit edilmiştir. Diğer bütün istasyon ve parametreler için MK sınaması herhangi bir trende işaret etmediği görülmektedir. Çay istasyonu rüzgâr verisi için elde edilen sonuç İnovatif-Şen testi sonucuyla (-3% azalan) da birebir uyum sağladığı tespit edilmiştir.

4.1.3.3 Doğrusal regresyon analizi metodu

Doğrusal regresyon analizi ile tek tek bütün parametrelerin zaman serilerinin eğimleri belirlenerek tüm istasyonlara uygulanmıştır. Genel olarak, ortalamalardaki eğimler ya çok küçük ya da neredeyse yatay olarak tespit edilmiştir. Artan veya azalan eğime sahip olan değerlerde her ne kadar bu eğimler çok küçük olsa da ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çizelge 4.3 elde edilen sonuçları özetlenmiştir. Zaman serilerinin grafik gösterimi ise çizelgede yer alan istasyon sırasına göre Şekil 4.8'den Şekil 4.13'e kadar aşağıda sarih bir vaziyette gösterilmiştir.

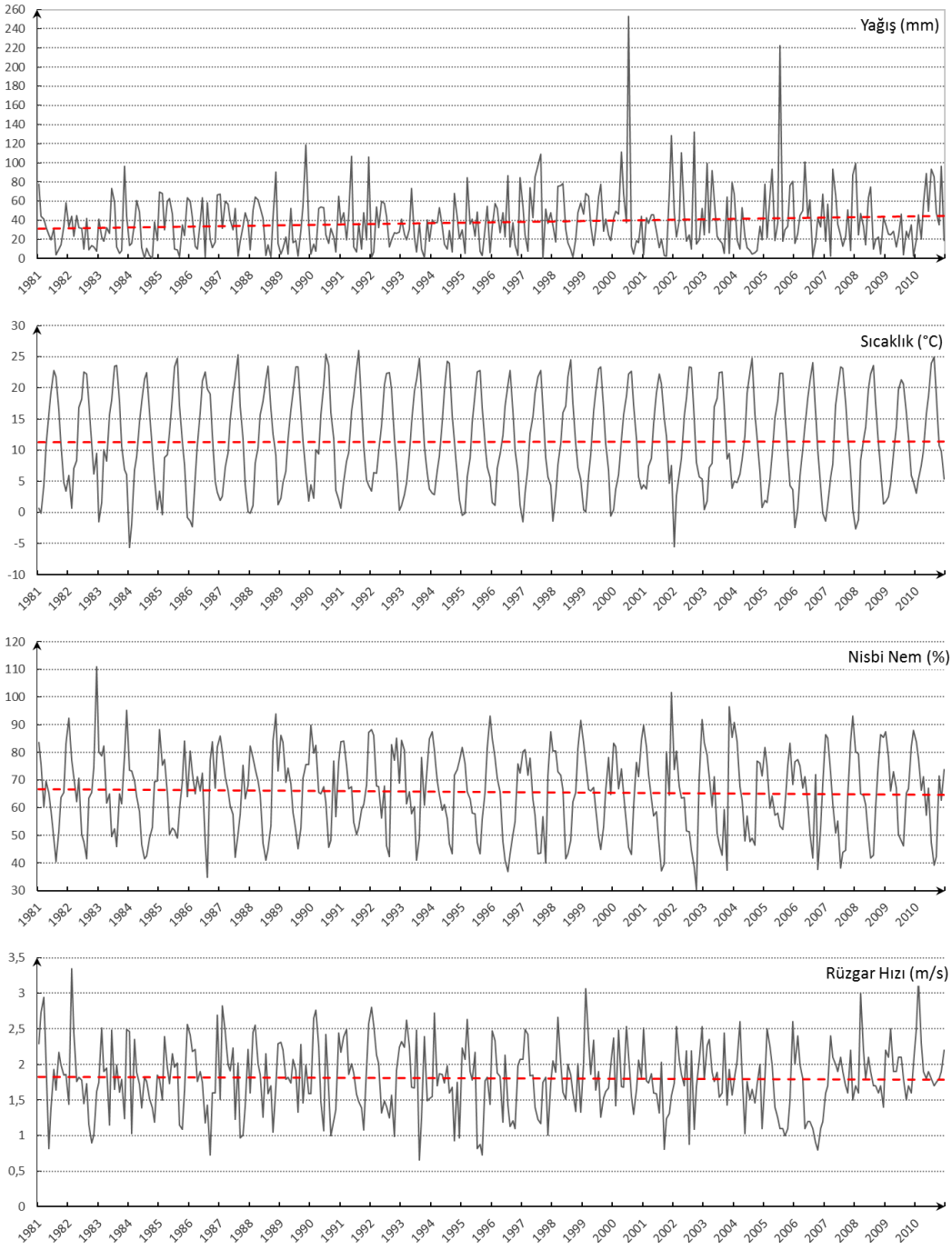
Çizelge 4.3 : Doğrusal regresyon testi trend analizi sonuç tablosu.

Parametre	Yağış (mm)	Sıcaklık (°C)	Nisbi Nem (%)	Rüzgâr Hızı (m/s)
Afyon	Var (+)	Var (+)	Var (+)	Var (+)
Şuhut	Var (+)	Yok	Yok	Yok
Sultandağı	Yok	Yok	Yok	Yok
Akşehir	Yok	Var (+)	Yok	Yok
Çay	Var (-)	Var (+)	Var (+)	Var (-)
Bolvadin	Var (+)	Var (+)	Yok	Yok



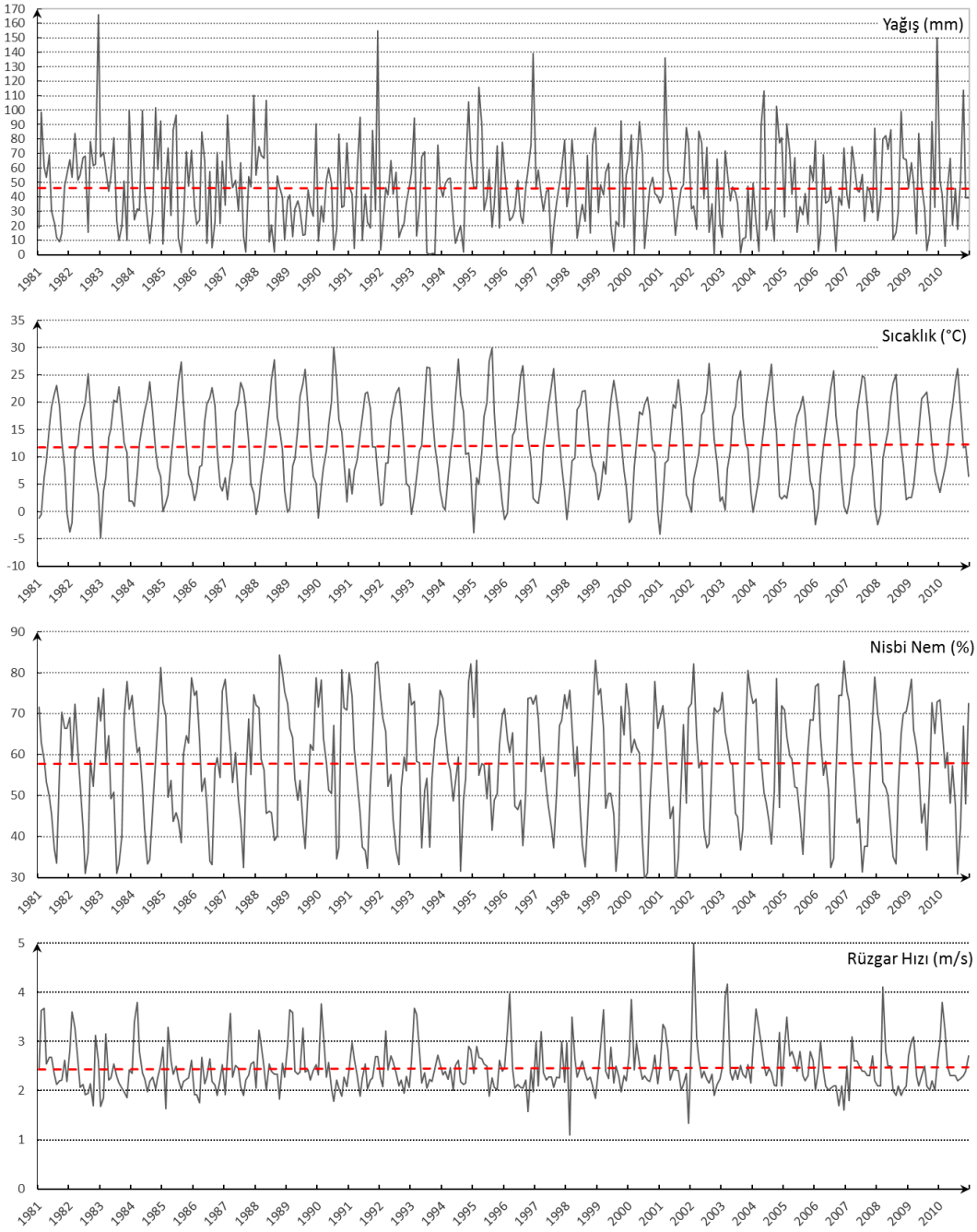
Şekil 4.8 : Afyon istasyonu doğrusal regresyon analizi.

Afyon istasyonuna ait paratmetrelerin doğrusal regresyon analizi sonuçları vazih bir şekilde yukarıda gösterilmiştir. Bu grafiklere göre yağış, sıcaklık, nisbi nem ve rüzgar hızı verilerinin tamamında ayrı ayrı pozitif trend tespit edilmiştir.



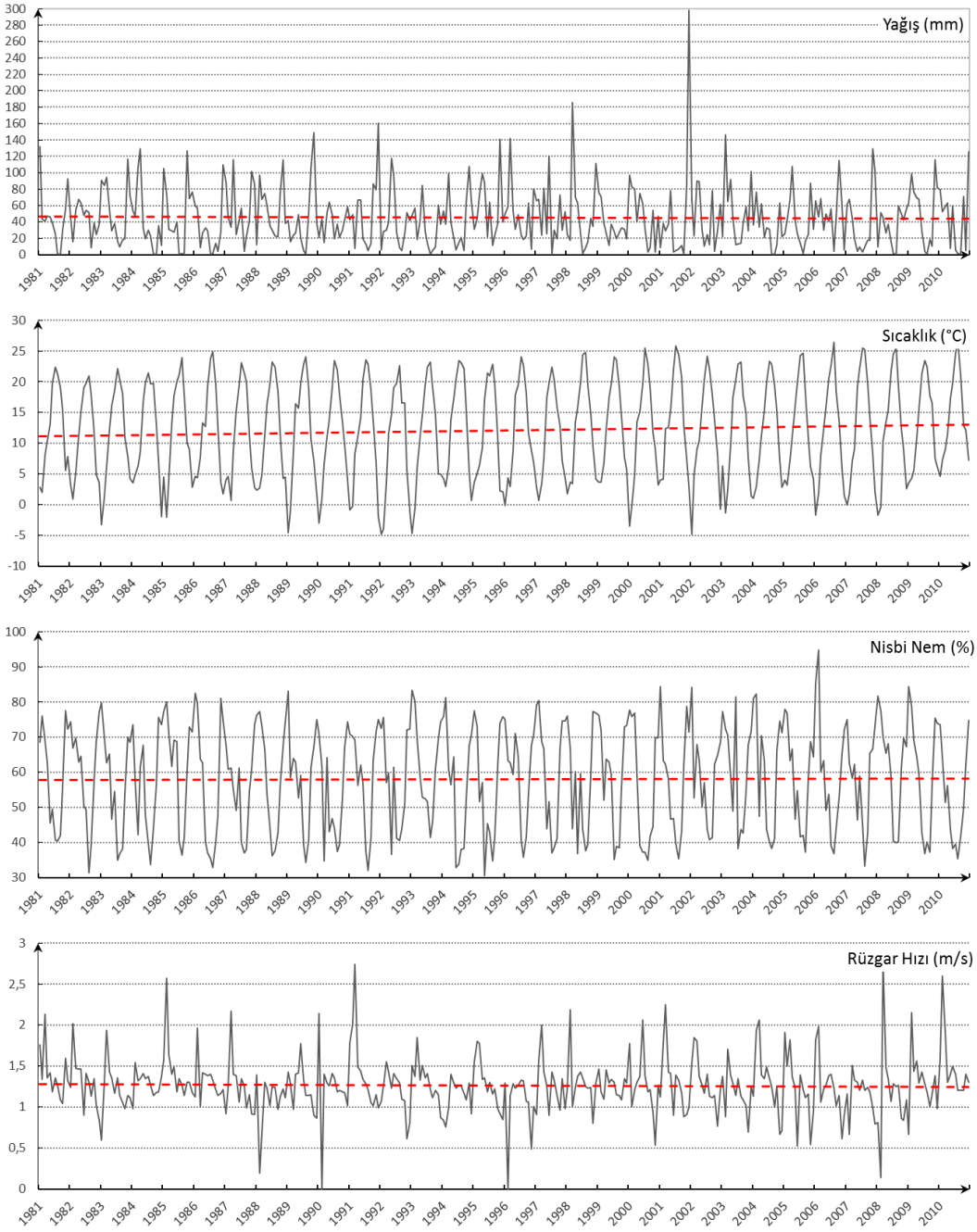
Şekil 4.9 : Şuhut istasyonu doğrusal regresyon analizi.

Şuhut istasyonuna ait paratmetrelerin doğrusal regresyon analizi sonuçları vazih bir şekilde yukarıda gösterilmiştir. Bu grafiklere göre sadece yağış, verileri için belirgin trend tespit edilmiştir. Sıcaklık, nisbi nem ve rüzgar hızı verilerinin tamamında az da olsa trend görülse de belirgin trend tespit edilememiştir.



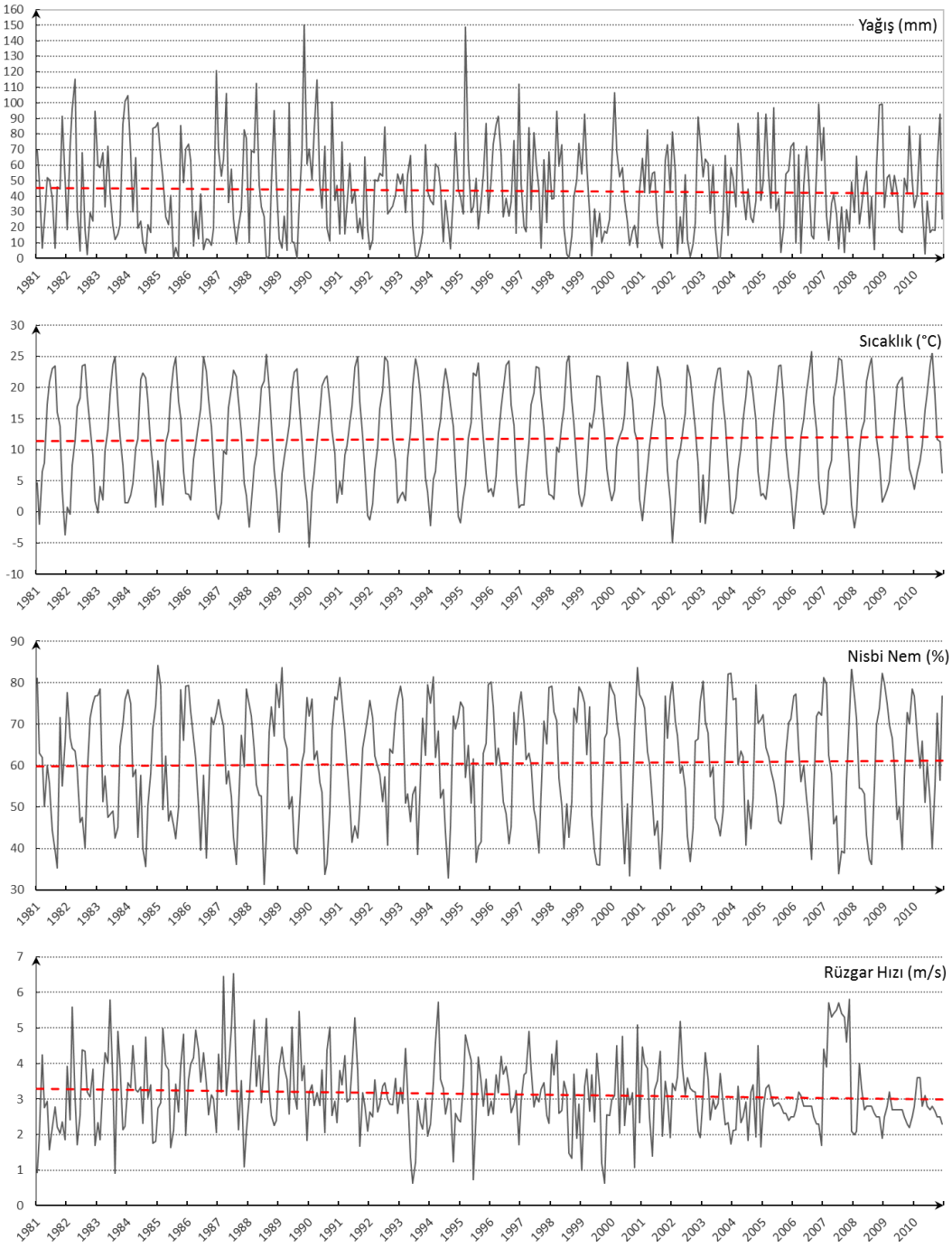
Şekil 4.10 : Sultandağı istasyonu doğrusal regresyon analizi.

Sultandağı istasyonuna ait paratmetrelerin doğrusal regresyon analizi sonuçları vazih bir şekilde yukarıda gösterilmiştir. Bu grafiklere göre yağış, sıcaklık, nisbi nem ve rüzgar hızı verilerinin tamamında ayrı ayrı belirgin bir trend tespit edilememiştir.



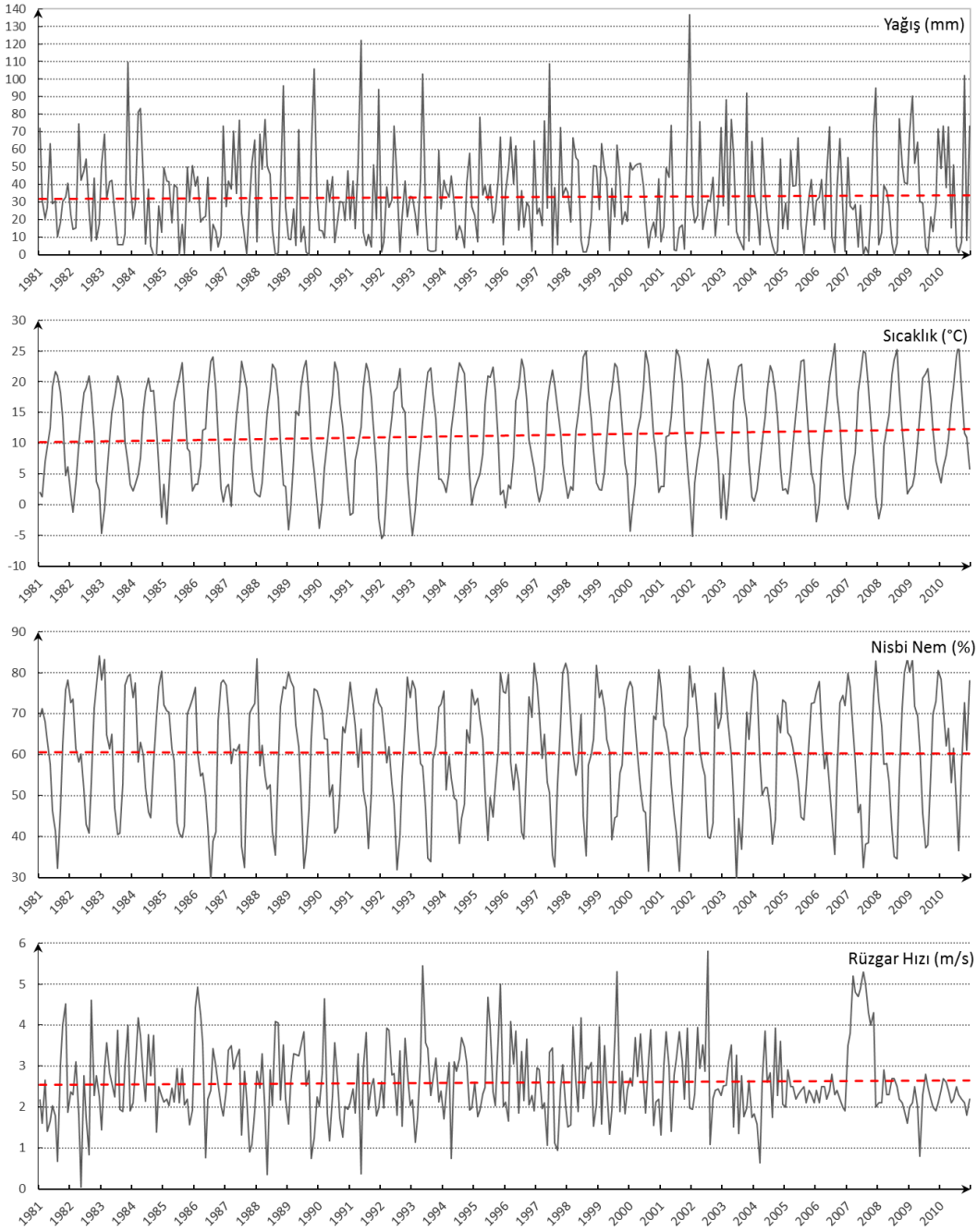
Şekil 4.11 : Akşehir istasyonu doğrusal regresyon analizi.

Akşehir istasyonuna ait paratmetrelerin doğrusal regresyon analizi sonuçları vazih bir şekilde yukarıda gösterilmiştir. Bu grafiklere göre sadece sıcaklık, verileri için belirgin pozitif trend tespit edilmiştir. Yağış, nisbi nem ve rüzgar hızı verilerinin tamamında az da olsa trend görülse de belirgin trend tespit edilememiştir.



Şekil 4.12 : Çay istasyonu doğrusal regresyon analizi.

Çay istasyonuna ait paratmetrelerin doğrusal regresyon analizi sonuçları vazih bir şekilde yukarıda gösterilmiştir. Bu grafiklere göre yağış ve rüzgar hızı, verileri için belirgin azalan trend tespit edilmiştir. Sıcaklık ve nisbi nem verilerinin için ise az da olsa artan belirgin trend tespit edilmiştir.



Şekil 4.13 : Bolvadin istasyonu doğrusal regresyon analizi.

Bolvadin istasyonuna ait paratmetrelerin doğrusal regresyon analizi sonuçları da vazih bir şekilde yukarıda gösterilmiştir. Bu grafiklere göre sadece yağış ve sıcaklık verileri için belirgin pozitif trend tespit edilmiştir. Buna karşın, nisbi nem ve rüzgar hızı verilerinin tamamında belirgin trend tespit edilememiştir.

4.1.3.4 Sperman (Rho) ve Theil-Sen Eğim yöntemi

Bu yaklaşım dördüncü ve son trend sınaması olarak ele alınmıştır. MK sınamasına benzer olarak hesaplanan istatistiki değerler ve nihai trend durumları Çizelge 4.4'te

verilmiştir. Bu tablodaki Sperman (Rho) trend verilerine dikkat edildiğinde var olan bütün trendlerin azalış yönünde çıkması karşılaşılan ilginç bir durum olarak göze çarpmaktadır. Theil-Sen eğimlerine bakıldığında hem artan hem de azalan trendlerin varlığından bahsetmek mümkündür. Bu sınamada ilginç olan tüm istasyonlarda sadece rüzgâr hızı için trendin olmadığının tespit edilmesidir. Diğer tüm parametrelerde artan ve azalan trendler tespit edilmişken sadece rüzgâr hızlarında trendin tespit edilememesi üzerinde durulması gereken önemli bir husustur.

Çizelge 4.4 : Spearman's Rho and Theil-Sen Eğimi trend analizi sonuçları.

İstasyonlar	Veri aralığı	Parametre	Theil-Sen Eğimi	Spearman's Rho			
				Kritik Z değeri α=5%	Hesaplanan Z_{SR} değeri	Belirginlik	Trend (±)
Afyon	1981–2010	Yağış	0.2143	±1.96	-5.2755	Belirgin	Var (-)
		Sıcaklık	0	±1.96	-21.4468	Belirgin	Var (-)
		Nisbi Nem	-2.7083	±1.96	-1.3828	Yok	Yok
		Rüzgâr Hızı	0	±1.96	-76.2140	Belirgin	Var (-)
Şuhut	1981–2010	Yağış	0.6667	±1.96	-4.3682	Belirgin	Var (-)
		Sıcaklık	-1.2000	±1.96	-21.6585	Belirgin	Var (-)
		Nisbi Nem	2.2000	±1.96	0.3674	Yok	Yok
		Rüzgâr Hızı	0	±1.96	-81.0529	Belirgin	Var (-)
Sultandağı	1981–2010	Yağış	4.7500	±1.96	-2.0121	Belirgin	Var (-)
		Sıcaklık	-1.3214	±1.96	-20.7538	Belirgin	Var (-)
		Nisbi Nem	-4.1667	±1.96	-1.4026	Yok	Yok
		Rüzgâr Hızı	0	±1.96	-68.0029	Belirgin	Var (-)
Akşehir	1981–2010	Yağış	-0.5500	±1.96	-1.6979	Yok	Yok
		Sıcaklık	-0.1250	±1.96	-20.7353	Belirgin	Var (-)
		Nisbi Nem	0.5000	±1.96	-1.2232	Yok	Yok
		Rüzgâr Hızı	0	±1.96	-105.5766	Belirgin	Var (-)
Çay	1981–2010	Yağış	0.3000	±1.96	-2.5710	Belirgin	Var (-)
		Sıcaklık	0.7596	±1.96	-21.1248	Belirgin	Var (-)
		Nisbi Nem	-1.4000	±1.96	-0.8743	Yok	Yok
		Rüzgâr Hızı	0	±1.96	-55.7994	Belirgin	Var (-)
Bolvadin	1981–2010	Yağış	0.0833	±1.96	-6.0649	Belirgin	Var (-)
		Sıcaklık	-0.1333	±1.96	-21.5716	Belirgin	Var (-)
		Nisbi Nem	-6.6667	±1.96	-0.8349	Yok	Yok
		Rüzgâr Hızı	0	±1.96	-62.3144	Belirgin	Var (-)

4.1.4 Sonuç

Uygulama bölümünde ayrıntılı açıklandığı üzere her bir sınama farklı sonuç vermiştir. Tüm sonuçları birbiriyle kıyaslayabilmek için Çizelge 4.5'te özet tablosu sunulmuştur. Bu farklılıkların temelinde özellikle parametrik olmayan sınamaların hesap usulleri arasında bulunan kabuller gösterilebilir. Örneğin, MK testi için seri korelasyon etkisi bu bahsedilen sınırlayıcı kabullerden bir tanesidir. Daha da ötesinde, normal dağılıma sahip olmayan ve bağımlı olan serilere MK sınaması doğrudan uygulanamamaktadır. İnovatif-Şen sınaması ile doğrusal regresyon sınaması bu tarz kabullerden uzak

doğrudan verilere uygulanabilen yöntemlerdir. Doğrusal regresyon analizinin de verinin tamamı hakkında çok küçük boyutta trend değeri verebiliyor olması bu yöntemin de İnovatif-Şen hesaplamasına göre zayıflığı olarak gösterilebilir.

Çizelge 4.5 : Trend analiz metotlarının sonuçlarının kıyaslanması.

İnovatif Şen Testi												
Parametre	Yağış (mm)			Sıcaklık (°C)			Nisbi Nem (%)			Rüzgâr Hızı (m/s)		
Alt Grup	Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
Referans Aralık	<60	60–120	>120	<10	10–20	>20	<60	60–80	>80	<3	3-5	>5
İstasyonlar	Ortalama Trend			Ortalama Trend			Ortalama Trend			Ortalama Trend		
Afyon	2%	4%	12%	3%	1%	4%	1%	Yok	-1%	Yok	4%	--
Şuhut	2%	7%	7%	Yok	Yok	-1%	-2%	Yok	Yok	Yok	Yok	--
Sultandağı	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	-2%	Yok	Yok	Yok	Yok	3%	--
Akşehir	Yok	-2%	1%	3%	1%	4%	Yok	Yok	1%	Yok	--	--
Çay	Yok	-4%	--	1%	Yok	Yok	Yok	1%	Yok	Yok	-3%	-3%
Bolvadin	1%	Yok	4%	3%	1%	3%	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	3%
Mann-Kendall Testi												
Afyon	Yok			Yok			Yok			Yok		
Şuhut	Yok			Yok			Yok			Yok		
Sultandağı	Yok			Yok			Yok			Yok		
Akşehir	Yok			Yok			Yok			Yok		
Çay	Yok			Yok			Yok			Var (-)		
Bolvadin	Yok			Yok			Yok			Yok		
Spearman’s Rho Testi												
Afyon	Var (-)			Var (-)			Yok			Var (-)		
Şuhut	Var (-)			Var (-)			Yok			Var (-)		
Sultandağı	Var (-)			Var (-)			Yok			Var (-)		
Akşehir	Var (-)			Var (-)			Yok			Var (-)		
Çay	Var (-)			Var (-)			Yok			Var (-)		
Bolvadin	Var (-)			Var (-)			Yok			Var (-)		
Theil-Sen Eğim Testi												
Afyon	0.2143			0			-2.7083			0		
Şuhut	0.6667			-1.2000			2.2000			0		
Sultandağı	4.7500			-1.3214			-4.1667			0		
Akşehir	-0.5500			-0.1250			0.5000			0		
Çay	0.3000			0.7596			-1.4000			0		
Bolvadin	0.0833			-0.1333			-6.6667			0		
Doğrusal Regresyon Testi												
Afyon	Var (+)			Var (+)			Var (+)			Var (+)		
Şuhut	Var (+)			Yok			Yok			Yok		
Sultandağı	Yok			Yok			Yok			Yok		
Akşehir	Yok			Var (+)			Yok			Yok		
Çay	Var (-)			Var (+)			Var (+)			Var (-)		
Bolvadin	Var (+)			Var (+)			Yok			Yok		

Bu sonuçlara göre karar vericiler tüm bahsedilen durumları göz önüne alarak karar vermek durumundadır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde geliştirilen İnovatif-Şen yönteminin diğer tüm testlere göre tercih edilmesi tavsiye edilebilir. Bu çalışmada

alt sınıflandırma üçe ayrılarak yapılmasına rağmen eğer ihtiyaç duyulursa uzman görüşüne başvurulmak şartıyla veriler daha fazla alt gruba ayrılarak da analiz yapmak mümkündür. Verilerin kaç sınıfa ayrılacağına karar verebilmek için öncelikle tüm verinin ikiye ayrılarak saçılma diyagramları elde edildikten sonra, saçılışlara göre karar vermek daha kolay olacaktır.

Bu bölümde Akarçay havzasında yer alan altı istasyondan elde edilen yağış, sıcaklık, nisbi nem ve zemin seviyesinde rüzgâr hızı gözlem verileri İnovatif-Şen ve diğer dört klasik yöntem kullanılarak trend analizi yapılmıştır. En önemli yeniliklerden birisi de ilk kez trend zarf eğrilerinden bahsederek İnovatif-Şen yönteminin geliştirilmesidir. Bu yöntemde trend zarf eğrileri olmaksızın sözel olarak trendin varlığından daha önceden bahsetmek mümkün ise de trend zarf eğrileri sayesinde bu yöntem daha da belirgin hale getirilmiştir. Diğer sınama yöntemlerinden farklı olarak verinin alt gruplara ayrılması da daha ayrıntılı bilgiler elde etmeyi sağlamıştır. Özellikle, iklim değişikliği etkisi altında kalan ülkemizde sınır değerlerdeki meteorolojik olayların sıklıklarının artış göstermesi gözlem verilerinin bütününün ortalamasına bakarak değerlendirmesi yerine daha bâriz değerlendirmeyi zaruri hale getirmiştir.

Elde edilen sonuçlar kıyaslandığında herhangi bir ön kabul ve varsayım içermeyen gözlem serilerini alt sınıflara ayırmak sureti ile kritik aralıklardaki değerlerin trendi hakkında ayrıntılı bilgiler sunan İnovatif-Şen yönteminin, diğer klasik trend uygulamalarına göre üstünlüğü ortaya çıkmıştır. Yukarıda bahsedildiği üzere verilerin herhangi bir istatistiki dağılıma uyması, seri korelasyon etkisinin giderilmesi, örnek sayısı gibi kısıtlayıcı özellikler MK sınamasında zaruri iken İnovatif-Şen yönteminde bunlara benzer hiçbir engel bulunmamaktadır.

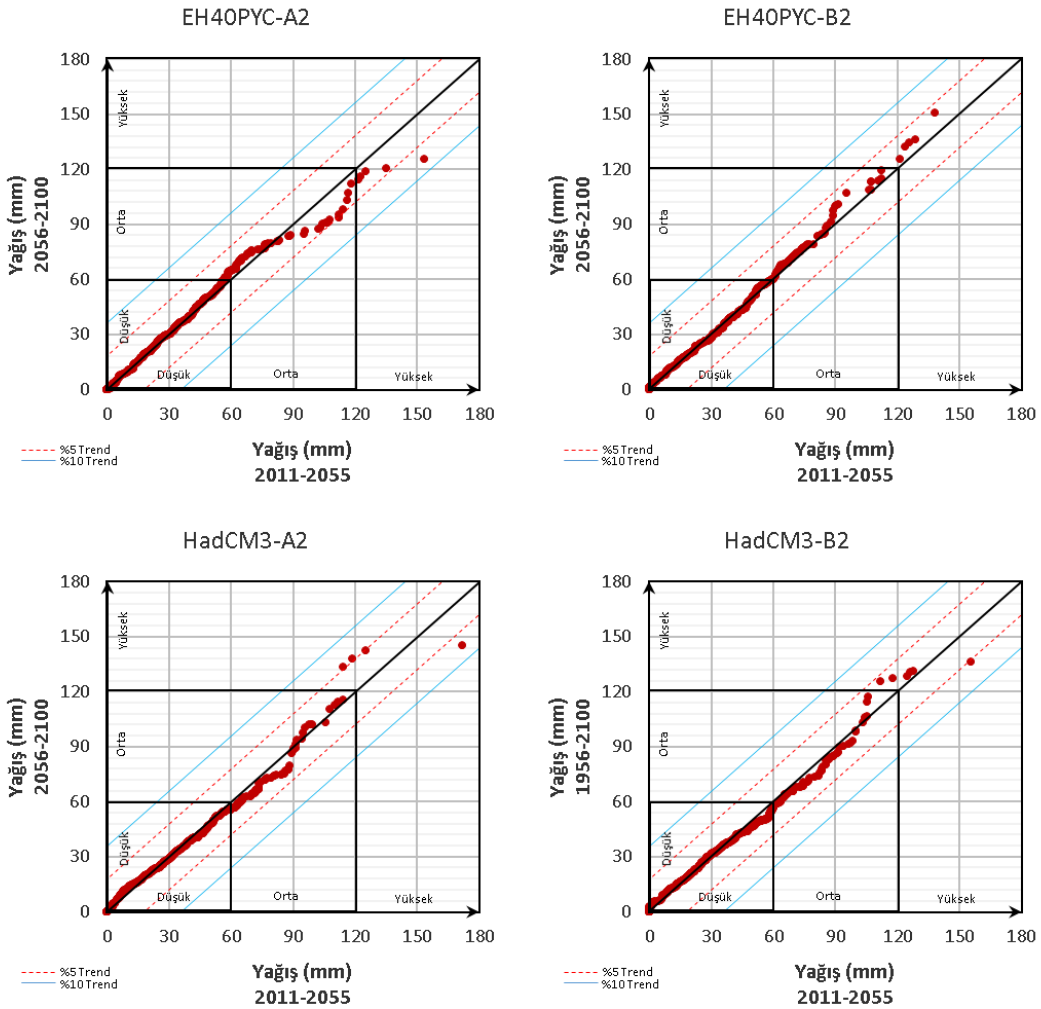
4.2 Tahmin Verileri Üzerinde Trend Analizi

İklim değişikliği modellemesi sonucu Akarçay havzasında yer alan altı istasyon için 2011–2100 (90 yıl) yılları arasında aylık ölçekte toplam yağış ve ortalama sıcaklık tahminleri elde edilmiştir. Modellemede kullanılan EH40PYC ve HadCM3 A2 ve B2 senaryolarına ait tahmin verilerinin trend analizi her istasyon için ayrı ayrı uygulanmıştır. Tahmin verileri üzerinde trend çalışması İnovatif-Şen yöntemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bölüm 4.1'de açıklandığı üzere, bu yöntemin literatürde sıklıkla karşılaşılan diğer yöntemlere göre bâriz üstünlüğünün olması

sebebiyle bu bölümde sadece İnovatif-Şen yöntemi dikkate alınmıştır. Gözlem verileri trend analizinde belirlenen alt sınıf sınırları tahmin verilerinde de aynen korunmuştur.

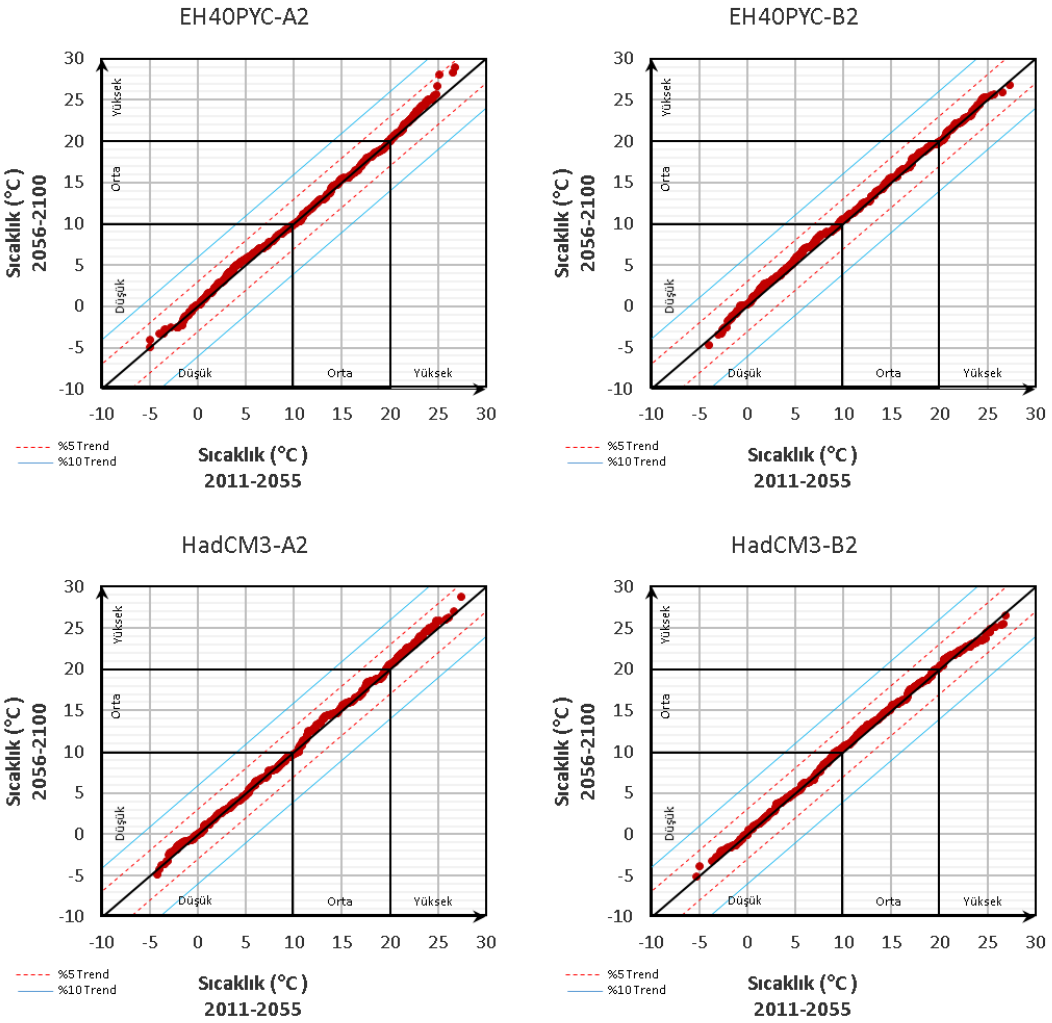
4.2.1 Afyon istasyonu tahmin verileri trend analizi

Afyon istasyonu için elde edilen tahmin değerlerinden Şekil 4.14 aylık toplam yağış verilerine ait trend grafikleri sunulmuştur. EH40PYC-A2 senaryosuna ait tahminlerden "Düşük" değerlere ait herhangi bir trend görünmemektedir. "Orta" sınıfta yer alan 60–90 mm aralığında %2 artış trendi gözlenirken 90–120 mm arasında ise ortalama %3 azalış trendi tespit edilmiştir. "Yüksek" değerler sınıfında çok az veri yer aldığından herhangi bir gidişten bahsetmek mümkün değildir. Aynı merkezin B2 senaryosu tahminlerinde 90–120 mm arasında bulunan değerlerde %2 artış trendi gözlemlenirken, yüksek değerlerde bu artış trendi ortalama %3 mertebesindedir.



Şekil 4.14 : Afyon istasyonu aylık toplam yağış tahminleri trend grafikleri.

HadCM3-A2 tahmin değerlerinde ise 0–60 mm düşük değerli sınıflarda herhangi bir trend görülmemektedir. Orta sınıfta yer alan veriler ortalama olarak herhangi bir trende sahip değilken, daha alt sınıfa inildiğinde 60–90 mm aralığında %2 azalış trendinden bahsetmek, 90–120 mm aralığındada %1 artış trendinden bahsetmek mümkündür. Yüksek sınıfta yer alan aşırı değerlerde ise artış yönünde %5 gibi bir artış trendinden bahsedilebilir. Gelecek tahminlere dönük ikinci yarıda (1956–2100) aşırı değerlerin daha fazla olacağı tahmini yapılabilir. HadCM3-B2 yağış verilerine ait yüksek değerler aralığında ortalama %3 artış trendi tespit edilmiştir. Afyon istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık verilerine ait trend analizi sonuçları Şekil 4.15'te sunulmuştur.



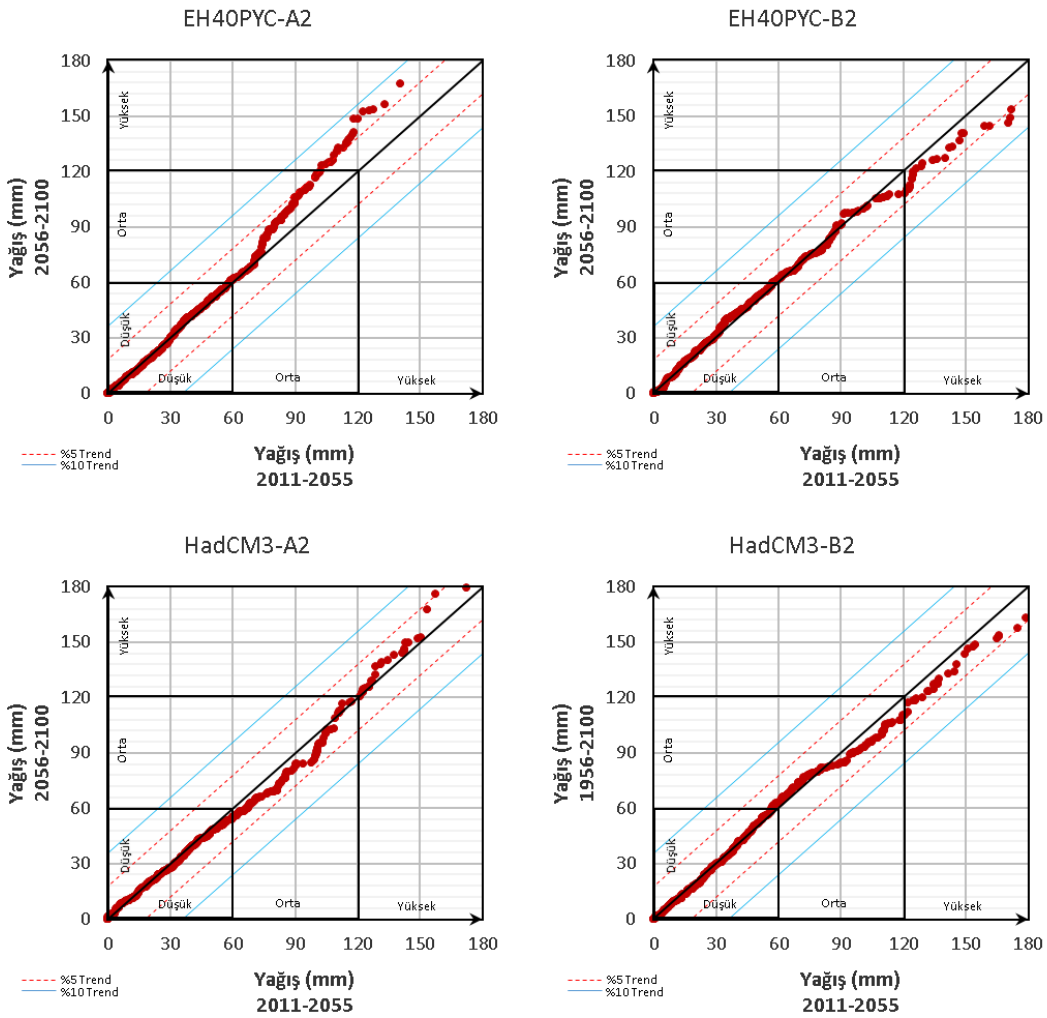
Şekil 4.15 : Afyon istasyonu aylık ortalama sıcaklık tahminleri trend grafikleri.

Bu grafikler incelendiğinde sadece EH40PYC-A2 senaryosuna ait yüksek sıcaklık değerlerinde (25–30 ^{0}C) %4 gibi bir artış trendinin görüldüğü söylenebilir. EH40PYC-B2 senaryosuna ait düşük değer aralığındaki verilerde ise zayıfta olsa %1'lik bir artış

eğiliminden bahsedilebilir. Geriye kalan tüm senaryo verilerine ait grafiklerden alt gruplara ilişkin herhangi bir belirgin trendden bahsetmek mümkün görünmemektedir.

4.2.2 Akşehir istasyonu tahmin verileri trend analizi

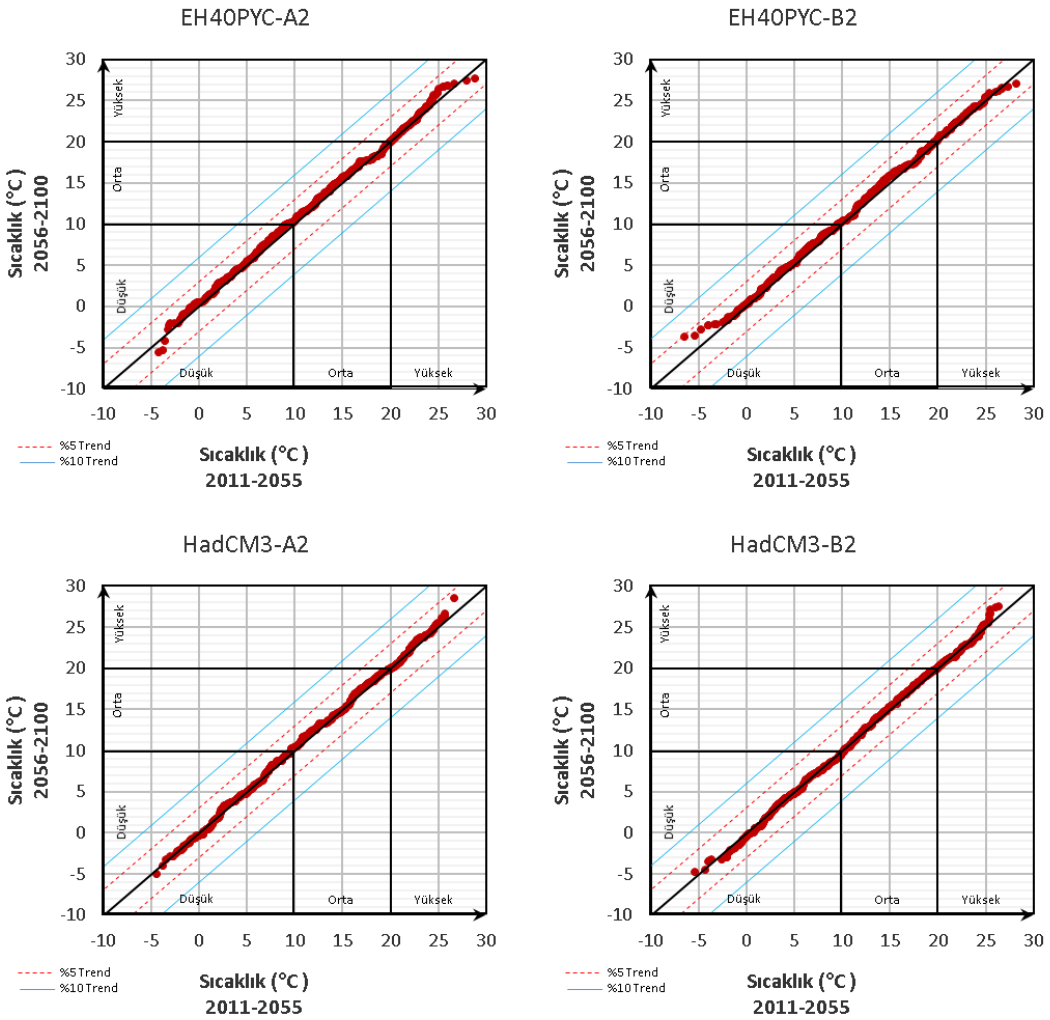
Akşehir istasyonu için elde edilen tahmin verilerinden aylık toplam yağış verilerine ait trend analizi sonuçları Şekil 4.16'da; aylık ortalama sıcaklık verilerine ait sonuçlar ise Şekil 4.17'de sunulmuştur. EH40PYC-A2 senaryo tahminlerinde orta değer aralığındaki verilerde ortalama %4 artış çok güçlü bir tekdüze trend tespit edilmiştir. Yüksek sınıfta yer alan verilerde %7 gibi yüksek bir trend artışından bahsedilebilir. Buna göre Akşehir istasyonunda 1956–2100 periyodunda çok daha fazla aşırı yağışlar gözlenebilir.



Şekil 4.16 : Akşehir istasyonu aylık toplam yağış tahminleri trend grafikleri.

Bunun tam aksine, EH40PYC-B2 senaryolarında özellikle yüksek değer aralığında ortalama %3 gibi bir azalış trendi görünmektedir. Bunun diğer anlamı da 2011–1956

döneminde 1956–2100 dönemine göre bu senaryo için daha sık aşırı yağışların görülebileceğidir.

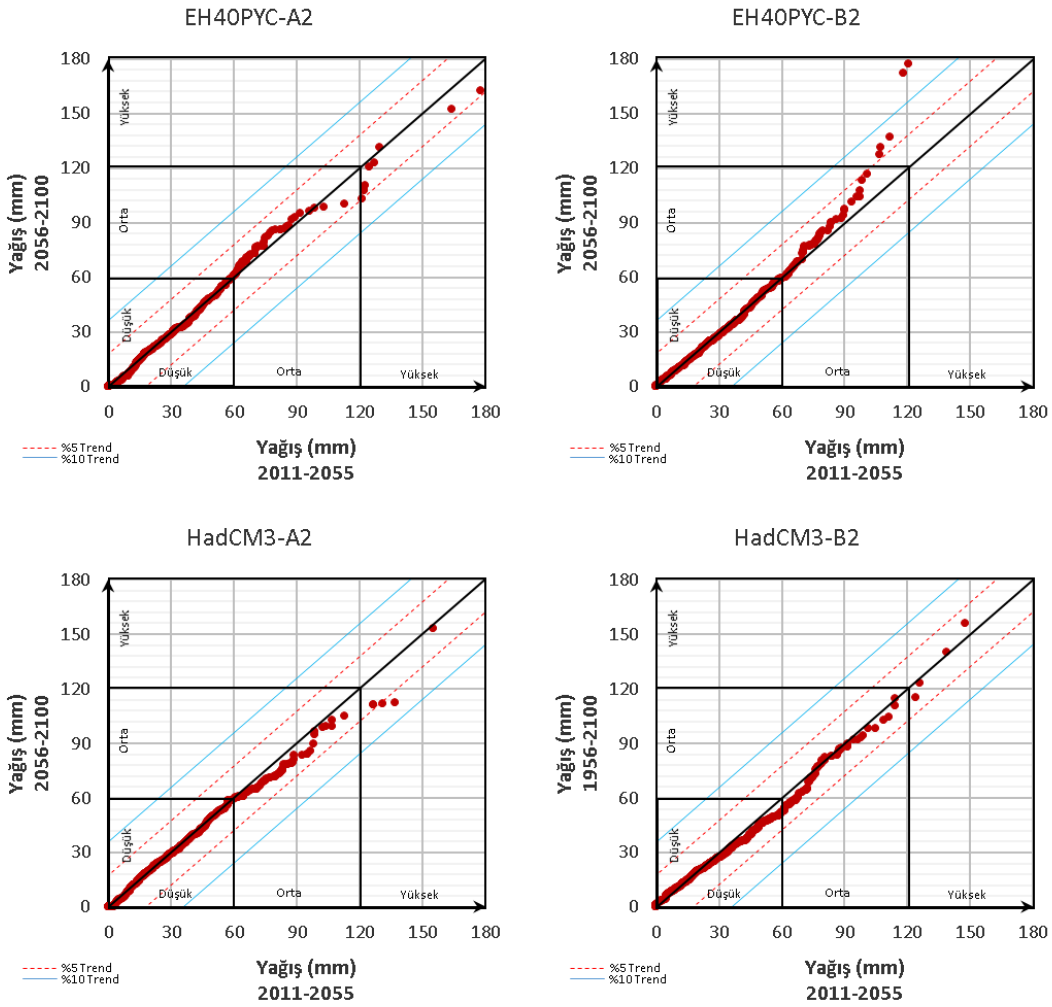


Şekil 4.17 : Akşehir istasyonu aylık ortalama sıcaklık tahminleri trend grafikleri.

