

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HİDROLOJİK ÖZELLİKLER VE  
HİDROELEKTRİK ENERJİ ÜRETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ: ALTINKAYA BARAJ HAVZASI ÖRNEĞİ

DOKTORA TEZİ

Banu YILMAZ

AĞUSTOS 2024

TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HİDROLOJİK ÖZELLİKLER VE  
HİDROELEKTRİK ENERJİ ÜRETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ: ALTINKAYA BARAJ HAVZASI ÖRNEĞİ**

**Banu YILMAZ**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce  
"DOKTOR (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)"  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 / 07 / 2024**

**Tezin Savunma Tarihi : 21 / 08 / 2024**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Egemen ARAS**

**Trabzon 2024**

## ÖNSÖZ

“İklim Değişikliğinin Hidrolojik Özellikler ve Hidroelektrik Enerji Üretimi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi: Altinkaya Baraj Havzası Örneği” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Programı’nda hazırlanmıştır.

Tüm akademik hayatım boyunca tecrübesinden, engin bilgisinden, yapıcı yorumlarından ve yol gösterici fikirlerinden faydalandığım, bilim insanı olma yolundaki adımlarımı atarken desteğini ve hoşgörüsünü benden esirgemeyen, çok kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Egemen ARAS’a teşekkürlerimi sunarım. Tez konumun uygulanması aşamasında önerilerinden ve çözümcul yaklaşımlarından faydalandığım Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden Sayın Doç. Dr. Sinan NACAR’a, bilgi ve tecrübelerinin yanı sıra manevi desteğini ve samimiyetini esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Adem BAYRAM’a, lisansüstü eğitimim sırasında akademik anlamda kendisinden çok şey öğrendiğim değerli hocam Sayın Prof. Dr. Murat KANKAL’a, değerli görüşleri ile tezimi değerlendiren ve önerilerde bulunan hocalarım Sayın Doç. Dr. Nazan YILMAZ ve Sayın Doç. Dr. Babak VAHEDDOOST’a, tezin analiz kısmındaki katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Saeed SAMADIANFARD’a, ayrıca öğrenim hayatım boyunca üzerimde emeği olan tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Akademik yolculuğumun tamamına şahitlik edip, varlığıyla beni daha da güçlü hissettiren sevgili eşim Hüseyin Emre YILMAZ’a gösterdiği sabır ve anlayıştan ötürü teşekkür ederim. Doktora sürecinde dünyaya gelen, yürüdüğüm bu yolu daha anlamlı ve keyifli hale getiren, motivasyon kaynaklarım olan canım kızım Hüma Naz YILMAZ ve oğlum Ali Mete YILMAZ’a, karşılıksız ve manevi destekleri ile ihtiyacım olduğu her an yardımına koşan, zorlu olan bu süreci emekleri ile kolaylaştıran annelerim Filiz BAKAN ve Nurgül YILMAZ’a ve ailemin diğer fertlerine en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara ve bilime katkı sağlamasını temenni ederim.

Banu YILMAZ

Trabzon 2024

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “İklim Değişikliğinin Hidrolojik Özellikler ve Hidroelektrik Enerji Üretimi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi: Altınkaya Baraj Havzası Örneği” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Egemen ARAS’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 21/08/2024