HadCM3-A2 senaryosunda orta değerlerde ortalama özellikle 60–90 mm arası %3 azalış trendi görünürken, yüksek değer aralığında %2 artış eğilimi görülmektedir. Son olarak, HadCM3-B2 senaryo tahminlerinde 90–120 mm değer aralığından başlayan %2'lik bir tekdüze azalış trendi tespit edilmiştir. Sıcaklık tahminlerinde en belirgin trenler yüksek değer aralığında (25–30 ^{0}C) görülmektedir. EH40PYC-A2 ve HadCM3-A2 senaryolarında ortalama %2'lik bir artış eğilim görülürken; HadCM3-B2 senaryosunda da aynı değer aralıklarında %3 artış trendi görülmektedir. Ayrıca, EH40PYC-B2 senaryosunda düşük değer aralıkları arasında yer alan (-5–0 ^{0}C) arasındaki kış sıcaklıklarında ortalama %2 artış trendi görülmektedir. Buna göre tahmin yıllarının 2. yarısında kış aylarında don olaylarının daha sık görülebileceği yorumu yapılabilir.

4.2.3 Bolvadin istasyonu tahmin verileri trend analizi

Bolvadin istasyonu için elde edilen tahmin verilerinden aylık toplam yağış verilerine ait trend analizi sonuçları Şekil 4.18'de görülmektedir. Düşük yağış değerlerinde sadece HadCM3-B2 senaryosu için 30–60 mm arasındaki yağışlarda %2'lik bir azalış görülmektedir. Orta değerlerde ise EH40PYC A2 ve B2 senaryolarında artış, HadCM3-A2 senaryosunda da azalış eğilimi görülmektedir. EH40PYC-A2 senaryosunda 60–90 mm değerleri arasında ortalama %2'lik bir artış görülmektedir. 90 mm üzerindeki değerlerin sayısı çok az olduğu için genel bir trendden bahsetmek mümkün görünmemektedir.

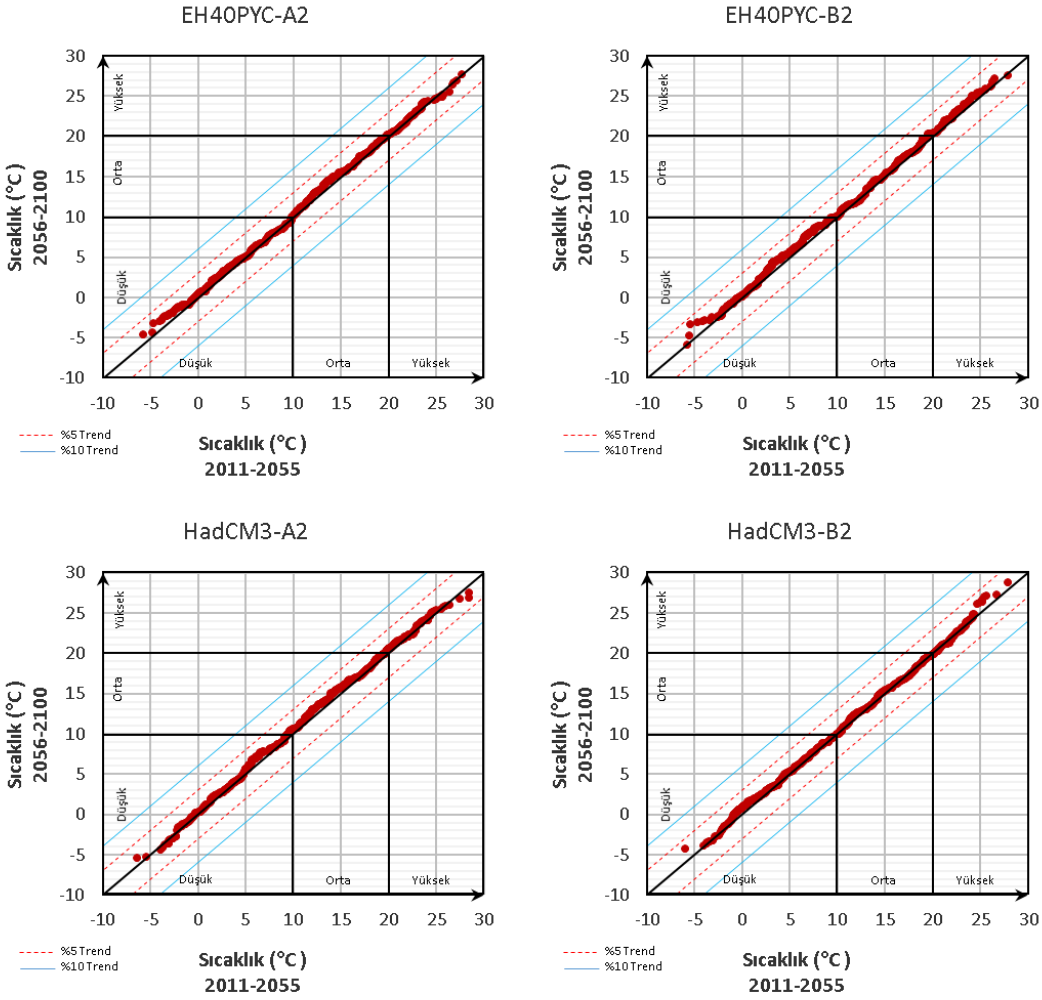


Şekil 4.18 : Bolvadin istasyonu aylık toplam yağış tahminleri trend grafikleri.

Benzer şekilde EH40PYC-B2 senaryosunda 60 mm sınırından başlayan ve orta değerler için %3 mertebesinde bir artış eğilimi görülmektedir. Yüksek sınıftaki değerlerin de sayısı az olmasına rağmen artan trend bölgesinde yer almaktadır. Buna

göre genel bir trend karakterinden bahsedilemese de aşırı yağışların daha şiddetli olabileceği çıkarımı yapılabilir.

Bolvadin istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık verilerine ait trend sonuçları ise Şekil 4.19'de sunulmuştur.



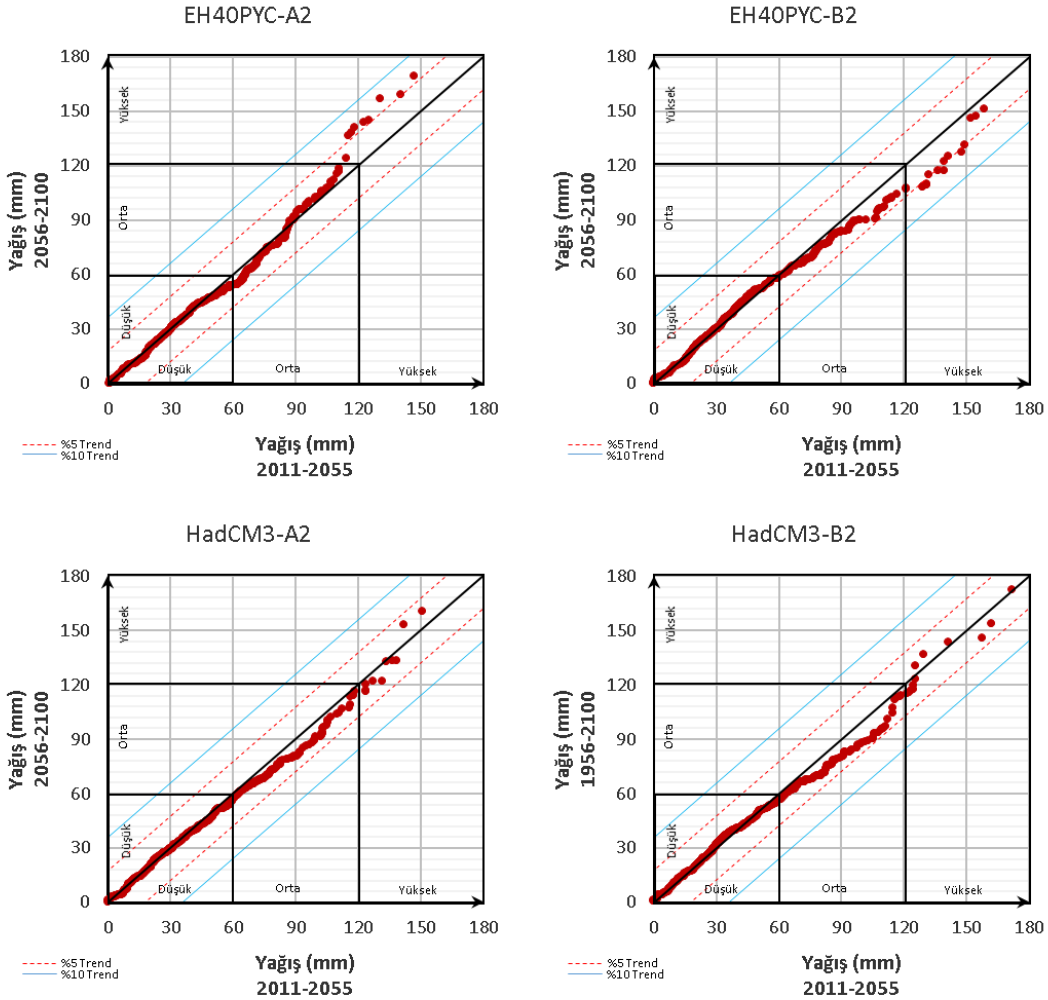
Şekil 4.19 : Bolvadin istasyonu aylık ortalama sıcaklık tahminleri trend grafikleri.

Düşük sıcaklık sınıfında yer alan (-5–0 ^{0}C) arasında yer alan değerlerde EH40PYC senaryolarının ikisinde de yaklaşık %2 mertebesinde bir artış görülmektedir. Bu durum yine kış aylarında görülmesi muhtemel don olaylarının 1956–2100 periyodunda artabileceğine işaret etmektedir. Buna ilaveten yine düşük sıcaklık sınıfında yer alan (5–10 ^{0}C) arasındaki sıcaklık değerlerin de ise EH40PYC-B2 senaryosu için %1'lik bir artış eğilimi görülmektedir. Yüksek değerlerdeki artış yalnızca HadCM3-B2 senaryosunda %3 mertebesinde bir eğilimle karşımıza çıkmaktadır. Bunlara ilaveten EH40PYC A2 ve B2 ile HadCM3-A2 senaryolarına ait ortalama sıcaklık değerlerinde

az da olsa bir artış trendi görülmektedir. Bu artış yaklaşık her iki tahmin için de %1 mertebesinde olduğu görülmektedir.

4.2.4 Çay istasyonu tahmin verileri trend analizi

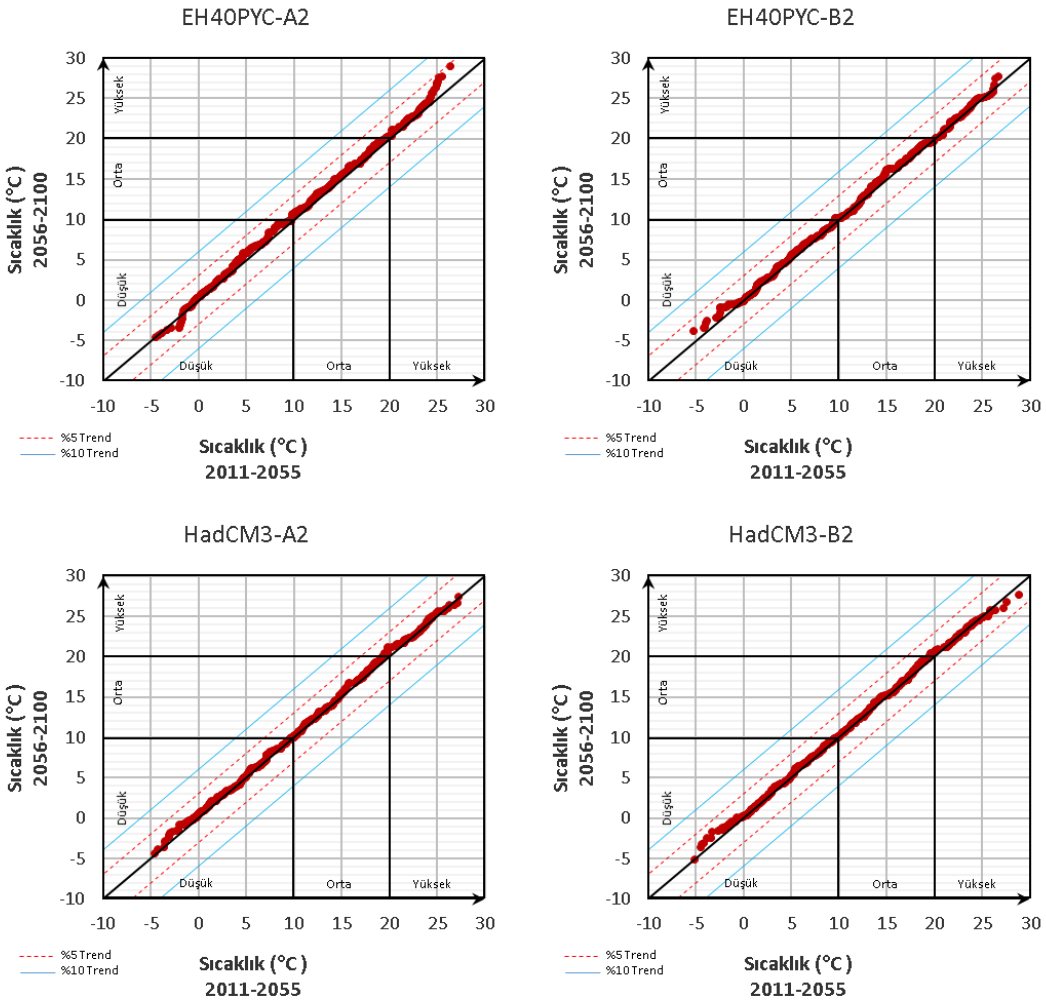
Çay istasyonuna ait elde edilen tahmin değerlerinden aylık toplam yağış trend grafikleri Şekil 4.20'de, ortalama sıcaklık trend grafikleride Şekil 4.21'de sunulmuştur. Sırasıyla toplam yağış trend grafikleri ele alınacak olursa EH40PYC-A2 senaryosu tahminlerinde orta değerlerde tekdüze olmayan bir artış eğilimi görülmektedir. Özellikle, 90–120 mm arası değerdeki yağışlar %1'lik bir artışa sahipken Yüksek yağış değerlerinde bu artış eğilimi %6 mertebesine çıkmıştır.



Şekil 4.20 : Çay istasyonu aylık toplam yağış tahminleri trend grafikleri.

Bunun tam tersine B2 senaryo verilerinde ise orta değerlerden başlayan tekdüze azalan bir trend görülmektedir. 60–90 mm arasında yer alan değerlerde ortalama %2 düzeyinde bir azalış varken, 90–120 mm arası değerlerde %4'lük bir azalış trendi mevcuttur. Yüksek yağış değerlerinde ortalama %4 azalış eğilimi görülmektedir.

HadCM3-A2 senaryo verilerine bakıldığında orta değerdeki yağışlarda ortalama %3 azalış trendi görülürken, yüksek değerli yağışlar hakkında kesin bir trend değeri belirlenememiştir.



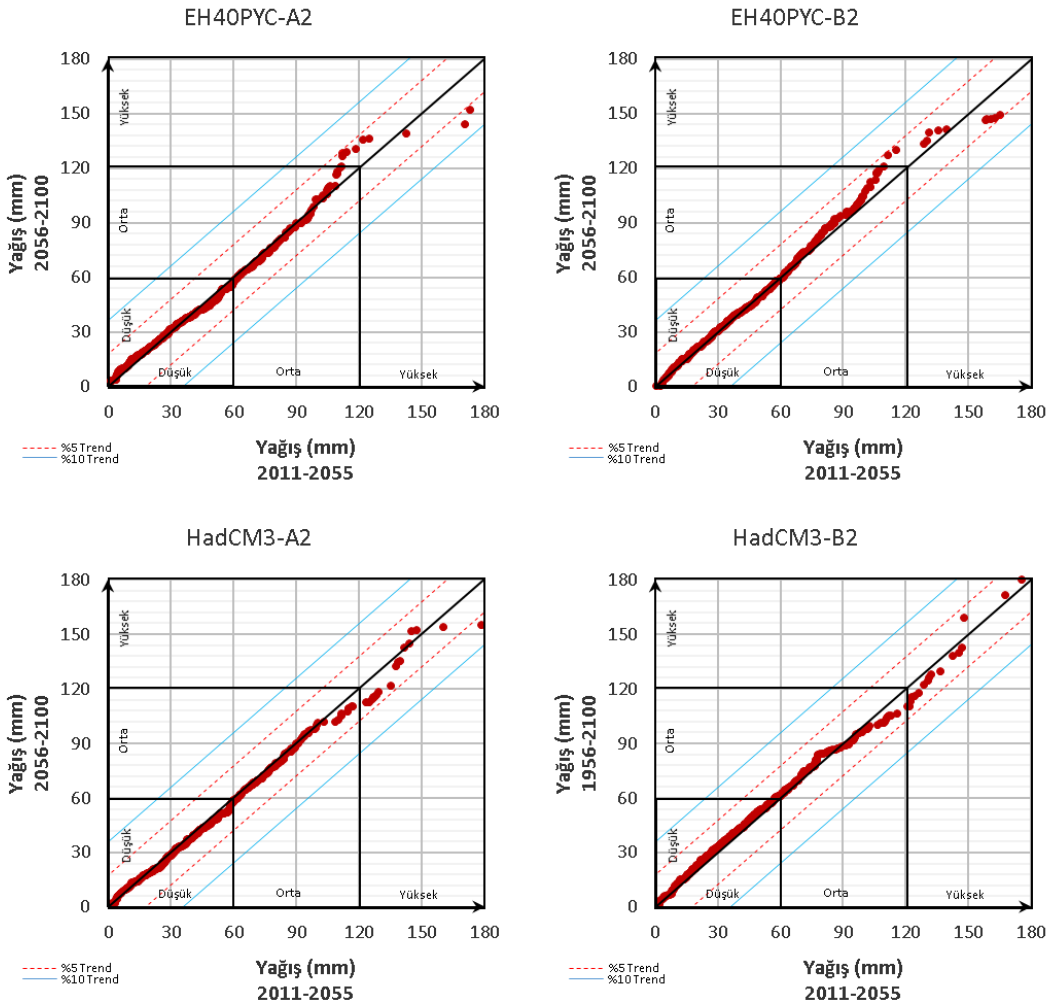
Şekil 4.21 : Çay istasyonu aylık ortalama sıcaklık tahminleri trend grafikleri.

Sıcaklık tahminlerince gelince EH40PYC-A2 senaryosunda 5 ^{0}C den başlamak üzere %1 mertebesinde tekdüze bir artış eğilimi görülmektedir. Yüksek sıcaklık sınıfında bulunan 25 ^{0}C'den büyük sıcaklıklarda bu artış daha da kuvvetlenmekte ve ortalama %3 mertebesini kadar yükselmektedir. EH40PYC-B2, HadCM3-A2 ve HadCM3-B2 senaryolarına ait tahminlerde sıfırın altındaki düşük sıcaklıklarda ortalama %2'lik bir artış eğilimi tespit edilmiştir. Diğer alt gruplarda yer alan sıcaklık tahminlerine dair herhangi bir belirgin trend tespitinde bulunulamamıştır.

4.2.5 Sultandağı istasyonu tahmin verileri trend analizi

Sultandağı istasyonu için elde edilen tahmin değerlerinden aylık toplam yağış verilerine ait trend grafikleri Şekil 4.22'de sunulmuştur. EH40PYC-A2 senaryosuna

ait tahminlerden düşük değerlere ait herhangi bir trend tespit edilememektedir. Orta sınıfta yer alan 90–120 mm aralığında %2 artış trendi tespit edilmiştir. Yüksek değerler grubunda yer alan 120–150 mm arasındaki yağış tahminlerinde ortalama %4 mertebesinde bir artış eğilimi görülmektedir.

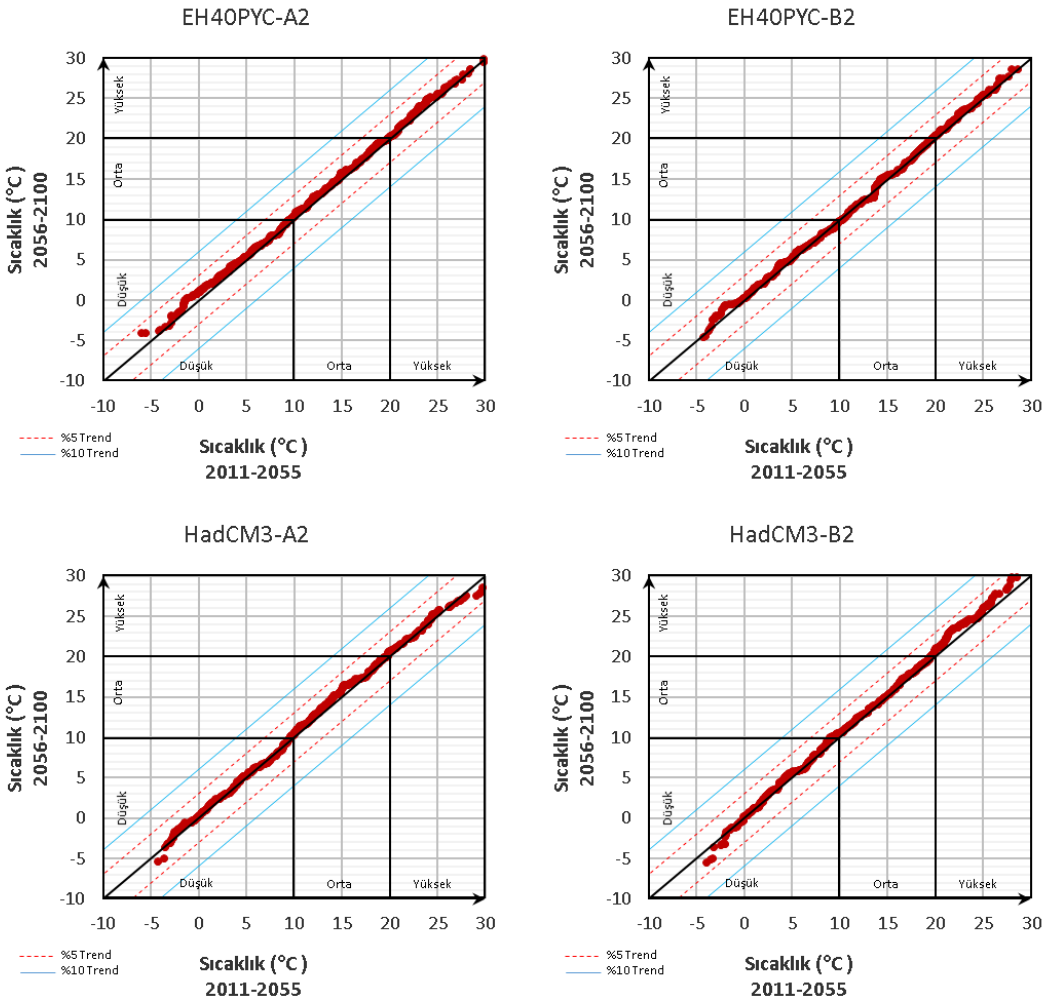


Şekil 4.22 : Sultandağı istasyonu aylık toplam yağış tahminleri trend grafikleri.

Aynı merkezin B2 senaryosu tahminlerinde 60–90 mm arasındaki değerlerde ortalama %1; 90–120 mm arasında bulunan değerlerde %3'lük artış trendi görünmektedir. Yüksek değerlerde hem artan hem azalan değerler olduğu için ortak bir trend yüzdesi tespit edilememektedir. HadCM3 senaryolarının her ikisinde de 90–120 mm arasında yer alan orta dereceli yağış sınıflarında ortalama %2'lik azalış trendi görülürken; HadCM3-B2 senaryosu için yüksek yağış dereceli sınıfta yer alan 120–150 mm arasındaki değerlerde %2'lik azalış trendi devam etmektedir.

Sultandağı istasyonda 4 farklı senaryodan elde edilen aylık ortalama sıcaklık trend tahminleri Şekil 4.23'te gösterilmiştir. Sıfırın altındaki sıcaklık değerleri için

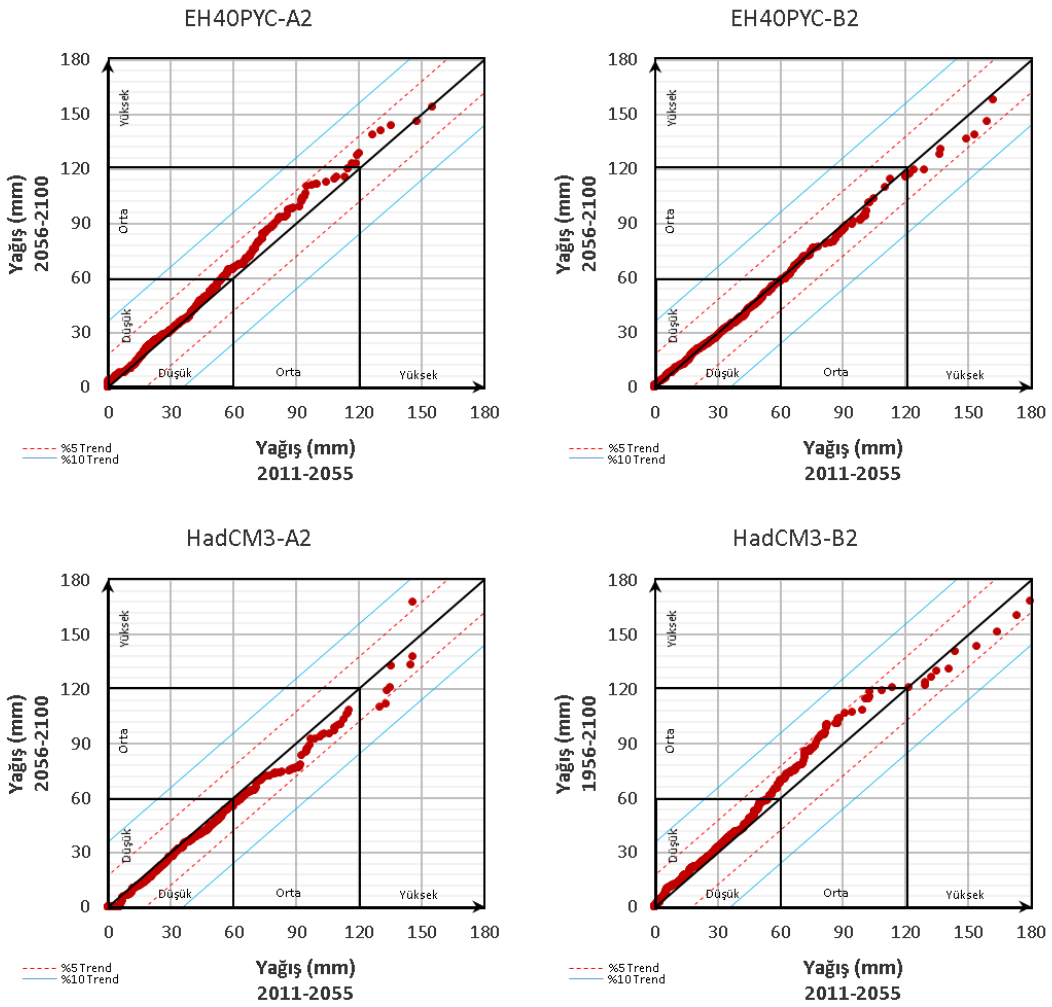
EH40PYC senaryolarının her ikisinde de yaklaşık %2'lik bir artış trendi görülmektedir. Bunun haricinde en belirgin trend HadCM3-B2 senaryosuna ait yüksek dereceli sıcaklıklara aittir. 20–30 ^{0}C arasındaki tüm değerlerde artış eğilim gözlenirken, ortalama trend yüzdesi %2 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.23 : Sultandağı istasyonu aylık ortalama sıcaklık tahminleri trend grafikleri.

4.2.6 Şuhut istasyonu tahmin verileri trend analizi

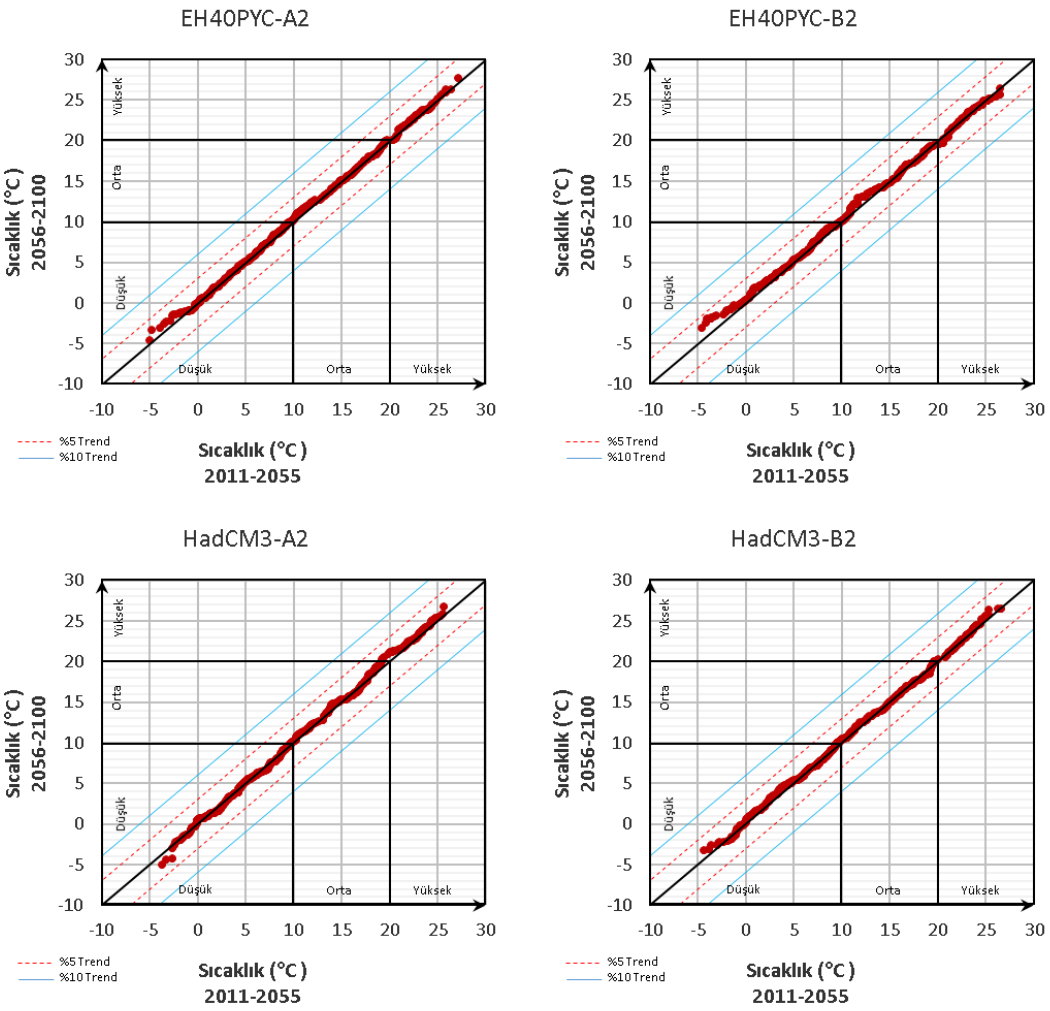
Trend analizi yapılan tahmin değerlerinden Şuhut istasyonuna ait aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklıkların trend durumları sırasıyla Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te sunulmuştur. Buna göre, EH40PYC-A2 tahminleri için 30 mm'den başlayan tekdüze bir artış eğiliminden bahsetmek mümkündür. Düşük dereceli yağışlardan 30–60 mm arasındaki değerlerde bu artış ortalama, %1 olarak tespit edilirken, orta ve yüksek dereceli yağışlarda %3'tür. Bu durumun aksine, EH40PYC-B2 senaryosunun yüksek dereceli yağışlarında ortalama %2'lik bir azalış eğilimi vardır.



Şekil 4.24 : Şuhut istasyonu aylık toplam yağış tahminleri trend grafikleri.

HadCM3-A2 senaryo tahminlerinde, orta dereceli yağışlarda %3 mertebesinde bir artış tespit edilmiştir. HadCM3-B2 senaryosu tahminlerinde de tekdüze olmayan bir trend durumu göze çarparken, orta değerli yağışlarda 60–90 mm değerleri arasında %3; 90–120 mm değerleri arasında %4 mertebesinde artan trend görünmektedir. Yüksek dereceli yağışlarda, EH40PYC-B2 senaryosunda olduğu gibi yaklaşık %2'lik bir azalış trendi bulunmaktadır.

Sıcaklık tahmin değerlerinde, genel gidişat olarak diğer istasyonlara benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sıfırın altındaki sıcaklık değerleri için EH40PYC-A2 ve B2 senaryolarının her ikisinde de yaklaşık %2'lik bir artış trendi belirmektedir. Bunun haricinde diğer senaryolar ve sıcaklık sınıflarına ait belirgin bir azalış ya da artış trendi tespit edilememektedir.



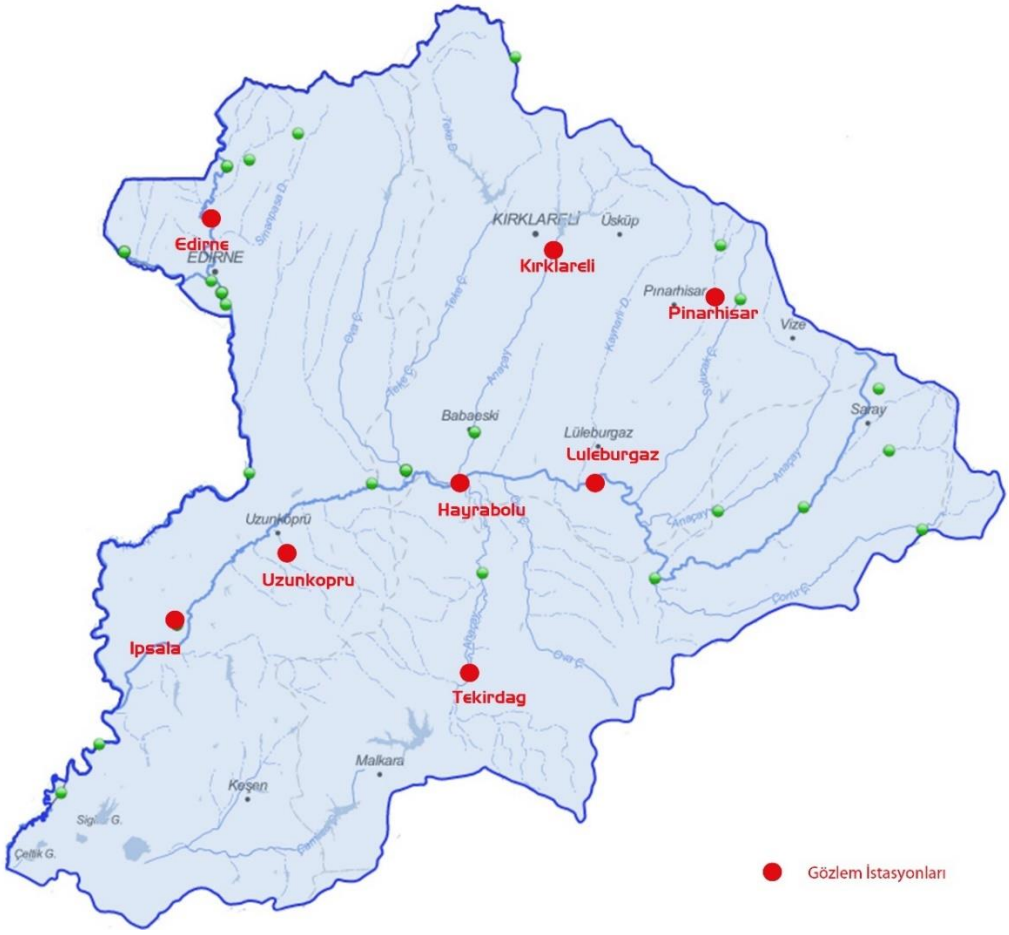
Şekil 4.25 : Şuhut istasyonu aylık ortalama sıcaklık tahminleri trend grafikleri.

4.2.7 Sonuç

Akarçay havzasına ait 6 farklı istasyonun tamamında 2011–2055 ve 2056–2100 yılları kıyaslanmak suretiyle İnovatif-Şen yöntemi yardımıyla genel trend karakteristikleri belirlenmiştir. Ayrıntılı olan analiz sonuçlarında görüldüğü üzere, aynı istasyon içerisinde bazı senaryolar artış eğilimi sonucu verirken diğer bir senaryo azalış eğilimindedir. İklim senaryolarında ve dolayısı ile tahminlerde kesinlik olmadığı için bu durum normal olarak değerlendirilmelidir. Tüm senaryolar göz önüne alınıp en elverişsiz sonuç veren senaryo çıktılarına göre tedbirler ya da kararlar almak en akılcı yaklaşım olarak karşımıza çıkan durumdur. Sıcaklık trend sonuçlarına bakıldığında, hemen hemen tüm istasyon sonuçları birbirine benzer iken, yağış trendleri istasyonlar içerisinde farklılık göstermektedir. Akarçay havzasının büyüklüğü istasyonlar arası mesafe ile birlikte düşünüldüğüne sıcaklık değerlerinin yakın olmasının beklenilmesi kaçınılmazdır.

4.3 İnovatif-Şen Trend Metodu Pilot Uygulaması

Tez çalışması kapsamında hem gözlem hem de iklim modellemesi sonucu elde edilen tahmin değerleri üzerinde uygulanan İnovatif-Şen trend yönteminin kolaylıkla farklı alanlara ve verilere uygulanabilirliğini göstermek için örnek bir ön çalışma uygulaması olarak Ergene havzası seçilmiştir. Çalışmada kullanılan istasyonların konumları Şekil 4.26'da Ergene havzası sınırları üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.26 : Ergene havzası gözlem istasyonları konumları.

Kıyaslama yapabilmek için analizde kullanılan tüm veriler üzerinde ayrıca Mann-Kendall trend sınaması da uygulanmıştır. Ergene nehri ana ve yan kollarında olmak üzere toplam sekiz gözlem istasyonu tespit edilmiş ve bu istasyonlara ait akım, yağış, sıcaklık ve nisbi nem değerleri aylık ölçekte 1961–2010 yıllarını kapsayacak şekilde temin edilmiştir. Akım verileri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden, diğer veriler ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

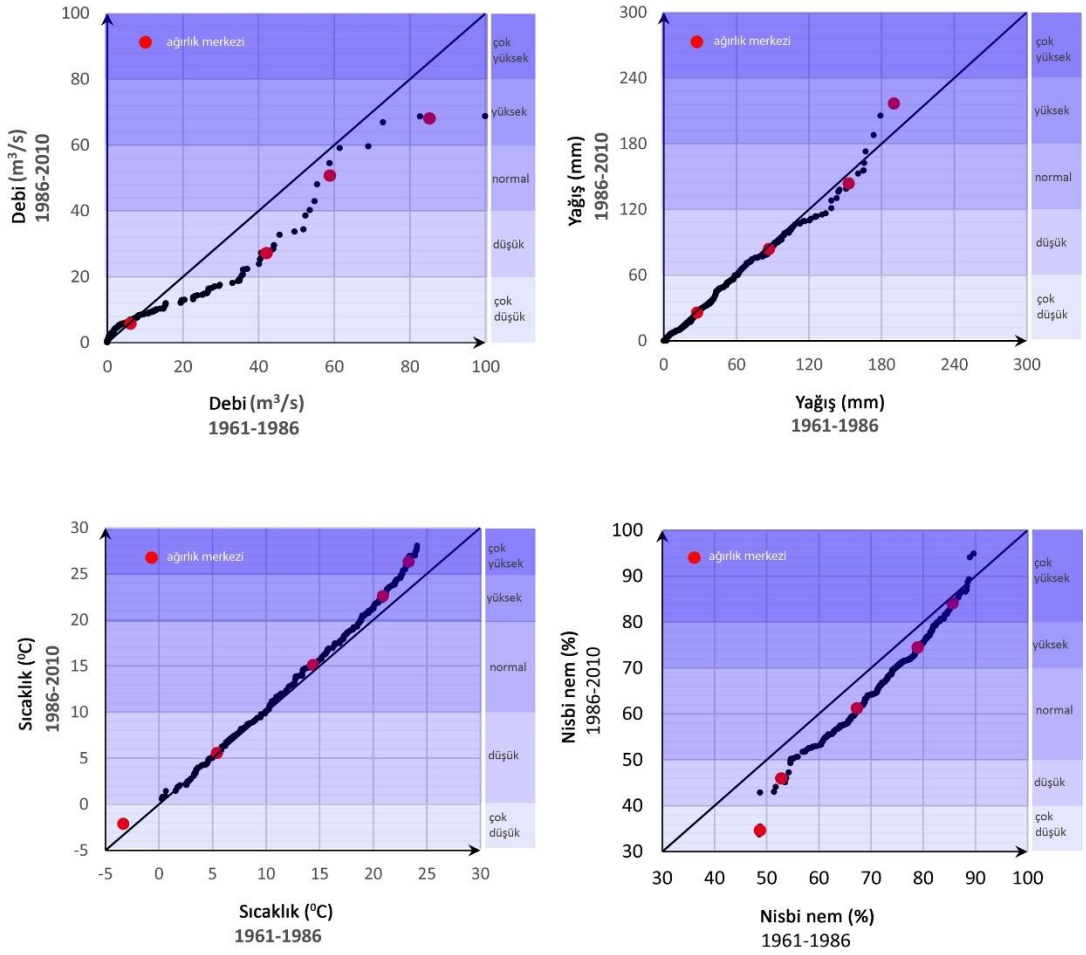
Çalışmada kullanılan istasyonlardan Lüleburgaz ve Hayrabolu istasyonu Ergene nehri ana kolu üzerinde yer alırken, diğer istasyonlar yan kollar üzerinde yer almaktadır.

Daha önceki bölümlerden farklı olarak İnovatif-Şen yöntemine ilave bir yenilik getirilmiştir. Analizde kullanılan verilerin ikinci yarısına ait ortalama değeri ya da ağırlık merkezi hesaplanmak sureti ile trendin olup olmadığı, var ise de artan veya azalan karakterde oluşu hesaplanan bu ortalama değerin 1:1 doğrusuna göre altta veya üstte olmasına göre karar verilmiştir.

Ayrıca, diğer bir farklı yenilik olarakta her bir veri kendi içerisinde beş farklı bulanık alt kümeye ayrılmıştır. Daha önceki uygulamalarda alt sınıflandırma grupları üçe ayrılarak tanımlanmıştır. Belirlenen bu alt kümler ya da gruplar küçük değerlerden başlamak üzere; "çok düşük", "düşük", "normal", "yüksek" ve "çok yüksek" olarak isimlendirilmiştir. Şekil 4.27 Ergene nehri ana kolu üzerinde yer alan Lüleburgaz istasyonuna ait trend analizi sonuçlarını göstermektedir.

Buna göre ilk akım grafiklerine bakıldığında sadece küçük de olsa "çok düşük" değerli 0–20 m^3/s değerlerindeki akımlarda ortalamaya göre artış tespit edilmiştir. Bunun üzerinde kalan tüm değerlerde tespit edilen eğilim azalış yönündedir. Yağış değerlerinde "normal" yağışların azalış eğiliminde olduğu, "yüksek" sınıftaki değerlerin de artış eğiliminde olduğu tespiti yapılmıştır. Sıcaklık verilerine ait grafiğe bakıldığında, tüm alt gruplar için tespit edilen trend artış yönündedir. İklim değişikliğinin Türkiye üzerindeki etkileri düşünüldüğünde sıcaklık trendinin artış yönünde olması beklentilerle birebir uyuşmaktadır.

Tarafsız eksen olan 1:1 doğrusuna çok yakın değerlerde sadece grafiğe bakarak kesin bir sonuca varmak çok zor görünürken, ortalama değerin analitik bir şekilde hesaplanması ile bu zorluk ortadan kaldırılmış ve ağırlık merkezinin konumu kesin olarak belirlendiğinden, var olan trendin artan veya azalan türden oluşu kesin olarak belirlenebilmektedir. Son olarak, nisbi nem trend grafiğine bakıldığında, tüm değerler için azalan yönde bir trendin varlığından bahsetmek mümkündür.



Şekil 4.27 : Lüleburgaz istasyonu trend grafikleri.

Tüm trend analiz sonuçlarının tek tek grafiklerde gösterilmesi yerine bu uygulamada sonuçlar birbiriyle daha iyi kıyaslanabilmesi için bir çizelge halinde sunulmuştur. Ana kolda yer alan Lüleburgaz ve Hayrabolu istasyonlarına ait trend analizi sonuçları Çizelge 4.6'da sunulmuştur. Bu çizelgelerde trendin varlığı ilk kez trend vektörleri tanımlanmak suretiyle gösterilmiştir. Bu trend vektörleri gösterimi sayesinde tespit edilen eğilimlerin yönü sayısal ifadelere göre çok daha kolaylıkla kavranabilmekte ve kıyaslanabilmektedir.

Çizelge 4.6 : Ergene nehri ana kollarında bulunan istasyonlara ait trend vektörleri.

Parametre	Debi (m^3/s)					Yağış (mm)					Sıcaklık (°C)					Nisbi Nem (%)				
Alt grup	Çok Düşük	Düşük	Normal	Yüksek	Çok	Çok Düşük	Düşük	Normal	Yüksek	Çok	Çok Düşük	Düşük	Normal	Yüksek	Çok	Çok Düşük	Düşük	Normal	Yüksek	Çok
Referans aralık	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	0-60	60-120	120-180	180-240	240-300	(-5)-0	0-10	10-20	20-25	25-30	30-40	40-50	50-70	70-80	80-100
Ana kol: Lüleburgaz					-	0	0			-		0								
Ana kol: Hayrabolu					-	0	0		-	-	-	0	0	0	0	-	-	0	0	0

Lejant: Artan trend; Azalan trend; (0):Trend yok; (-) Veri yok

Yukarıdaki grafiğe benzer şekilde geriye kalan yan kollar üzerinde bulunan altı istasyona ait trend vektörleri de Çizelge 4.7'de sunulmuştur.

Çizelge 4.7 : Ergene nehri yan kollarında bulunan istasyonlara ait trend vektörleri.

Parametre	Debi (m^3/s)					Yağış (mm)						Sıcaklık (°C)					Nisbi Nem (%)				
Alt grup	Çok Düşük	Düşük	Normal	Yüksek	Çok Yüksek	Çok Düşük	Düşük	Normal	Yüksek	Çok Yüksek		Çok Düşük	Düşük	Normal	Yüksek	Çok Yüksek	Çok Düşük	Düşük	Normal	Yüksek	Çok Yüksek
Referans aralık	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	0-60	60-120	120-180	180-240	240-300		(-5)-0	0-10	10-20	20-25	25-30	30-40	40-50	50-70	70-80	80-100
Yan Kollar: Kırklareli	0					0			-	-		0	0	0			-		0		
Yan Kollar: Edirne	0			-	-	0	0	0		-		0	0	0			-		0	0	0
Yan Kollar: İpsala	0	0	-	-	-	0				-		0	0	0			-	-			
Yan Kollar: Pınarhisar				-	-	0	0			-		0	0	0			-				
Yan Kollar: Tekirdağ	0			-	-	0	0	0	0			0	0	0	0	0					0
Yan Kollar: Uzunköprü	0		-	-	-	0		0	0	-	-	0	0				-		0	0	0

Lejant: Artan trend; Azalan trend; (0): Trend yok; (-) Veri yok

Yan kollar üzerinde tespit edilen trend durumlarıyla alakalı olarak sıcaklık verilerindeki artışın tüm istasyonlarda artış yönlü olması elde edilen önemli sonuçlardandır. Ayrıca, Tekirdağ istasyonu verilerinden nisbi nem değerlerinin diğer

istasyonların aksine artış yönlü olması da önemli bir bulgudur. Görüldüğü üzere trend vektörleri yardımıyla elde edilen sonuçlar birbirleriyle rahatlıkla kıyaslanabilmektedir.

Sonuçların kıyaslanabilmesi amacıyla, Mann-Kendall trend sınaması aynı değişkenler üzerinde uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 4.8'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.8 : Mann-Kendall trend analizi sonuçları.

Gözlem İstasyonları	Veri Aralığı	Parametre	MK Test İstatistiği	Hesaplanan Z Değeri	Kritik Z Değeri α=5%	H_0 Hipotezi	Trend (±)
Lüleburgaz	1961–2010	Debi	27409	0.000	±1.96	Kabul	Yok
		Yağış	-4381	0.3719	±1.96	Kabul	Yok
		Sıcaklık	8399	0.0869	±1.96	Kabul	Yok
		Nisbi Nem	-24032	0.0000	±1.96	Kabul	Yok
Hayrabolu	1961–2010	Debi	-351	0.9431	±1.96	Kabul	Yok
		Yağış	5892	0.2437	±1.96	Kabul	Yok
		Sıcaklık	-916	0.8520	±1.96	Kabul	Yok
		Nisbi Nem	-1354	0.7827	±1.96	Kabul	Yok
Kırklareli	1961–2010	Debi	-13650	0.0054	±1.96	Kabul	Yok
		Yağış	-254	0.9589	±1.96	Kabul	Yok
		Sıcaklık	5363	0.2743	±1.96	Kabul	Yok
		Nisbi Nem	-20128	0.0000	±1.96	Kabul	Yok
Edirne	1961–2010	Debi	-10782	0.0280	±1.96	Kabul	Yok
		Yağış	1240	0.8006	±1.96	Kabul	Yok
		Sıcaklık	4188	0.3933	±1.96	Kabul	Yok
		Nisbi Nem	2234	0.6489	±1.96	Kabul	Yok
İpsala	1961–2010	Debi	-19927	0.0000	±1.96	Kabul	Yok
		Yağış	3123	0.5245	±1.96	Kabul	Yok
		Sıcaklık	4795	0.3284	±1.96	Kabul	Yok
		Nisbi Nem	-34857	0.0000	±1.96	Kabul	Yok
Pınarhisar	1961–2010	Debi	-29009	0.0000	±1.96	Kabul	Yok
		Yağış	-4527	0.3562	±1.96	Kabul	Yok
		Sıcaklık	1848	0.7065	±1.96	Kabul	Yok
		Nisbi Nem	-32543	0.0000	±1.96	Kabul	Yok
Tekirdağ	1961–2010	Debi	-6692	0.1725	±1.96	Kabul	Yok
		Yağış	-7918	0.1065	±1.96	Kabul	Yok
		Sıcaklık	2659	0.5879	±1.96	Kabul	Yok
		Nisbi Nem	10580	0.0310	±1.96	Kabul	Yok
Uzunköprü	1961–2010	Debi	-18124	0.0000	±1.96	Kabul	Yok
		Yağış	-7766	0.1134	±1.96	Kabul	Yok
		Sıcaklık	3983	0.4169	±1.96	Kabul	Yok
		Nisbi Nem	-2183	0.6564	±1.96	Kabul	Yok

Mann-Kendall trend analizi sonuçlarına bakıldığında hiçbir istasyonda herhangi bir trend tespiti yapılamamıştır. Halbuki İnovatif-Şen yönteminde her istasyonda ve alt gruplarında eğer veri var ise muhakkak bir sonuç elde edilebilmekte ve sözel olarak pek çok çıkarım yapma imkânı elde edilebilmektedir. Örneğin, sıcaklıkların artış trendine sahip olması Mann-Kendall yönteminde kaybolmuş ya da tespit edilememiştir. Yalnızca bu veriye bakarak bile sıcaklık değerlerinde artış trendinin

olmadığını ileri sürmek son derece yanlış sonuçlara sebebiyet verebilecek bir durumdur.

Bu ön (pilot) çalışmada uygulama bir kez daha İnovatif-Şen yöntemin tüm alanlarda rahatlıkla uygulanıp son derece akılcı ve ayrıntılı sözel çıkarımlar yapılabilecek sonuçlar ortaya koyduğunu ispatlamıştır. Ayrıca, literatürde son derece yaygın kullanılıyor olmasına rağmen Mann-Kendall trend analizi yönteminin de eksik yönleri veya bazı zayıflıkları ortaya çıkarılmıştır.

5. KURAKLIK ANALİZİ

5.1 Giriş

Kuraklık toplum, ekonomi, sosyal hayat ve tarım faaliyetlerini etkileyen şiddetli su sıkıntısına dayanan bir iklim olayıdır (Şen, 1998; Hisdal ve Tallaksen, 2003; Mishra ve Singh, 2010). Diğer bir ifadeyle, Kao ve Govindaraju (2010) kuraklığı su kıtlığının uzun süre devam etmesidir şeklinde tanımlamıştır. Kuraklık tekrar eden su kıtlığı olarak tanımlanabilir ancak kuraklık sadece belirli bir süre içerisinde görülen yağış kıtlığı olarak değerlendirilmemelidir. Temel olarak, meteorolojik, hidrolojik, tarımsal ve sosyo-ekonomik kuraklık; yağış azlığı ile tetiklenmektedir (Choi ve diğ., 2013; Mishra ve Singh, 2010). Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında kuraklık, süresi, şiddeti, alansal ve zamansal etkileri birlikte ele alınarak değerlendirilmektedir (Şen, 1976, 1977, 1978; Dai, 2011; Xu ve diğ., 2015).

Kuraklık alanları iklim değişikliğinin iklim değişkenleri üzerindeki olumsuz etkisinin tetiklemesiyle dünyanın pek çok bölgesinde yayılmaya devam etmektedir. Ayrıca, iklim değişikliği etkilerinin pek çok bölge üzerinde kuraklığın görülme sıklığını artırıcı yönde etki ettiği de iddia edilmektedir (Blenkinsop ve Fowler, 2007; Guardiola-Claramonte ve diğ., 2011; Şen, 1980). Yakın geçmişte özellikle son otuz yıl içerisinde Afrika ve Akdeniz ülkeleri çok sık şiddetli kuraklıklar ile karşı karşıya kalmıştır. Akdeniz ülkelerinde yağışların azalmasıyla birlikte kuraklık sürecinin başlamasının insan faaliyetleri üzerindeki olumsuz etkileri ortaya çıkarmak için bir çok iklim modelleri geliştirilmeye başlanmıştır (Bates ve diğ., 2008). Bu modellerin ürettikleri projeksiyonlar sıcaklıkların sürekli artmasına ilaveten yaz yağışlarının %50'ye yakın bir oranda azaldığını ve kuraklıkların %40 oranında Akdeniz ülkelerinde daha sık görüleceğini ortaya koymuşlardır (Vicente-Serrano, 2006; Dai, 2011; Gampe ve diğ., 2016). Bu yüzden kuraklık olayının kapsamlı bir şekilde ele alınıp değerlendirilmesi Akdeniz ülkeleri su kaynaklarının yönetimi açısından son derece önemli ve kritik bir konudur.

Akdeniz'in ılıman iklim koşulları Türkiye'nin iklimini doğrudan etkilemektedir. Yakın geçmişte 2007, 2008 ve 2014 yılları içerisinde Türkiye'nin farklı bölgelerinde uzun süreli yaz kuraklıkları görülmüştür. Kuraklık çok geniş alanlarda meydana getirdiği belirlenmesi ve hesaplanması zor olan pek çok kayıplara neden olmaktadır. Kuraklık olayının tam manasıyla kapsamını bilmeden kuraklığın neden olduğu zararların doğru bir şekilde değerlendirilmesi mümkün değildir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün tespitlerine göre Türkiye üzerinde kuraklığa en hassas bölgeler güneydoğuda, güneyde ve orta Anadolu'da yer almaktadır. Kuraklığın zaman ve alan uzantılarının doğru bir şekilde belirlenmesi, kuraklık tehdidinin ötelenebilmesi için zaruridir. Kuraklık analizinde kullanılan verilerin kapsamı göz önüne alındığında, bu çalışma Türkiye'de kuraklığın kapsamlı bir şekilde değerlendirildiği en önemli çalışmalar arasında yer alabilir.

Kuraklığın yaşandığı dönemde, iklim değişikliği uzmanları su kaynaklarının yönetimi ve iklim değişkenliğinin değerlendirilmesi çalışmalarında çok dikkatli ve hassas davranılması gerektiğini tavsiye etmektedir. Ayrıca kuraklıkla mücadele edilip ötelemeye çalışılırken sadece yüzeysel suların değil yeraltı su kaynaklarının da benzer bir yaklaşımla yönetilmesi gerekmektedir (Şen, 2014a). Kuraklığın meydana getirdiği zararların üstesinden gelebilmek için gözlemlere dayalı ve doğru bilimsel yöntemlerle kuraklığın değerlendirilmesinden başka yol yoktur (Dahal ve diğ., 2015; Şen, 2014b). Kuraklık çözümlenmesinin (analizinin) karmaşık durumunun üstesinden gelebilmek için Standart Yağış Göstergesi (İndeksi) (Standardized Precipitation Index-SPI) (McKee ve diğ., 1993) ve Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (Palmer Drought Severity Index-PDSI) literatürde yaygın olarak kullanılan göstergeler (indeksler) olarak bilinmektedir. Bu göstergelerin teorik altyapısı Ma ve diğ. (2013) tarafından zaman içerisinde pek çok uygulamada geliştirilmiştir. Ayrıca, Paulo ve Pereira (2008) dünyanın çok farklı bölgelerinde bulunan büyük ve küçük alanlarda kuraklığı sınıflandırabilmek için bu göstergeleri kullanmışlardır.

SPI ile PDSI kıyaslandığında, SPI'nin basit ve sade uygulama yöntemi sayesinde her ne kadar sadece yağış verilerinin dikkate alınması bir eksiklik gibi görünse de, dünya üzerinde çok daha fazla yaygın kullanım alanına sahiptir (Doğan ve diğ., 2012; Kim ve diğ., 2006; Dutra ve diğ., 2014). SPI'nin diğer bir faydası da teorik uygulama alt yapısının meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklığın belirlenebilmesi için ihtiyaç duyulan istenilen tüm zaman ölçeğine uygun olmasıdır (Mishra ve Desai, 2005).

Sadece SPI ve PDSI değil, literatürde kuraklık ile ilgili pek çok geliştirilmiş göstergeler de vardır. RDI (Reconnaissance Drought Index) toplam yağış ile potansiyel buharlaşma ve terleme miktarlarının oranlarını dikkate alınarak Tsakiris ve diğ. (2007) tarafından geliştirilmiştir. Buna ilaveten, SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) standartlaştırılmış yağış, buharlaşma ve terleme göstergesi olarak genellikle toplam yağış ile potansiyel buharlaşma ve terleme miktarlarının toplamlarını dikkate almaktadır (Vicente-Serrano ve diğ., 2010). Kao ve Govindaraju (2010) da yağış ve akım verilerinin kopula yöntemi yoluyla değerlendirilmesi sonucu JDI (Joint Drought Index-Ortak Kuraklık Göstergesi) adında bir büyüklük geliştirmişlerdir. Bunların haricinde yakın geçmişte, pek çok kuraklık göstergesi farklı değişkenler kullanılarak geliştirilmiştir. Örneğin, Hao ve AghaKouchak (2013) MSDI'yi (Multivariate Standardized Drought Index-Çok değişkenli Standartlaştırılmış Kuraklık Göstergesi); Şen (2008) TDI'yi (Triple Drought Indicator-Üçlü Kuraklık Göstergesi) ve Rajsekhar ve diğ., (2015) MDI'yı (Multivariate Drought Index-Çok değişkenl Kuraklık Göstergesi) geliştirmişlerdir.

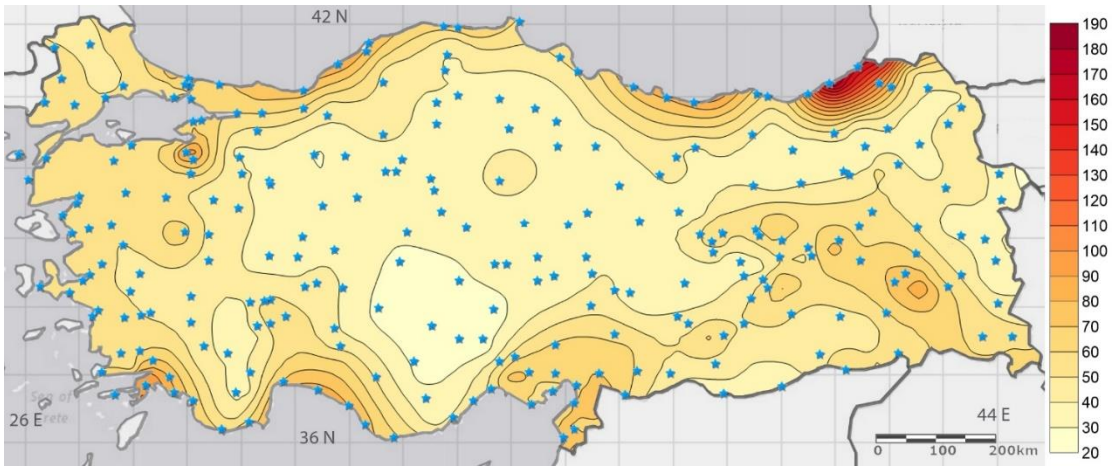
Bölgesel kuraklık analizi yapabilmek için kuraklığın süresine, sıklığına, alansal büyüklüğüne ve şiddetine çok özen göstermek gerekir (Mishra ve Singh, 2009). Kuraklığın alan uzantılarının sınırları kuraklığın zaman içerisindeki tekerrür süresi kadar öneme sahiptir. Sadece az yağış alan bölgelerde kuraklık yaşanmayacağı gibi çok yağış alan bölgelerde de belirli süreli kuraklıklar yaşanabilir (Şen, 2015a). Dai (2011) günümüzde yaşanan modern kuraklıkların daha kısa olduğunu ancak şiddetinin geçmişteki kuraklıklara göre daha fazla olduğunu iddia etmiştir. Kuraklığın yaşandığı alanların bütün sınırları kuraklık esnasında tam kesin olarak belirlenemeyebilir. Kuraklıktan etkilenen sektörleri ve insanları tahmin edebilmek, kuraklığın yıkıcı zararlarını bertaraf etmek için son derece önemlidir. Bu yüzden kuraklık gerek yaşanırken gerekse de öncesinde sadece tekerrür süreleriyle değil alan sınırları ile birlikte etkilenen sektörler de dâhil edilerek değerlendirilmelidir. Kuraklığın alan ve zaman uzantılarının birlikte değerlendirilmesi kısa ve uzun vadeli su kaynakları yönetimine gerçekçi ve bilimsel katkı sağlayabilir (Santos ve diğ., 2010; Gocic ve Trajkovic, 2014; Şen, 2015b). Bundan dolayı bölgesel veya kuralığın zaman ve alan uzantılarının birlikte değerlendirildiği çok ayrıntılı bilimsel araştırmalara ihtiyaç vardır (Panu ve Sharma, 2002; Mishra ve Singh, 2010).

Geçmişten günümüze kuraklığın alan ve zaman uzantılarının değişkenliğiyle alakalı pek çok araştırma hâlihazırda Asal Bileşen Çözümlemesi (Principle Component Analysis-PCA) ve SPI kullanılarak yapılmıştır (Jolliffe, 2002; Vicente-Serrano ve diğ., 2004; Martins ve diğ., 2012; Raziei ve diğ., 2013; Santos ve diğ., 2010; Gocic ve Trajkovic, 2014). Literatürde, PCA'nın yanında pek çok kümeleme yöntemi kuraklık çalışmalarında kullanılmaktadır. PCA ve KMC (K Means Clustering-K Ortalamaları Kümelemesi) kümeleme yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Santos ve diğ., (2010) yaptıkları ayrıntılı çalışmada KMC ve PCA tekniklerini beraber kullanmış ve elde ettikleri sonuca göre her iki yöntemin de benzer sonuçlar verdiğini ispatlamışlardır. Bu çalışmada kapsamında Türkiye genelli kuraklığın alan analizini yapılırken yalnızca PCA yöntemi kullanılmıştır. Kuraklığın zaman değişkenliğinin ve tekerrür sürelerinin belirlenmesi için ise Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT) yöntemi kullanılmıştır.

Bu bölümde ele alınan çalışmanın ana hedefleri arasında Türkiye geneli 250 istasyonda (1931–2010) yılları arasında toplam 80 yıllık yağış ölçümleri kullanılarak, kuraklığın alan ve zaman analizlerini mevsimlik (SPI-3) ve yıllık (SPI-12) ölçeklerinde yapmak, kuraklıktan etkilenen alanlarda kuraklığın hangi derece etki olduğunu tespit etmek ve PCA yüklemeleri ile kuraklığın alan korelasyonu arasındaki ilişkiyi ortaya koymak yer almaktadır.

5.2 Uygulama Alanı ve Veri

Türkiye Asya ve Avrupa kıtaları arasında 26º–45º Doğu meridyenleri ve 36º-42º Kuzey paralelleri arasında yer alan toplam 783.562 km^2 yüzey alanına sahip bir ülkedir. Bölgeden bölgeye farklı fiziksel özelliklerinden dolayı iklim karakterleri de ülke içerisinde değişiklik göstermektedir. Çalışmada kullanılan 250 istasyonun Türkiye üzerindeki konumları aylık ortalama yağış eğrileri ile birlikte Şekil 5.1'de sunulmuştur.



Şekil 5.1 : Türkiye geneli aylık ortalama yağış dağılımı.

1931–2010 arası elde edilen kayıtlara göre Türkiye'de aylık ortalama yağışlar 20 mm ile 190 mm arasında değişmektedir. Verilerin tamamı Meteoroloji Genel Müdürlüğü arşivlerinden temin edilmiş ve zaman serileri arasında yer alan boşluklar hidrolojik çalışmalarda sıkça kullanılan Thomas-Fiering yöntemiyle doldurulmuştur. Kuraklığın karakteri itibari ile kapsamlı bir araştırma gerektirmesinden dolayı bu bölümde daha önceki bölümlerde bahsedilen Akarçay havzasında yer alan altı istasyona ait gözlemlerle yetinilmemiş çalışmanın kapsamı tüm Türkiye'yi kapsayacak şekilde genişletilmiştir.

5.3 Metodoloji

5.3.1 Kuraklık göstergesi

SPI yöntemi kurak ve nemli evrelerini belirlemek amacıyla McKee ve diğ., (1993) tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra Guttman (1999) kuraklık analizini SPI kullanarak yapmıştır. SPI yaklaşımı bu tarihten itibaren basit uygulama tekniği yardımıyla çok geniş bir uygulama alanına kavuşmuştur. SPI yöntemi normalize edilmiş özelliğinden dolayı farklı zaman serilerine de rahatlıkla uygulanabilmektedir (Edwards ve McKee, 1997). Bazı zaman serileri çeşitli kuraklık türleriyle eşleştirilmiştir. Buna göre aylık SPI-1 meteorolojik kuraklık üç aylık SPI-3 ve altı aylık SPI-6, tarımsal kuraklık dokuz aylık SPI-9 ve on iki aylık SPI-12 hidrolojik kuraklık göstergeleri ile eşleştirilmiştir (Hayes et al., 1999). Genel olarak SPI analizi, SPI-1, SPI-3, SPI-6, SPI-12, SPI-18, ve SPI-24 zaman serileri kullanılarak uygulanmaktadır (Burke ve diğ., 2010; Belayneh ve diğ., 2014).

İklim değişkenleri özellikle de yağış verileri genelde Gamma İYF ile çok başarılı bir şekilde temsil edilebilmektedir. Bu uyumdan dolayı SPI yönteminin hesaplama adımları arasında Gamma İYF yer almaktadır. Gamma İYF ve Gamma fonksiyonu sırasıyla aşağıdaki denklemlerde gösterildiği şekilde ifade edilmiştir.

$$f(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)}(x)^{\alpha-1}e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)} \qquad (5.2)$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty}(x)^{\alpha-1}e^{-x}dx \qquad (5.2)$$

Burada α şekil ve β ölçek parametresi olarak tanımlanmaktadır. Gamma İYF yalnızca artı değerlerde tanımlı olduğu için aylık ortalama yağış verilerinin de tamamının sıfırdan büyük olduğu düşünüldüğünde, SPI hesaplamalarında Gamma fonksiyonun sorunsuz bir şekilde kullanılabilir (Şen ve Al-Jadid, 1999). SPI uygulama ve hesaplama yöntemi Vicente-Serrano'nun (2006) çalışmasında ayrıntılı olarak açıklanmıştır. SPI hesaplamasında esas alınan kuraklık sınıflandırmaları ise Çizelge 5.1'de sunulmuştur.

Çizelge 5.1 : SPI kuraklık sınıflandırmaları (Agnew, 2000).

Aşılmama İhtimali	SPI	Kuraklık Sınıfları
0.05	SPI>1.65	Çok şiddetli nemli
0.10	1.65>SPI>1.28	Şiddetli nemli
0.20	1.28>SPI>0.84	Orta nemli
0.60	0.84>SPI>-0.84	Normal civarı
0.20	-0.84>SPI>-1.28	Orta kurak
0.10	-1.28>SPI>-1.65	Şiddetli kurak
0.05	-1.65>SPI	Çok şiddetli kurak

Bu çalışmada Türkiye'de aylık, mevsimlik ve yıllık kuraklık karakteristiklerini belirlemek için SPI-1, SPI-3, SPI-6, SPI-6_{NE} (SPI-6 Nisan'dan Eylül'e) ve SPI-12 seçilmiştir. SPI-6_{NE} ise yıllar arasındaki kurak sezon değişkenliğini belirlemek için SPI uygulama listesine dâhil edilmiştir.

5.3.2 Asal Bileşen Çözümlemesi (PCA)

Kuraklığın alan ve zaman analizleri PCA, KMC ve silsileli (hiyerarşik) kümeleme yöntemleri kullanılarak yapılabilmektedir. Bu analiz yöntemlerinin benzer sonuçlar verdiğine dair bulgular hem Santos ve diğ. (2010) hem de Bonaccorso ve diğ. (2003)

ile Vicente-Serrano ve diğ. (2004) çalışmalarında elde edilmiştir. PCA verilerin varyanslarının analizi üzerine temellendirilmiş bir boyut azaltma yöntemi olarak tanımlanabilir. PCA süreci sonucu elde edilen serilere "Yükleme" (Loading) tanımı yapılmaktadır. Analizde kullanılan 250 adet farklı gözlem boyutunu 4 veya 5 PCA yüklemesine indirgemek pek çok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu noktada yüklemelere ait açıklanan toplam varyans değeri toplam veriyi ne oranda temsil ettiğinin göstergesi olduğundan, belirli bir oran yakalandığında yüklemelerin bütün veri kümesini temsil edebileceği kanaatine ulaşılmaktadır.

Bütün veriler kullanılarak PCA hesaplamaları tamamlandıktan sonra elde edilen toplam varyans/kovaryans değerleri ya da yüklemeler azalan sıra ile sıralanırlar. Diğer bir ifadeyle ilk açıklanan varyans değeri, birinci özdeğer olarak tanımlanıp λ_1 ikinci yükleme λ_2 ve diğer takip eden yüklemeler $\lambda_1>\lambda_2>\lambda_3>\lambda_4>\ldots>\lambda_k$, sırasını bozmayacak şekilde büyükten küçüğe doğru sıralanırlar (Bordi ve Sutera, 2001). Hangi oranda açıklanan varyans değeri kabul edilecekse yükleme sayısı baştan itibaren tüm yüklemelerin yığışımlı toplamı dikkate alınarak seçilir. Örneğin, ilk üç yüklemenin toplam değeri %70 ise ve bu seviye çalışma için yeterli görülüyorsa, yükleme sayısı üç olarak belirlenebilir. Bu seviye kâfi görülmez ise yükleme adedi istenildiği kadar artırılabilir. Yükleme sayısının tespit edilmesi PCA yönteminin en önemli ve tartışmalı konularından birisidir. Teorik olarak genelde varyans oranlarına dikkate alan "Scree plot" grafiği yükleme sayısını belirlemede kullanılsa da kesin doğru sonuç verdiğini söylemek zordur. Yükleme sayısının belirlenmesi bulanık bir karar mekanizmalarından çıkmaktadır. PCA hesaplamalarının son önemli adımı döndürme (rotasyon) sürecidir. Elde edilen PCA sonuçları hesaplanan değerlerin iç yapısını korumak suretiyle eksen ayarlaması diye tabir edilebilecek döndürme sürecine tabi tutulurlar (Vicente-Serrano ve diğ., 2004). Bu çalışmada döndürme yöntemi olarak sıkça kullanılan "varimax" yöntemi tercih edilmiştir. Bu süreçten sonra elde edilen veriler döndürülmüş PCA anlamına gelen RPC (Rotated Principle Component) kısaltması ile gösterilmektedir.

PCA analizi sonucunda elde edilen faktör değerleri ile kullanılan SPI değerleri arasındaki korelasyonu gösteren faktöriyel matrisi de elde edilen çıktılardandır. Kuraklığın alan uzantılarını ya da sınırlarını belirlemek için bu faktöriyel matrisi kullanılabilir. Korelasyon değerinin belirli bir oranın üzerinde olduğu kabulü yapılarak

kuraklığın alansal sınırları belirlenebilir. Örneğin, bu çalışmada %50'nin üzerindeki korelasyon değerleri dikkate alınmıştır.

5.3.3 Hızlı Fourier dönüşümü (FFT)

Spektral analiz veya bir başka ifadeyle FFT (Fast Fourier Transform) karmaşık zaman serilerinin harmonik davranışını belirlemek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Genel ve yaygın bir yöntem olan FFT pek çok önemli araştırmada kullanılmıştır (Pasquini ve diğ. 2006; Gutie´rrez-Estrada ve Pulido-Calvo, 2007). FFT yönteminin temel amacı karmaşık tekrar eden serileri sade ve basit sinüs (sanal bileşen) ve kosinüs (gerçek bileşen) fonksiyonları yardımıyla temsil etmektir. FFT analizi sonucunda elde edilen dalgaların sıklık değerleri 0 ile 0.5 arasında elde edildikten sonra süreç tamamlanabilir. Çünkü 0.5 ile 1 arasındaki sıklık değerleri 0 ile 0.5 arasındaki değerlerin yansıması şeklindedir. FFT süreci sonucunda elde edilen karmaşık değerli sıklık dalgaları periodogram hesaplama sürecine dâhil edilerek kuraklığın tekerrür süreleri rahatlıkla tespit edilebilir. Sıklık ifadesinin radyan/örnek olarak tanımlandığı periodogram fonksiyonu aşağıda sunulmuştur.

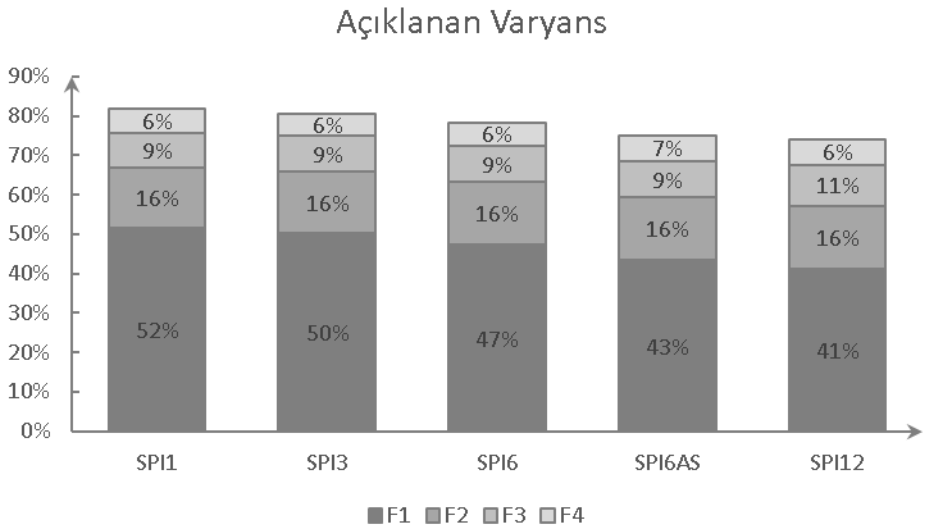
$$P(f) = \frac{1}{2\pi N}\left|\sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-(i\omega n)}\right|^2, \qquad -\pi < \omega < \pi \qquad (5.3)$$

Denklemde kullanılan ω terimi normalize edilmiş sıklık değerini radyan/örnek biriminde temsil etmektedir. Kuraklığın tekerrür sürelerini belirlemek için PCA süreci sonunda elde edilen RPC yüklemeleri FFT analizinde girdi olarak kullanılmıştır.

5.4 Uygulama

5.4.1 Kuraklığın alan değişkenliği

SPI değerleri aynı yıl içerisindeki verileri (SPI-1, SPI-3, SPI-6, SPI-12) ve ardışık yıllar asındaki değerleri esas alan ($SPI\text{-}6_{NE}$) için 80 yıllık veriler kullanılarak Türkiye üzerinde 250 istasyon için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Başlangıç olarak dört adet yükleme (RPC) seçilmiştir ve bu yüklemelerin temsil ettiği açıklanan toplam varyans değerleri Şekil 5.2'de yüzdeleri ile birlikte gösterilmiştir.



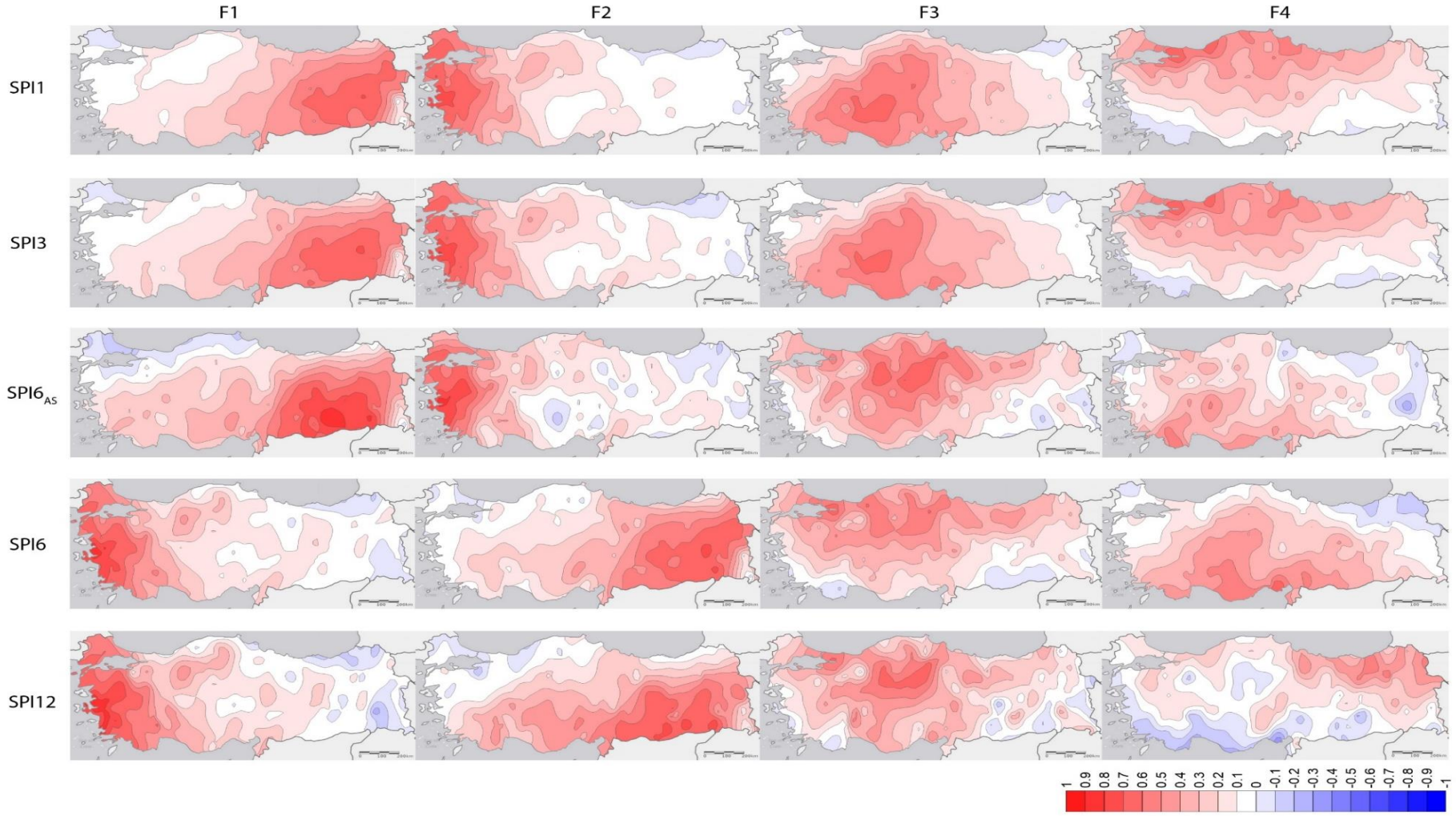
Şekil 5.2 : Toplam açıklanan varyans yüzdeleri.

Buna göre ilk üç SPI değeri (SPI-1, SPI-3, SPI-6) için açıklanan toplam varyans %80 ve geriye kalan SPI değerleri ($SPI\text{-}6_{NE}$ and SPI-12) için ise %75 seviyesine ulaşmıştır. Bu oranların ikisi de çalışma başında kabul edilen %70 eşik sınırının üzerinde olduğu için kabul edilebilir seviyede olduğu görülmektedir (Santos ve diğ., 2010). Her bir yüklemenin puanlarına bakıldığında F1'in en büyük ve baskın olduğu ve geriye kalan yükleme puanlarının da F2>F3>F4 olacak şekilde sıralandığı görülmektedir.

Kuraklığın alan çözümlemesini (analizini) yapabilmek için her bir yükleme (F1, F2, F3 ve F4) ile SPI serileri arasındaki korelasyon 250 istasyon için ayrı ayrı tanımlanmış ve literatürde çok yaygın olarak kullanılan Kriging (Oliver ve Webster, 1990) yaklaşımı ile korelasyon haritaları elde edilmiştir. Her bir yükleme ve SPI değeri için elde edilen haritalar matris formatında Şekil 5.3'te sunulmuştur. Korelasyon haritaları dikkatlice incelendiğinde yüksek puana sahip F1 ve F2 yüklemelerine göre SPI serileri iki gruba ayrılabileceği açıkça görülmektedir. SPI-1, SPI-3, ve $SPI\text{-}6_{NE}$ korelasyon dağılımı net bir şekilde geriye kalan SPI-6 ve SPI-12'den ayrılabilmektedir. Bu aşamada gruplama yapılırken F3 ve F4 yüklemeleri düşük varyans puanları sebebiyle dikkate alınmamıştır. Zaten korelasyon haritalarına bakıldığında F3 ve F4 yüklemelerinin diğer F1 ve F2 yüklemelerine göre daha kararsız oldukları da görülmektedir. Bu benzerlikten istifade edilerek geriye kalan analizlerin her bir SPI değeri için ayrı ayrı yapılması yerine, bu iki gruptan birer tane temsilci SPI değeri seçilerek çözümlemelere devam edilmiştir. Buna göre ilk grup SPI değerleri arasından mevsimlik değişimleri ortaya koyabilmek için SPI-3; ikinci grup SPI değerleri arasından da yıllık değişimi belirleyebilmek için SPI-12 seçilmiştir. Birinci grup SPI

değerleri için F1 yüklemeleri dikkate alındığında yüksek korelasyonlu alanlar Güney ve Doğu Anadolu Bölgesinde yoğunlaşırken ikinci grup SPI değerleri için Batı Anadolu yüksek korelasyonlu alanlar olarak görülmektedir. Her iki grup SPI değerleri için F2 yüklemeleri dikkate alındığında ise F1 yüklemelerinin tam tersine bir yüksek korelasyon alanlarının olduğu görülmektedir.

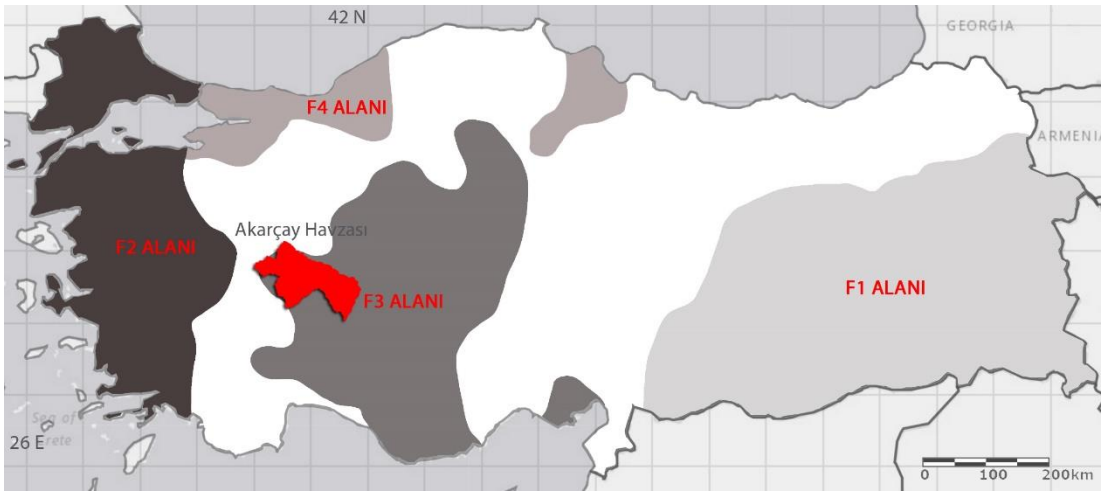
Yükleme puanları ile korelasyon değerleri arasındaki ilişki çok kapsamlı bir şekilde ele alınıp değerlendirilmelidir. Birinci yükleme puanı birinci grup SPI değerleri için yaklaşık %50 mertebesinde iken, ikinci grup SPI değerleri için %40 mertebesinde gerçekleşmiştir. Benzer şekilde F2 puanı ise bütün SPI değerleri için %16 mertebesinde kalmıştır. F3 ve F4 yükleme puanları ise %10 ve altında kalmıştır. F1 ve F2 varyans puanının yüksek olması şüphesiz ilk iki yüklemenin doğrudan kabul edilmesi anlamına gelmektedir. Ancak F3 ve F4 yüklemeleri toplam açıklanan varyans değerinin %70 sınırını aşması için önemli görünse de korelasyon haritasının kararsızlıkları dikkate alındığında tek başlarına ifade ettikleri değerler üzerinde şüphe ile yaklaşılmalıdır.



Şekil 5.3 : SPI yüklemelerinin alansal korelasyon haritaları.

Bu aşamada bir genelleme yapmak zor olsa da varyans puanu %10'un altında olan yüklemeler toplam açıklanan varyans puanu %70 eşik değerinin altında kalsa bile değerlendirmeye alınmayabilir. Yükleme puanları ile korelasyon haritalarının kararlılığı bu zamana kadar ayrıntılı bir şekilde daha önce hiçbir çalışmada tartışılmadığı için bu alanda daha iyi araştırma yapılabilecek özel bir alan olarak karşımıza çıkmıştır.

Mevsimlik SPI-3 değerleriyle korelasyon matrisinin %50'nin üzerinde kalacak şekilde kuraklık alanları Şekil 5.4'te gösterildiği gibi belirlenmiştir. Böylece her bir yükleme için kuraklığın alan sınırları belirlenmiştir. Buna göre F1 yüklemelerinin temsil ettiği alan Türkiye'nin Güneydoğusu'nu tamamen kaplarken, F2 yükleme alanı Türkiye'nin batısını temsil etmektedir. İklim modellemesinde çalışma alanımız olan Akarçay havzası ise F3 yüklemesinin sınırladığı alanlar içerisinde Şekil 5.4'te görüldüğü gibi kalmıştır. F4 yükleme alanları ise iki parça halinde Türkiye'nin kuzeyinde yer almıştır. Bu haritadan anlaşıldığı üzere yükleme puanları azaldıkça yüklemelerin tarif ettiği ya da kapsadığı alanlarda azalmaktadır.

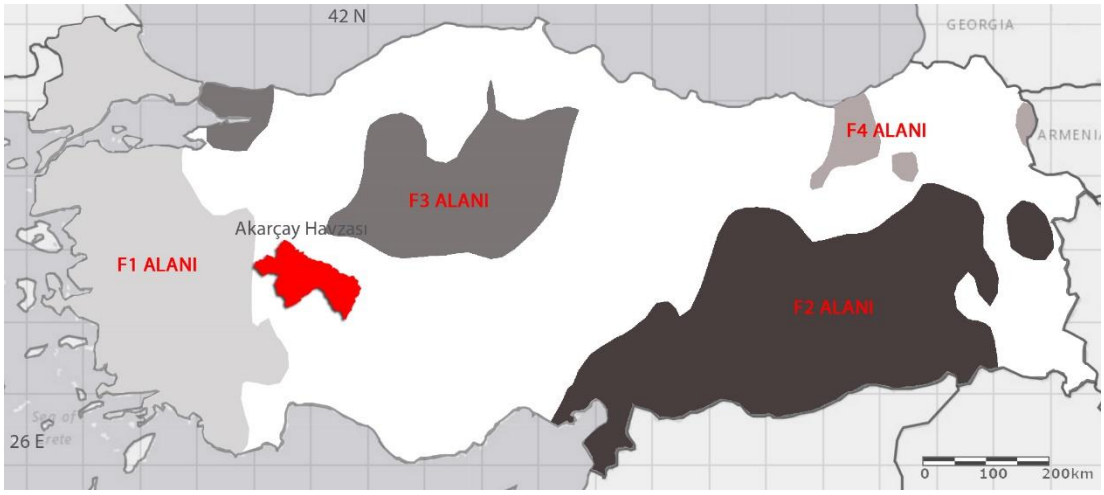


Şekil 5.4 : Mevsimsel (SPI-3) kuraklık alanları.

Benzer yaklaşımla yıllık kuraklık alanları ise (SPI-12) verileri kullanılmak suretiyle %50 korelasyonun üzerinde kalan bölgeler dikkate alındığında kuraklık alanları Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Mevsimlik kuraklık alanlarıyla eksi korelasyona sahip şekilde F1 alanı Türkiye'nin batısında yer alırken, F2 alanı Güneydoğu Anadolu bölgesini sınırlarını içerisine almaktadır. Düşük varyans puanlı yüklemelerden F3 yine daha az alanı temsil ederek 2 parça halinde orta Anadolu ve İzmit körfezi etrafını temsil etmektedir. Haritadan da görüleceği üzere yıllık kuraklık alanları içerisinde Akarçay

havzası yer almamıştır. F4 alanı ise küçük 3 parça halinde Türkiye'nin kuzey doğusunda haritalanmıştır. Hem Mevsimlik hem de yıllık kuraklık alanlarının korelasyon haritaları düşük varyans puanlı yüklemelerin alanlarının küçüklüğü göz önüne alındığında kararsız yüklemeler tanımının isabetli olduğunu bir kez daha gösterilmiştir. Bu durumda örneğin toplam açıklanan varyans oranı %85'in üzerine çekilmek istenildiğinde yeni bir yükleme olan F5 dâhil edildiğinde, bu yüklemesinin temsil ettiği hiçbir alan olmayabilir. Sonuç olarak, yalnızca toplam açıklanan varyans yüzdesinin veya puanunun tek başına değerlendirilmesi doğru sonuçlar vermeyebilir. Bu durumda yükleme sayısı teorik olarak açıklanan toplam varyans yüzdesi (v), korelasyon seviyesi (p) ve temsil edilen alan (a) ile ortak değerlendirilmelidir. Bu aşamada bütün değişkenlerin yer aldığı bir denklem geliştirilemese de gelecek çalışmalara ışık tutması amacıyla yükleme sayısı aşağıdaki gibi bir fonksiyon yardımıyla tanımlanabilir.

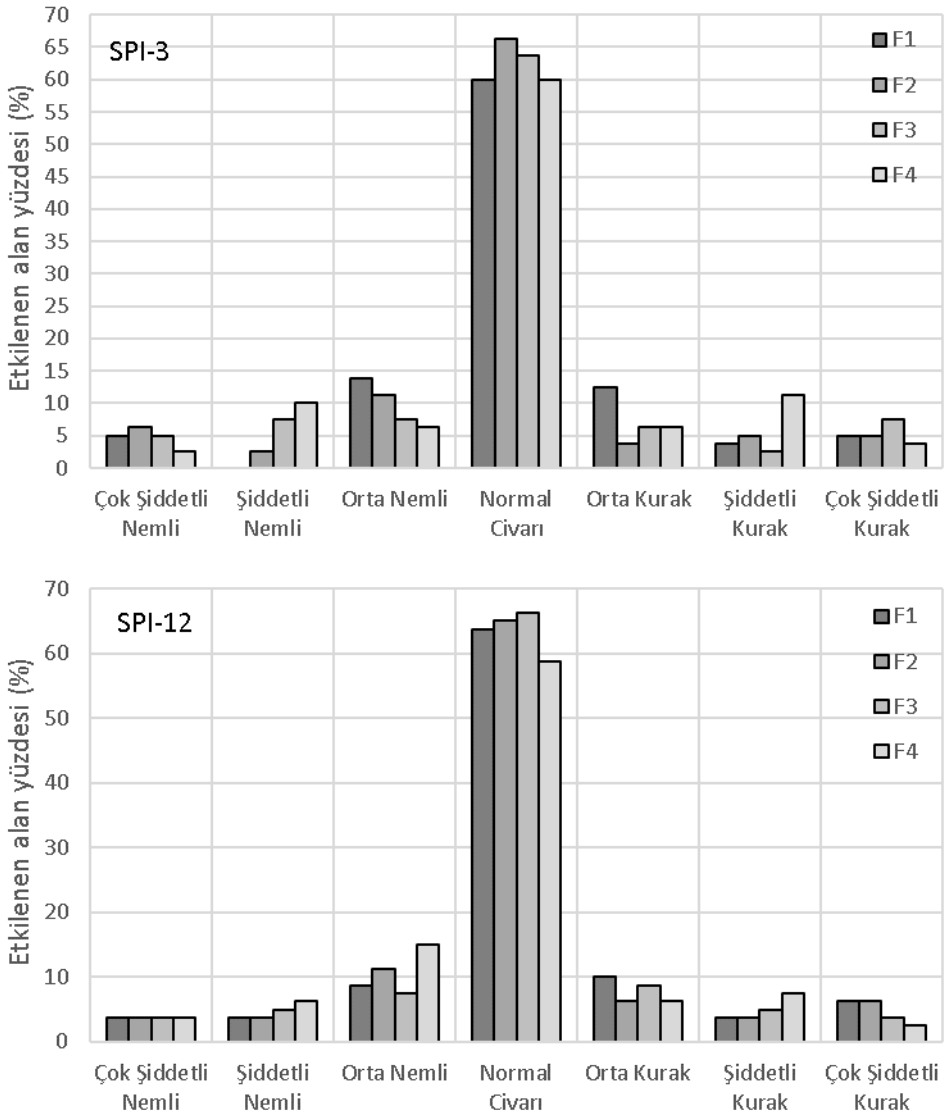
$$N_f = f(v, \quad a, \quad p) \tag{5.4}$$



Şekil 5.5 : Yıllık (SPI-12) kuraklık alanları.

Kuraklık görülme ihtimali en yüksek olan alanlar Mevsimlik ve yıllık SPI serileriyle RPC yüklemeleri sonucunda belirmiştir. Bu alanlar içerisinde kuraklığın hangi seviyede ve oranda gerçekleştiğinin belirlenmesi çok önem arz etmektedir. Bu alanların tamamında 80 yıl boyunca sürekli kuraklık yaşanmamıştır. Hem Mevsimlik hem de yıllık kuraklık alanlarında yaşanan kuraklık çeşitleri ve etki alanlarının yüzdesinin dağılımı Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Buna göre Mevsimlik (yıllık) kuraklıkların kuraklık tipleri etki alanları yüzdeleriyle birlikte ortalama olarak "Çok Şiddetli Kuraklık" için %5.31 (%4.69), "Şiddetli Kuraklık" için %5.63 (%5.00) ve

"Orta Kuraklık" için %7.19 (%7.81) olarak tespit edilmiştir. Ortalamanın ötesinde her bir kuraklık alanı için etkilenen alanların yüzdesi Şekil 5.6'dan okunabilmektedir.

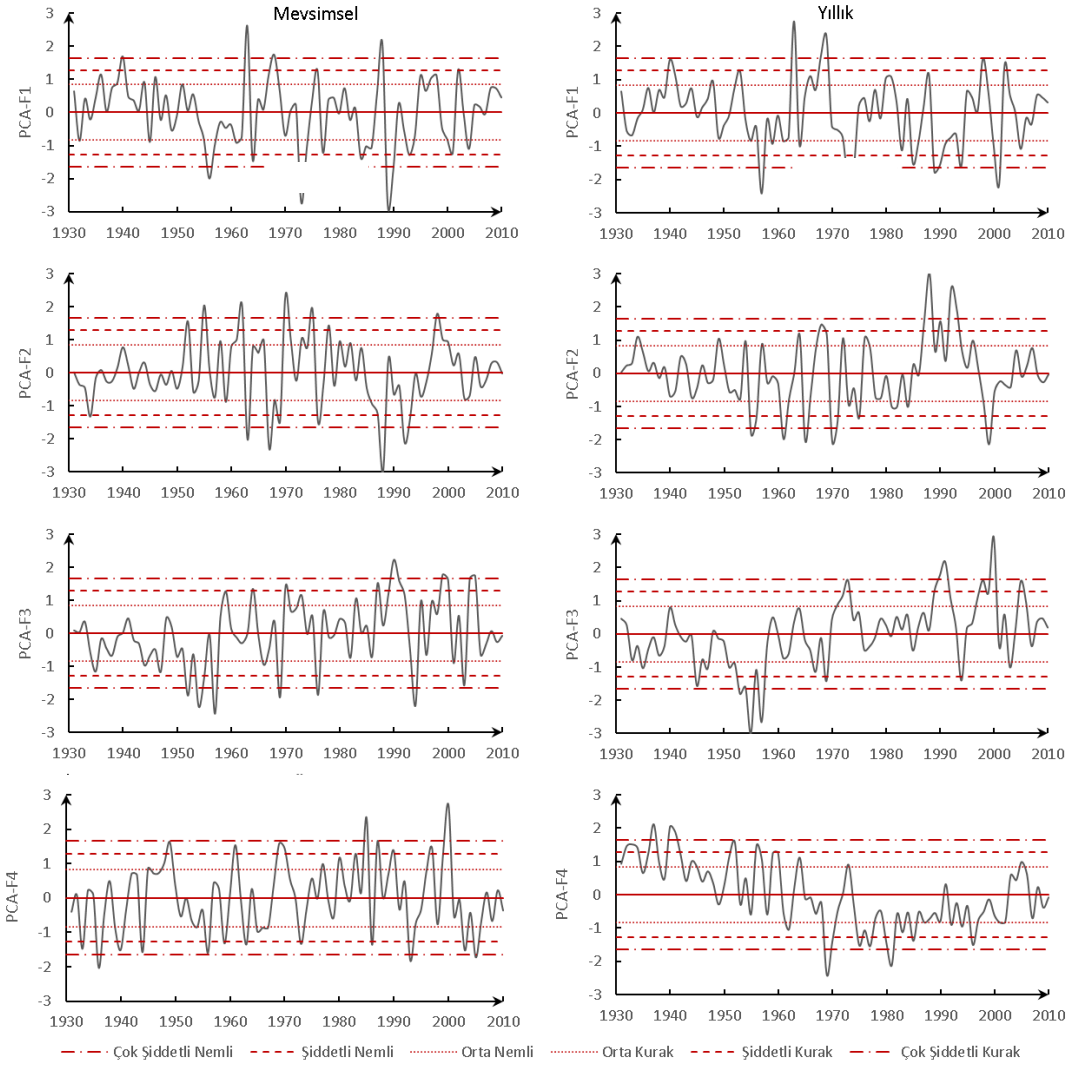


Şekil 5.6 : Mevsimlik (üst) ve yıllık (alt) kuraklık alanları.

5.4.2 Kuraklığın zaman değişkenliği

Mevsimlik (SPI-3) ve yıllık (SPI-12) serileri kuraklığın zaman içerisindeki değişkenliğini tespit edebilmek için ayrıca analiz edilmiştir. RPC puanları Çizelge 5.1'de gösterilen kuraklık sınıf sınırları dikkate alınarak Şekil 5.7'de grafik halinde gösterilmiştir. Yukarıda belirlenen kuraklık alanları içerisinde 80 yıl boyunca farklı şiddette pek çok kuraklığın yaşandığı bu grafiklerden rahatça anlaşılmaktadır. Çok şiddetli kuraklık yaşanan yıllar Mevsimlik kuraklık için F1 alanında 1950'li, 1970'li ve 1980'li yıllarda; F2 alanında 1960'lı, 1980'li ve 1990'lı yıllarda; F3 alanında 1950'li, 1960'lı, 1970'li ve 1990'lı yıllarda; F4 alanında ise son olarak 1930'lu,

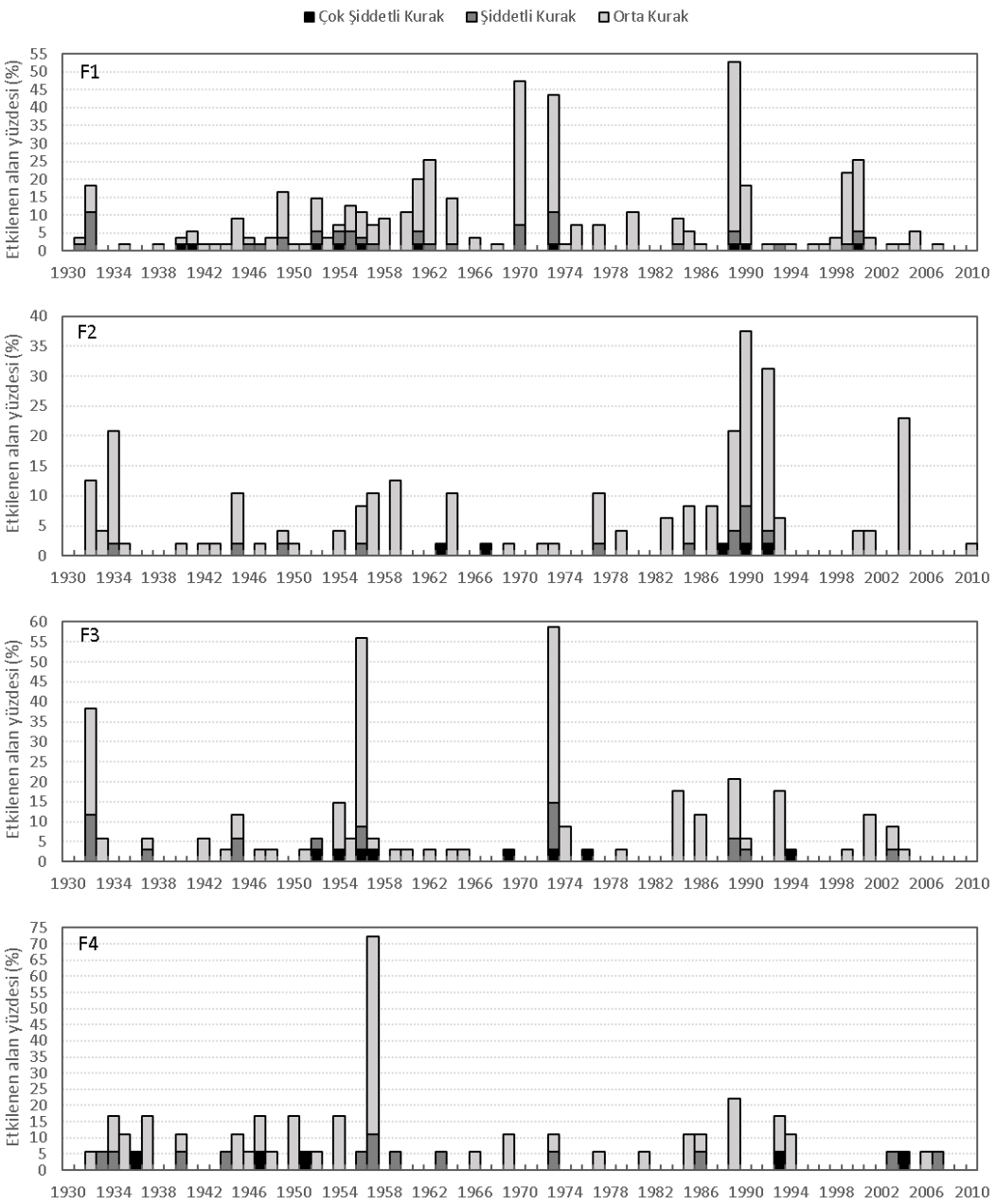
1950'li, 1990'lı ve 2000'li yıllarda görülmüştür. Benzer şekilde yıllık kuraklık alanlarında her bir alan için çok şiddetli kuraklığın yaşandığı yıllar grafikten rahatlıkla okunabilmektedir. (F1: 1950'li, 1970'li, 1980'li ve 2000'li yıllar; F2: 1950'li, 1960'lı, 1970'li ve 1990'lı yıllar; F3: 1950'li yıllar; F4: 1960'lı ve 1980'li yıllar).