Banu YILMAZ

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                                           | <u>Sayfa No</u> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| ÖNSÖZ.....                                                                                                                | III             |
| TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....                                                                                                 | IV              |
| İÇİNDEKİLER.....                                                                                                          | V               |
| ÖZET .....                                                                                                                | VIII            |
| SUMMARY .....                                                                                                             | IX              |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                                                                      | X               |
| TABLolar DİZİNİ.....                                                                                                      | XIII            |
| SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                                                                     | XV              |
| 1. GENEL BİLGİLER .....                                                                                                   | 1               |
| 1.1. Giriş.....                                                                                                           | 1               |
| 1.2. Geçmişte Yapılmış Çalışmalar.....                                                                                    | 8               |
| 1.2.1. İklim Değişikliği Çalışmaları.....                                                                                 | 8               |
| 1.2.2. İklim Değişikliğinin Hidroelektrik Enerji Üzerine Etkisi ve Enerji<br>Tahmin Modelleri ile İlgili Çalışmalar ..... | 12              |
| 1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....                                                                                    | 16              |
| 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....                                                                                                | 20              |
| 2.1. Çalışma Alanı ve Baraj Karakteristikleri .....                                                                       | 20              |
| 2.2. Gözlem Verileri.....                                                                                                 | 22              |
| 2.2.1. Baraj Havzasını Temsil Eden Yağışlar .....                                                                         | 23              |
| 2.2.2. Baraj Havzasını Temsil Eden Sıcaklıklar .....                                                                      | 25              |
| 2.2.3. Altınkaya Barajı Giriş Akımları.....                                                                               | 26              |
| 2.2.4. Elektrik Enerjisi Üretim Verileri.....                                                                             | 26              |
| 2.2.5. Gözlenmiş Verilerin İstatistiksel Analizleri .....                                                                 | 27              |
| 2.3. ERA5 Yeniden Analiz Verileri .....                                                                                   | 28              |
| 2.4. Genel Dolaşım Modeli (GDM) .....                                                                                     | 29              |
| 2.5. Paylaşılan Sosyoekonomik Rotalar (SSPs).....                                                                         | 30              |
| 2.6. Çalışmada Kullanılan Yöntemler .....                                                                                 | 31              |
| 2.6.1. Klasik Regresyon Analizi (KRA) .....                                                                               | 31              |
| 2.6.2. Yapay Sinir Ağları (YSA).....                                                                                      | 32              |
| 2.6.3. Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (ÇDURE).....                                                       | 33              |
| 2.6.4. Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağları (LSTM).....                                                                         | 35              |

|         |                                                                                                                                         |     |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.6.5.  | Uzun-Kısa Süreli Bellek ve İleri Beslemeli Sinir Ağlarının Zamansal Örüntü Dikkat Mekanizması ile Hibrit yaklaşımı (TPAFFNN-LSTM) ..... | 37  |
| 2.6.6.  | Ölçek İndirgeme Modelinin Kurulması .....                                                                                               | 38  |
| 2.6.7.  | Çalışma Kapsamında Kullanılan GDM'lerin Seçilmesi .....                                                                                 | 40  |
| 2.6.8.  | Çoklu Model Toplulukları (ÇMT) .....                                                                                                    | 41  |
| 2.6.9.  | Baraj Giriş Akımı Tahmin Modellerinin Oluşturulması .....                                                                               | 42  |
| 2.6.10. | Hidroelektrik Enerji Üretim Tahmin Modellerinin Oluşturulması .....                                                                     | 44  |
| 2.6.11. | Performans Değerlendirme Ölçütleri .....                                                                                                | 45  |
| 2.7.    | Tahmin Modelleri İçin En İyi Girdi Kombinasyonun Seçilmesi ve Çalışmada Kullanılan İstatistiksel Yöntemler .....                        | 47  |
| 2.7.1.  | Korelasyona Dayalı Seçim (M1).....                                                                                                      | 47  |
| 2.7.2.  | Geriye Doğru Eleme Yöntemi (M2) .....                                                                                                   | 47  |
| 2.7.3.  | Adımsal Regresyon (M3).....                                                                                                             | 48  |
| 2.7.4.  | İleriye Doğru Seçim (M4).....                                                                                                           | 48  |
| 2.7.5.  | En İyi Alt Kümeler Yöntemi (M5) .....                                                                                                   | 48  |
| 2.7.6.  | Üçer Ay Gecikmeli Seçim (M6) .....                                                                                                      | 48  |
| 2.7.7.  | LASSO Regresyon .....                                                                                                                   | 49  |
| 2.8.    | Eğilim (Trend) Analizi .....                                                                                                            | 49  |
| 2.8.1.  | İçsel Bağımlılığın Tespiti, Otokorelasyon Testi ve TFPW Yöntemi ile Arındırma İşlemi .....                                              | 51  |
| 2.8.2.  | Mann-Kendall Yöntemi .....                                                                                                              | 52  |
| 2.8.3.  | Sen'in Eğim Yöntemi.....                                                                                                                | 54  |
| 3.      | BULGULAR VE TARTIŞMA .....                                                                                                              | 55  |
| 3.1.    | İstatistiksel Ölçek İndirgeme Modeli Bulguları .....                                                                                    | 55  |
| 3.2.    | GDM Senaryo Verilerinin Üretilmesi .....                                                                                                | 57  |
| 3.2.1.  | Referans Dönem Senaryo Verilerinin Üretilmesi .....                                                                                     | 58  |
| 3.2.2.  | GDM Performanslarının Değerlendirilmesi.....                                                                                            | 65  |
| 3.2.3.  | Topluluk Modellerinin Oluşturulması .....                                                                                               | 66  |
| 3.2.4.  | Yanlılık Düzeltme İşlemleri ve Gelecek Dönem SSP2.4-5 ve SSP5.8-5 Senaryoları İçin Yağış ve Sıcaklık Verilerinin Üretilmesi.....        | 68  |
| 3.3.    | Akım Tahmin Modeli Bulguları.....                                                                                                       | 94  |
| 3.3.1.  | İleriye Dönük Baraj Akım Verilerinin Üretilmesi .....                                                                                   | 99  |
| 3.3.2.  | İklim Değişikliği Etkisinin Baraj Giriş Akımları Üzerinde Aylık ve Yıllık Olarak İncelenmesi .....                                      | 103 |
| 3.4.    | Hidroelektrik Enerji Üretimi Tahmin Modelleri .....                                                                                     | 109 |