Şekil 5.7 : Mevsimlik (sol) ve yıllık (sağ) RPC zamansal serileri.

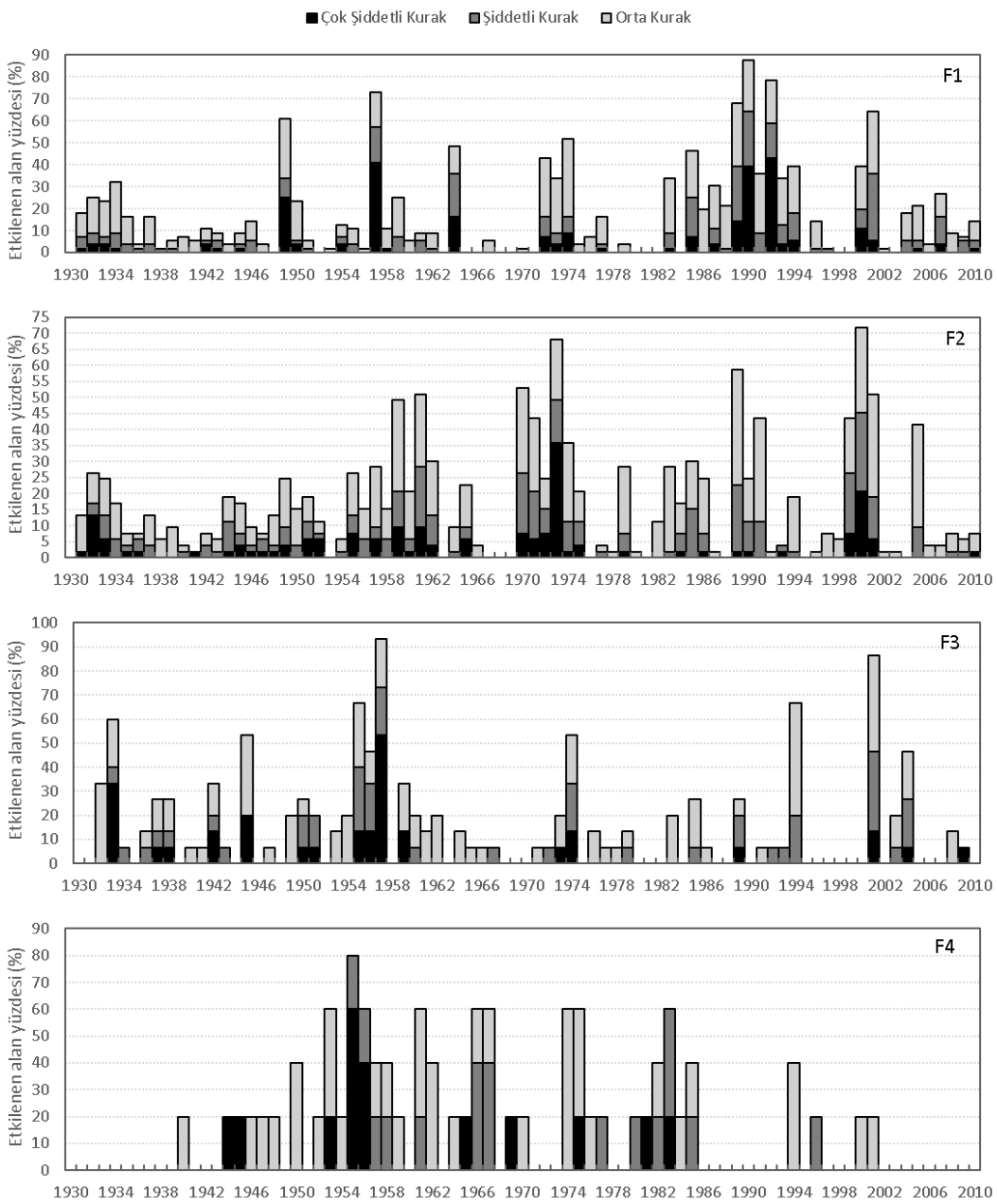
Mevsimlik kuraklığın 80 yıllık süre içerisinde yıllara göre yaşanan kuraklık çeşitleri ve etkiledikleri alan yüzdeleri Şekil 5.8'de sunulmuştur. Bu grafik sayesinde özel olarak kuraklığa maruz kalan alanlarda beliren en yaygın kuraklık ve çeşidi görülebilmektedir. Mevsimlik kuraklık için F1 alanında 1989 yılında %50'nin üzerindeki alan orta kuraklık ve şiddetli kuraklık yaşayarak geçmişte yaşanmış en geniş kapsamlı kuraklık olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde F2 bölgesi için en geniş kapsamlı kuraklık 1990 yılında tespit edilmiştir. Buna göre tüm kuraklık bölgesinin %37.50'sinde kuraklık yaşanmıştır (Çok şiddetli kuraklık: %2.08, Şiddetli kuraklık:

%6.25 ve Orta kuraklık: %29.17). Son olarak karasız bölgeler olan F3 ve F4 alanlarında sırasıyla en kapsamlı kuraklıklar 1973 (%58.82) ve 1957 (%72.22) yılında yaşanmıştır.



Şekil 5.8 : Mevsimlik (SPI-3) kuraklıktan etkilen alan yüzdeleri.

Yıllık kuraklık bölgelerinde tespit edilen en geniş kapsamlı kuraklıklar yıllara göre kuraklık çeşitlerini ve etkilenen alan yüzdelerini gösteren Şekil 5.9'a bakılarak tespit edilebilir. Buna göre 1990 ve 2000 yılları F1 (%87.50) ve F2 (%79.25) alanları için sırasıyla en etkili kuraklığın yaşandığı yıllar olmuştur. F3 ve F4 yıllık kuraklık alanlarında ise en yaygın kuraklık %93.33 etkilenen alan yüzdesi ile F3 bölgesinde 1957 yılında; %80.00'lik kuraklık oranı ile F4 bölgesinde 1955 yılında görülmüştür.



Şekil 5.9 : Yıllık (SPI-12) kuraklıktan etkilen alan yüzdeleri.

5.4.3 Kuraklık dönüş süreleri analizi

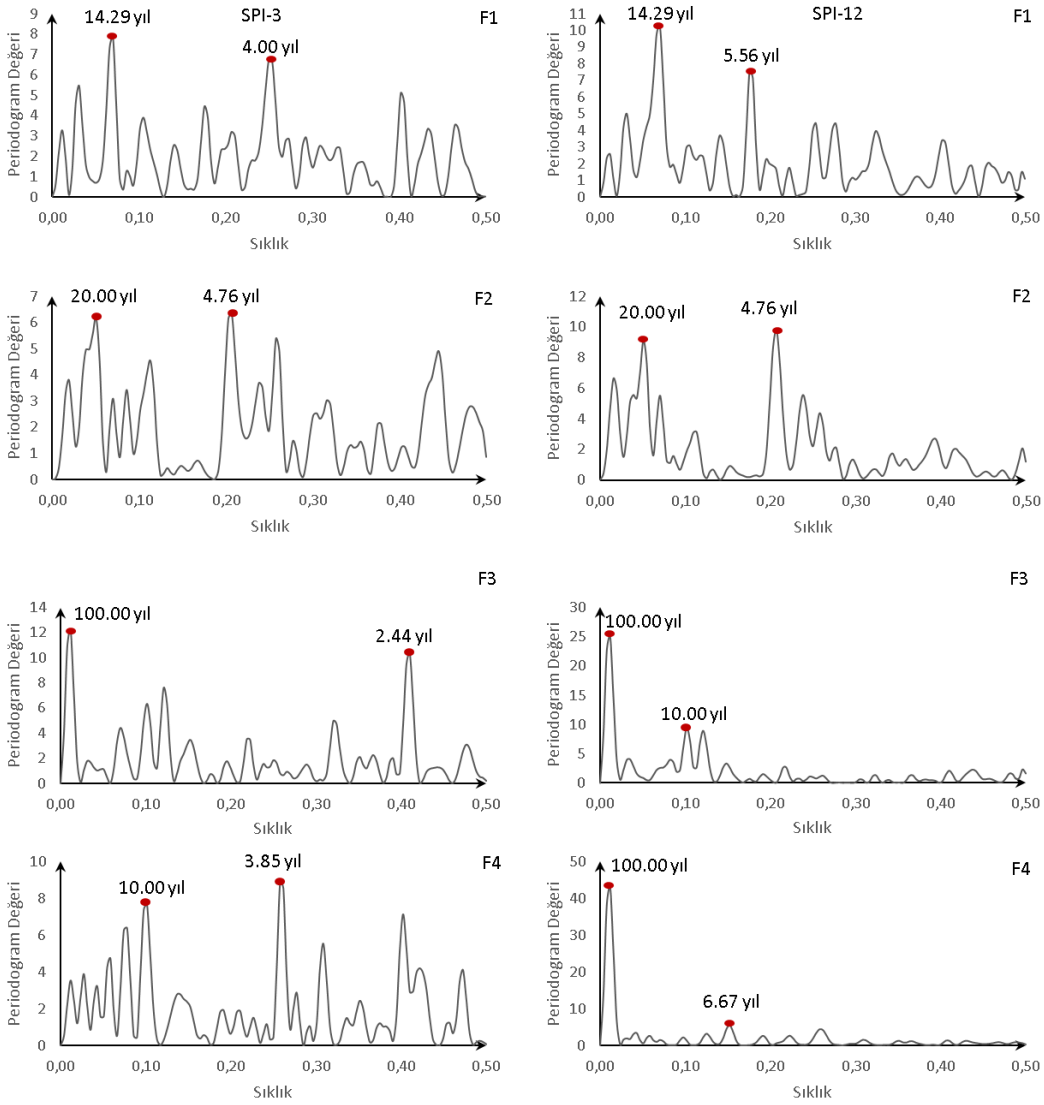
Kuraklık olayları zaman içerisinde tekerrür eden iklim olaylarından olduğu için tekerrür sürelerinin belirlenmesi son derece önemlidir. Kuraklık tekerrür süreleri FFT analizi sonucu elde edilen serilerin periodogram hesaplamasında girdi olarak kullanılması yardımıyla belirlenmiştir. FFT analizinde kullanılan mevsimlik ve yıllık veriler RPC süreci sonunda elde edilen yüklemelerden meydana gelmiştir. FFT analizi sonucu mevsimlik ve yıllık kuraklık tekerrür süreleri Şekil 5.10'da sunulan grafiklerin uç değerleri vasıtası ile belirlenmiştir. Her bir alan için biri uzun dönem süresi diğeri

de kısa dönem süresi olmak üzere ikişer adet tekerrür süresi belirlenmiş ve elde edilen tüm sonuçlar Çizelge 5.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.2 : Mevsimlik ve yıllık kuraklık dönüş periyotları.

Kuraklık Alanları	Mevsimlik		Yıllık	
	Uzun Dönem (yıl)	Kısa Dönem (yıl)	Uzun Dönem (yıl)	Kısa Dönem (yıl)
F1	14.29	4.00	14.29	5.56
F2	20.00	4.76	20.00	4.76
F3	100.00	2.44	100.00	10.00
F4	10.00	3.85	100.00	6.67

Mevsimlik kuraklık analizinde F1 bölgesi için elde edilen sonuçlara göre uzun dönem tekerrür süresi 14.29 yıl; kısa dönem tekerrür süresi 4.00 yıl olarak tespit edilmiştir. En yakın tarihte görülen "Orta Kuraklık" 2004 yılında görülmüş olup bundan önceki "Çok Şiddetli Kuraklık" ise 2004 yılından 15 yıl önce (Uzun dönem) 1989 yılında görülmüştür. 1989 'dan 3 yıl önce (kısa dönem) 1986 yılında "Orta kuraklık" tekrar yaşanmıştır. Benzer şekilde Şekil 5.7 ile elde edilen tekerrür süreleri kıyaslandığında pek çok örnek verilebilir. Mesela, F2 bölgesi için Mevsimlik uzun ve kısa dönem tekerrür süreleri sırasıyla 20 ve 4.76 yıl olarak hesaplanmıştır. F2 bölgesinde yaşanan en yakın "Çok şiddetli kuraklık" 1992 de yaşanırken bundan 4 yıl önce (Kısa dönem) 1988 yılında tekrar "Çok şiddetli kuraklık" yaşanmıştır. 1988 yılından 21 yıl önce (uzun dönem) ise yine "Çok şiddetli kuraklık" 1967 yılında yaşanmıştır. Daha önce açıklandığı üzere kararsız bölgeler olan F3 ve F4 alanlarında tespit edilen tekerrür süreleri F1 ve F2 alanlarından farklıdır. Bu durumun sebebi yine düşük varyans puanlarına bağlanabilir. Yine de bu bölgelerden F3 alanı için Mevsimlik uzun dönem kuraklık tekerrür süresi 100 yıl olarak belirlenirken kısa dönem tekerrür süresi 2.44 yıl olarak hesaplanmıştır. 80 yıllık gözlem sürecinde 100 yıllık uzun dönem kuraklıklarına örnek vermek mümkün olmamasına rağmen kısa dönem tekerrürlü kuraklıkların F3 bölgesinde 2001 (Orta Kuraklık) ve 2003 (Şiddetli kuraklık) yıllarında yaşandığı söylenebilir. Son olarak, F4 alanı için ise uzun ve kısa dönem tekerrür süreleri sırasıyla 10.00 ve 3.85 yıl olarak Mevsimlik kuraklık alanları için belirlenmiştir. F4 alanında en yakın görülen kuraklık 2003 yılında görülen şiddetli kuraklık, bundan tam 10 yıl öncesinde (uzun dönem) 1993 yılında çok şiddetli kuraklık yaşanmıştır. Mevsimlik kuraklık için ortaya konan tekerrür süreleri ve kuraklık yıllarına benzer çıkarımlar yıllık kuraklık bölgeleri için de aynen yapılabilir. Tekrardan kaçınmak için yıllık tekerrür süreleri yalnızca Çizelge 5.2 içerisinde sunulmuştur.



Şekil 5.10 : Mevsimlik (sol) ve yıllık (sağ) FFT analiz sonuçları.

5.5 Sonuç

Homojen hale getirilmiş kuraklık etki alanlarının belirlenmesi, kuraklık değerlendirme çalışmalarının ilk adımını teşkil etmektedir. Bu çalışmada kuraklık etki alanlarının değişkenliği ile zaman değişkenliği tekerrür süreleriyle birlikte ortaya konulmuştur. Kuraklığın alan etkilerini belirlemek için PCA tekerrür sürelerini belirlemek için ise FFT yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda varyans puanunun %10'dan küçük olan yüklemelerin kararsız yüklemeler olduğu ve temsil ettikleri korelasyon alanlarının da aynı şekilde kararsız oldukları ortaya çıkmıştır. Bu yüzden PCA hesaplamaları sonucunda seçilecek yüklemelerin sayısı sadece toplam açıklanan varyans ile değil, aynı zamanda korelasyon yüzdesi ve yüklemelerin analiz yapılan bölge üzerinde kapladığı alan dikkate alınarak yapılmalıdır. Ayrıca benzer korelasyon

haritalarına sahip SPI serilerinden yalnızca bir tane temsilci SPI serisi seçilerek diğer SPI serileri için de benzer sonuçlar elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Örneğin SPI-3 için elde edilen sonuçlar aynı grupta yer aldıkları için SPI-1 ve SPI-6 için de benzerlik gösterebilecektir. Korelasyon alanlarının sınırlarının her bir yükleme ile belirlenmesi, aynı zamanda hem uzun hem de kısa dönem tekerrür sürelerinin elde edilmesi gelecek yıllarda görülmesi muhtemel kuraklıkları önceden tahmin etmek için çok önemli sonuçlardandır. Kuraklığa maruz kalabilecek alanların sınırlarının belirlenmesi, kuraklık sonucu ortaya çıkan zararların karşılanmasında ve kuraklığın ötelenmesinde çok kritik bir veri olarak değerlendirilebilir. Aynı zamanda, bu bölgelerde tekerrür sürelere esas alınarak gelecekteki muhtemel kuraklıkların ötelenmesi ve zararların en aza indirilmesi için gerekli su kaynakları yönetiminin elde edilen bulgulara göre tasarlanması ve planlanması sürdürülebilir sonuçlar elde edilmesine yardımcı olacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 Özet ve Sonuçlar

Çalışmanın ilk iki bölümünde genel literatür bilgileri, iklim değişikliği ve alt ölçeklemenin esasları anlatılmıştır. Yapılan çalışmaların üçüncü bölümünde iklim değişikliğinin Akarçay havzası su kaynaklarına etkisinin araştırılması hedeflenip istatistik alt ölçekleme yapılarak 2011-2100 zaman aralığında aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık tahminleri elde edilmiştir. Tahmin çalışmalarında Akarçay havzası için SRES senaryoları arasından en uygun senaryolar olarak A2 ve B2 olarak belirlenmiştir. KDM verilerinde EH40PYC ve HadCM3 A2 ve B2 salım (emisyon) senaryolarına ait veri kümesi alt ölçeklemede kullanılmıştır.

Hem EH40PYC hem HadCM3 senaryolarından elde edilen sonuçlara göre ortalamalar pek değişmemiştir. Ancak, zaman içerisindeki yağış miktarının dağılışı farklılık göstermektedir. Tahmin dönemi için tüm senaryolarda ortalama aylık yağış yüksekliği 40.06 mm olarak hesaplanmıştır. Gözlem verilerinin standart sapma ortalamaları hesaplanarak tahmin verileri için eşik seviyesi belirlenmiştir. Bu seviyenin üzerinde olan yağışlar bazı yıllarda taşkın, altında olanlar ise kuraklık olabileceğine işaret etmektdir. Bu değerlendirmeler ışığında EH40PYC-A2 senaryosu için 2065 yılında (48.92 mm/ay) yağış tahmininde bulunulmuştur. Aynı senaryo için en yakın 2027 (32.81 mm/ay) yılında ciddi bir kuraklık riski bulunmaktadır. EH40PYC-B2 senaryoları dikkate alındığında, taşkın riski beklenilen yıllar sırasıyla 2034 (48.44 mm/ay), 2051 (46.77 mm/ay) ve 2097 (49.87 mm/ay) yıllarıdır. HadCM3-A2 senaryosuna göre yakın gelecekte standart sapma eşiğinin üzerinde yağış beklenen yıllar 2018 (49.72 mm/ay) ve 2046 (49.36 mm/ay) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, aynı senaryo için uzak gelecekte 2096 yılı için ortalama yağışlarda ciddi bir azalma (32.34 mm/ay) olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Sıcaklık tahminlerine gelindiğinde, tüm senaryo verileri için ortalama değerlere bakıldığında sıcaklıkların sürekli artan bir gidişte olduğu tespit edilmiştir. Ortalama değerlerin gidişatı göz önüne alındığında yıllık ortalama sıcaklıkların %(0.3–0.4)

arasında bir artış göstereceği sonucuna varılmıştır. Yıllık sıcaklık ortalama değerleri her bir senaryo tahmini için farklılık göstermektedir. Özellikle ortalamanın üzerinde olan yüksek sıcaklık tahmini yapılan yıllara kuraklık riski açısından dikkat edilmelidir. 2027 yılı EH40PYC senaryoları için tahmin edilen sıcaklık değerlerinin ortalama sıcaklığın bir hayli üzerinde ve aynı yıl yağış tahminlerinde de ciddi azalma olacağı tespit edilmiştir. Yakın gelecekte 2027 yılı civarında havza genelinde ciddi bir su kıtlığı riski beklenilebilir. Herbir gözlem istasyonu için tek tek 2100'e kadar bütün yıllara ait yağış ve sıcaklık tahminleri incelendiğinde gelecek planlaması yapmak daha da kolaylaşacaktır. Özellikle tarım alanında üretilen grafikler gelecek senelerdeki yetiştirilecek ürün tercihinde önemli girdi sağlayan veri olabilecektir. Benzer şekilde bütün su kaynaklarının planlanması çalışmalarında üretilen veriler çok önemli bir kaynak özelliğine sahiptir.

Çalışmanın dördüncü bölümü gidiş (trend) analizlerinden oluşmuştur. İlk olarak, Akarçay havzasındaki altı gözlem istasyonunda 1981–2010 dönemine ait aylık verilerin trend analizi İnovatif-Şen, Mann-Kendall, Sperman Rho, Theil Eğimi ve Doğrusal Analiz yöntemleri kullanılarak elde edilmiş ve yöntemler birbiriyle kıyaslanmıştır. Uygulama bölümünde ayrıntılı açıklandığı üzere herbir sınama farklı sonuç vermiştir. Dört farklı yöntemden elde edilen sonuçlar birbiriyle kıyaslanmıştır. Bu farklılıkların temelinde özellikle parametrik olmayan sınamaların hesap usulleri arasında bulunan kabuller gösterilebilir. Örneğin, MK testi için seri korelasyon etkisi bu bahsedilen sınırlayıcı kabullerden bir tanesidir. Daha da ötesinde, normal dağılıma sahip olmayan ve bağımlı olan serilere MK sınaması doğrudan uygulanamamaktadır. İnovatif-Şen sınaması ile doğrusal regresyon sınaması bu tarz kabullerden uzak doğrudan verilere uygulanabilen yöntemlerdir. Doğrusal regresyon analizinin de verinin tamamı hakkında çok küçük boyutta trend değeri verebiliyor olması bu yöntemin de İnovatif-Şen hesaplamasına göre zayıflığı olarak gösterilebilir.

Elde edilen sonuçlara göre İnovatif-Şen yönteminin diğer yöntemlere göre çok daha ayrıntılı bulgular ortaya koyduğu görülmüştür. Aynı bölümde Akarçay havzası için 2011–2100 dönemi arasında farklı senaryolara göre elde edilmiş yağış ve sıcaklık verileri İnovatif-Şen yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Veriler bulanık olarak üç farklı alt bulanık kümeye ayrılıp trend sonuçları 2011–2055 ve 2056-2100 dönemlerini kıyaslanmak suretiyle elde edilmiştir. Geliştirilen yeni trend yönteminin bütün alan ve verilere kolaylıkla ve başarılı bir şekilde uygulanabilirliğinin gösterilmesi amacıyla

örnek çalışma olarak Ergene havzasında İnovatif-Şen ve Mann-Kendall trend analizleri yapılarak kıyaslanmıştır. Hem gözlem hem de tahmin yağış verilerinde Ergene havzasına ait aylık yağış verilerinde elde edilen ortak sonuç aşırı (olağanüstü) yağış değerlerinin artan gidişatta olduğudur. Yüksek değerli yağışların günümüzde şiddetli kısa sürede meydana gelen yağışlar olduğu da düşünüldüğünde, taşkın görülme sıklığının gelecekte daha çok artacağını tahmininde bulunulabilir. Ayrıca sıcaklık verilerinin de hem Akarçay ve Ergene gözlem verilerinde hem de model tahminlerinde sürekli artan trende sahip olduğu tespit edilmiştir. İklim değişikliğinin küresel sıcaklıkların artmasına sebebiyet verdiği gerçeğinden hareketle, aynı şekilde Türkiye üzerinde de bölgesel sıcaklıkların artmasını iklim değişikliği ile ilişkilendirmek mümkündür. Hem sıcaklıkların hem de ortalamanın üzerinde yüksek değerli aşırı yağışların sıklığının artması iklim değişikliği beklentileri ile birebir uyum sağlamaktadır. Sıcaklıkların sürekli artış gidişatına sahip olması gelecekte kuraklıkların görülmesine ve etki sıklıklarının artacağına işaret etmektedir. Bu yüzden kuraklığın bütün yönleriyle kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada alt sınıflandırma üç ve beş alt gruba ayrılarak yapılmasına rağmen eğer ihtiyaç duyulursa uzman görüşüne başvurulmak şartıyla veriler daha fazla alt gruba ayrılarak da analiz yapmak mümkündür. Verilerin kaç sınıfa ayrılacağına karar verebilmek için öncelikle tüm verinin ikiye ayrılarak saçılma diyagramları elde edildikten sonra, saçılışlara göre karar vermek daha kolay olacaktır.

Bu çalışmanın en önemli yeniliklerden birisi de ilk kez trend zarf eğrilerinden bahsedilerek İnovatif-Şen yönteminin geliştirilmesidir. Bu yöntemde trend zarf eğrileri olmaksızın sözel olarak trendin varlığından daha önceden bahsetmek mümkün ise de trend zarf eğrileri sayesinde bu yöntem daha da belirgin hale getirilmiştir. Diğer sınama yöntemlerinden farklı olarak verinin alt gruplara ayrılması da daha ayrıntılı bilgiler elde etmeyi sağlamıştır. Özellikle, iklim değişikliği etkisi altında kalan ülkemizde sınır değerlerdeki meteorolojik olayların sıklıklarının artış göstermesi gözlem verilerinin bütününün ortalamasına bakılarak değerlendirilmesi yerine daha bâriz değerlendirmeyi zaruri hale getirmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde kuraklık tüm boyutları ile ele alınmıştır. Kuraklığın bütüncül kapsamı değerlendirildiğinde analizin sadece Akarçay havzasında yapılmasının eksik değerlendirmeye sebebiyet vereceği endişesiyle, kuraklık analizi tüm Türkiye'yi kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Kuraklığın alan etkilerinin

değişkenliği ile zaman değişkenliği tekerrür süreleriyle birlikte ortaya konulmuştur. Alan etkisini belirlemek için PCA yöntemi, tekerrür sürelerini belirlemek için FFT yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda varyans puanı %10'dan küçük olan yüklemelerin kararsız yüklemeler olduğu ve temsil ettikleri korelasyon alanlarının da aynı şekilde kararsız bölgeler oldukları sonucuna varılmıştır. Bu yüzden PCA hesaplamaları sonucunda seçilecek yüklemelerin sayısı sadece açıklanan toplam varyans ile değil, aynı zamanda korelasyon yüzdesi ve yüklemelerin analiz yapılan bölge üzerinde kapladığı alanın da dikkate alınarak belirlenmesi gerektiği önerisi yapılmıştır. Bu bulgu halihazırda kulanılmakta olan pekçok paket programda dahi sorgulanmadan kullanılır vaziyettedir. Bu çalışma neticesinde ortaya çıkarılan ilişkinin motivasyonu ile ileride mevcut teorik yükleme sayısı belirleme yöntemlerinin yerine İnovatif bir yaklaşım geliştirilebeilcektir. Analizde kullanılan SPI değerleri korelasyon haritaları yardımıyla iki gruba ayrılmış ve geriye kalan analizler her iki gruptan birer temsilci SPI serisi seçilerek tamamlanmıştır. Benzer korelasyon haritalarına sahip SPI serilerinden bir tane temsilci SPI serisi seçilerek, diğer SPI serileri için de benzer sonuçlar elde edilebileceği bulgusu önemli bir çıkarım olarak değerlendirilmiştir. Korelasyon alanları sınırlarının herbir yükleme ile belirlenmesi, aynı zamanda hem uzun hem de kısa dönemlerin tekerrür sürelerinin elde edilmiş olması gelecek yıllarda görülmesi muhtemel kuraklıkları önceden tahmin edilebilmesi için çok önemlidir. Kuraklığa maruz kalabilecek alan sınırlarının belirlenmesi, kuraklık sonucu ortaya çıkan zararların karşılanmasında ve kuraklığın ötelenmesinde çok kritik bir veri olarak değerlendirilmelidir. Aynı zamanda bu bölgelerde tekerrür süreleri esas alınarak gelecekteki muhtemel kuraklıkların ötelenmesi ve zararların en aza indirilmesi için gerekli su kaynakları yönetiminin elde edilen bulgulara göre tasarlanması ve planlanması ile sürdürülebilir sonuçlar edilebilecektir.

Kuraklık görülme ihtimali en yüksek olan alanlar Mevsimlik ve yıllık SPI serileriyle RPC yüklemeleri sonucunda belirmiştir. Bu alanlar içerisinde kuraklığın hangi seviyede ve oranda gerçekleştiğinin belirlenmesi çok önem arz etmektedir. Bu alanların tamamında 80 yıl boyunca sürekli kuraklık yaşanmamıştır. Buna göre Mevsimlik (yıllık) kuraklıkların kuraklık tipleri etki alanları yüzdeleriyle birlikte ortalama olarak "Çok Şiddetli Kuraklık" için %5.31 (%4.69), "Şiddetli Kuraklık" için %5.63 (%5.00) ve "Orta Kuraklık" için %7.19 (%7.81) olarak tespit edilmiştir.

Mevsimlik (SPI-3) ve yıllık (SPI-12) serileri kuraklığın zaman içerisindeki değişkenliğini tespit edebilmek için ayrıca analiz edilmiştir. Çok şiddetli kuraklık yaşanan yıllar Mevsimlik kuraklık için F1 alanında 1950'li, 1970'li ve 1980'li yıllarda; F2 alanında 1960'lı, 1980'li ve 1990'lı yıllarda; F3 alanında 1950'li, 1960'lı, 1970'li ve 1990'lı yıllarda; F4 alanında ise son olarak 1930'lu, 1950'li, 1990'lı ve 2000'li yıllarda görülmüştür. Benzer şekilde yıllık kuraklık alanlarında her bir alan için çok şiddetli kuraklığın yaşandığı yıllar ayrı ayrı tespit edilmiştir. (F1: 1950'li, 1970'li, 1980'li ve 2000'li yıllar; F2: 1950'li, 1960'lı, 1970'li ve 1990'lı yıllar; F3: 1950'li yıllar; F4: 1960'lı ve 1980'li yıllar).

Mevsimlik kuraklık için F1 alanında 1989 yılında %50'nin üzerindeki alan orta kuraklık ve şiddetli kuraklık yaşayarak geçmişte yaşanmış en geniş kapsamlı kuraklık olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde F2 bölgesi için en geniş kapsamlı kuraklık 1990 yılında tespit edilmiştir. Buna göre tüm kuraklık bölgesinin %37.50'sinde kuraklık yaşanmıştır (Çok şiddetli kuraklık: %2.08, Şiddetli kuraklık: %6.25 ve Orta kuraklık: %29.17). Son olarak karasız bölgeler olan F3 ve F4 alanlarında sırasıyla en kapsamlı kuraklıklar 1973 (%58.82) ve 1957 (%72.22) yılında yaşanmıştır.

Yıllık kuraklık bölgelerinde tespit edilen en geniş kapsamlı kuraklıklar yıllara göre kuraklık çeşitlerini ve etkilenen alan yüzdelerini tespit edilmiştir. Buna göre 1990 ve 2000 yılları F1 (%87.50) ve F2 (%79.25) alanları için sırasıyla en etkili kuraklığın yaşandığı yıllar olmuştur. F3 ve F4 yıllık kuraklık alanlarında ise en yaygın kuraklık %93.33 etkilenen alan yüzdesi ile F3 bölgesinde 1957 yılında; %80.00'lik kuraklık oranı ile F4 bölgesinde 1955 yılında görülmüştür.

Kuraklık olayları zaman içerisinde tekerrür eden iklim olaylarından olduğu için tekerrür sürelerinin belirlenmesi son derece önemlidir. Kuraklık tekerrür süreleri FFT analizi sonucu elde edilen serilerin periodogram hesaplamasında girdi olarak kullanılması yardımıyla belirlenmiştir. FFT analizinde kullanılan mevsimlik ve yıllık veriler RPC süreci sonunda elde edilen yüklemelerden meydana gelmiştir. Mevsimlik kuraklık analizinde F1 bölgesi için elde edilen sonuçlara göre uzun dönem tekerrür süresi 14.29 yıl; kısa dönem tekerrür süresi 4.00 yıl olarak tespit edilmiştir. En yakın tarihte görülen "Orta Kuraklık" 2004 yılında görülmüş olup bundan önceki "Çok Şiddetli Kuraklık" ise 2004 yılından 15 yıl önce (Uzun dönem) 1989 yılında görülmüştür. 1989 'dan 3 yıl önce (kısa dönem) 1986 yılında "Orta kuraklık" tekrar yaşanmıştır. Benzer şekilde Şekil 5.7 ile elde edilen tekerrür süreleri kıyaslandığında

pek çok örnek verilebilir. Mesela, F2 bölgesi için Mevsimlik uzun ve kısa dönem tekerrür süreleri sırasıyla 20 ve 4.76 yıl olarak hesaplanmıştır. F2 bölgesinde yaşanan en yakın "Çok şiddetli kuraklık" 1992 de yaşanırken bundan 4 yıl önce (kısa dönem) 1988 yılında tekrar "Çok şiddetli kuraklık" yaşanmıştır. 1988 yılından 21 yıl önce (uzun dönem) ise yine "Çok şiddetli kuraklık" 1967 yılında yaşanmıştır. Daha önce açıklandığı üzere kararsız bölgeler olan F3 ve F4 alanlarında tespit edilen tekerrür süreleri F1 ve F2 alanlarından farklıdır. Bu durumun sebebi yine düşük varyans puanlarına bağlanabilir. Yine de bu bölgelerden F3 alanı için Mevsimlik uzun dönem kuraklık tekerrür süresi 100 yıl olarak belirlenirken kısa dönem tekerrür süresi 2.44 yıl olarak hesaplanmıştır. 80 yıllık gözlem sürecinde 100 yıllık uzun dönem kuraklıklarına örnek vermek mümkün olmamasına rağmen kısa dönem tekerrürlü kuraklıkların F3 bölgesinde 2001 (Orta Kuraklık) ve 2003 (Şiddetli kuraklık) yıllarında yaşandığı söylenebilir. Son olarak, F4 alanı için ise uzun ve kısa dönem tekerrür süreleri sırasıyla 10.00 ve 3.85 yıl olarak Mevsimlik kuraklık alanları için belirlenmiştir. F4 alanında en yakın görülen kuraklık 2003 yılında görülen şiddetli kuraklık, bundan tam 10 yıl öncesinde (uzun dönem) 1993 yılında çok şiddetli kuraklık yaşanmıştır. Mevsimlik kuraklık için ortaya konan tekerrür süreleri ve kuraklık yıllarına benzer çıkarımlar yıllık kuraklık bölgeleri için de aynen yapılabilir.

6.2 Öneriler

İklim değişikliğinin etkilerinin somut delillerle ortaya konulması sonucu elde edilen bilimsel veriler doğru yorumlanarak gelecekteki su kaynakları planlamasını yapmak zaruridir. Sadece Akarçay havzasında değil, alınacak tedbirlerin tüm ülke genelinde uygulanması tavsiye edilir. Genel olarak, Akarçay havzası özelinden hareketle yapılan modelleme ve analiz sonucunda aşağıda sıralanan hususların iklim değişikliği ve kuraklık konusunda yapılan tüm çalışmalarda dikkate alınması tavsiye edilmektedir.

- Özellikle bütüncül su yönetim anlayışının benimsenip yapılacak planlamaların buna göre geliştirilmesi gerekir.
- İklim değişikliği sonucu meydana gelecek en büyük riskler elde edilen bulgulara göre kuraklık ve aşırı taşkın faaliyetlerinin sıklıklarındaki artışların doğru yorumlayarak gerekli tedbirler alınmalıdır.

- İklim değişikliği etkisiyle meydana gelecek zararları azaltmak için şimdiden planlama yatırımları yapılmalıdır.
- Sıcaklıkların artmasıyla buharlaşma ve terleme kayıplarının gelecekte çok daha fazla artacağının farkında bulunarak yüzeysel su kaynaklarının azalacağı beklentisi su yapıları tasarımında dikkate alınmalıdır.
- Buzulların erimesiyle birlikte deniz seviyelerinin artması sahil yeraltı suyu kaynaklarının tuzlanmasına sebebiyet verebilecektir.
- Nehir akımlarının azalan yağışlar ve sıcaklıkların artmasıyla buharlaşma ve terlemelerinde artmasıyla gelecekte daha da azalacağı düşünülmelidir. Özellikle, yaz aylarında düşük akımların tamamen yok olacağı tahmini yapılabilir. Ergene nehri akım verilerinin de gidiş (trend) analizi sonucu ortalama olarak azalışta bulunması bu durumu ispatlamaktadır.
- Sıcaklıklarla beraber buharlaşmanın da artması değişik su kirleticilerinin yayılmasına sebep olabilecektir.
- Gelecekte yapılacak Akarçay havzası kapsamında su kaynakları yönetim planlamasında, bu çalışmada kapsamında elde edilen iklim modellemesi sonuçlarının en elverişsiz iklim senaryosu tahminleri göz önünde tutulmalıdır.
- Kuraklık analizi sonucu belirlenen alanların ve tekerrür sürelerinin kuraklık zararlarının azaltılmasında bir altlık olarak kullanılmalıdır.
- Su ile ilgili karar verici durumda olan kamu kurum ve kuruluşları arasındaki uyum sağlanmalı, gerekirse yönetimin tek çatı altından yapılanması sağlanmalıdır.
- Havza ölçeğinde iklim değişikliği etkilerinin belirlenip havza yönetim planlarına kuraklık analizi ile birlikte dâhil edilmelidir.
- İklim modellemesi ve alt ölçekleme araştırma ve projelerinde yerel gözlemleri dikkate alan yüksek çözünürlüklü yerel modeller desteklenmelidir.
- Gelecekte taşkın olaylarının görülme sıklığı artacağı için imar planlarında taşkın koruma sınırları kesin hatlarla belirlenmeli; dere ve nehir yatakları imara açılmamalı; açılmış ise kamulaştırılıp hemen boşaltılmalıdır. Taşkın koruma hattı arasında kalan alanlar yeşil rekreasyon yerleri olarak değerlendirilmelidir.

- Taşkından korunmak için erken uyarı sistemleri tüm havzalarda işler vaziyete getirilmelidir.
- Suyun geri dönüşümüne önem verilip su tasarrufu teşvik edilmelidir.
- Şehirler için planlanan içme suyu hazne ve şebeke projelerinde sadece nüfuz projeksiyonları değil, iklim projeksiyonları da dikkate alınmalıdır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen pratik trend yöntemleri planlamanın her adımında değişik verilere uygulanmalı ve buna göre çıkarımlar yapılmalıdır.
- İklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin sadece yağışlarda, akışlarda ve sıcaklıklarda olmayacağının farkına varılıp, sosyo-kültürel alanda, enerji sektöründe, tarımda, ekonomide ve sağlık alanlarında etkileri ve doğuracağı sonuçlar bilimsel yöntemlerle ortaya konulup kamuoyu bilinçlendirilmelidir.
- İklim değişikliğinin sektörel etkilerin belirlenmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi ölçme, raporlama ve doğrulama unsurları gözetilerek ele alınmalıdır.

KAYNAKLAR

Agnew, C. T. (2000). Using the SPI to identify drought. *Drought Network News, 12*, 6– 12.

Barnes, S. L. (1964). A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. *J. Appl. Meteor., 3*, 396–409.

Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., Palutikof, J. P. (2008), *Climate Change and Water*. Tech. Pap. VI, 210 pp., Intergovernmental Panel on Clim. Change, Geneva, Switzerland.

Belayneh, A., Adamowski, J., Khalil, B., Ozga-Zielinski, B. (2014). Long-term SPI drought forecasting in the Awash River Basin in Ethiopia using wavelet neural networks and wavelet support vector regression models. *Journal of Hydrology*, *508*, 418–429.

Bergthorsson, P. & Döös, B. R. (1955). Numerical weather map analysis. *Tellus, 7,* 329–340.

Bezak N., Brilly M., Šraj M. (2014). Flood frequency analyses, statistical trends and seasonality analyses of discharge data: a case study of the Litija station on the Sava River. *J Flood Risk Manage, 9* (2), 154-168. doi:10.1111/jfr3.12118.

Blenkinsop, S., & Fowler, H. J. (2007). Changes in drought frequency, severity and duration for the British Isles projected by the PRUDENCE regional climate models. *Journal of Hydrology*, *342* (1-2), 50–71. doi: 10.1016/j.jhydrol.2007.05.003.

Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, G., Sutera, A. (2003). Spatial variability of drought: An analysis of the SPI in Sicily. *Water Resour. Manage., 17*, 273–296. doi:10.1023/A:1024716530289.

Bordi, I. & Sutera, A. (2001), Fifty years of precipitation: Some spatially remote teleconnections. *Water Resources Management, 15*, 247 – 280. doi:10.1023/A:1013353822381.

Bozkurt, D. & Şen, Ö. L. (2011). Precipitation in the Anatolian Peninsula: sensitivity to increased SSTs in the surrounding seas. *Clim. Dyn., 36*, (3-4), 711-726.

Burke, E. J., Perry, R. H. J., Brown, S. J. (2010). An extreme value analysis of UK drought and projections of change in the future. *Journal of Hydrology*, *388* (1-2), 131–143. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.04.035.

Chen, J., Wu, X., Finlayson, B. L., Webber, M., Wei, T., Li, M., Chen, Z. (2014). Variability and trend in the hydrology of the Yangtze River, China: Annual precipitation and runoff. *Journal of Hydrology, 513,* 403–412. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.03.044.

Choi, M., Jacobs, J. M., Anderson, M. C., Bosch, D. D. (2013). Evaluation of drought indices via remotely sensed data with hydrological variables. *Journal of Hydrology*, *476*, 265–273.

Cobaner, M., Citakoglu, H., Kisi, O., Haktanir, T. (2014). Estimation of mean monthly air temperatures in Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture, 109,* 71–79. doi:10.1016/j.compag.2014.09.007.

Cressman, G. P. (1959). An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev., 87,* 367–374.

ÇŞB, (2012). *Turkey's National Climate Change Adaptation Strategy and Action Plan*, 2nd Ed., Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Dahal, P., Shrestha, N. S., Shrestha, M. L., Krakauer, N. Y., Panthi, J., Pradhanang, S. M., Lakhankar, T. (2015). Drought risk assessment in central Nepal: temporal and spatial analysis. *Natural Hazards*, *80* (3), 1913–1932. doi:10.1007/s11069-015-2055-5.

Dahmen E. R. & Hall M. J. (1990) *Screening of hydrological data: tests for stationarity and relative consistency.* ILRI, The Netherlands, p 58, Publication #49.

Dai, A. (2011). Drought under global warming: A review. Wiley Interdisciplinary Reviews. *Climate Change*, *2* (1), 45–65. http://doi.org/10.1002/wcc.81

Dogan, S., Berktay, A., Singh, V. P. (2012). Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, *470*, 255–268. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.09.003.

Dutra, E., Wetterhall, F., Di Giuseppe, F., Naumann, G., Barbosa, P., Vogt, J., … Pappenberger, F. (2014). Global meteorological drought-Part 1: Probabilistic monitoring. *Hydrology and Earth System Sciences*, *18* (7), 2657–2667. doi:10.5194/hess-18-2657-2014.

DSİ, (2012). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarina Etkisi:* Taşkin ve Kuraklik Çalişma Grubu Raporu, Ankara: Devlet Su İşleri.

Edwards, D. C. & McKee, T. B. (1997). *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales.* Atmos. Sci. Pap. 634, Colorado State Univ., Fort Collins.

Gampe, D., Ludwig, R., Qahman, K., Afifi, S. (2016). Applying the Triangle Method for the parameterization of irrigated areas as input for spatially distributed hydrological modeling-Assessing future drought risk in the Gaza Strip (Palestine). *Science of the Total Environment*, *543*, 877–888. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.07.098.

Gilchrist, B. & Cressman, G. P. (1954). An experiment in objective analysis. *Tellus, 6,* 309–318.

Gocic, M., & Trajkovic, S. (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann- Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change, 100,* 172–182. doi:10.1016/j.gloplacha.2012.10.014.

Gocic, M., & Trajkovic, S. (2014). Spatiotemporal characteristics of drought in Serbia. *Journal of Hydrology*, *510*, 110–123.

Guardiola-Claramonte, M., Troch, P. A., Breshears, D. D., Huxman, T. E., Switanek, M. B., Durcik, M., Cobb, N. S. (2011). Decreased streamflow in semi-arid basins following drought-induced tree die-off: A counter-intuitive and indirect climate impact on hydrology. *Journal of Hydrology*, *406* (3-4), 225–233.

Gutie´rrez-Estrada, J. C. & Pulido-Calvo, I. (2007). Water temperature regimen analysis of intensive fishfarms associated with cooling effluents from power plants. *Biosystems Eng.*, *96* (4), 581–591. doi:10.1016/j.biosystemseng.2007.01.006.

Guttman, N. B. (1999). Accepting the Standardized Precipitation Index: a Calculation Algorithm1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 35* (2), 311–322. doi:10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x

Güçlü, Y. S., Şişman, E., Yeleğen, M. Ö. (2016) Climate change and frequency–intensity–duration (FID) curves for Florya station, Istanbul. *Journal of Flood Risk Management.* doi:10.1111/jfr3.12229.

Haan, C. T. (1977). *Statistical Methods in Hydrology,* The Iowa State University Press, Ames, Iowa, 378 p.

Helsel D.R. & Hirsch R. M. (2002). *Statistical methods in water resources,* Chapter A3, Techniques of water resources investigations, Book 4, U.S. Geological Survey, Shenandoah, TX.

Haktanir, T. & Citakoglu, H. (2014). Trend, Independence, Stationarity, and Homogeneity Tests on Maximum Rainfall Series of Standard Durations Recorded in Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering.* doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000973.

Hansen, J., Ruedy R., Sato, M., Lo, K. (2010). Global surface temperature change. *Rev. Geophys., 48,* RG4004. doi:10.1029/2010RG000345.

Hao, Z. & AghaKouchak, A. (2013). Multivariate standardized drought index: a parametric multi-index model. *Adv. Water Resour. 57,* 12–18.

Hemming, D., Buontempo, C., Burke, E., Collins, M., Kaye, N. (2010). How uncertain are climate model projections of water availability indicators across the Middle East? *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *368* (1931), 5117 LP-5135.

Hisdal, H., Tallaksen, L. M. (2003). Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics. *J. Hydrol., 281,* 230–247.

IPCC, (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

IPCC, (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the*

Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.

Jiang, R., Xie, J., He, H., Luo, J., Zhu, J. (2014). Use of four drought indices for evaluating drought characteristics under climate change in Shaanxi, China: 1951–2012. *Natural Hazards, 75,* 2885–2903. doi:10.1007/s11069-014-1468-x.

Jolliffe, I. T. (2002), *Principal Component Analysis,* 2nd ed., 502 pp., Springer, New York.

Kao, S. C. & Govindaraju, R. S. (2010). A copula-based joint deficit index for droughts. *J. Hydrol. 380* (1–2), 121–134.

Kendall, M.G. (1975). *Rank Correlation Methods*, Charless Griffin, London.

Kim, T. W., Valdees, J. B., Nijssen, B., Roncayolo, D. (2006). Quantification of linkages between large-scale climatic patterns and precipitation in the Colorado River Basin. *Journal of Hydrology, 321*(1-4), 173–186. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.07.043.

Ma, M., Ren, L., Yuan, F., Jiang, S.Y., Liu, Y., Kong, H., Gong, L. (2013). A new standardized Palmer drought index for hydro-meteorological use. *Hydrol.Process., 28* (23), 5645–5661, doi: 10.1002/hyp.10063.

McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration t time scales. *Eighth Conference on Applied Climatology*. American Meteorological Society, Anaheim, California.

Mann, H, B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica, 13,* 245–259.

Markus, M., Demissie, M., Short, M., Verma, S., Cooke, R. (2014). Sensitivity Analysis of Annual Nitrate Loads and the Corresponding Trends in the Lower Illinois River. *Journal of Hydrologic Engineering, 19* (3), 533-543.

Martins, D.S., Raziei, T., Paulo, A.A., Pereira, L.S. (2012). Spatial and temporal variability of precipitation and drought in Portugal. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.12* (5), 1493–1501.

Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K., Daniel, J. S., Kainuma, M. L. T., Lamarque, J., van Vuuren, D. P. P. (2011). The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change, 109* (1), 213–241. doi:10.1007/s10584-011-0156-z.

Minville, M., Brissette, F., Leconte, R. (2008). Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed. *J. Hydrol. 358,* 70–83.

Mishra, A. K. & Desai, V. R. (2005). Spatial and temporal drought analysis in the Kansabati river basin, India. *International Journal of River Basin Management, 3* (1), 31–41.

Mishra, A. K., Singh, V. P., Desai, V. R. (2009). Drought characterization: a probabilistic approach. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess. 23* (1), 41–55.

Mishra, A. K. & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology, 391* (1-2), 202–216.

Mishra, A. & Coulibaly, P. (2014). Variability in Canadian Seasonal Streamflow Information and Its Implication for Hydrometric Network Design. *Journal of Hydrologic Engineering, 19* (8) 1-13. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000971.

Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE 50* (3), 885–900.

Nash, J. E. & Sutcliffe, J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models Part I – a discussion of principles. *J. Hydrol. 10* (3), 282–290.

Oliver, M. A. & Webster, R. (1990). Kriging: A method of interpolation for geographical information system. *Int. J. Geogr. Inf. Syst., 4* (3), 313–332. doi:10.1080/02693799008941549.

Öztopal, A. (1998). *Genetik algoritmaların meteorolojik uygulamaları,* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Panu, U. S. & Sharma, T. C. (2002). Challenges in drought research: some perspectives and future directions. *Hydrol. Sci. J. 47*, 19–30.

Pasquini, A., Lecomte, K. L., Piovano, E. L., Depetris, P. J. (2006). Recent rainfall and runoff variability in central Argentina. *Quat. Int., 158*, 127–139. doi:10.1016/j.quaint.2006.05.021.

Paulo, A. A. & Pereira, L. S. (2008). Stochastic prediction of drought class transitions. *Water Resour. Manage., 22* (9), 1277 – 1296. doi:10.1007/s11269-007-9225-5.

Prăvălie, R., & Bandoc, G. (2015). Aridity Variability in the Last Five Decades in the Dobrogea Region, Romania. *Arid Land Research and Management, 29 (February),* 265–287.

Raziei, T., Bordi, I., Pereira, L.S. (2013). Regional drought modes in Iran using the SPI-: the effect of time scale and spatial resolution. *Water Resour. Manage. 27* (6), 1661–1674.

Salas, J. D., Delleur, J. W., Yevjevich, V. M., Lane, W. L. (1980). *Applied Modeling of Hydrologic Time Series.* Water Resources Publications, Littleton, Colorado, USA.

Santos, J. F., Pulido-Calvo, I., Portela, M. M. (2010). Spatial and temporal variability of droughts in Portugal. *Water Resour. Res. 46* (3), W03503. doi.org/10.1029/2009WR008071.

Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J. Am, Stat. Assoc. 63,* 1379–1389.

Sırdaş, S. (2002). *Meteorolojik kuraklık Modellenmesi ve Türkiye uygulaması.* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Sibille R. & Walmsley N. (2014). *Pilot project building capacity to prepare city-level climate change adaptation plans in Turkey Final project report* (Report Number: ED58689-2). Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Sonali, P. & Kumar, N. D. (2013). Review of trend detection methods and their application to detect temperature changes in India. *Journal of Hydrology, 476,* 212-227.

Şen, Z. (1974). *Small Sample Properties of Stationary Stochastic Processes and andthe Hurst Phenomenon in Hydrology.* (PhD. Thesis). Imperial College of Science and Technology, London.

Şen, Z. (1976). Wet and dry periods of annual flow series. *Journal of Hydrology, 102,* 1503–1514.

Şen, Z. (1977). Run-sums of annual flow series. *Journal of Hydrology,* 35, 311–324.

Şen, Z. (1978). Autorun analysis of hydrological time series. *Journal of Hydrology, 36,* 75–85.

Şen, Z. (1980). Regional drought and flood frequency analysis: theoretical considerations. *Journal of Hydrology, 46,* 265–279.

Şen, Z. (1989). Cumulative semivariogram model of regionalized variables. *Int. J. Math. Geol. 21,* 891.

Şen, Z. (1998). Probabilistic formulation of spatio-temporal drought pattern. *Theoretical and Applied Climatology, 61* (3-4), 197–206. doi:10.1007/s007040050064.

Şen, Z. & Al-Jadid, A. G. (1999). Automated average areal rainfall calculation in Libya. *Water Resour. Manag. 14,* 405–416.

Şen, Z. & Öztopal, A. (2001). Genetic algorithms fort he classification and prediction of precipitation occurreces. *Hydrol. Sci. J., 46* (2): 255-267.

Şen, Z. (2010). *Fuzzy Logic and Hydrological Modeling.* CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, 340 pp.

Şen, Z., Uyumaz A., Öztopal A., Cebeci M., Küçükmehmetoğlu M., Erdik T., Sirdaş S., Şahin A.D., Geymen A., Ceylan V., Oğuz S., Karsavran Y. (2010). *Final report on the impacts of climate change on Istanbul and Turkey water resources.* Istanbul:ISKI.

Şen, Z. (2012). Innovative Trend Analysis Methodology. *J. Hydrol. Eng., 17* (9), 1042–1046.

Şen, Z., Al-Alsheikh, A., Alamoud, A., Al-Hamid, A. A., El-Sebaay, A. S., Abu-Risheh, A. W. (2012). Quadrangle Downscaling of Global Climate Models and Application to Riyadh. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 138* (10), 918–923.

Şen, Z. (2014a). *Applied and Practical Hydrogeology*. Elsevier, Amsterdam, 406 p.

Şen, Z. (2014b). Spatially heterogeneous drought analysis theory and future trends. *Journal of Hydrology, 519* (PB), 1804–1810. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.09.064.

Şen, Z. (2015a). *Applied Drought Modeling, Prediction, and Mitigation.* 1st Edition, Elsevier, Amsterdam, 484p.

Şen, Z. (2015b). Regional Wet and Dry Spell Analysis with Heterogeneous Probability Occurrences, *J. Hydrol. Eng., 20* (9), 1–9.

Thiel H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, Part 3. *Proceedings of Koninalijke Nederlandse Akademie van Weinenschatpen 53*: 1397–1412.

Timbadiya, P., Mirajkar, A., Patel, P., Porey, P. (2013). Identification of trend and probability distribution for time series of annual peak flow in Tapi Basin, India. *ISH Journal of Hydraulic Engineering, 19* (1), 11-20.

Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H. (2007). Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resour. Manage. 21* (5), 821–833.

TÜBİTAK, (2013). *Akarçay Havzası Koruma Eylem Planı Nihai Raporu*. Ankara:CTUE.

Türkeş, M. (1998). İnfluence of Geo-Pontential Heights Cyclon Frequency and Southern Oscillation on Rainfall Variation in Turkey. *International Journal of Climatology 18: 649-680.*

Url–1 < *http://slideplayer.com/slide/10502769/*>, erişim tarihi 16.02.2017.

Vicente-Serrano, S. M., Gonzalez-Hidalgo, J. S., Luis, M. Ravento ´s, J. (2004). Drought patterns in the Mediterranean area: The Valencia region (eastern Spain). *Clim. Res., 26*, 5–15, doi:10.3354/cr026005.

Vicente-Serrano, S. M. (2006). Spatial and temporal analysis of droughts in the Iberian Peninsula (1910– 2000). *Hydrol. Sci. J., 51* (1), 83–97, doi:10.1623/hysj.51.1.83.

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

Von Storch, H. & Navarra, A. (1995). *Analysis of Climate Variability — Applications of Statistical Techniques.* Springer-Verlag, New York.

Xu, K., Yang, D., Yang, H., Li, Z., Qin, Y., Shen, Y. (2015). Spatio-temporal variation of drought in China during 1961-2012: A climatic perspective. *Journal of Hydrology*, *526* (July), 253–264. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.09.047.

EKLER

EK A: Akşehir istasyonu gözlem ve tahmin grafikleri

EK B: Bolvadin istasyonu gözlem ve tahmin grafikleri

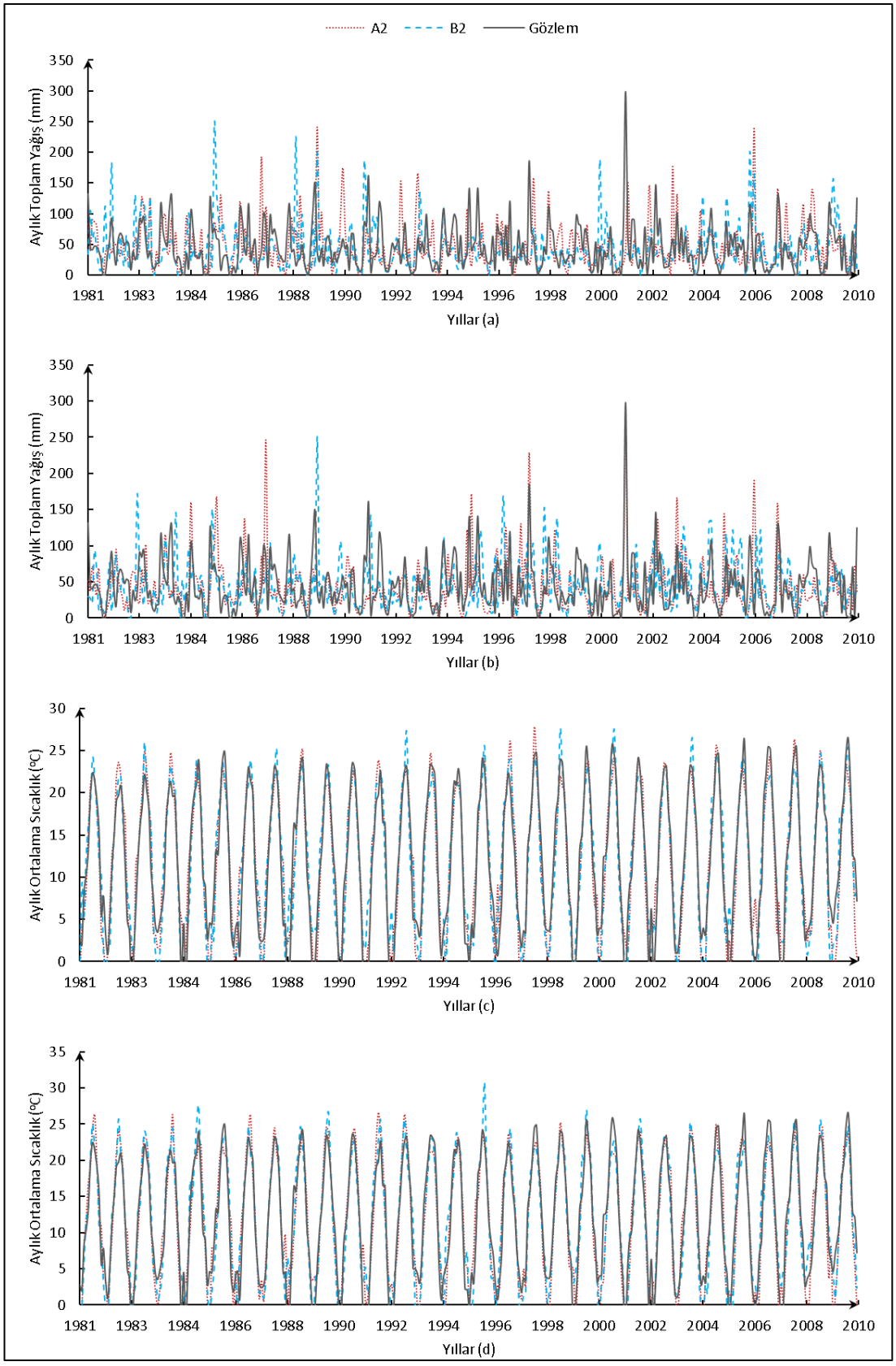
EK C: Çay istasyonu gözlem ve tahmin grafikleri

EK D: Sultandağı istasyonu gözlem ve tahmin grafikleri

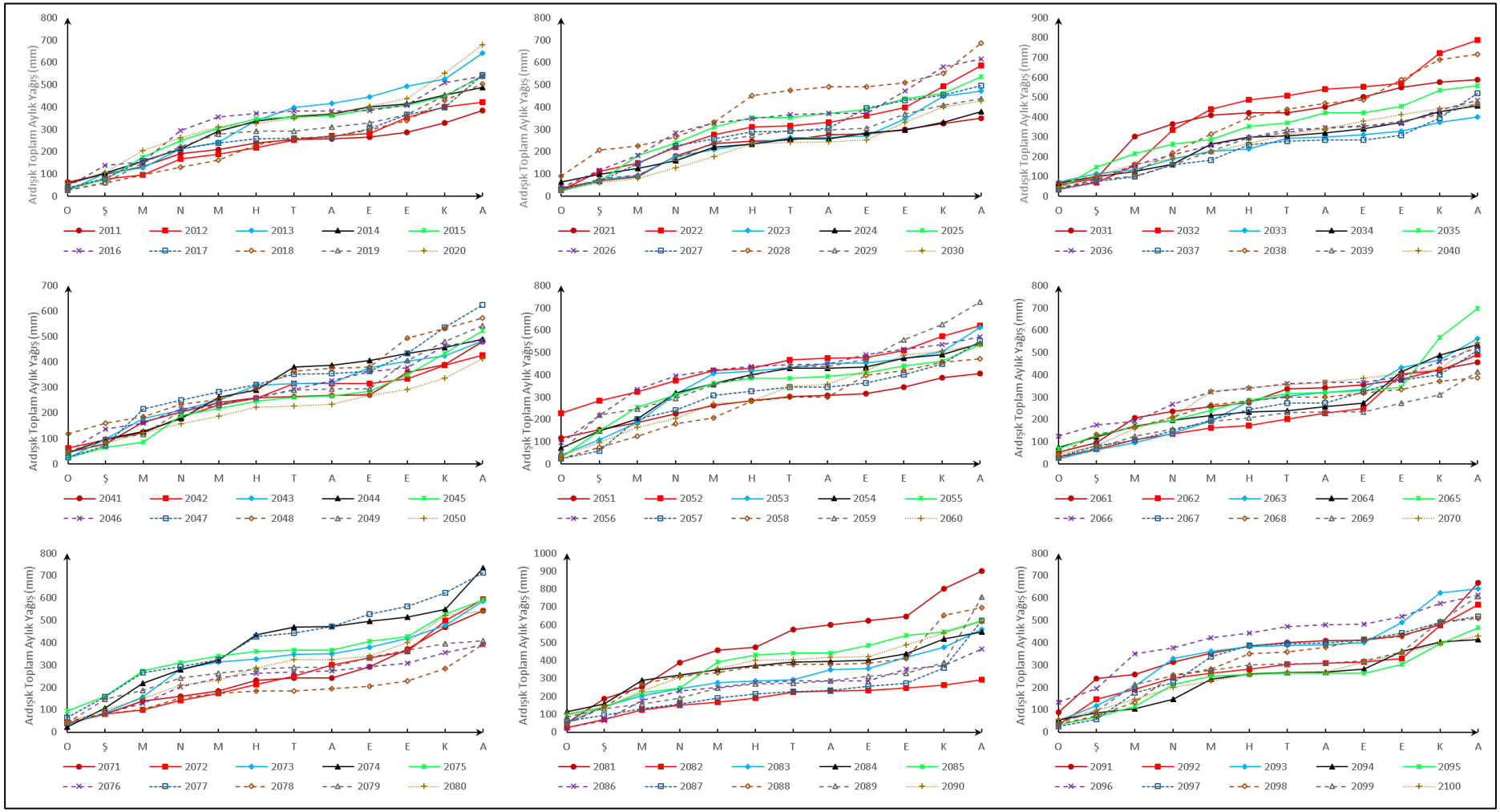
EK E: Şuhut istasyonu gözlem ve tahmin grafikleri

EK F: Afyon istasyonu gözlem ve tahmin grafikleri

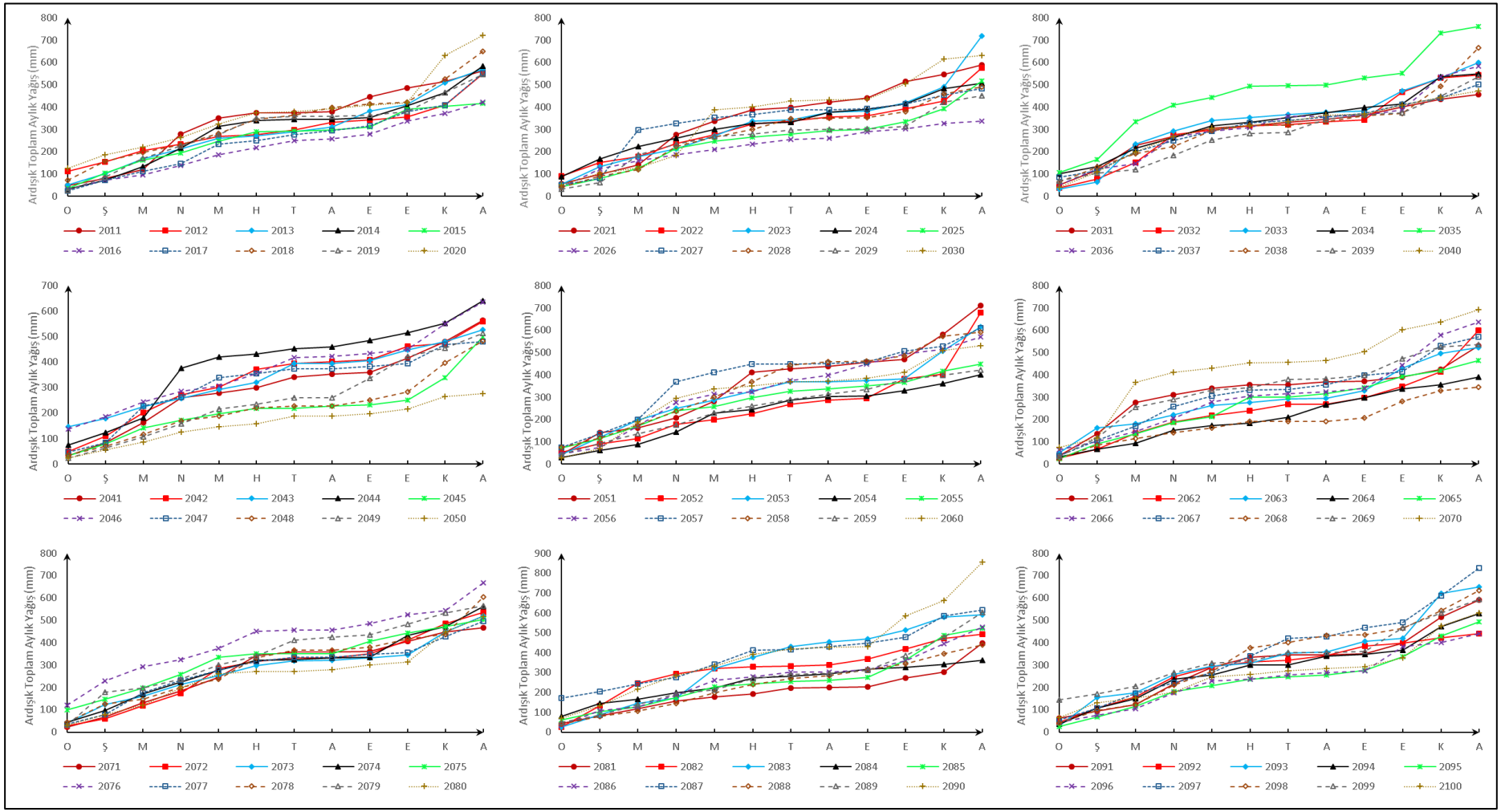
EK A



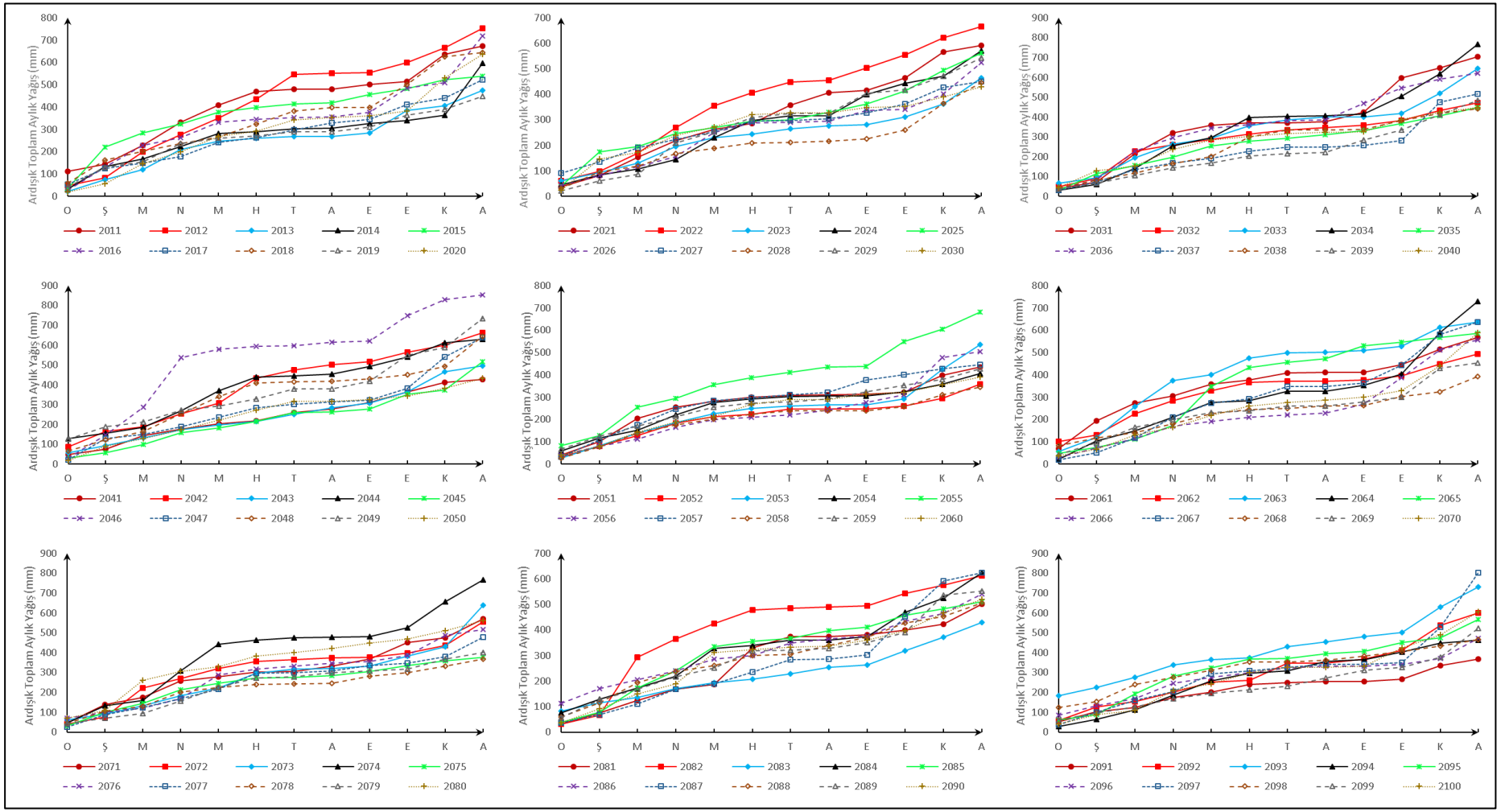
Şekil A.1 : Akşehir istasyonu gözlem verileri ile tahmin verileri kıyaslanması a) EH40PYC-Yağış b) HadCM3-Yağış c) EH40PYC-Sıcaklık d) HadCM3-Sıcaklık.



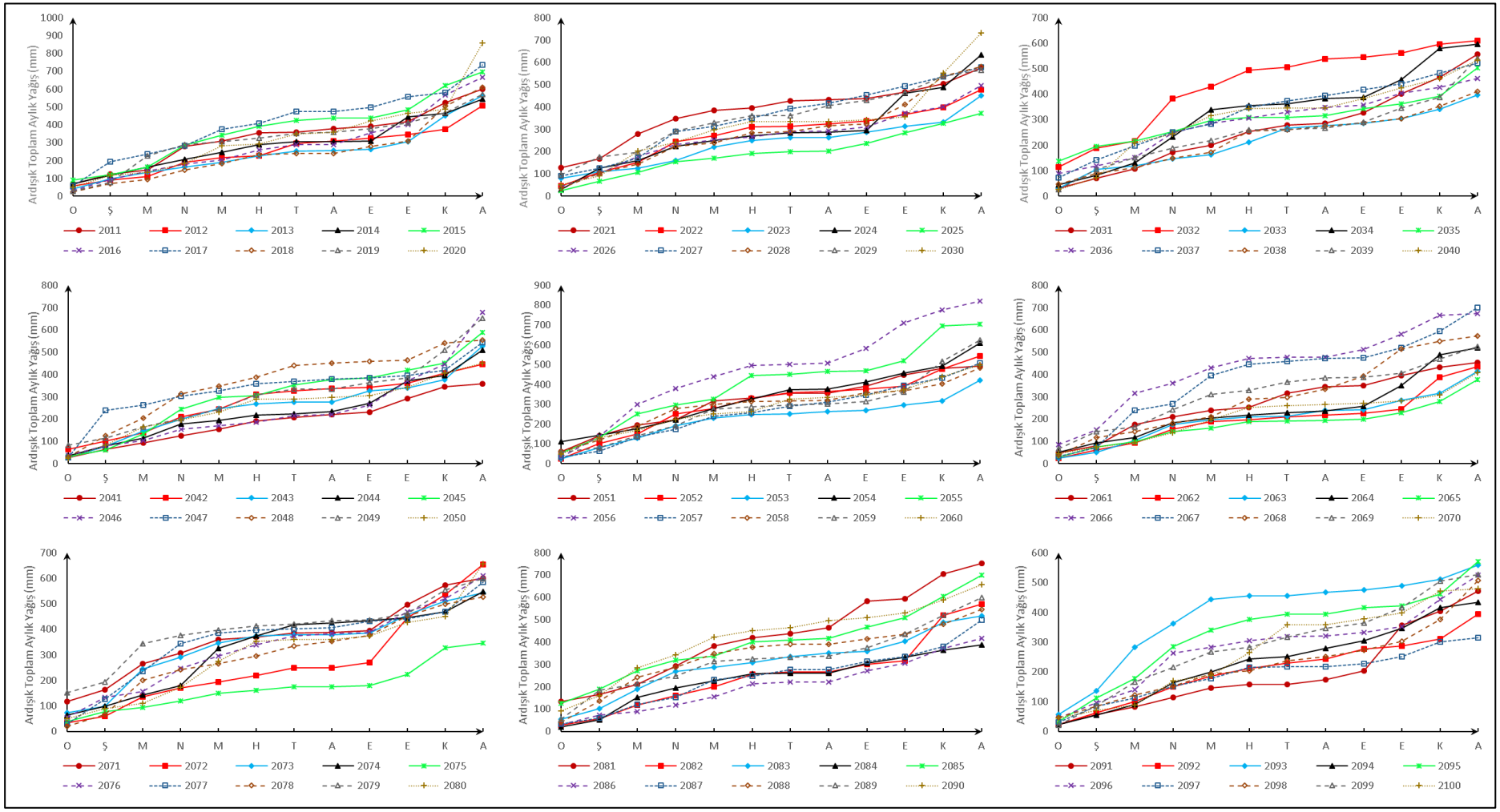
Şekil A.2 : Akşehir istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



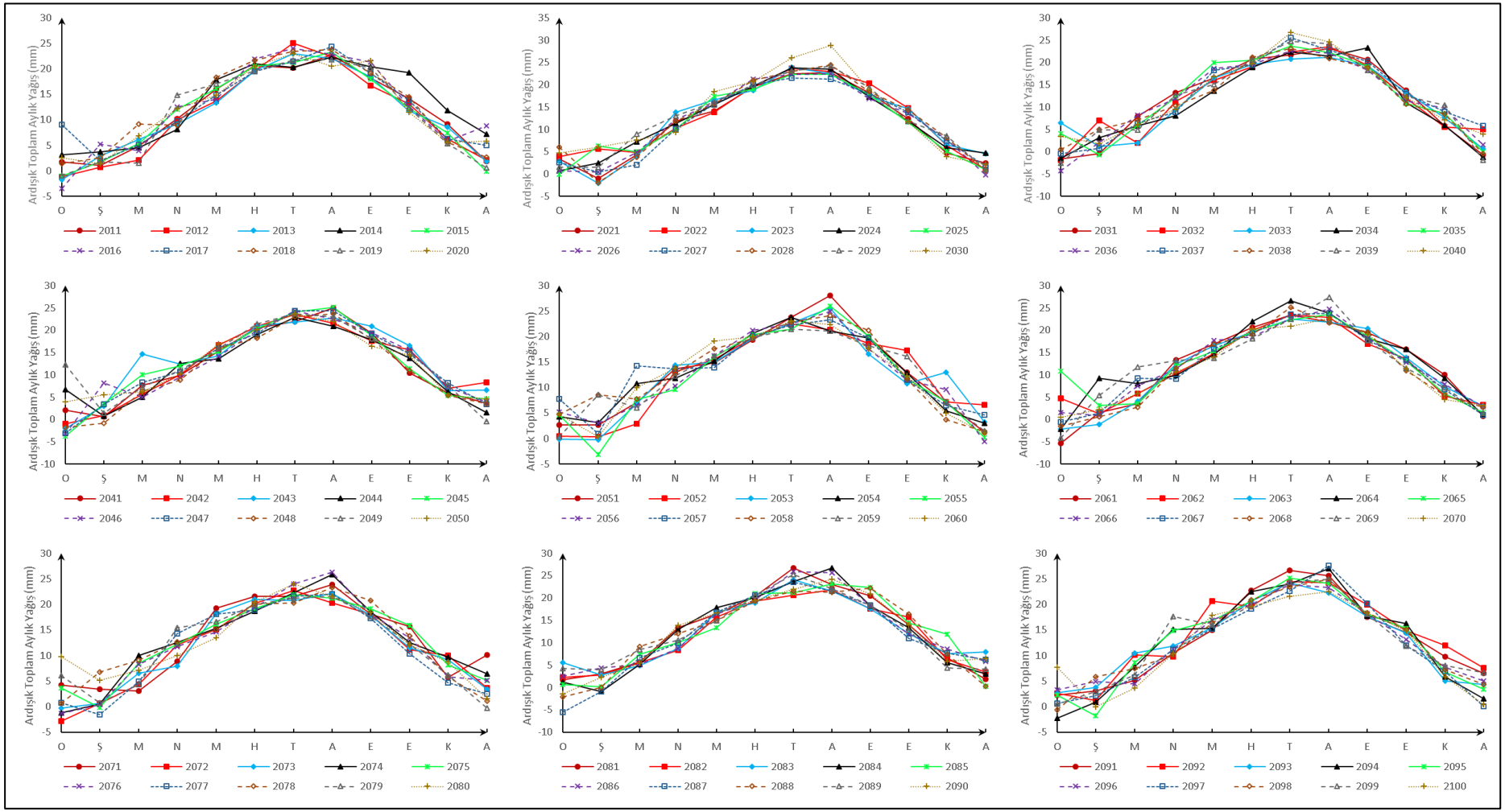
Şekil A.3 : Akşehir istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



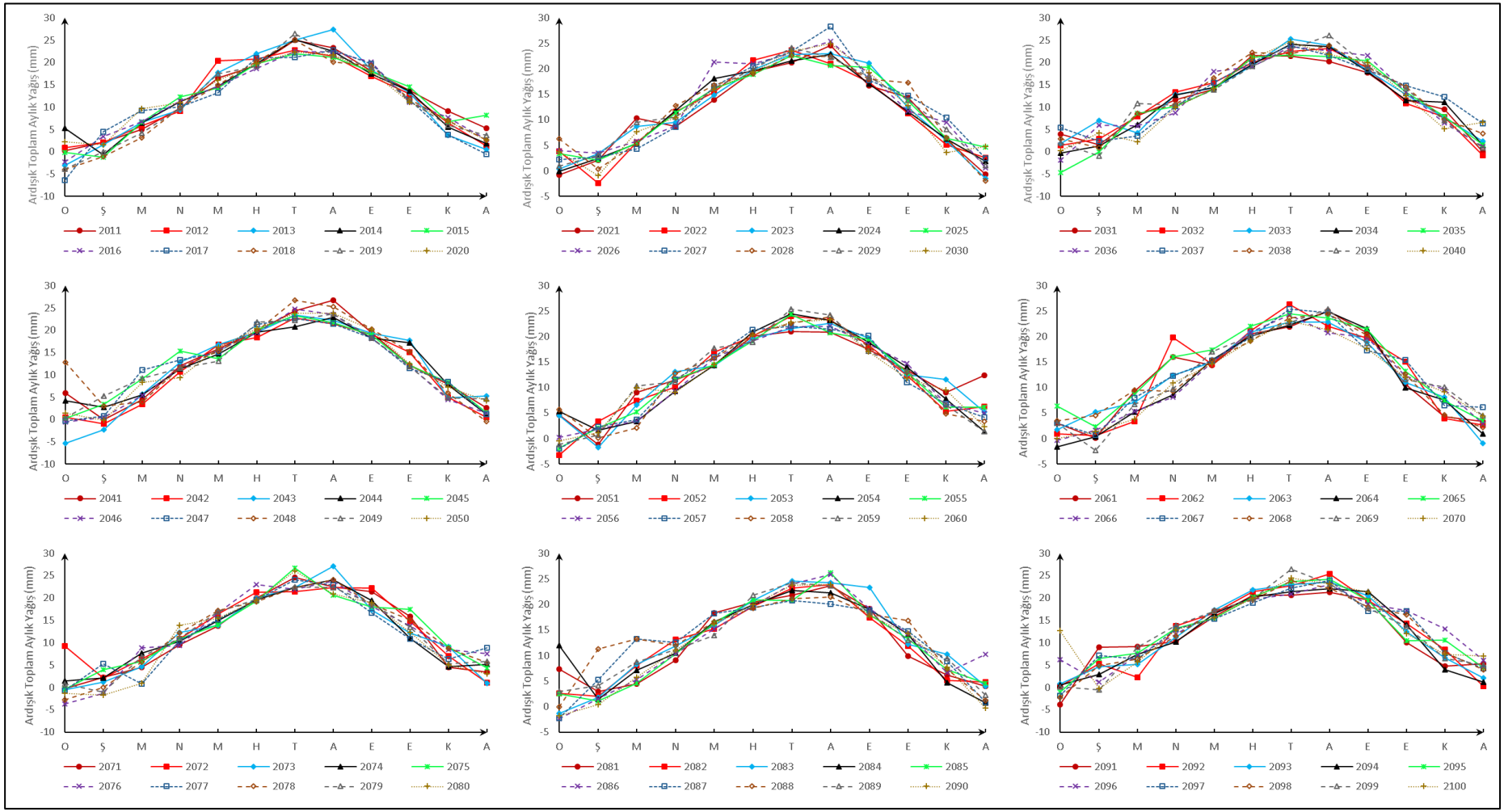
Şekil A.4 : Akşehir istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



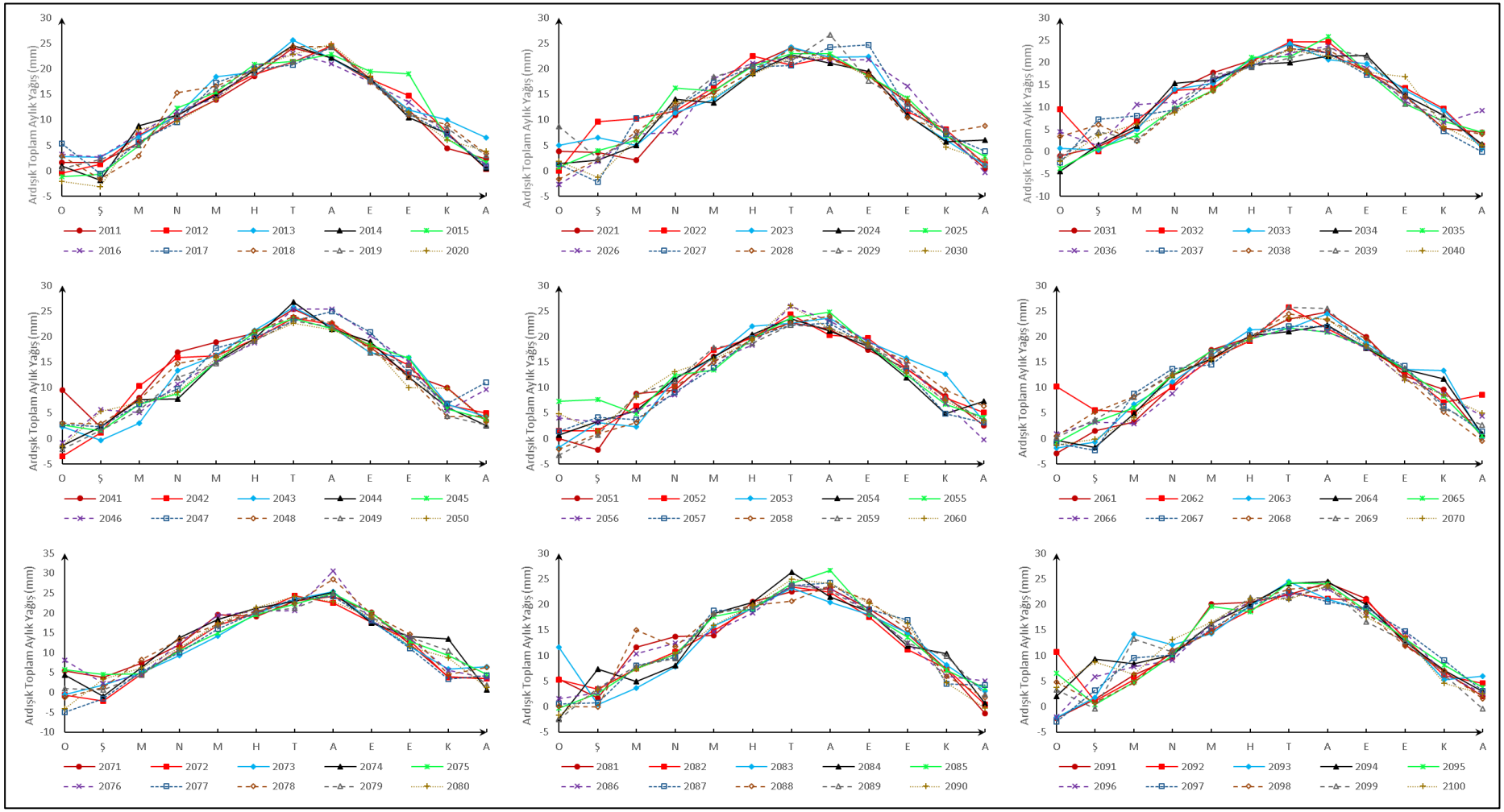
Şekil A.5 : Akşehir istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



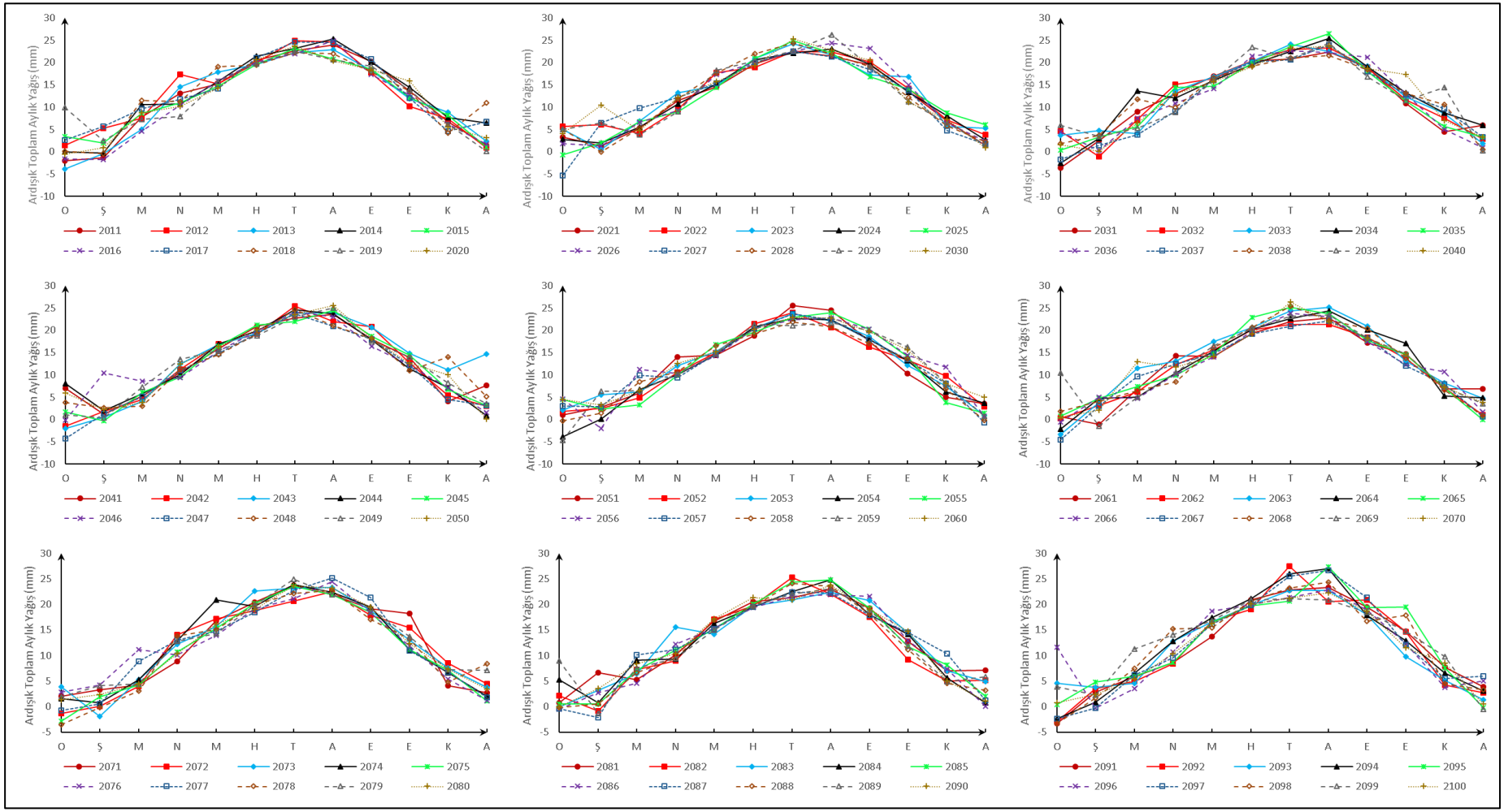
Şekil A.6 : Akşehir istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).



Şekil A.7 : Akşehir istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).

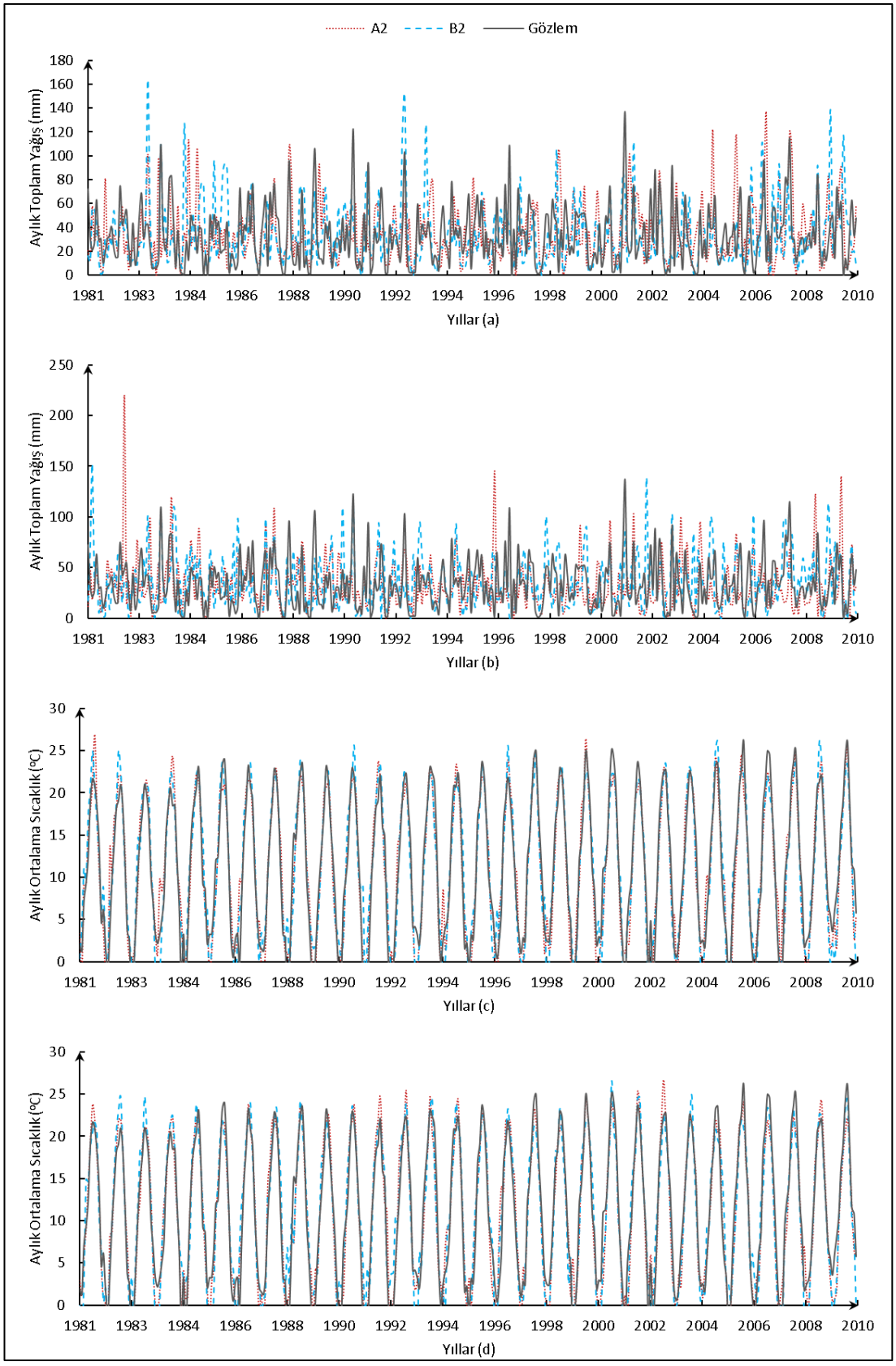


Şekil A.8 : Akşehir istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).

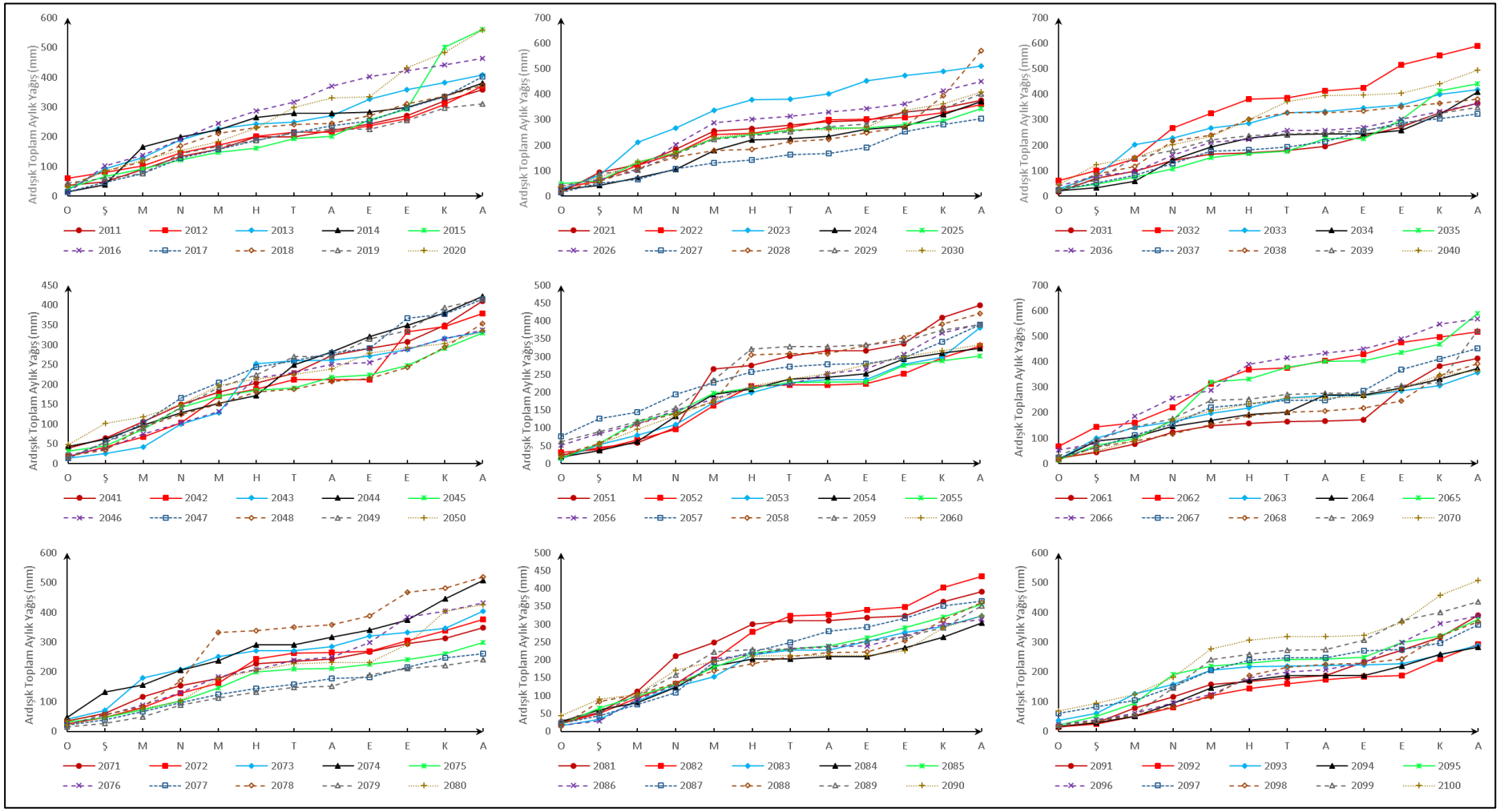


Şekil A.9 : Akşehir istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).

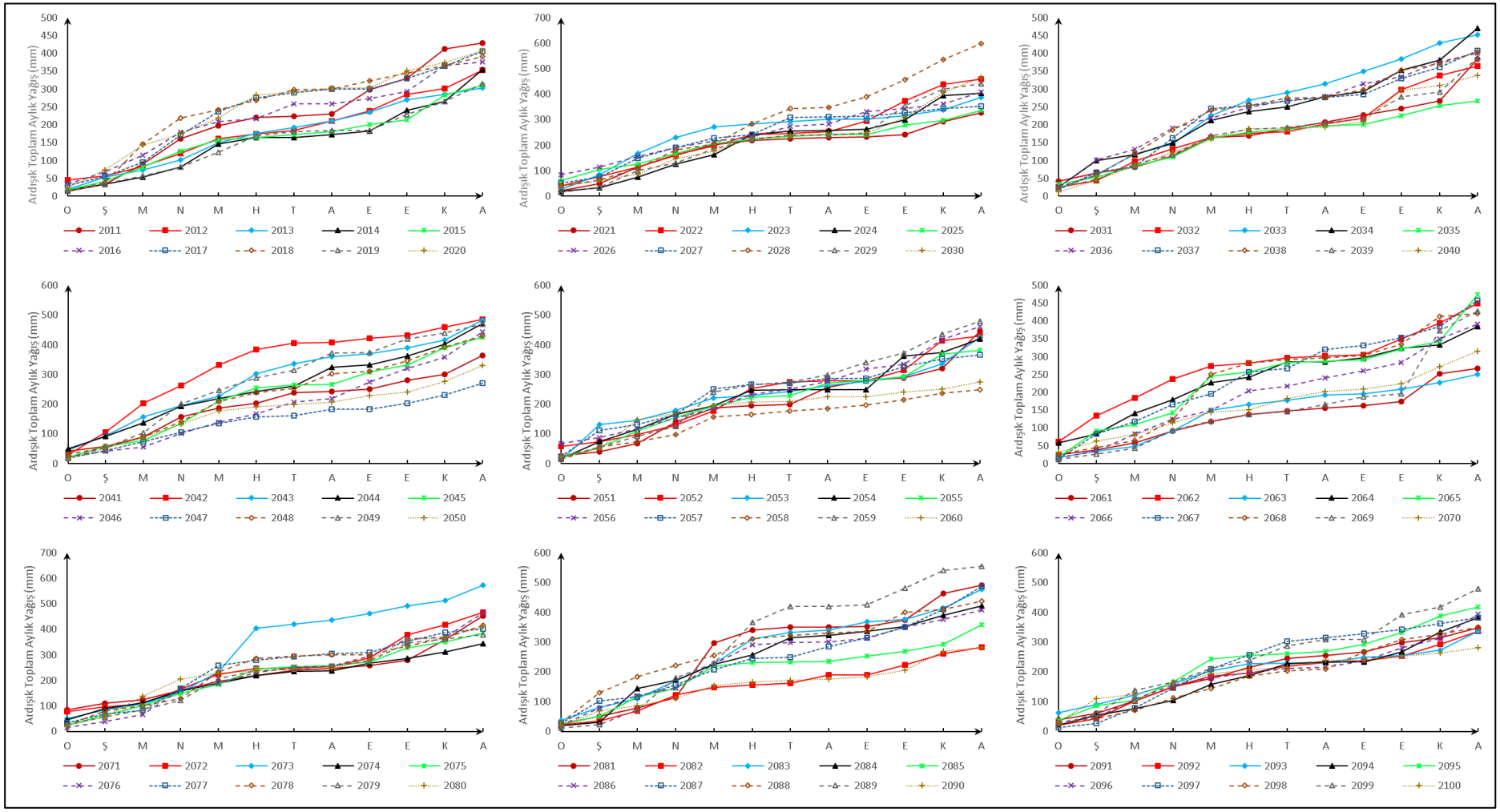
EK B



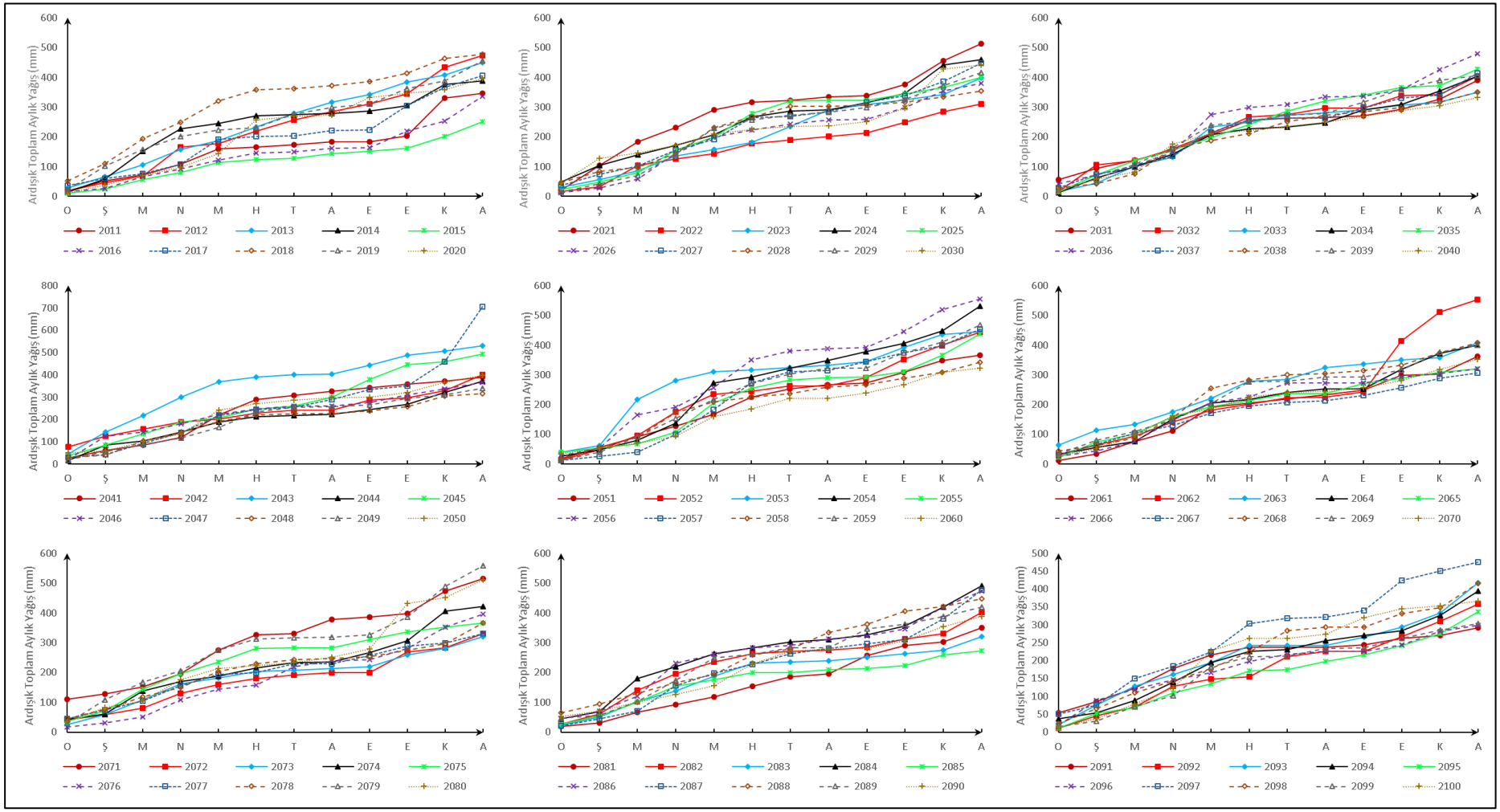
Şekil B.1 : Bolvadin istasyonu gözlem verileri ile tahmin verileri kıyaslanması a) EH40PYC-Yağış b) HadCM3-Yağış c) EH40PYC-Sıcaklık d) HadCM3-Sıcaklık.



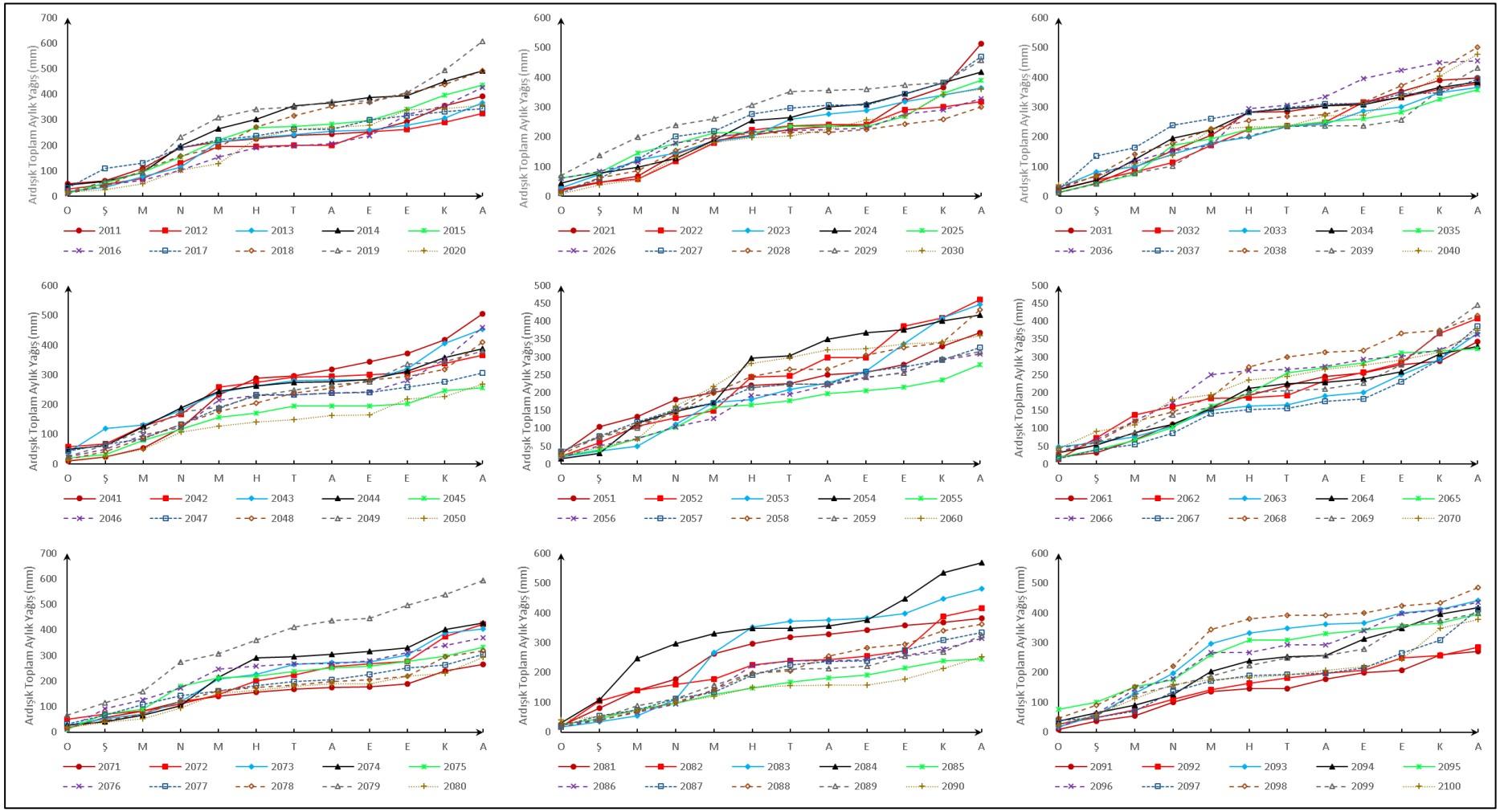
Şekil B.2 : Bolvadin istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



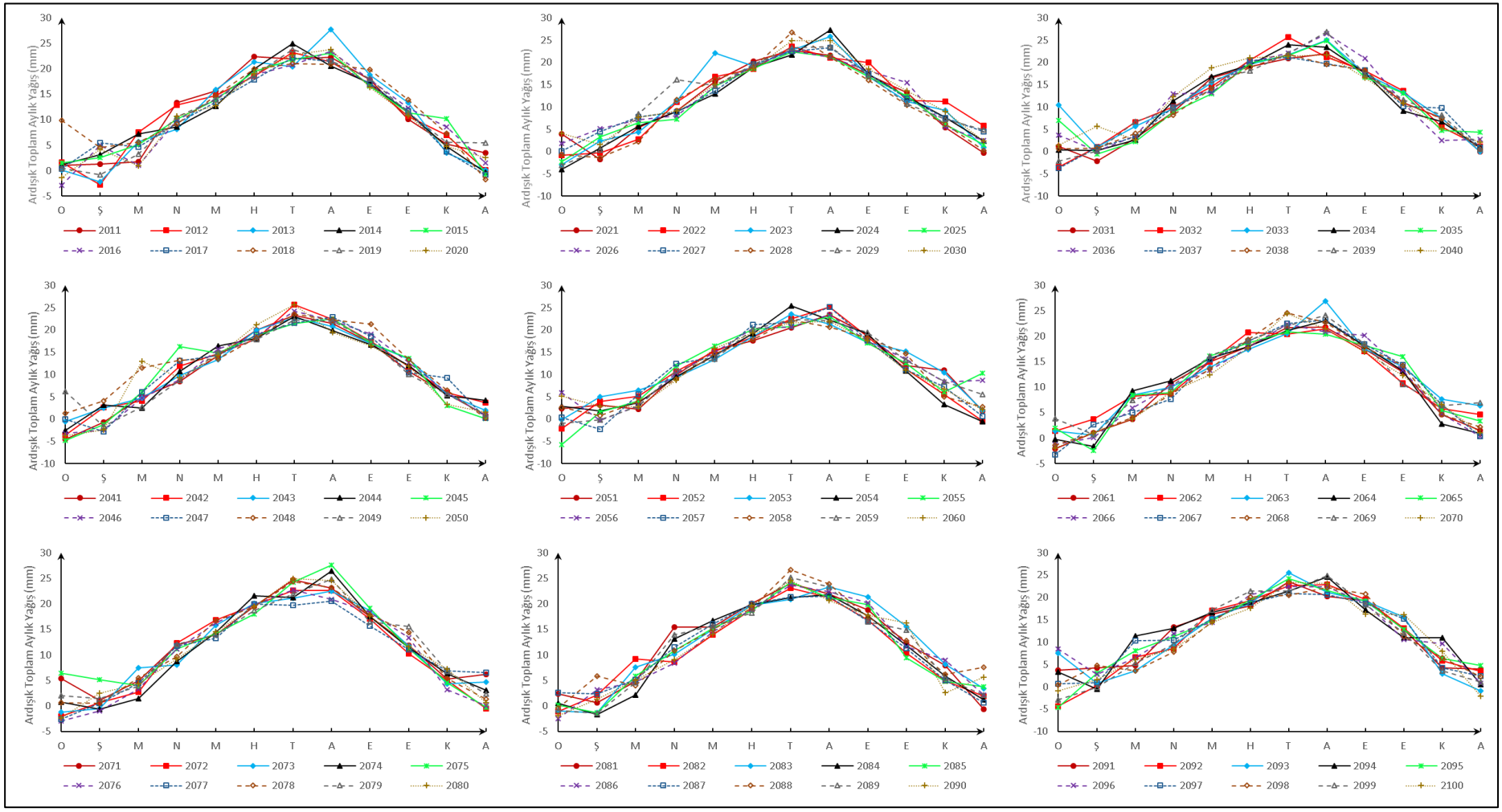
Şekil B.3 : Bolvadin istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



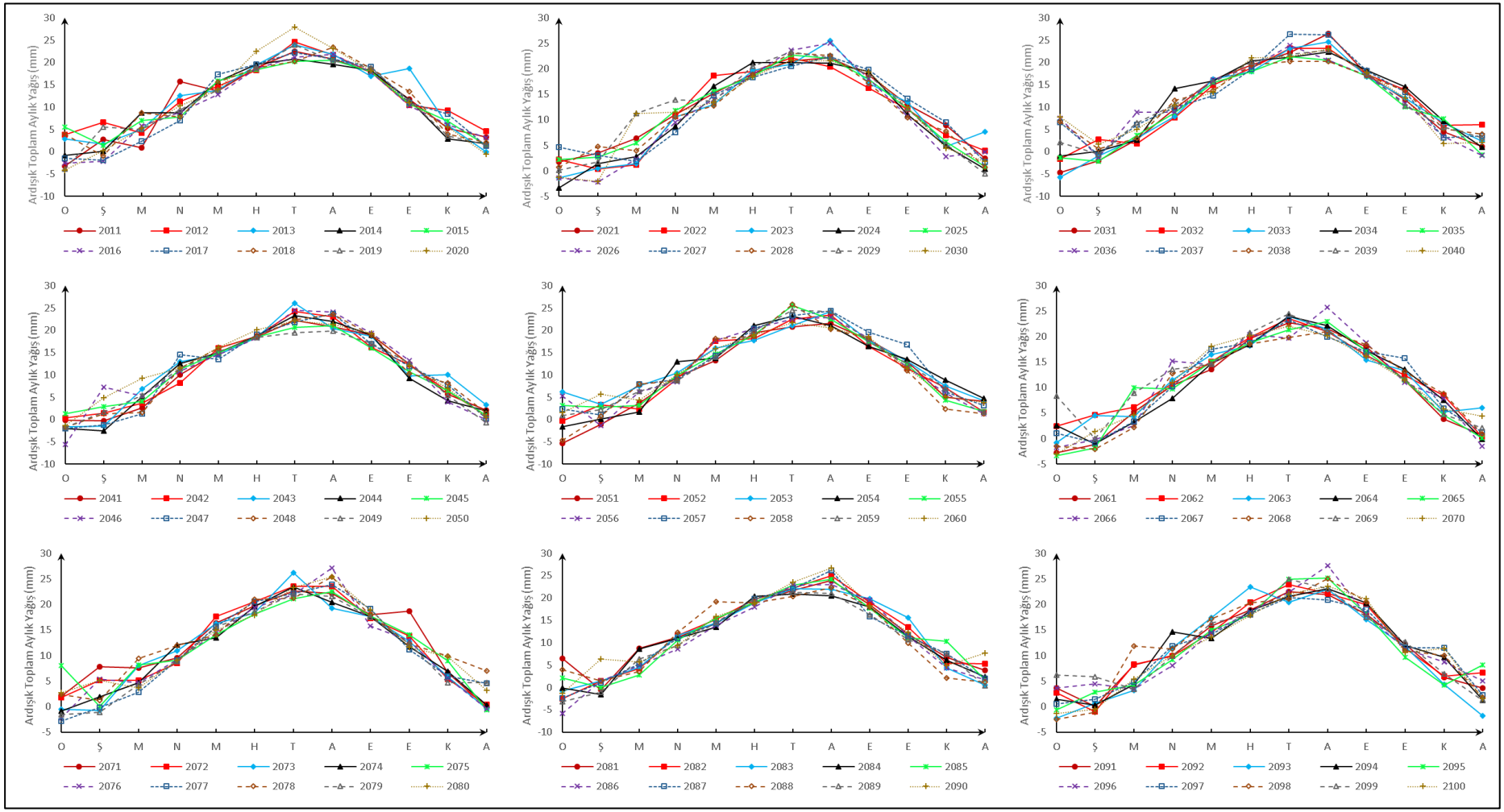
Şekil B.4 : Bolvadin istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



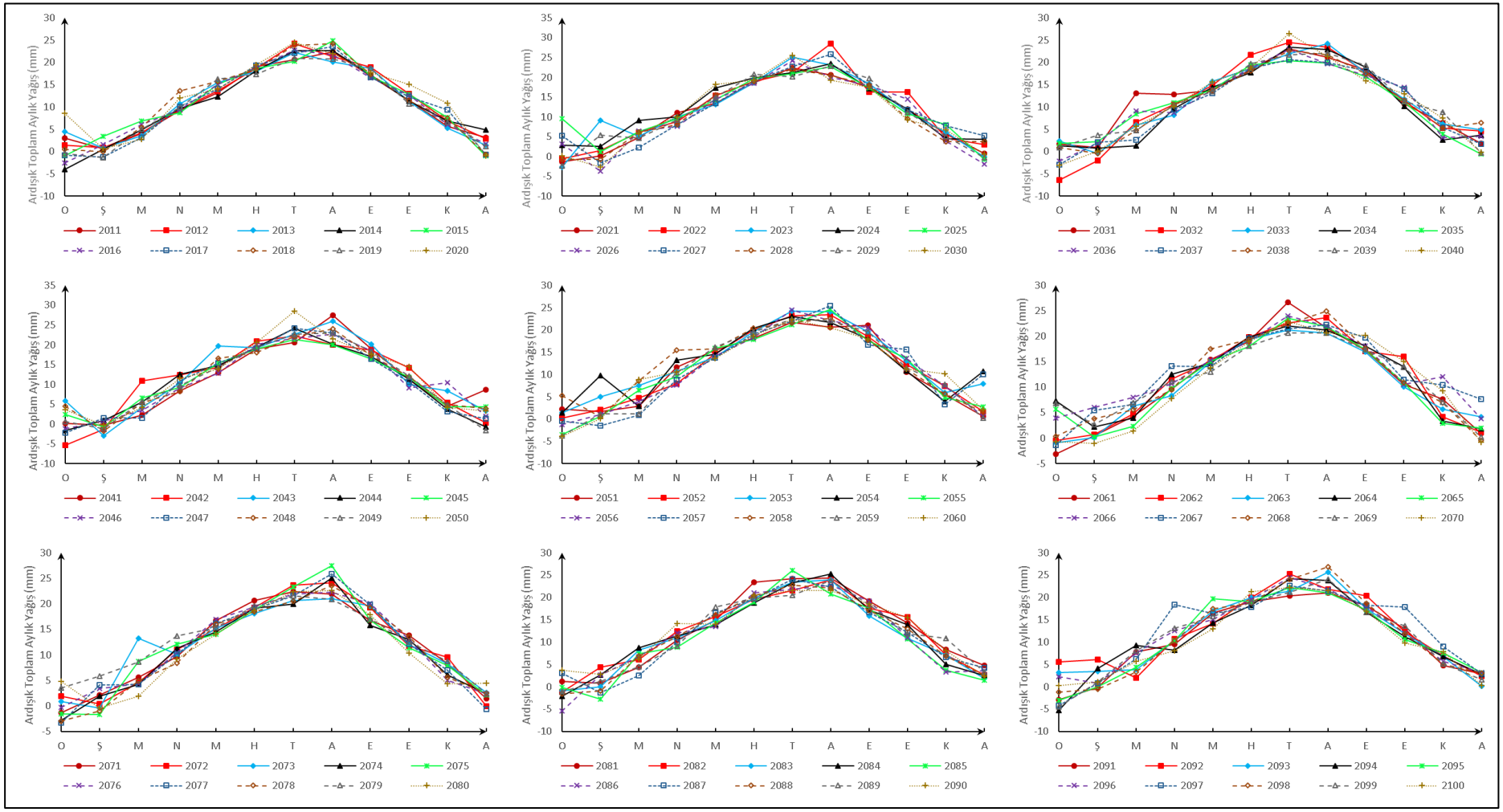
Şekil B.5 : Bolvadin istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



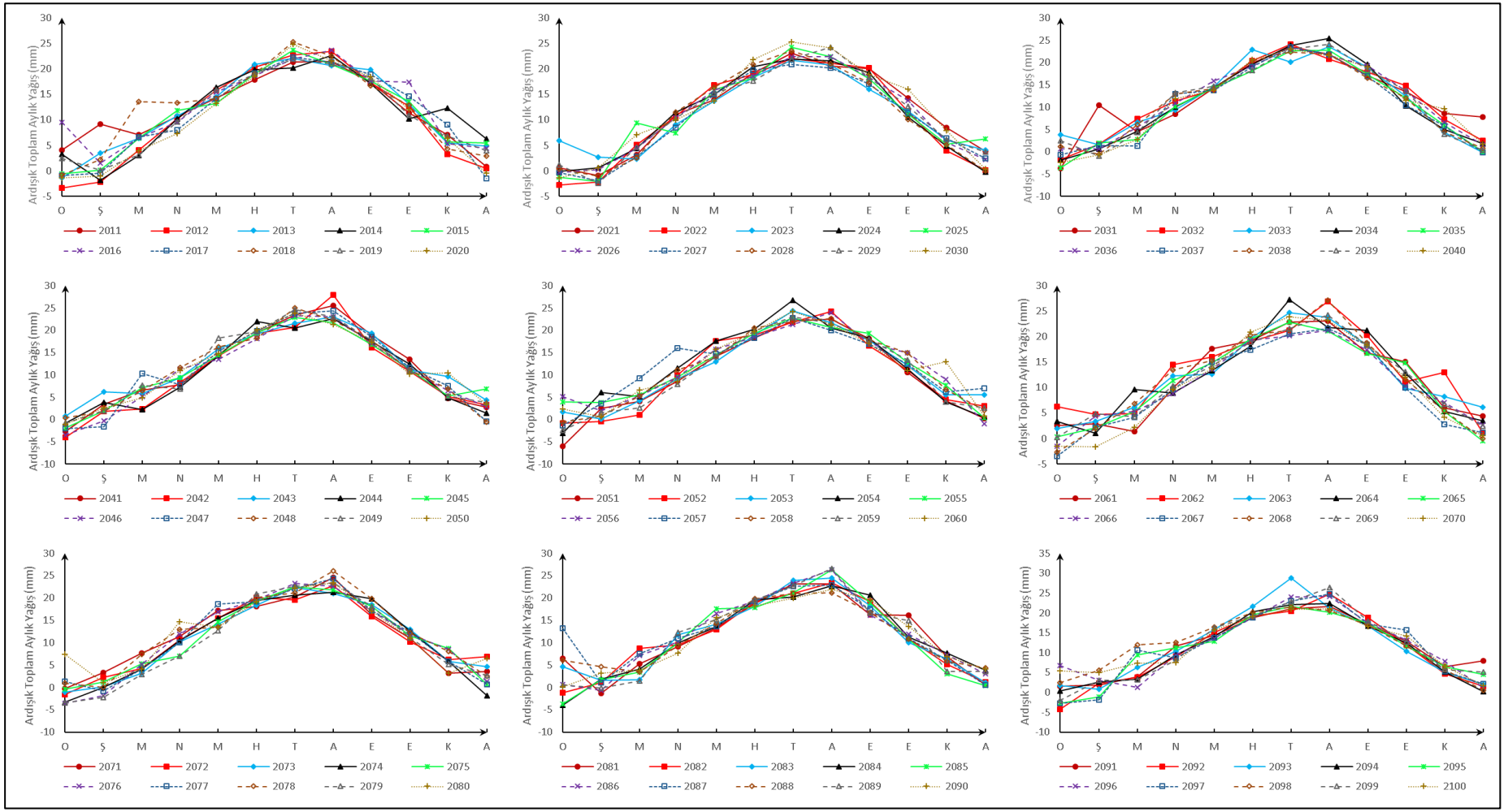
Şekil B.6 : Bolvadin istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).



Şekil B.7: Bolvadin istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).

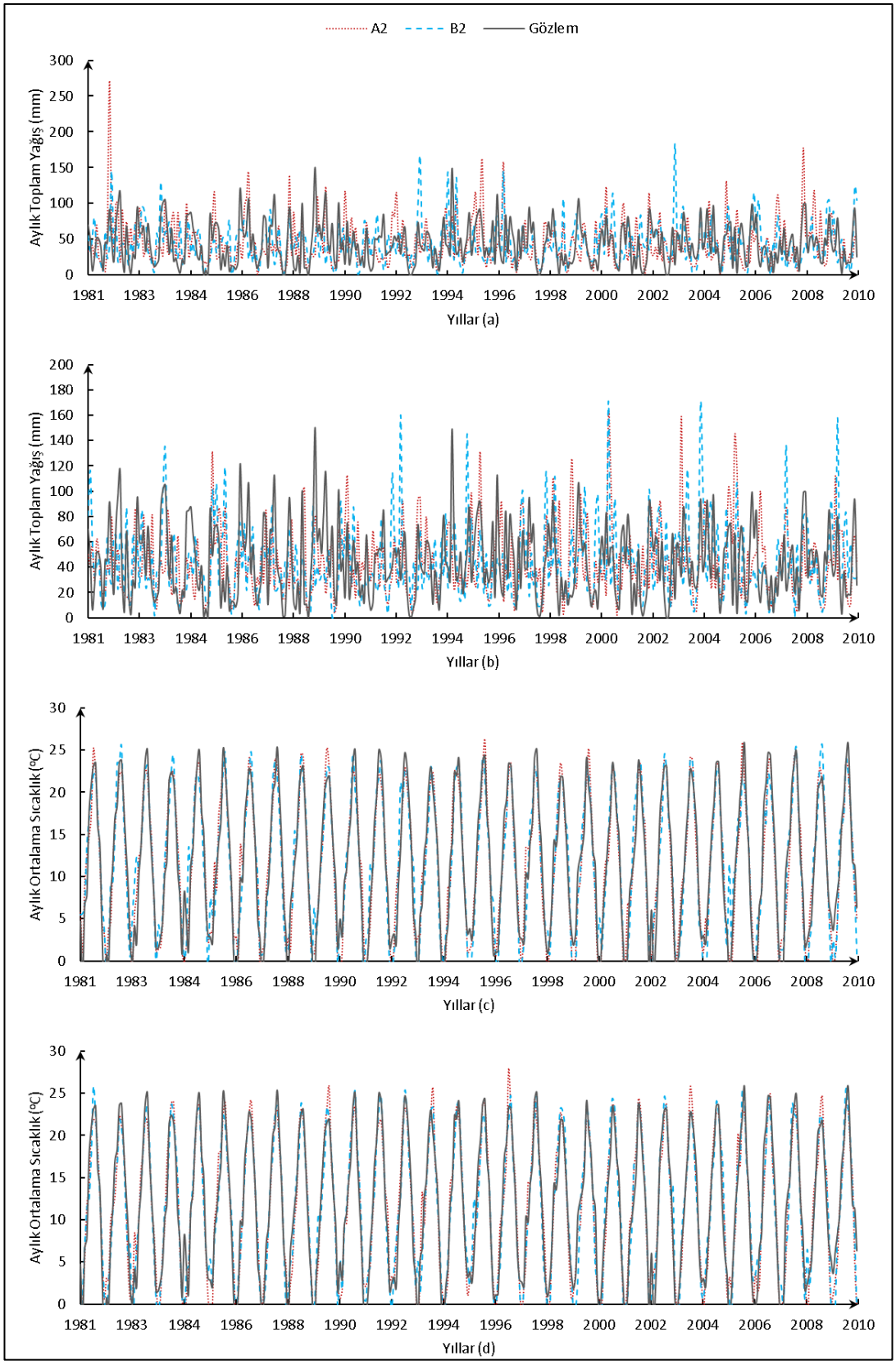


Şekil B.8 : Bolvadin istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).

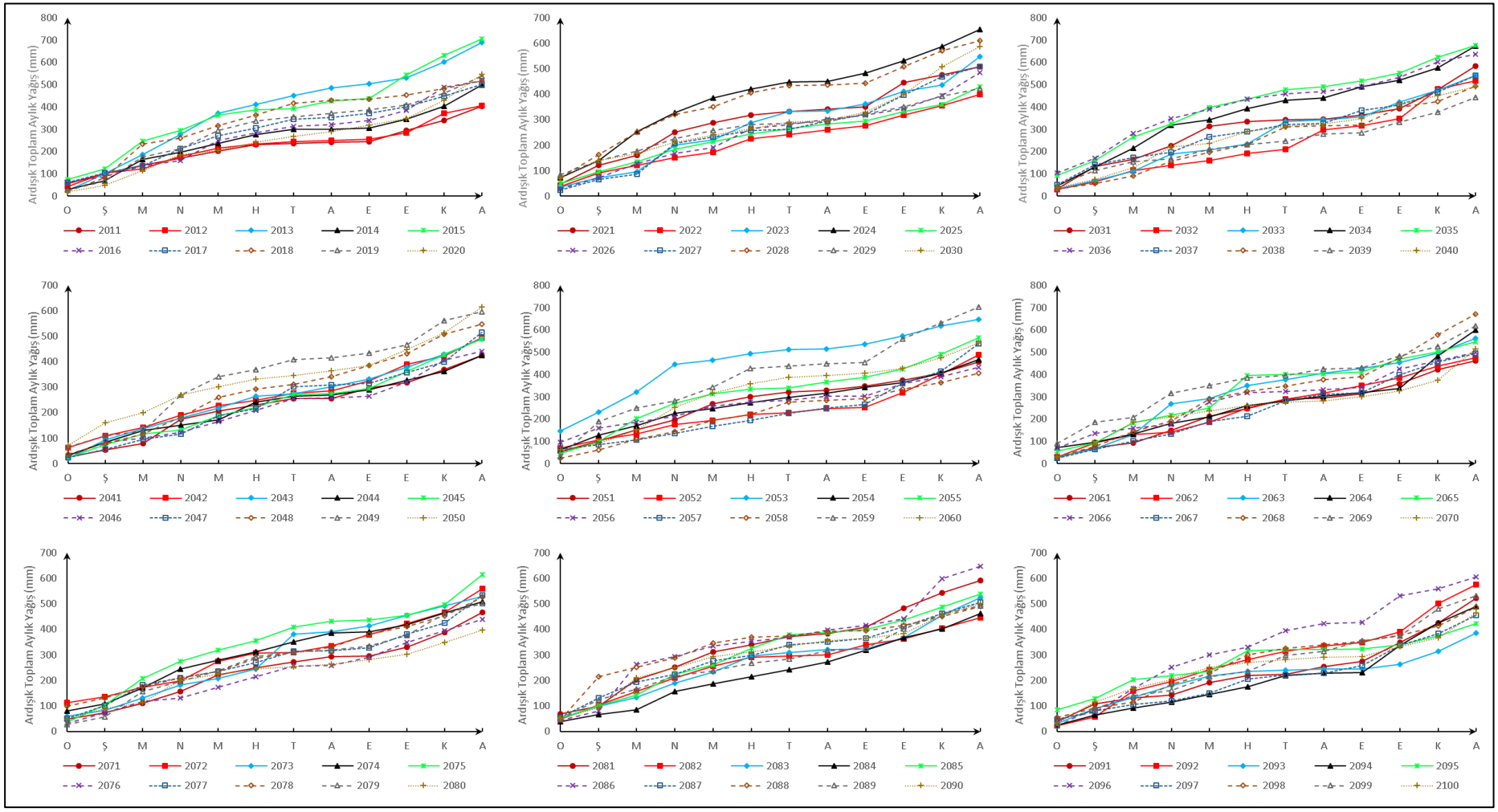


Şekil B.9 : Bolvadin istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).

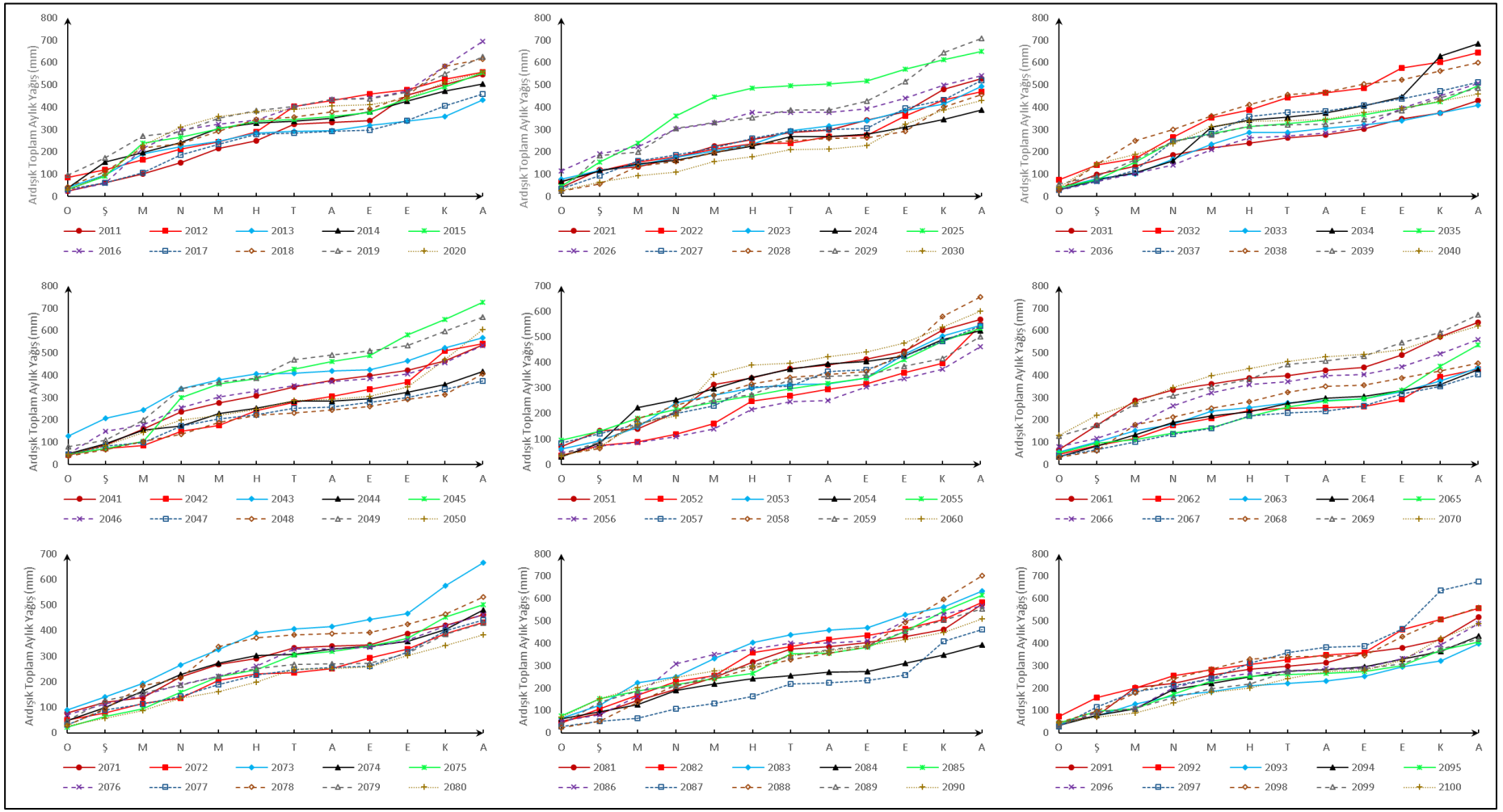
EK C



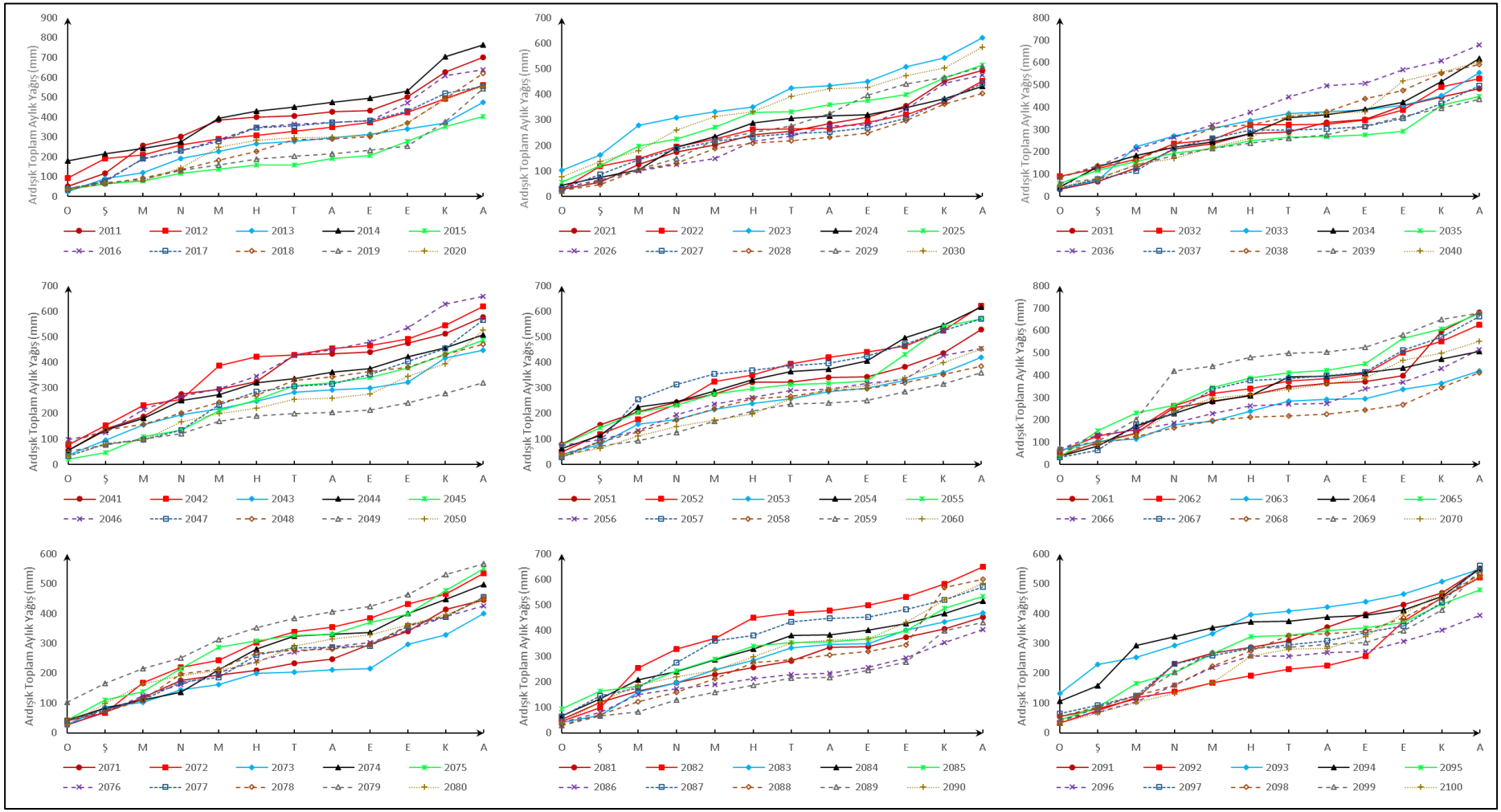
Şekil C.1 : Çay istasyonu gözlem verileri ile tahmin verileri kıyaslanması
a) EH40PYC-Yağış b) HadCM3-Yağış c) EH40PYC-Sıcaklık d) HadCM3-Sıcaklık.



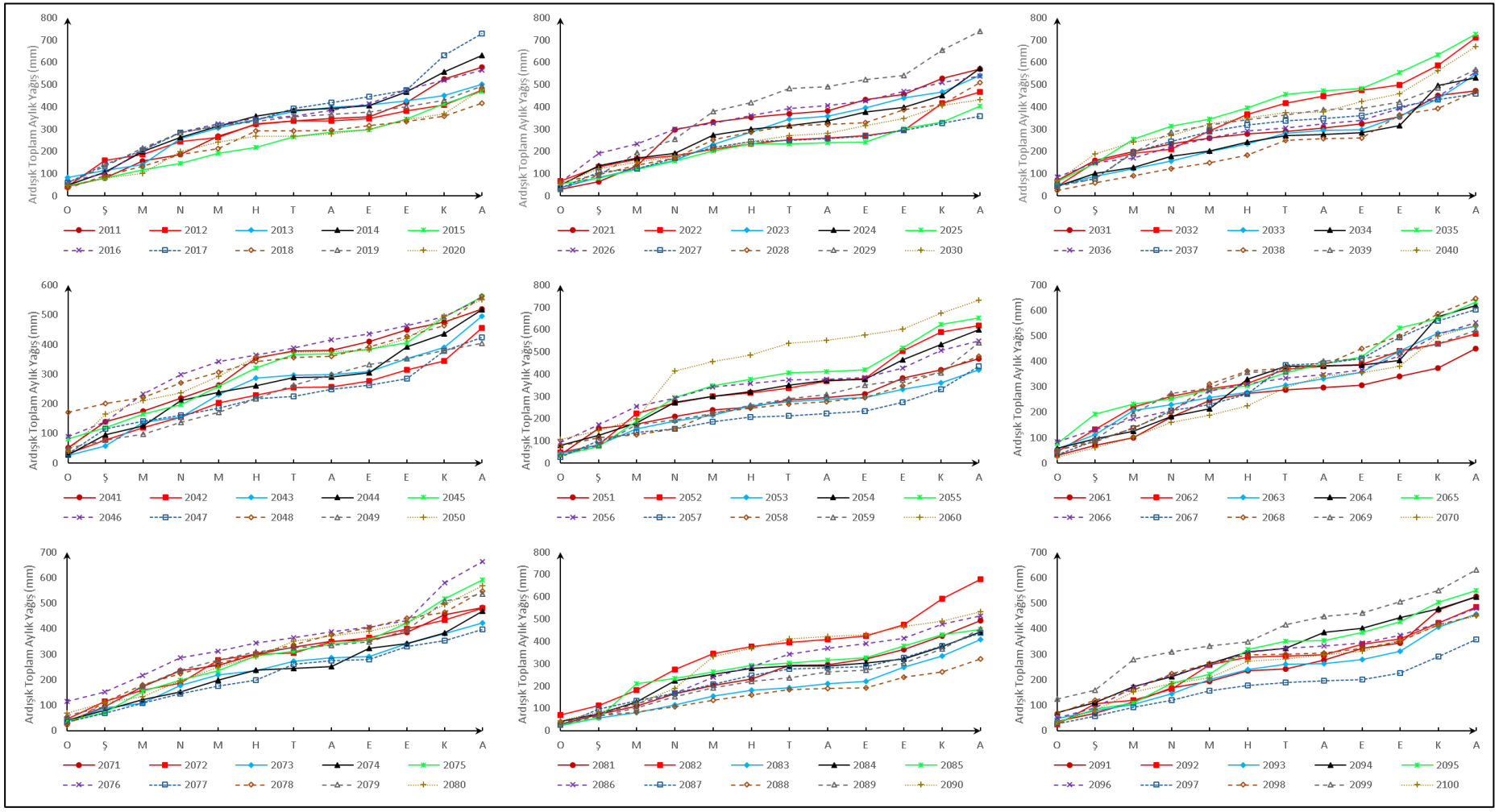
Şekil C.2 : Çay istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



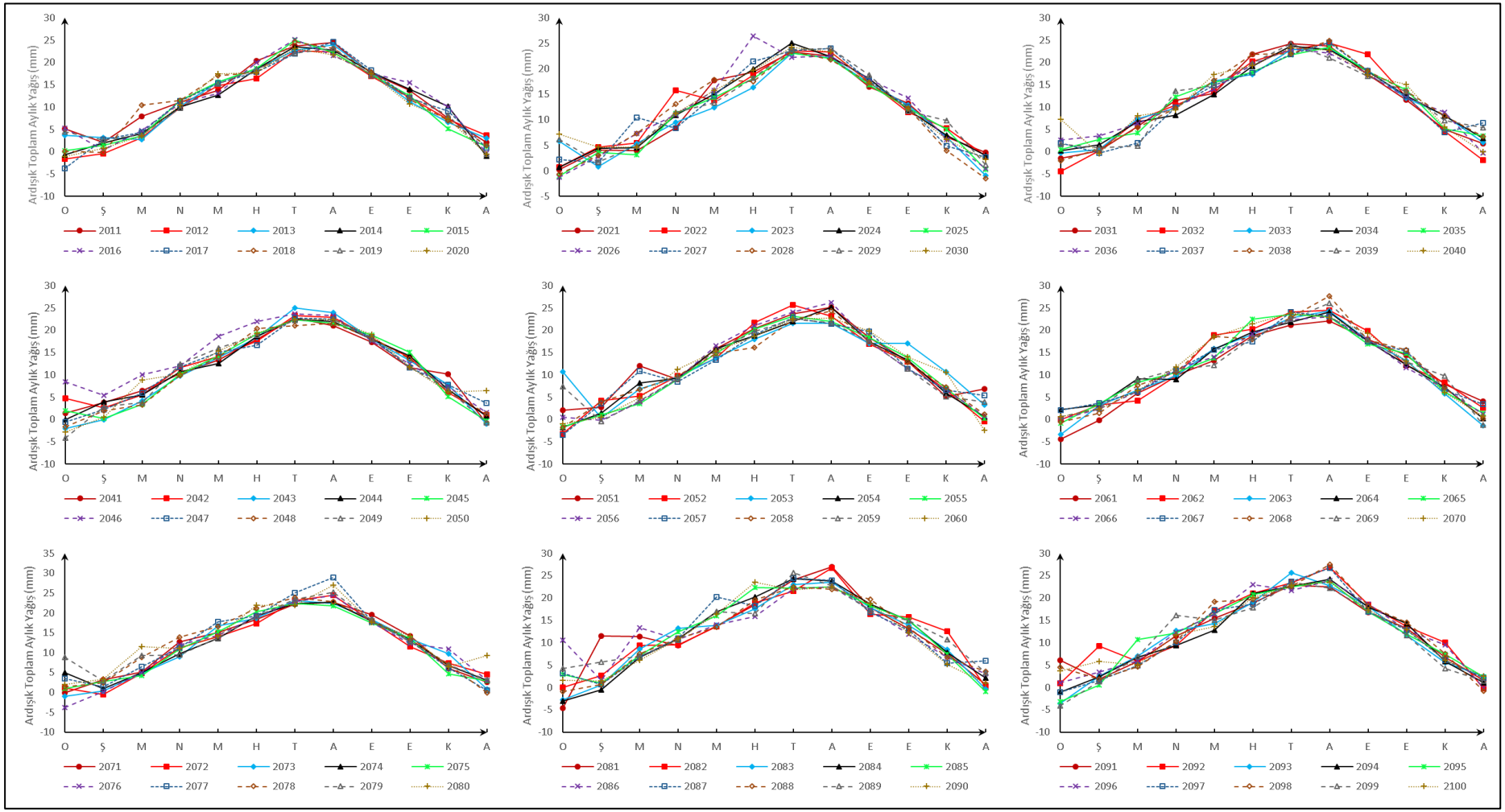
Şekil C.3 : Çay istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



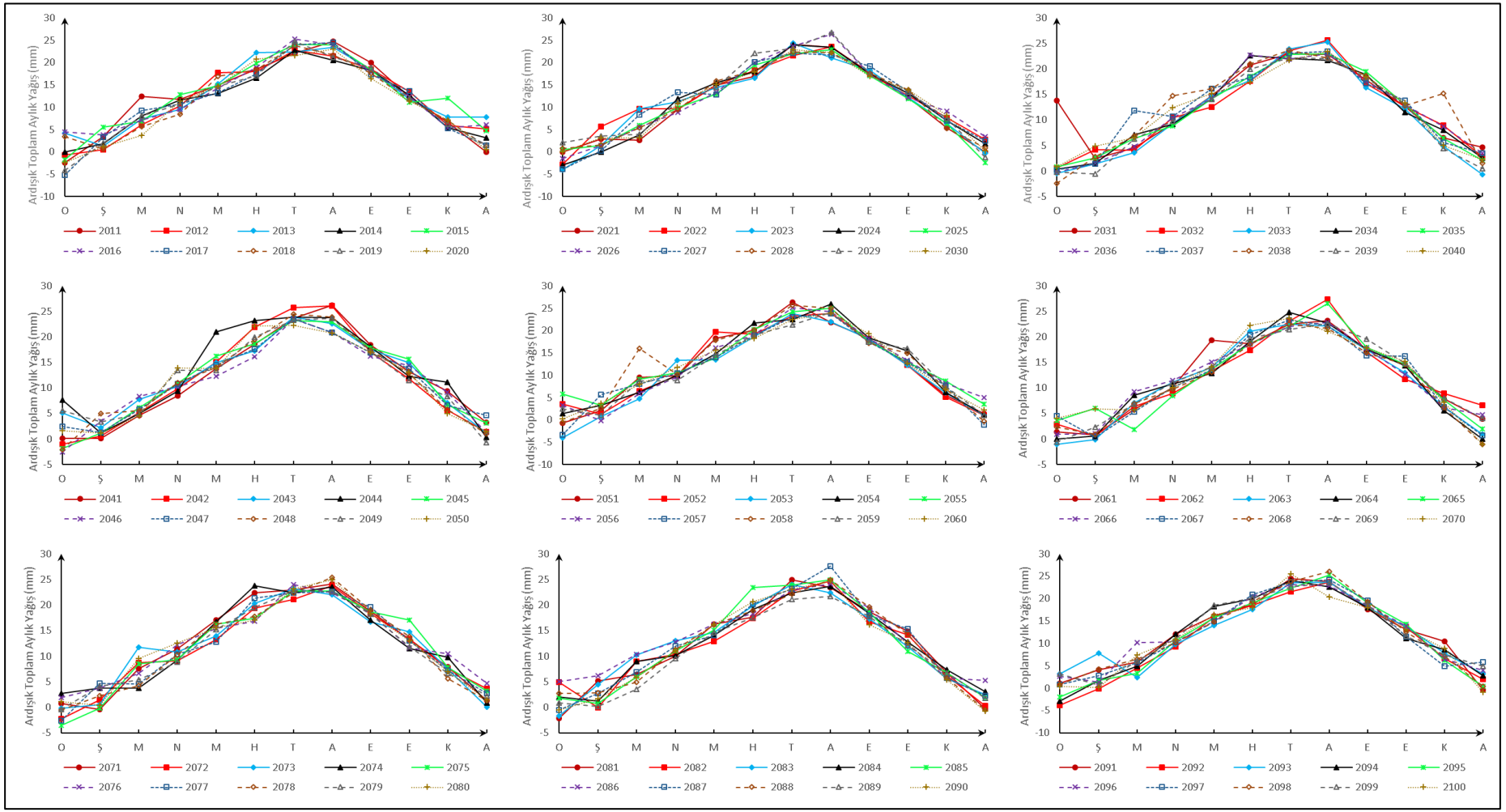
Şekil C.4 : Çay istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



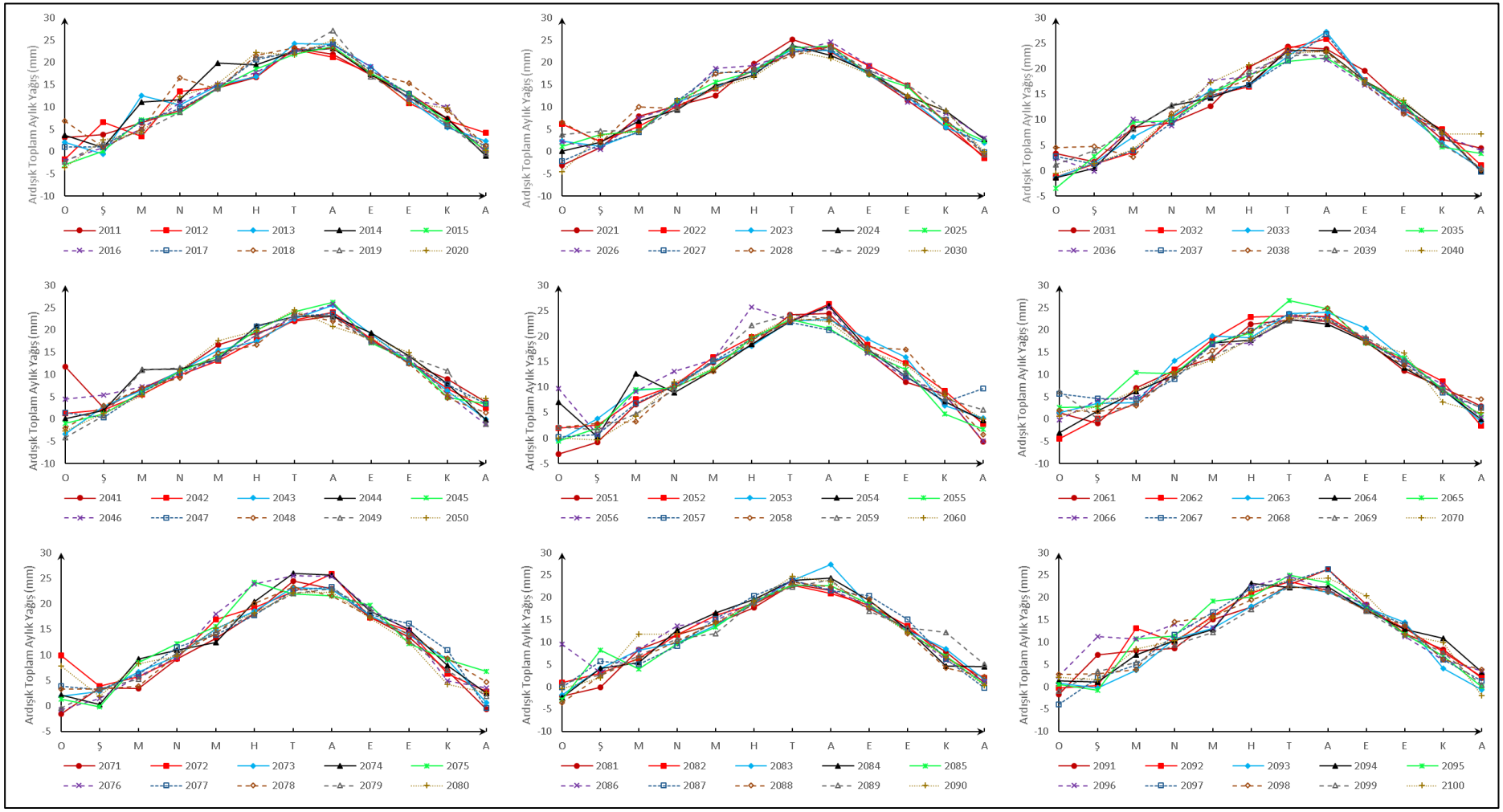
Şekil C.5 : Çay istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



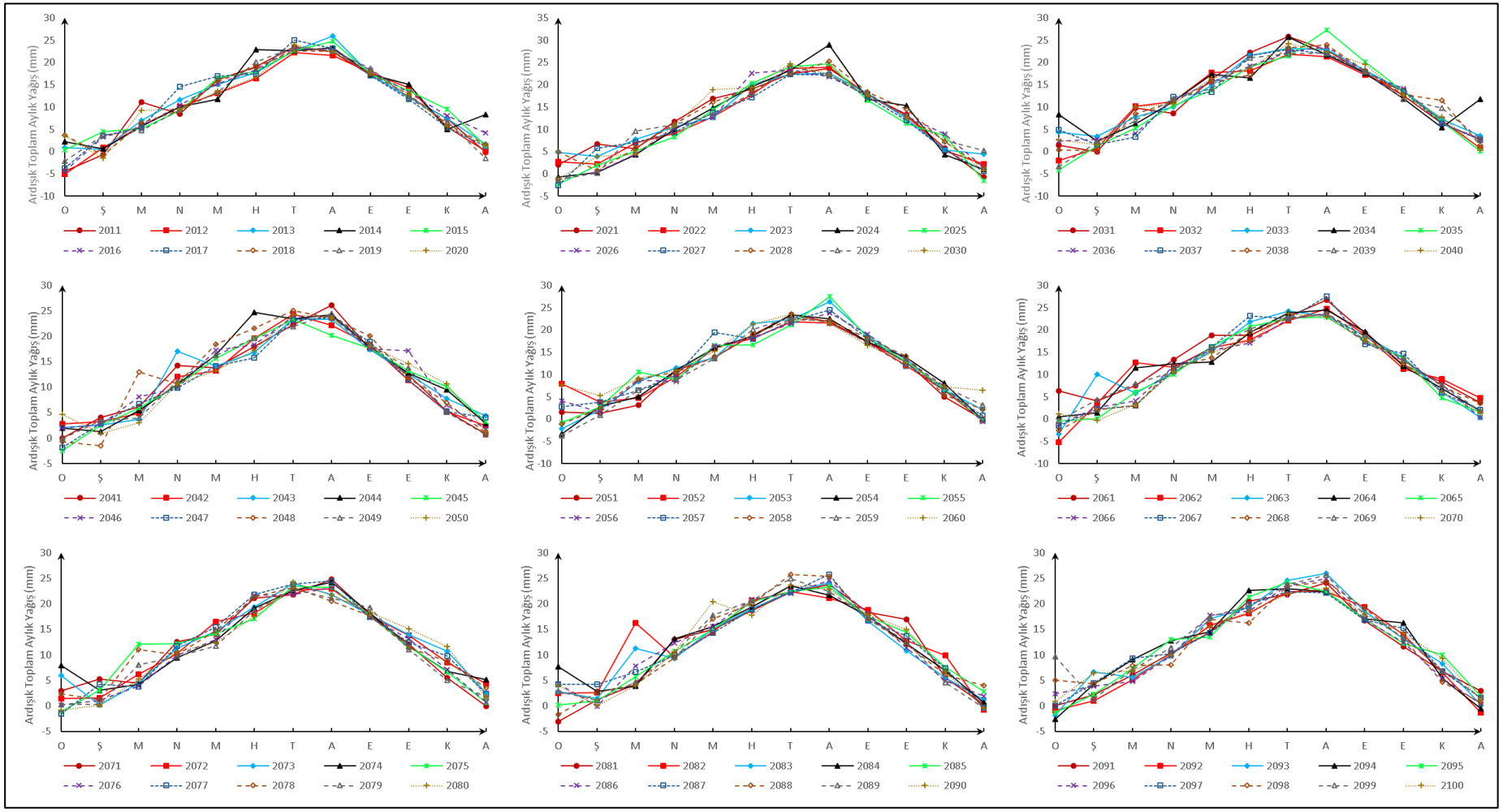
Şekil C.6 : Çay istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).



Şekil C.7 : Çay istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).

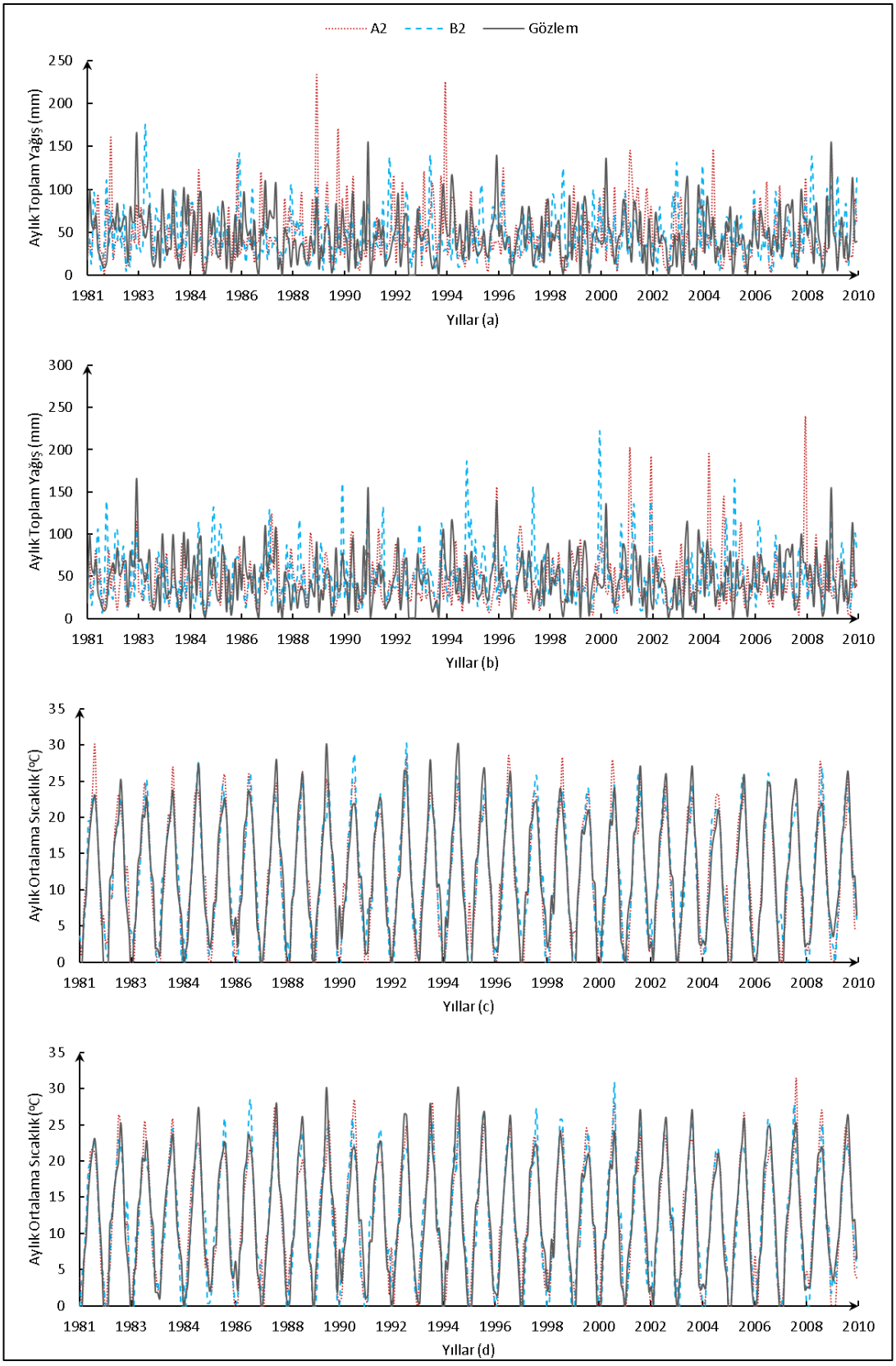


Şekil C.8 : Çay istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).

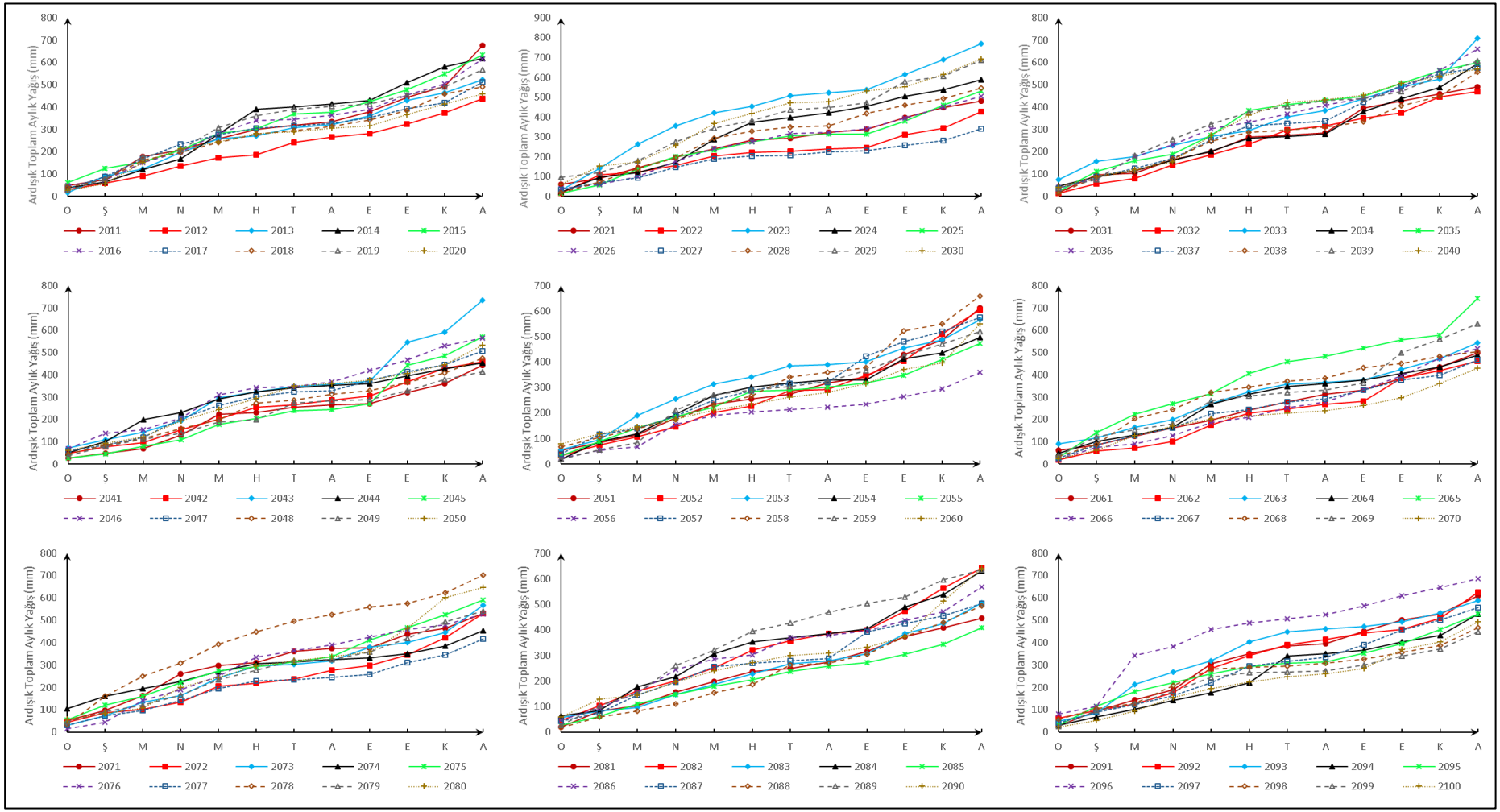


Şekil C.9 : Çay istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).

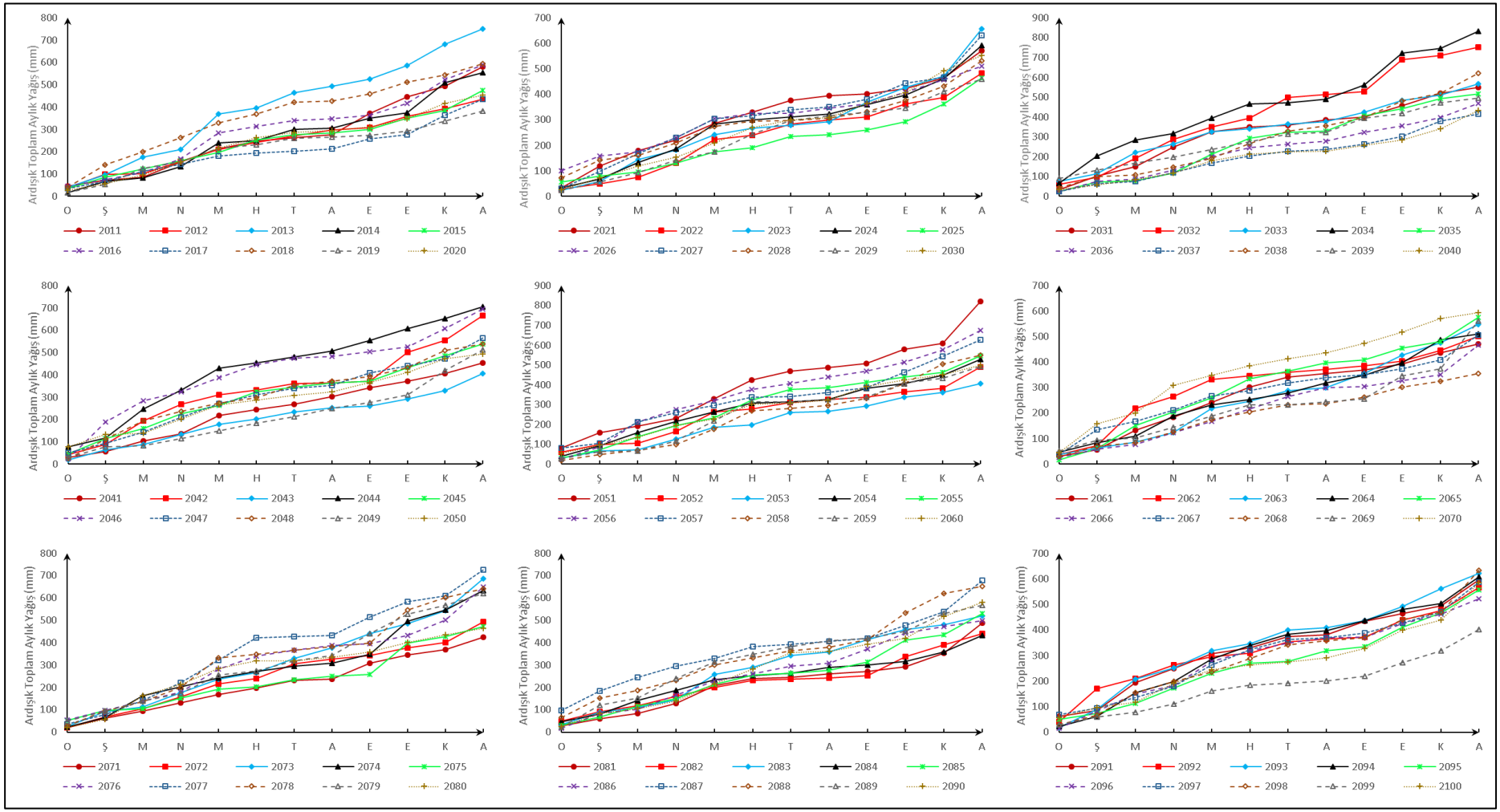
EK D



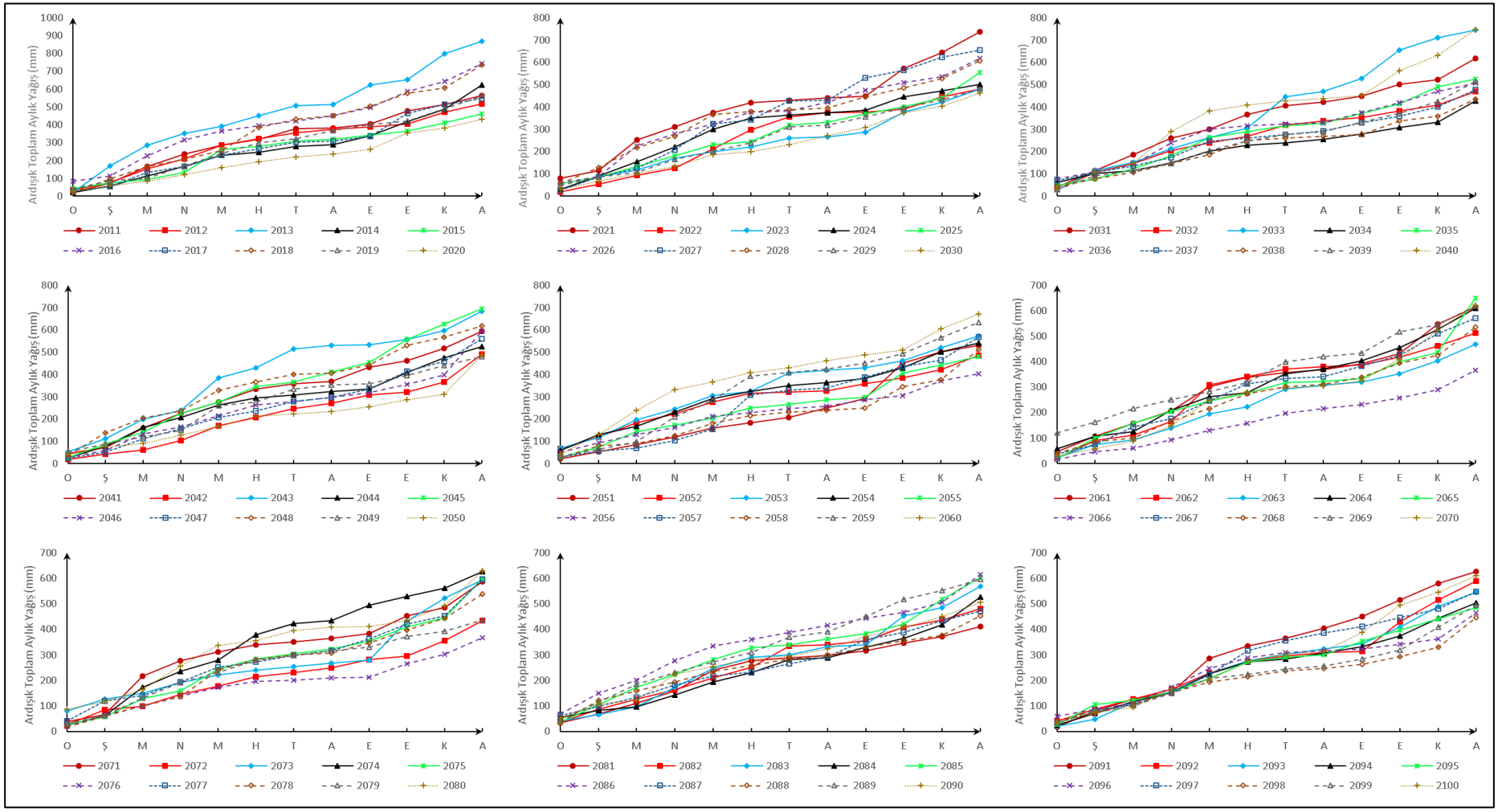
Şekil D.1 : Sultandağı istasyonu gözlem verileri ile tahmin verileri kıyaslanması a) EH40PYC-Yağış b) HadCM3-Yağış c) EH40PYC-Sıcaklık d) HadCM3-Sıcaklık.



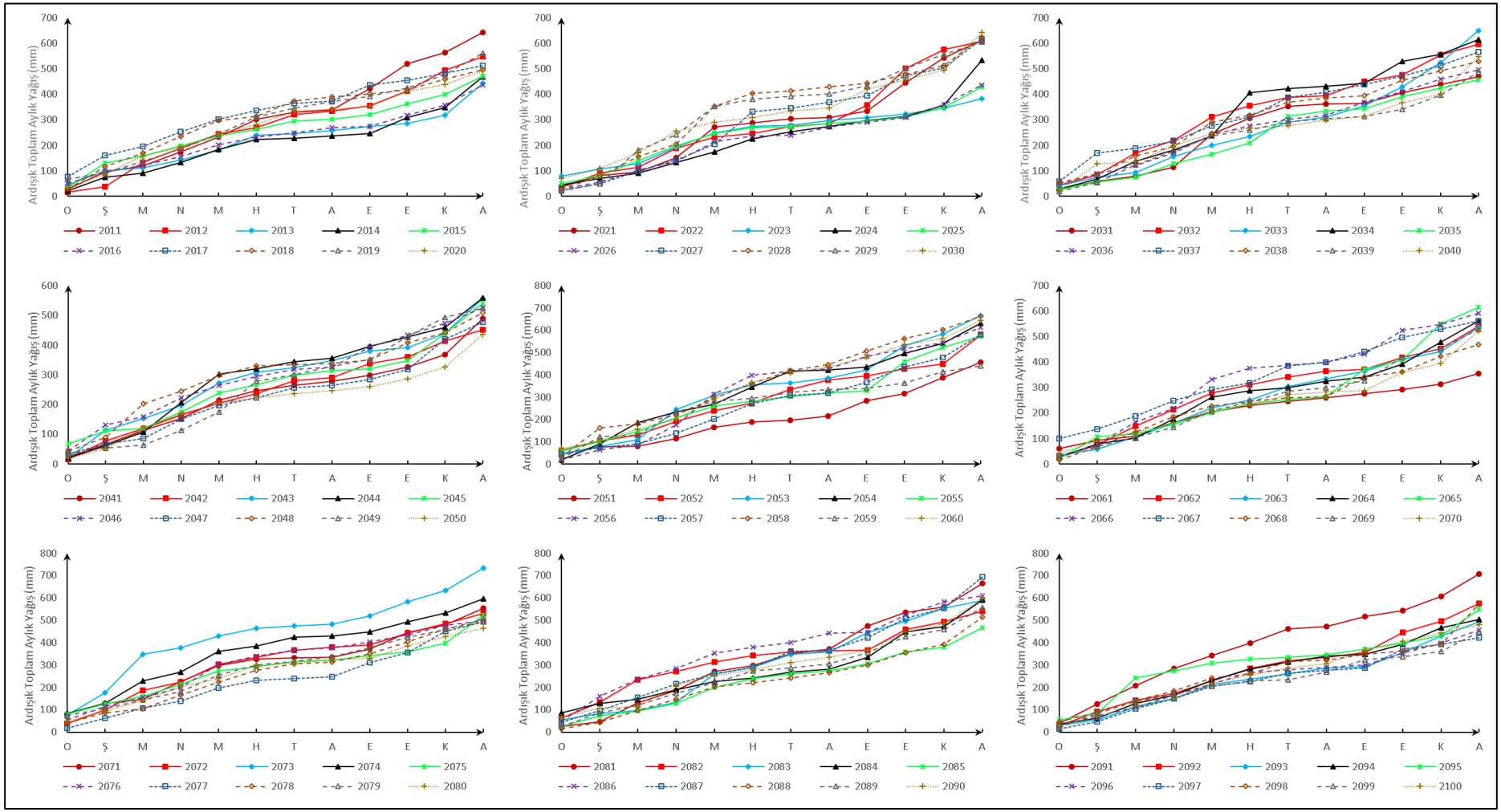
Şekil D.2 : Sultandağı istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



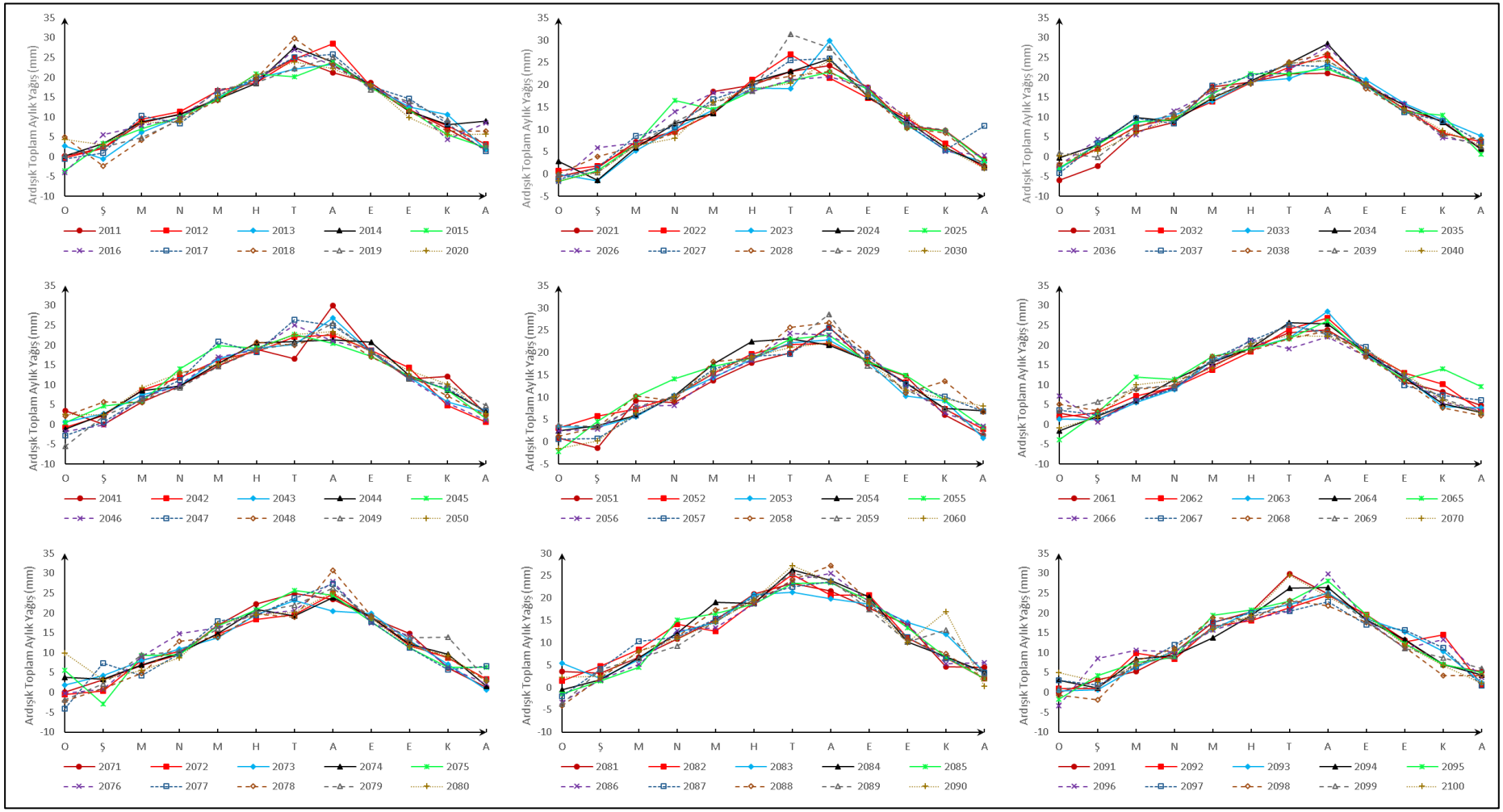
Şekil D.3 : Sultandağı istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



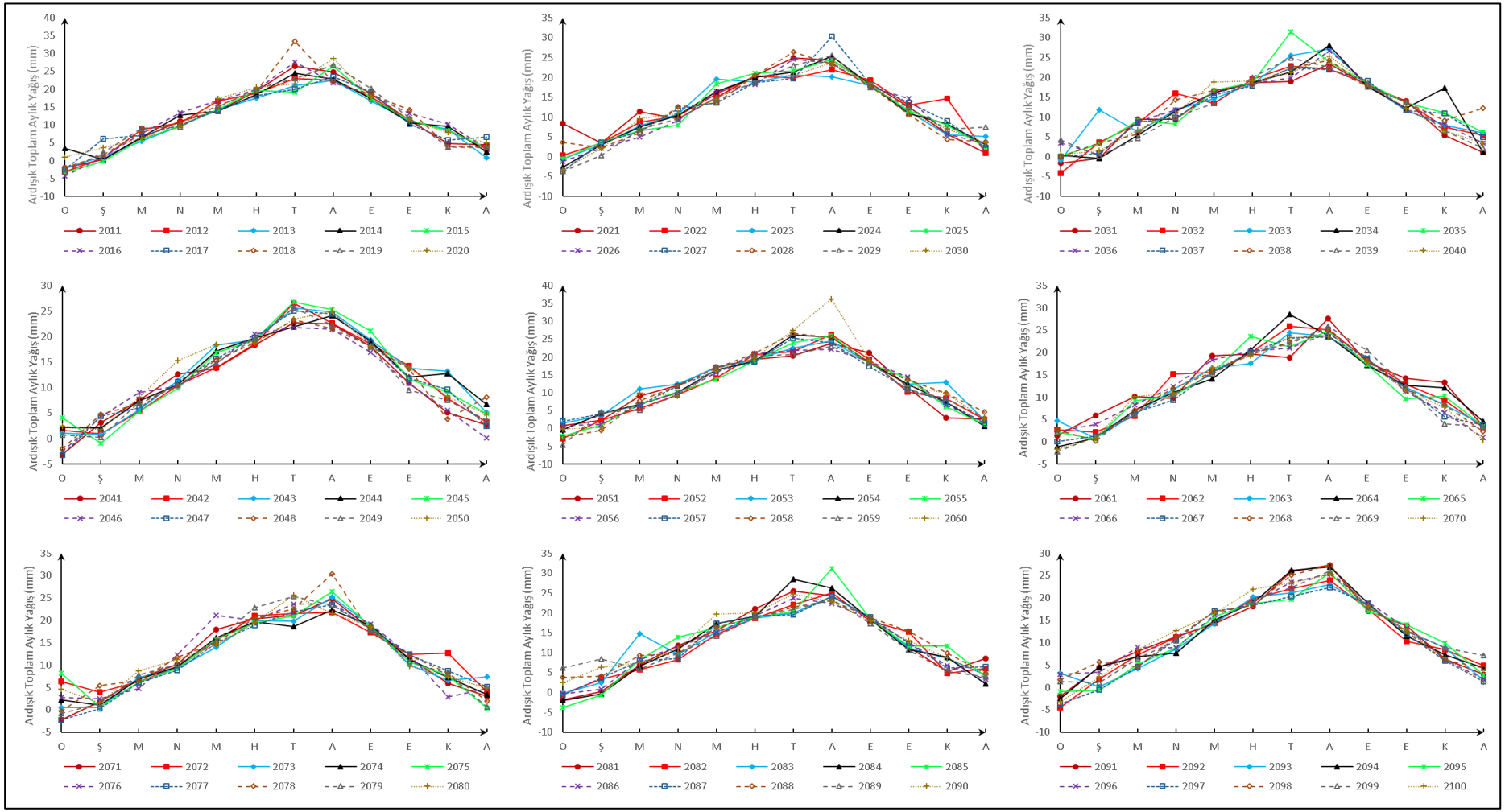
Şekil D.4 : Sultandağı istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



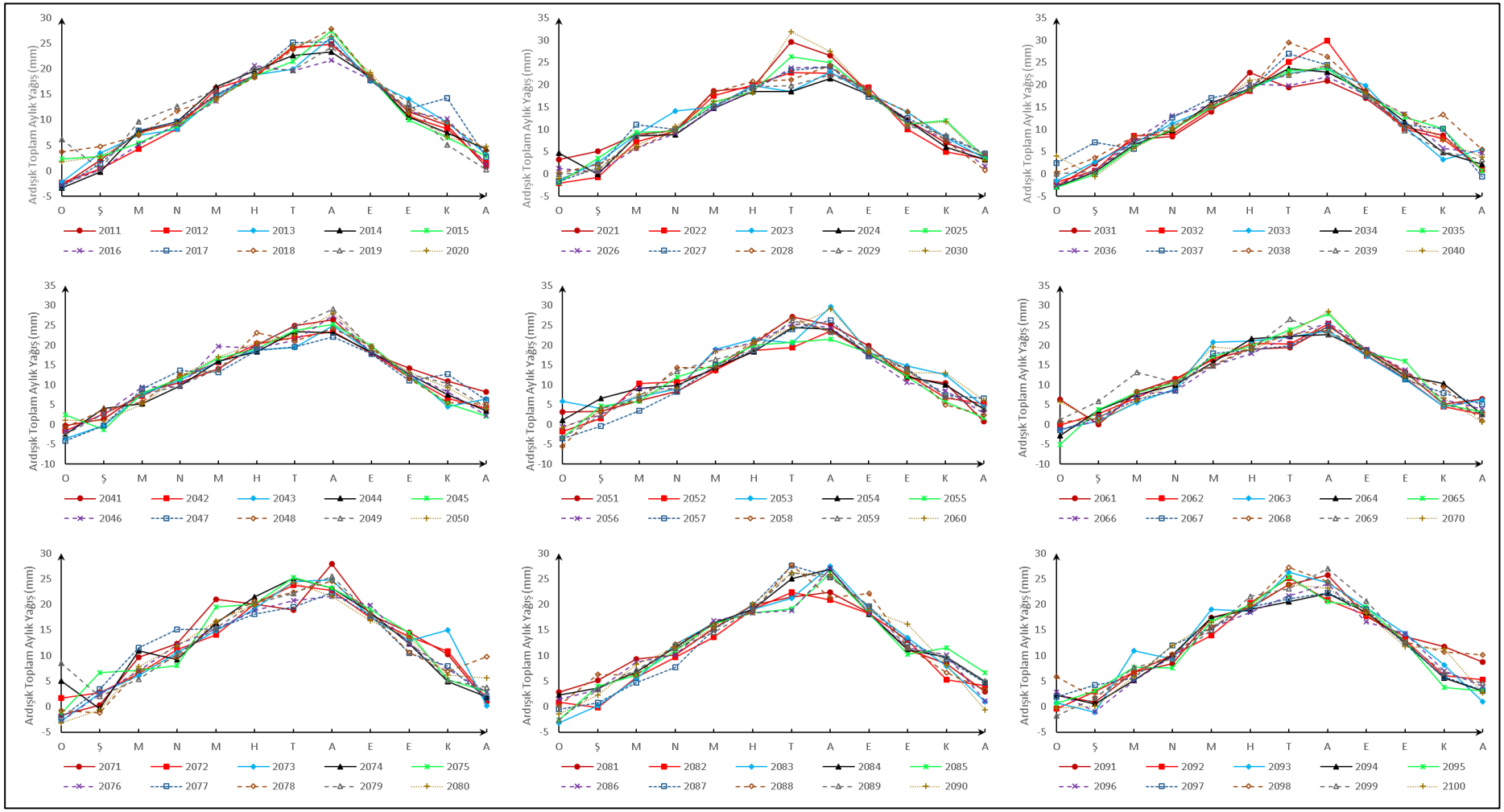
Şekil D.5 : Sultandağı istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



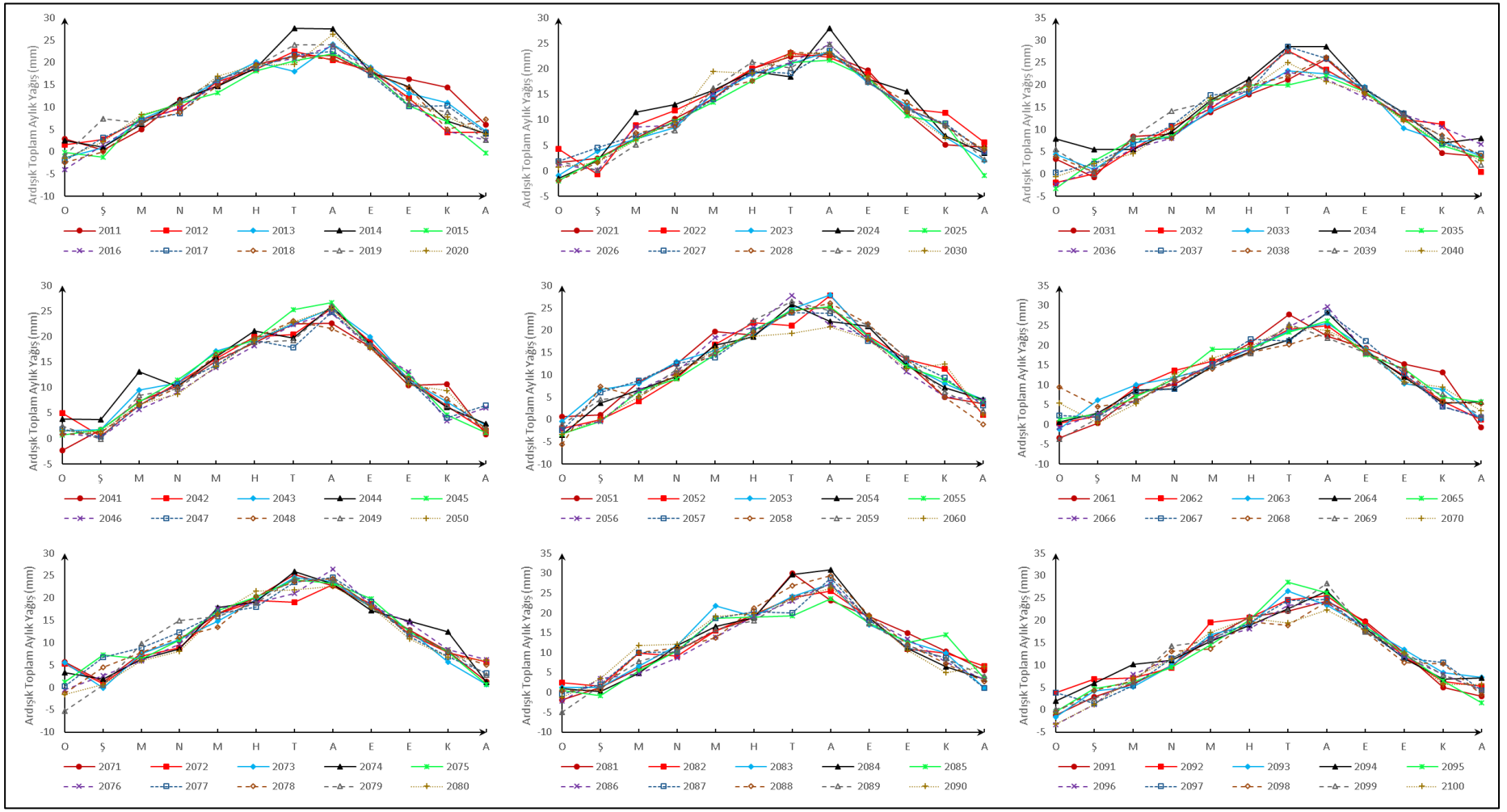
Şekil D.6 : Sultandağı istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).



Şekil D.7 : Sultandağı istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).

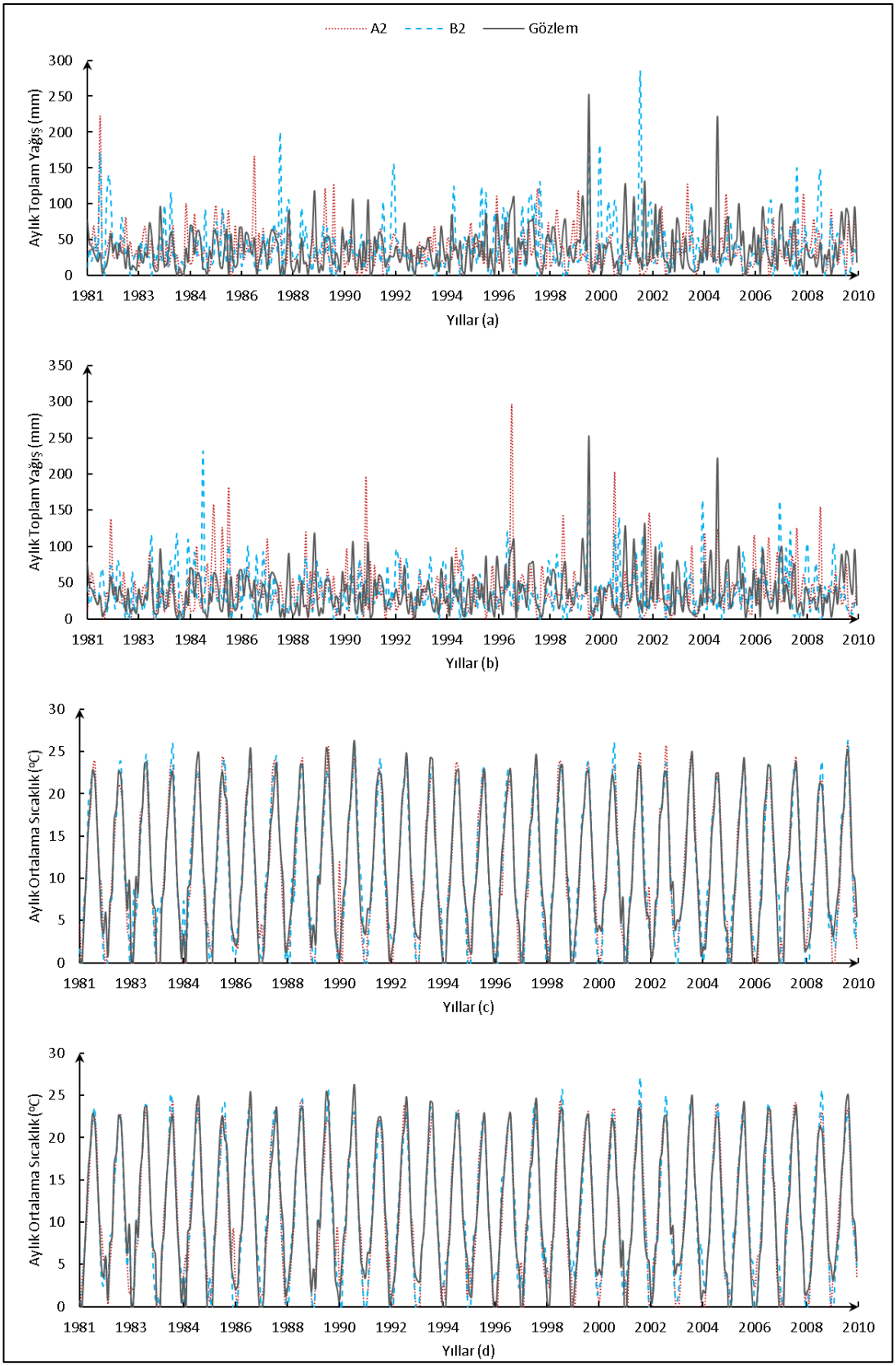


Şekil D.8 : Sultandağı istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).

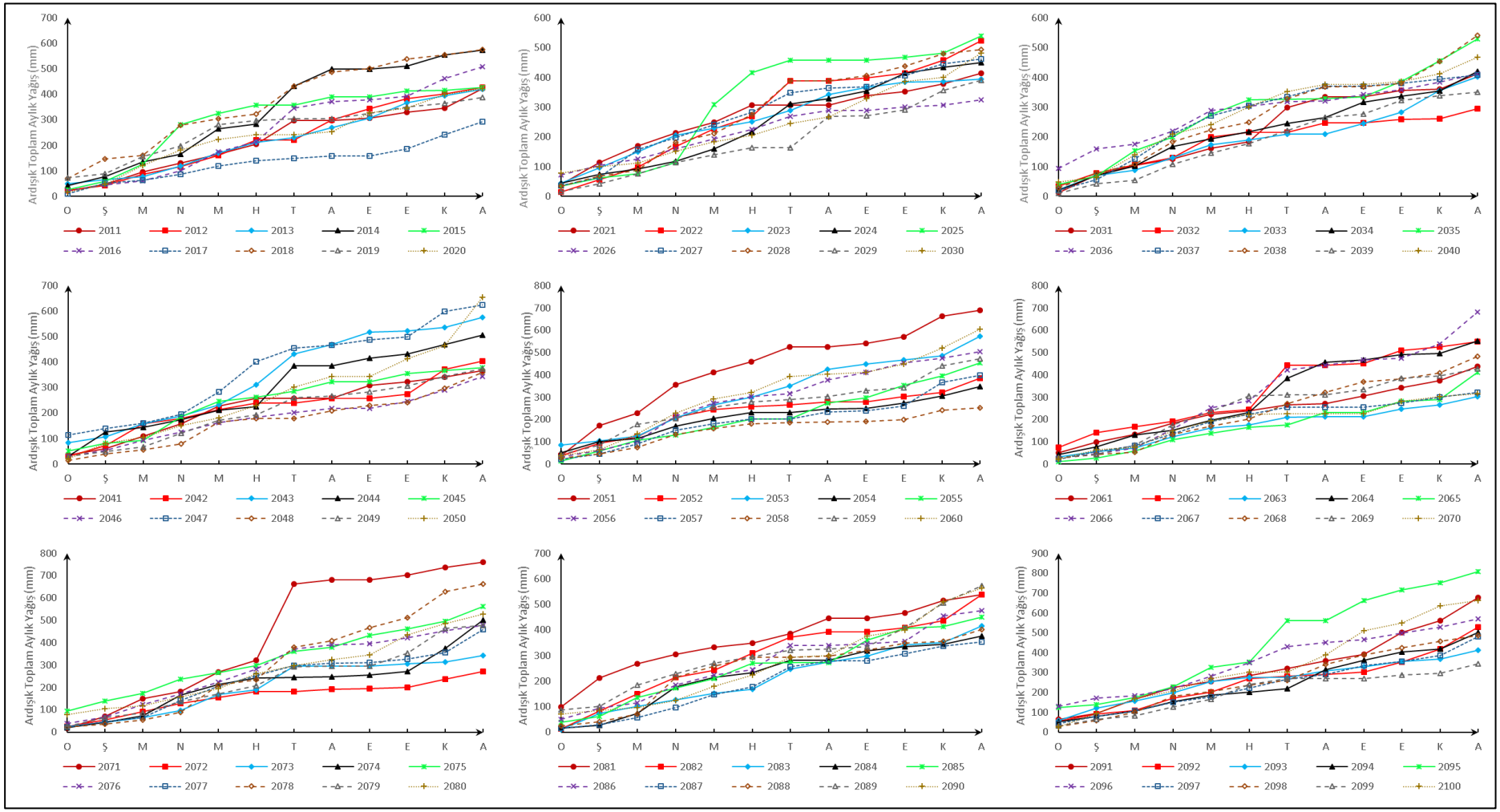


Şekil D.9 : Sultandağı istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).

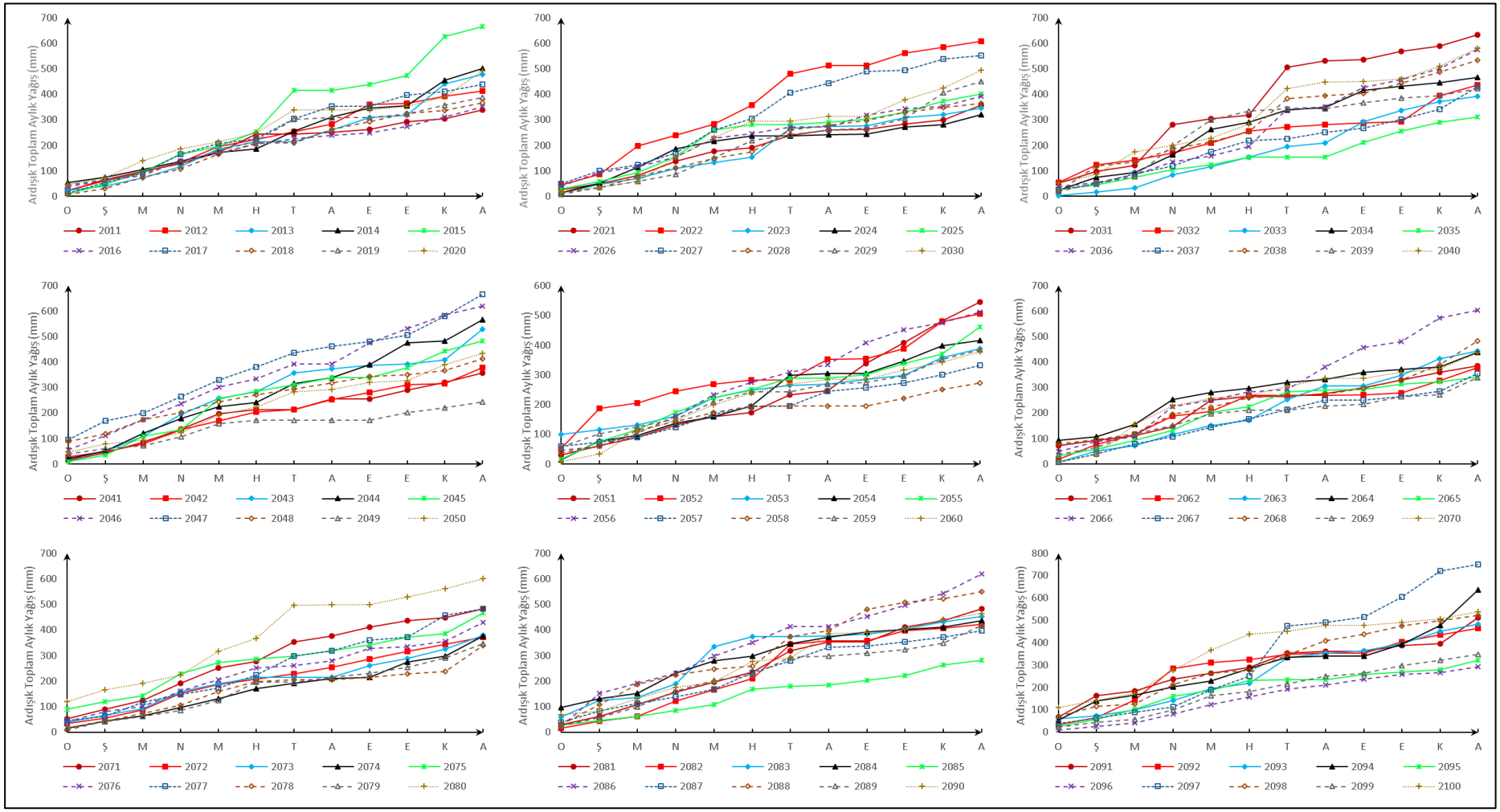
EK E



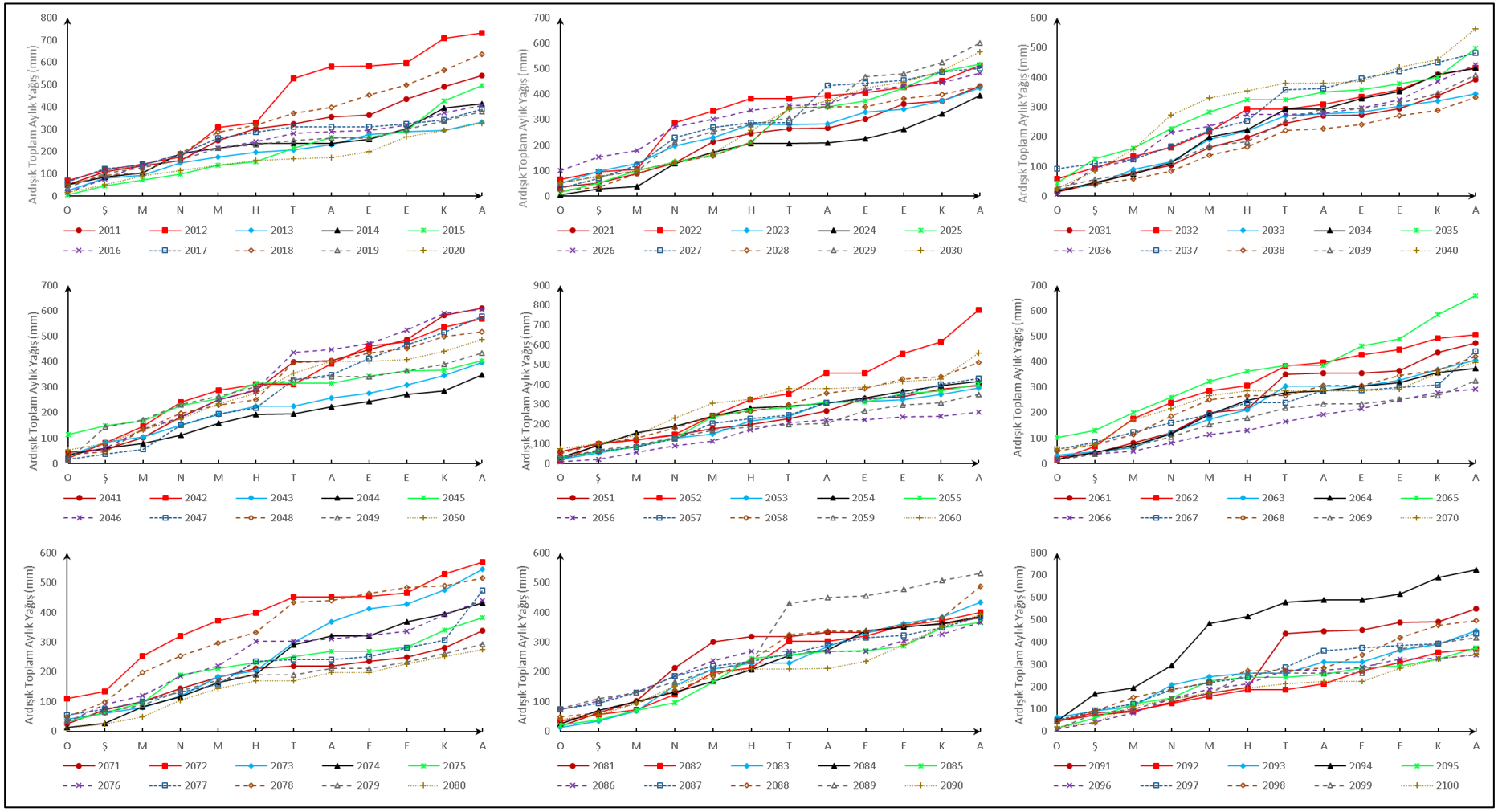
Şekil E.1 : Şuhut istasyonu gözlem verileri ile tahmin verileri kıyaslanması
a) EH40PYC-Yağış b) HadCM3-Yağış c) EH40PYC-Sıcaklık d) HadCM3-Sıcaklık.



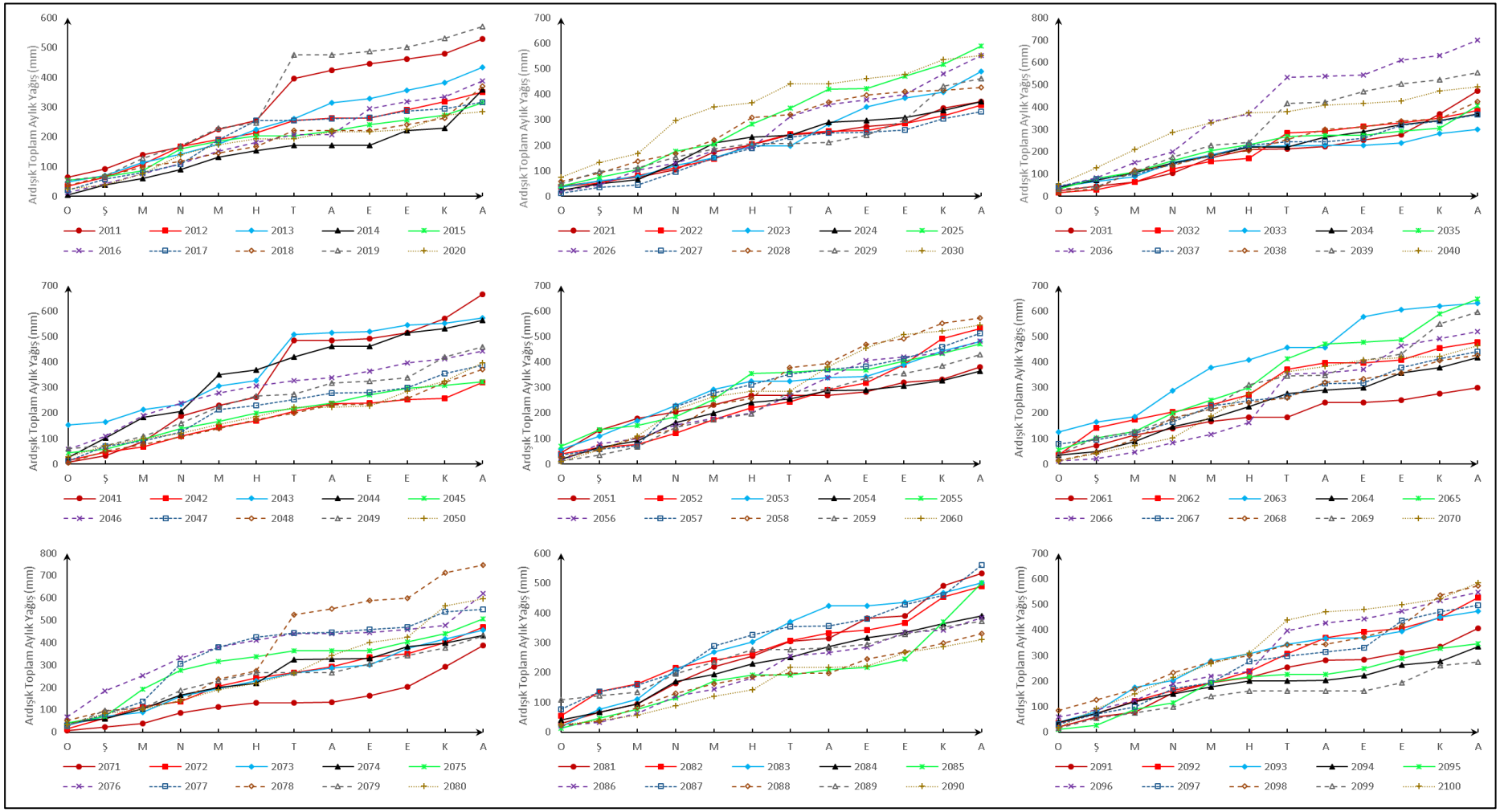
Şekil E.2 : Şuhut istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



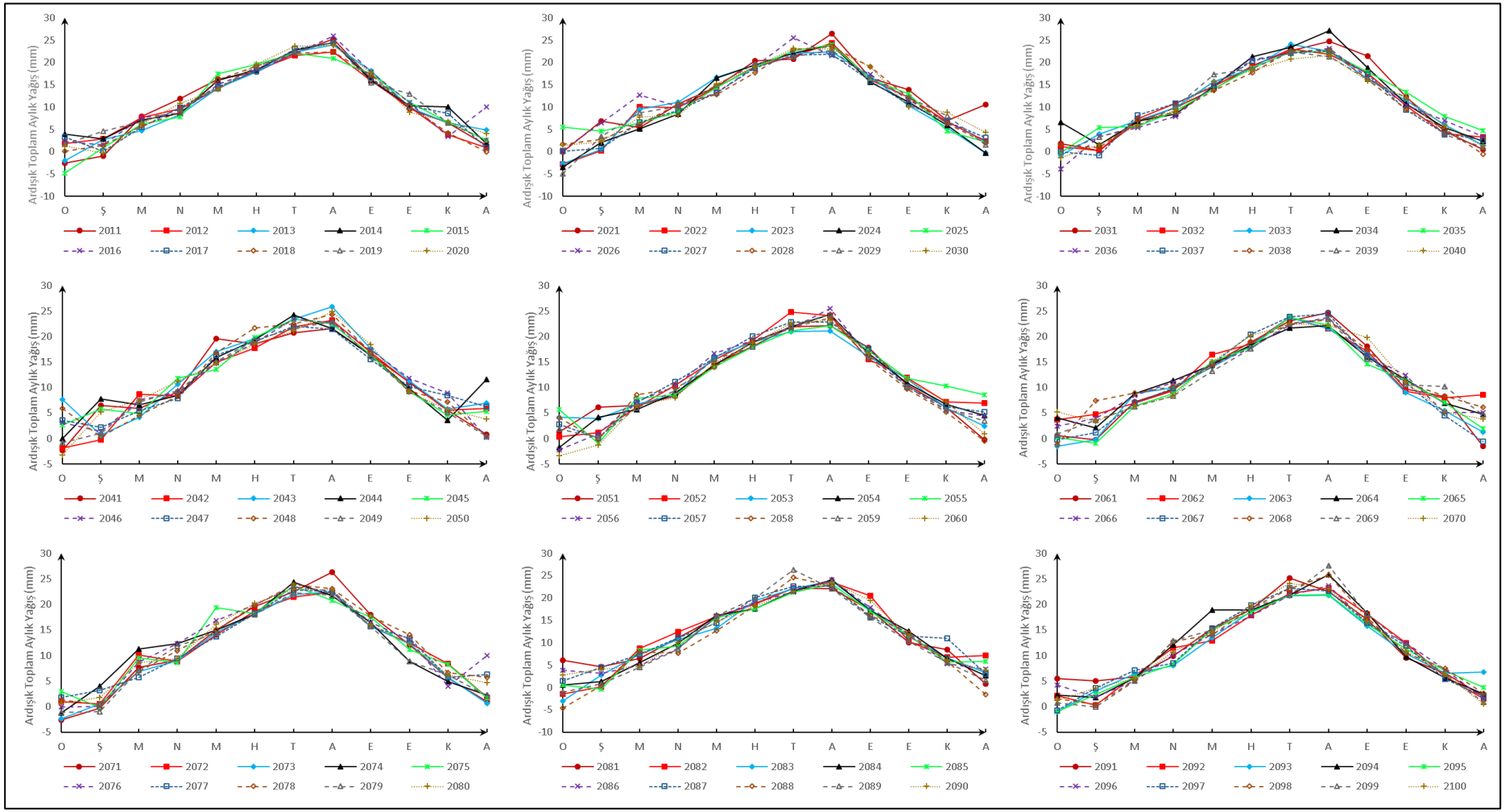
Şekil E.3 : Şuhut istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



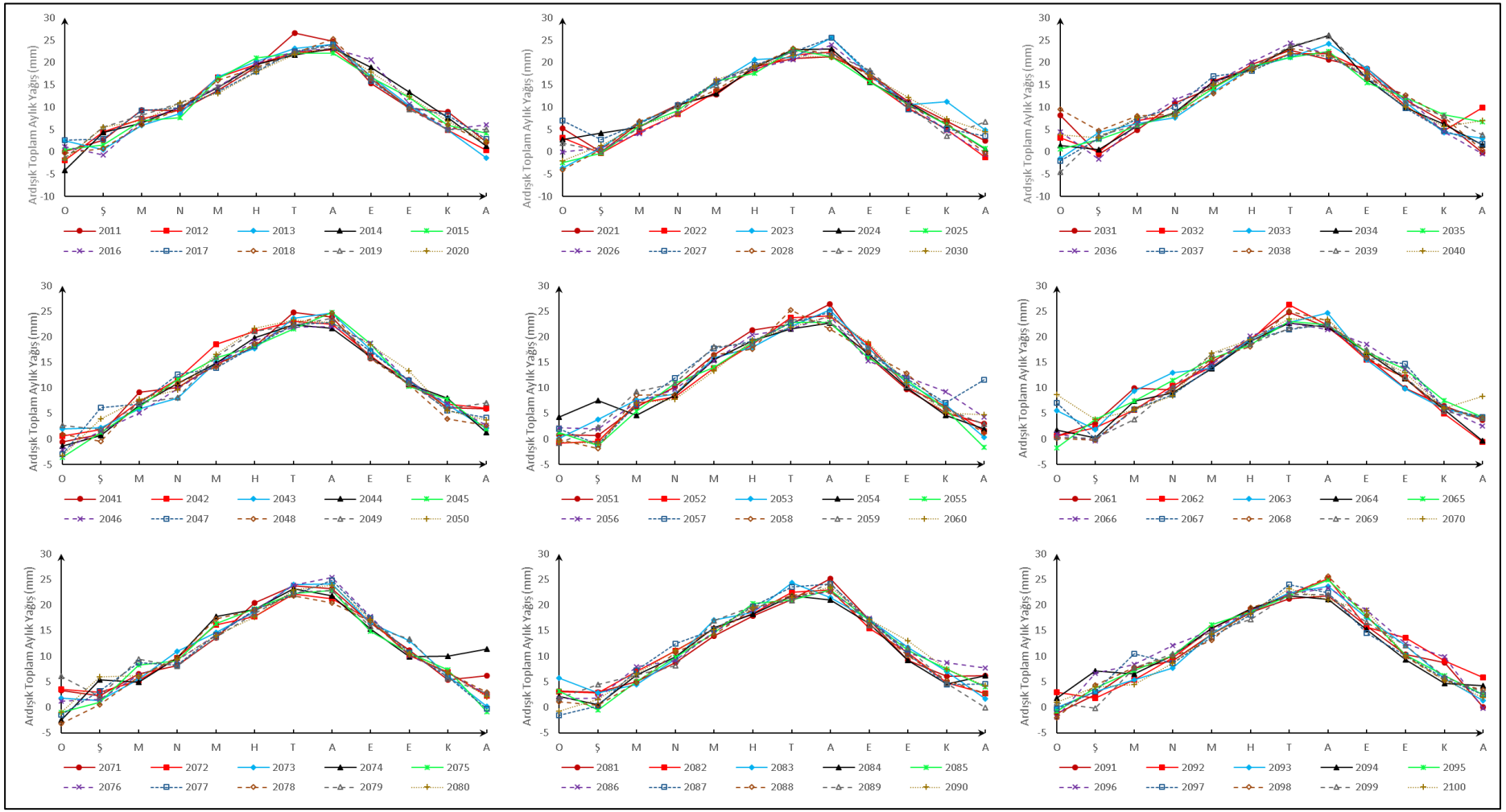
Şekil E.4 : Şuhut istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



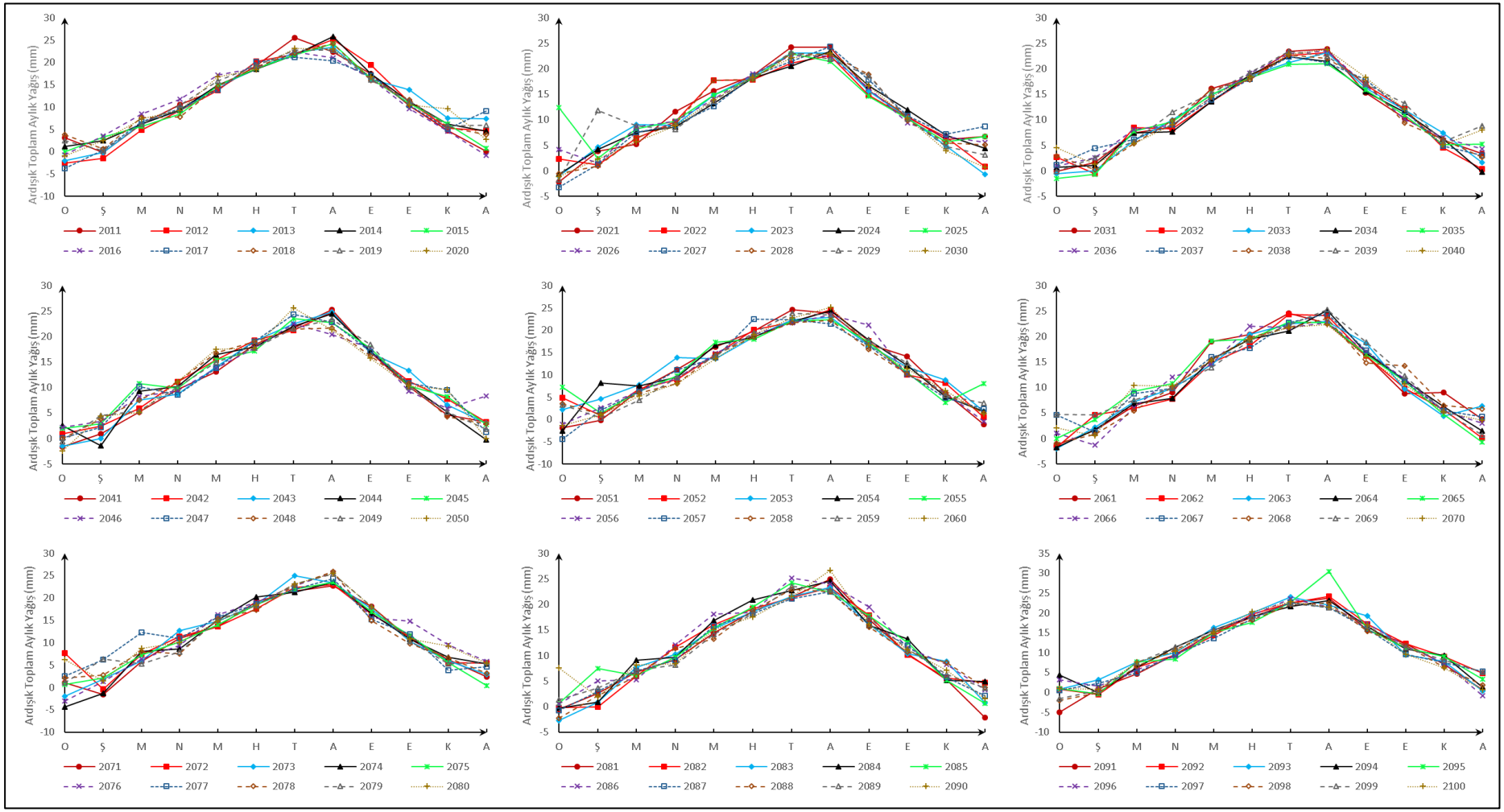
Şekil E.5 : Şuhut istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



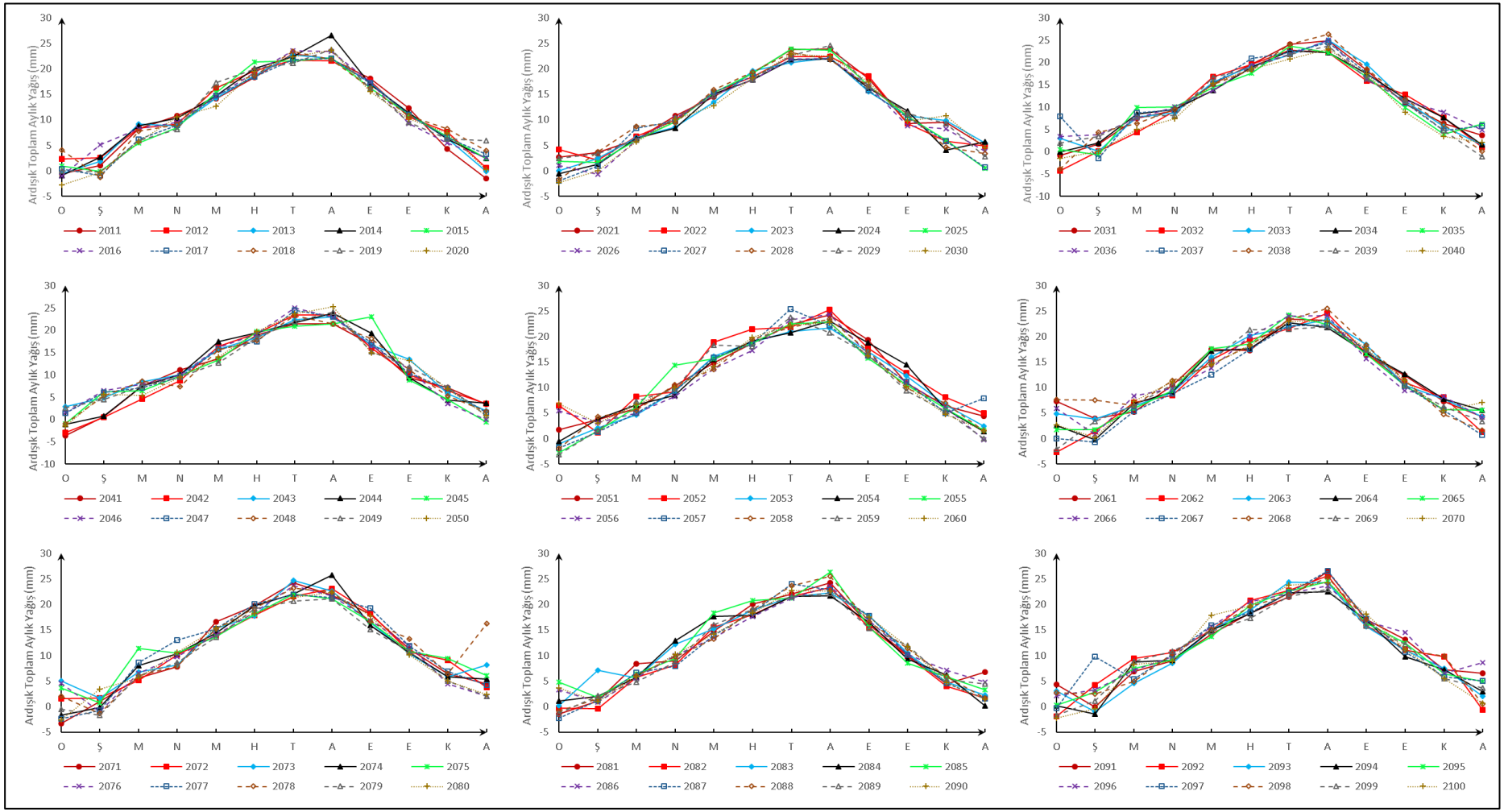
Şekil E.6 : Şuhut istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).



Şekil E.7 : Şuhut istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).

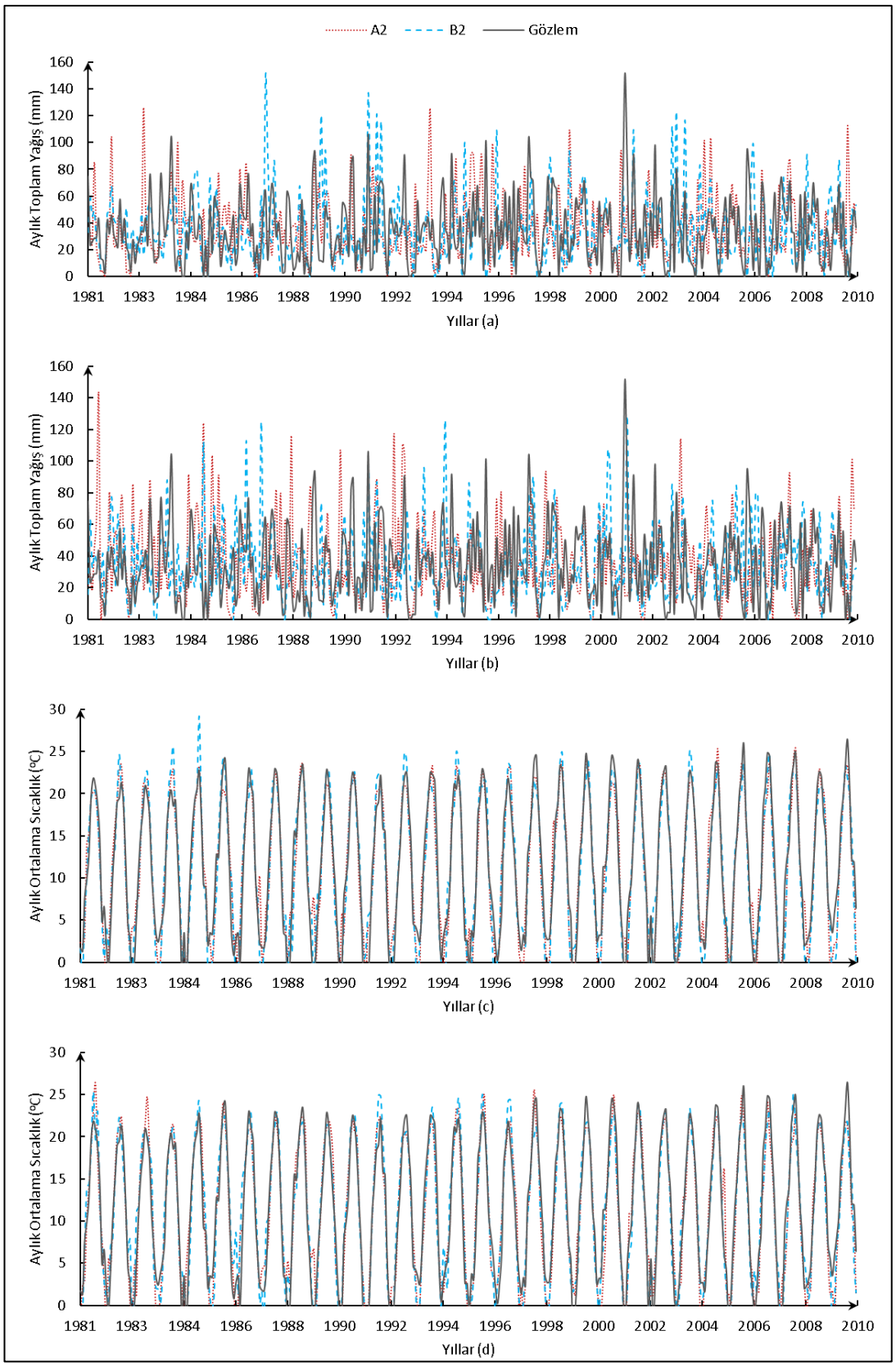


Şekil E.8 : Şuhut istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).

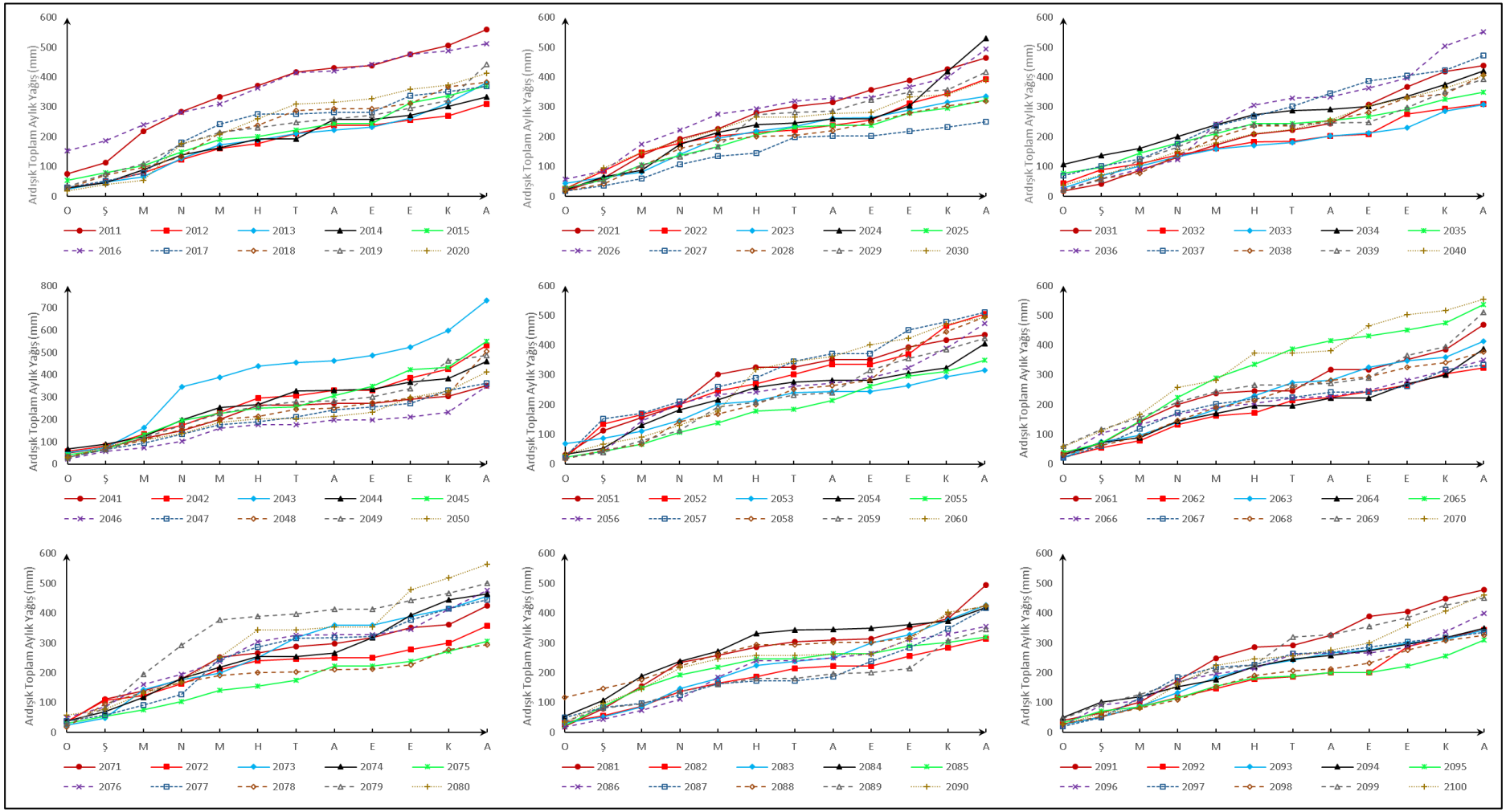


Şekil E.9 : Şuhut istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık sıcaklık tahminleri (2011-2100).

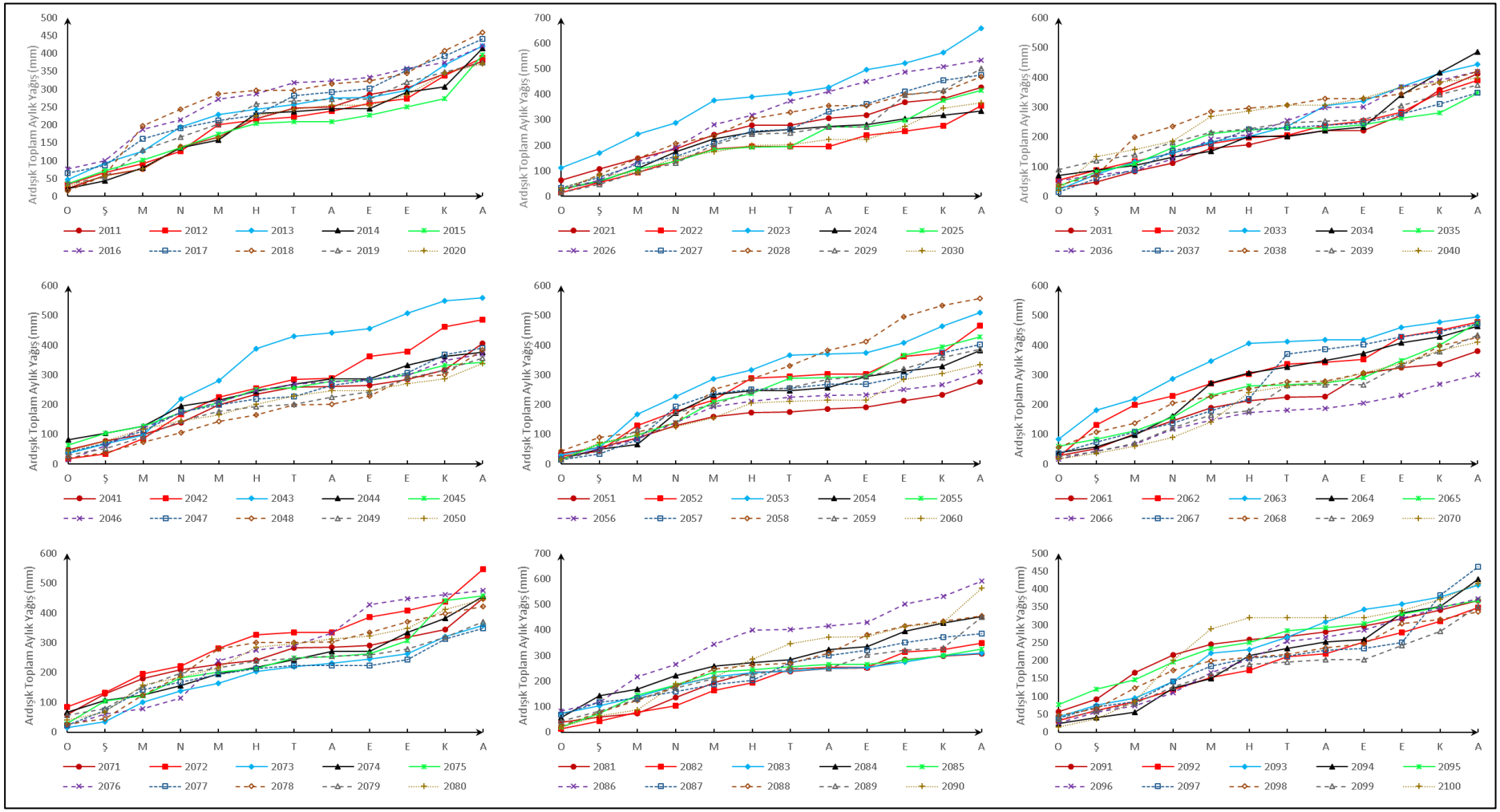
EK F



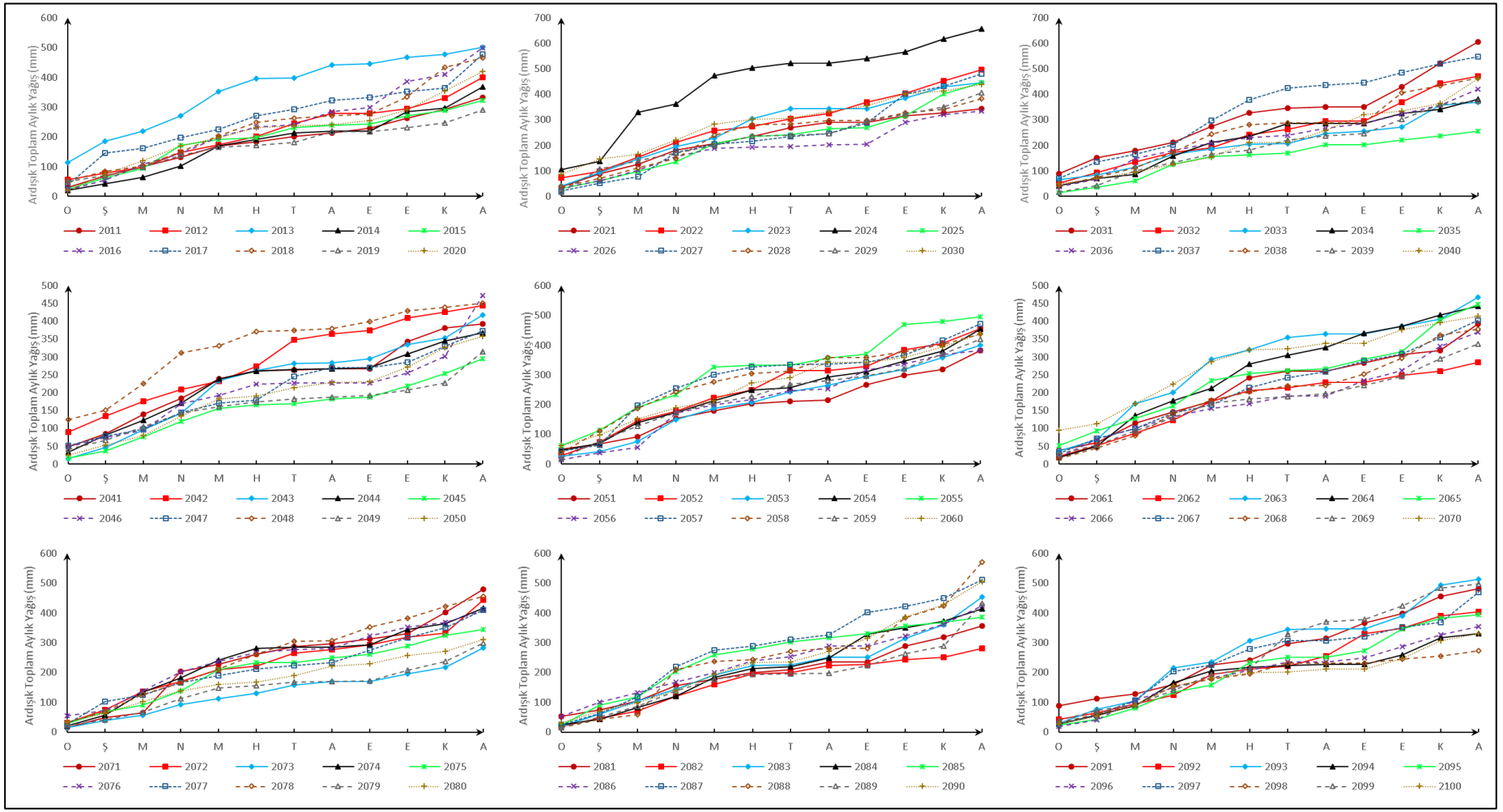
Şekil F.1 : Afyon istasyonu gözlem verileri ile tahmin verileri kıyaslanması a) EH40PYC-Yağış b) HadCM3-Yağış c) EH40PYC-Sıcaklık d) HadCM3-Sıcaklık.



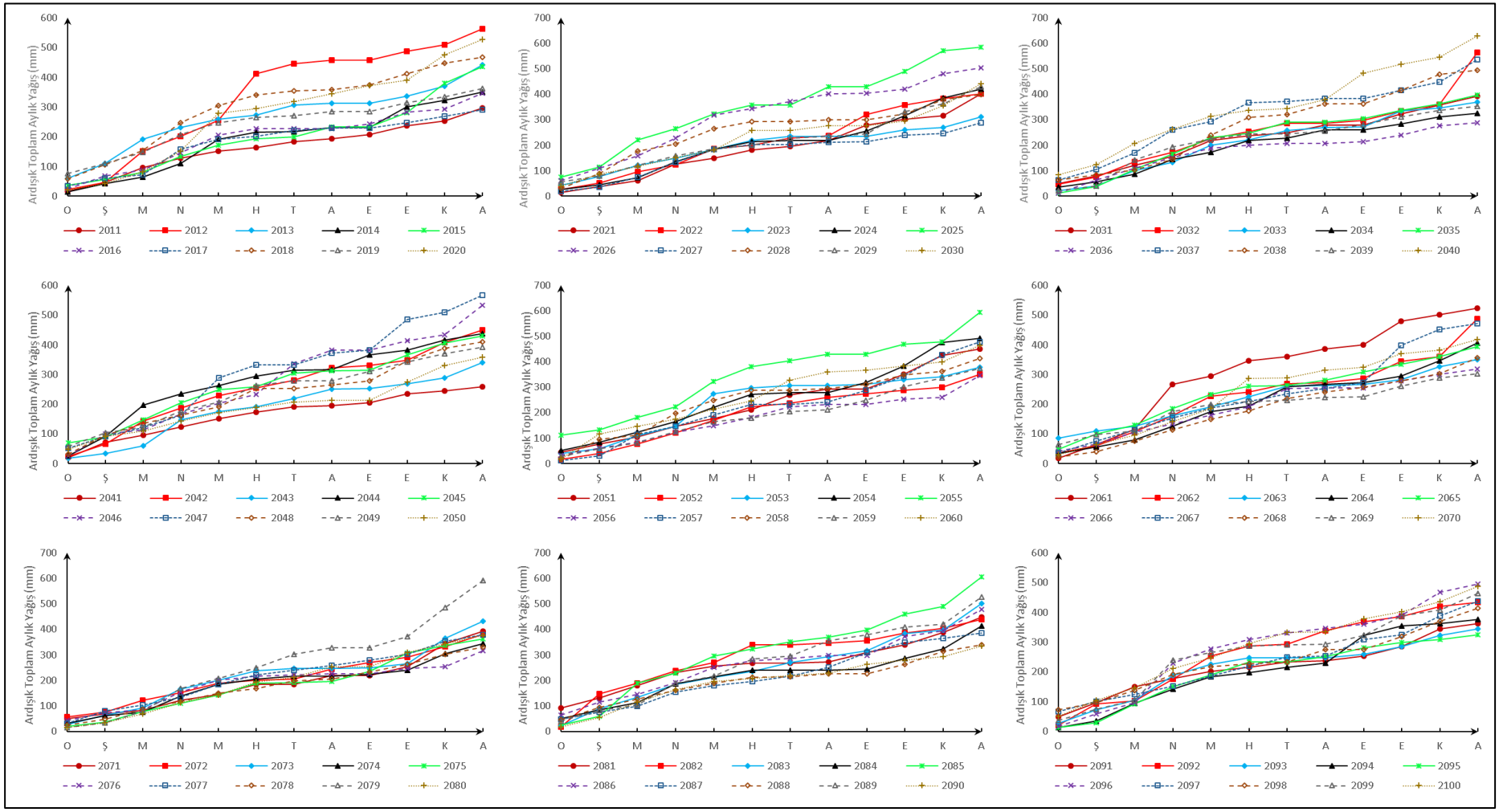
Şekil F.2 : Afyon istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



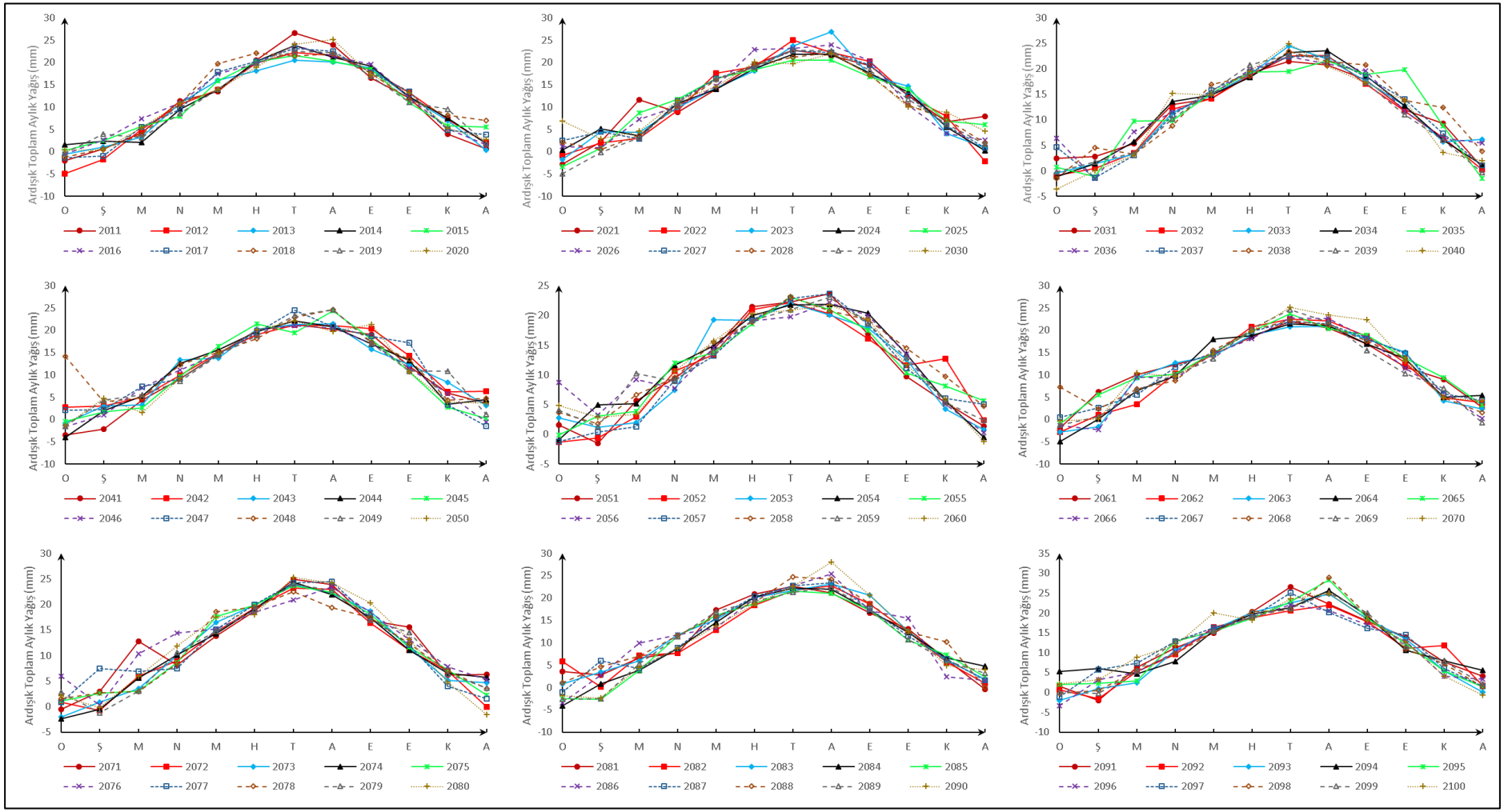
Şekil F.3 : Afyon istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



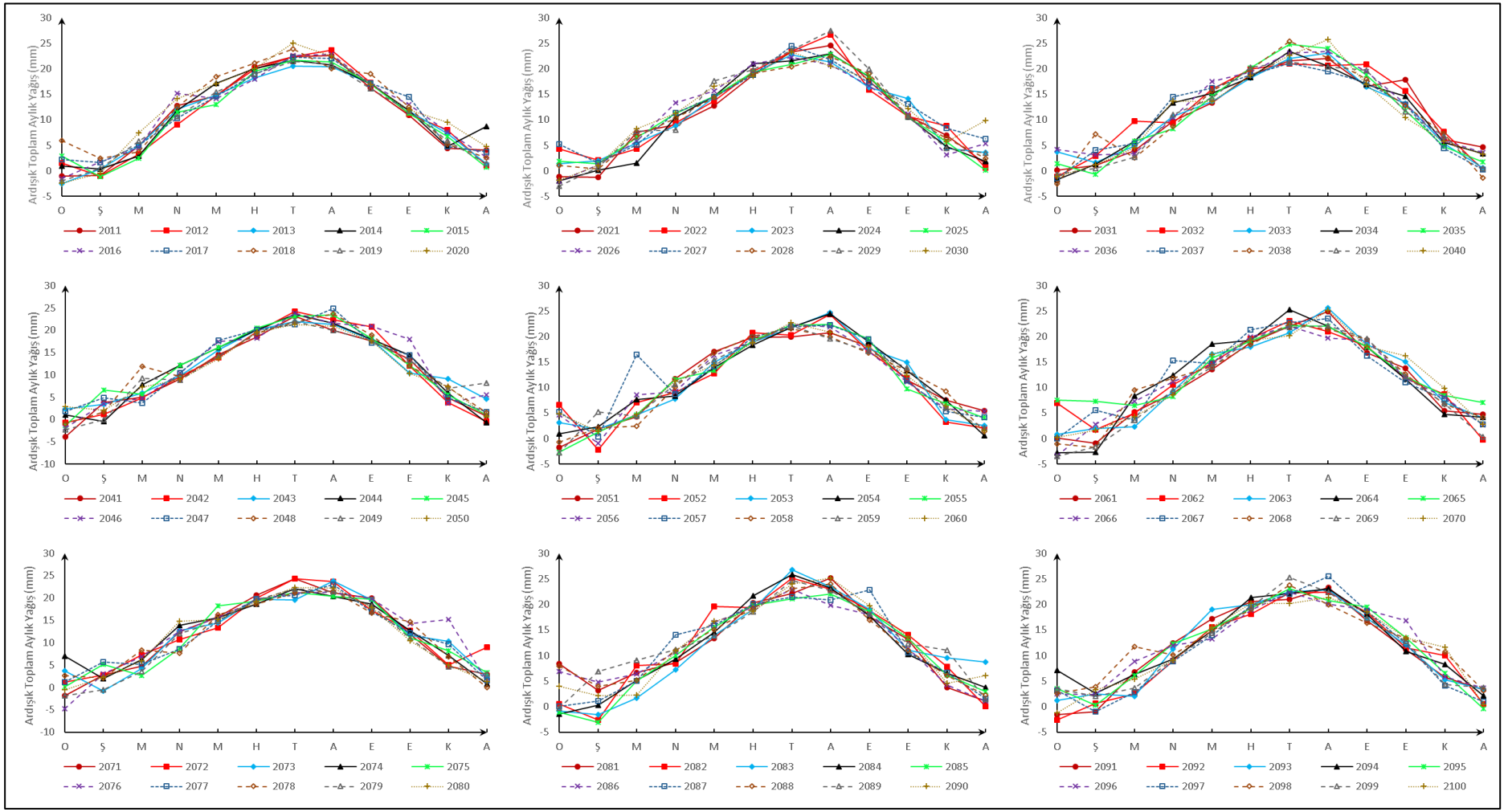
Şekil F.4 : Afyon istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



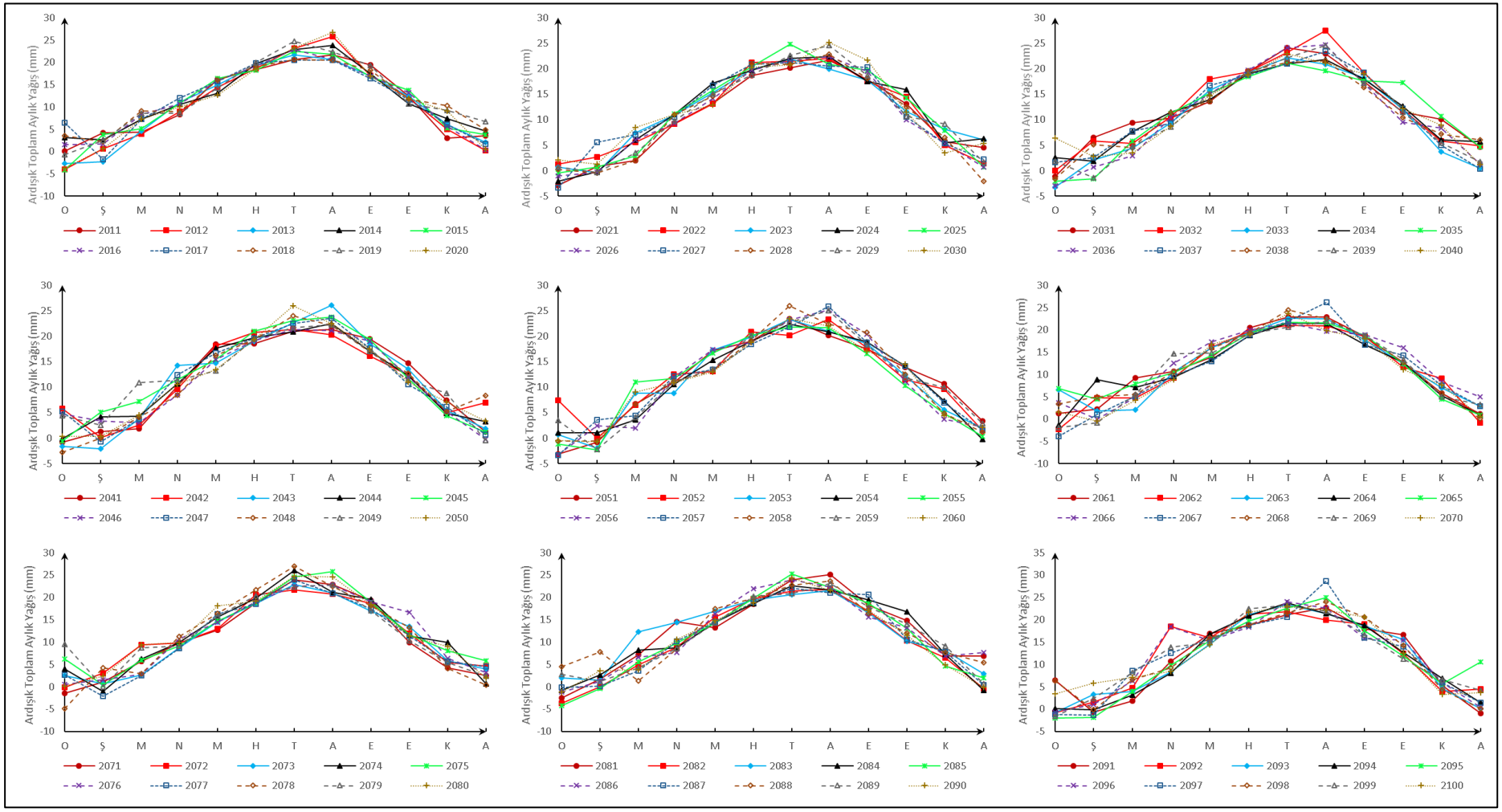
Şekil F.5 : Afyon istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık toplam yağış tahminleri (2011-2100).



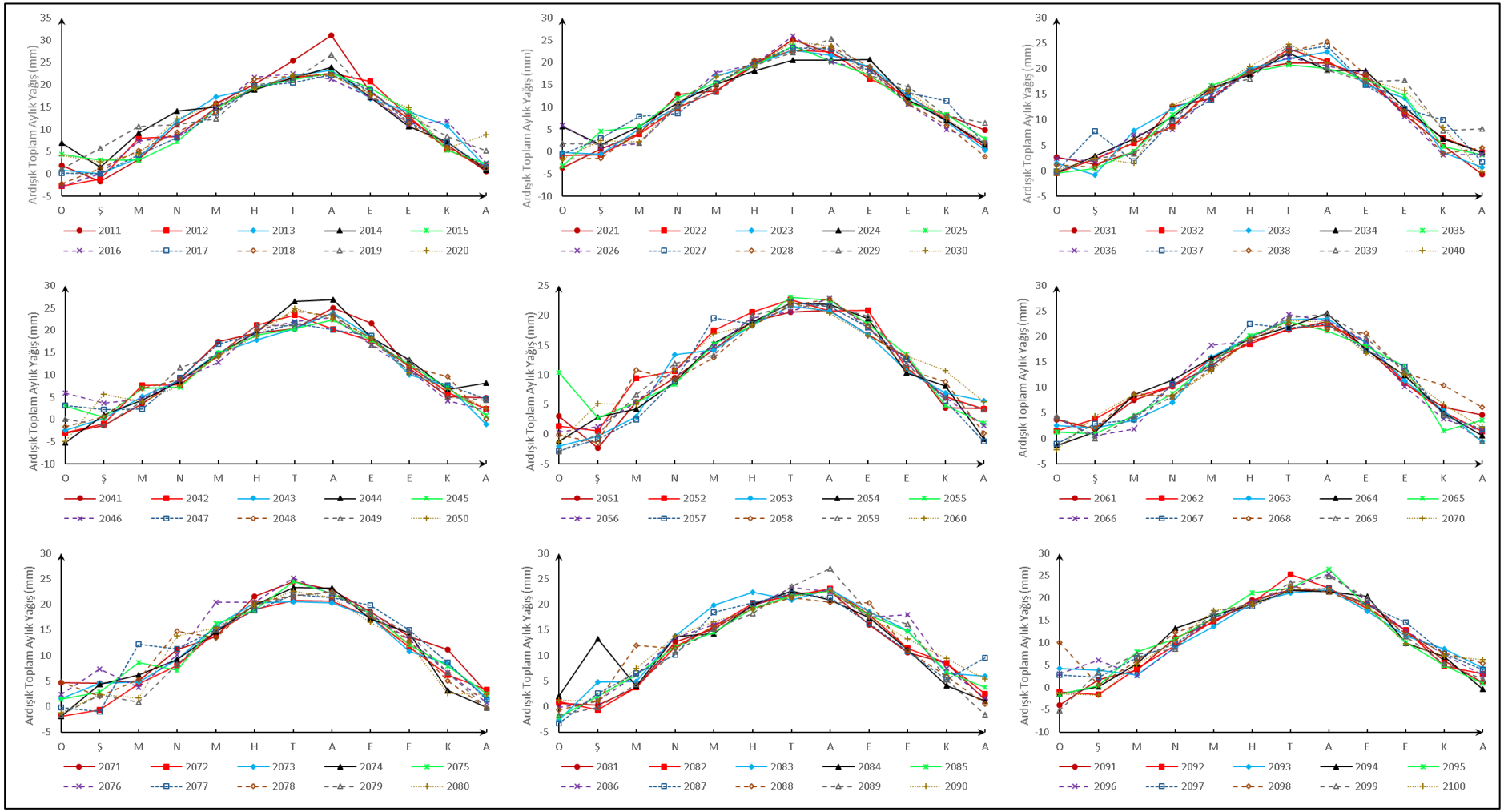
Şekil F.6 : Afyon istasyonu EH40PYC-A2 senaryosu yıllık toplam sıcaklık tahminleri (2011-2100).



Şekil F.7 : Afyon istasyonu EH40PYC-B2 senaryosu yıllık toplam sıcaklık tahminleri (2011-2100).



Şekil F.8 : Afyon istasyonu HadCM3-A2 senaryosu yıllık toplam sıcaklık tahminleri (2011-2100).



Şekil F.9 : Afyon istasyonu HadCM3-B2 senaryosu yıllık toplam sıcaklık tahminleri (2011-2100).

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad **:** İsmail DABANLI
Doğum Tarihi ve Yeri **:** 05.01.1987-BOLVADİN
E-posta **:** dabanli@itu.edu.tr-dabanliismail@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU **:**

- **Lisans-1** **:** 2010, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Lisans-2** **:** 2011, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Yayınlanan SCI-Expanded İndexli Makaleler

- **Dabanlı, İ.,** Şen, Z., Yeleğen, M. Ö., Şişman, E., Selek, B., & Güçlü, Y. S. (2016). Trend Assessment by the Innovative-Şen Method. Water Resources Management. http://doi.org/10.1007/s11269-016-1478-4

Kabul Edilen SCI-Expanded İndexli Makaleler

- **Dabanlı, İ.,** Şen, Z., (2017). Precipitation projections under GCMs perspective and Turkish Water Foundation (TWF) Statistical Downscaling Model Procedures. Theoretical and Applied Climatology, (In Press).

- **Dabanlı, İ.,** Şen, Z., (2017). Classical and Innovative-Şen Trend Assesment under Climate Change Perspective. International Journal of Global Warming, (In Press).

Değerlendirme Sürecinde Olan SCI-Expanded İndexli Makaleler

- **Dabanlı, İ.,** Mishra A.K., Şen, Z., (2017). Long-Term Spatio-temporal Drought Variability in Turkey, Journal of Hydrology, (Reviewing).

Kabul Edilen Uluslararası Bildiriler

- **Dabanlı, İ.,** Şen, Z., (2017). Turkish Water Foundation (TWF) Statistical Downscaling Model Procedures and Applications, 10th World Congress on Water Resources and Environment, 5-9 July, Athens, Greece.