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.1. Tahmin Modeli Bulguları.....                                                                      | 109 |
| 3.4.2. İleriye Dönük Enerji Üretim Verilerinin Tahmini .....                                             | 112 |
| 3.4.3. İklim Değişikliği Etkisinin Enerji Üretim Verileri Üzerindeki<br>Değişimlerinin İrdelenmesi ..... | 117 |
| 3.5. Sıcaklık, Yağış, Baraj Giriş Akımları ve Enerji Üretimine Ait Eğilim<br>Analizi Bulguları .....     | 122 |
| 3.6. Genel Değerlendirme .....                                                                           | 124 |
| 4. SONUÇLAR.....                                                                                         | 128 |
| 5. ÖNERİLER.....                                                                                         | 132 |
| 6. KAYNAKLAR .....                                                                                       | 134 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                                            | 147 |



Doktora Tezi

## ÖZET

### İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HİDROLOJİK ÖZELLİKLER VE HİDROELEKTRİK ENERJİ ÜRETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ: ALTINKAYA BARAJ HAVZASI ÖRNEĞİ

Banu YILMAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Egemen ARAS  
2024, 146 Sayfa

İklim değişikliğinin baraj havzaları üzerindeki etkilerini anlamak; su depolama, sulama ve enerji üretimi gibi temel işlevleri sağlamadaki önemli rolleri nedeniyle su kaynakları yönetimi için büyük bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, Türkiye’de hidroelektrik enerji üretimi açısından önemli bir potansiyele sahip olan Altinkaya Baraj Havzası’nda iklim değişikliğinin yağış ve sıcaklık gibi atmosferik parametrelerin yanı sıra baraj giriş akımları ve hidroelektrik enerji üretimi üzerindeki olası etkileri incelenmiştir. Bu potansiyel etkiler ERA5 yeniden analiz verileri, CMIP6 güncel arşivinden seçilmiş altı farklı genel dolaşım modeli (GDM) ve iki farklı sosyoekonomik rota (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5) kullanılarak araştırılmıştır. Seçilen GDM’lerin bölgesel ölçeğe indirgenmesinde istatistiksel ölçek indirgeme modelleri kullanılmıştır. Çoklu model topluluğu (ÇMT) makine öğrenimine ve ortalamaya dayalı dört farklı yöntem kullanılarak geliştirilmiştir. Baraj giriş akımlarının ve enerji üretim değerlerinin sıcaklık ve yağış parametrelerine ve iklim değişikliği etkisine bağlı olarak tahmin edilmesi farklı makine öğrenme modelleri ve hibrit algoritmalar kullanılarak yorumlanmıştır. Çalışma bulgularına göre, iyimser ve kötümser senaryolar etkisinde sıcaklık artışlarının sırasıyla 3.11 ve 5.64 °C’ye ulaşabileceği, yağışların ise sırasıyla %19 ve 43’e varan oranlarda azalabileceği, aylık ortalama baraj giriş akım ve enerji üretim verilerinde ise aylık bazda farklı oranlarda değişimlerin gerçekleşeceği öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Baraj Akımları, Genel Dolaşım Modelleri, Hidroelektrik Enerji, İklim Değişikliği, Sıcaklık, Yağış

PhD. Thesis

## SUMMARY

### INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS AND HYDROELECTRIC POWER GENERATION: THE CASE STUDY OF ALTINKAYA DAM BASIN

Banu YILMAZ

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Civil Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Egemen ARAS  
2024, 146 Pages

Understanding the effects of climate change on dam basins is of great importance for water resources management due to their important role in providing essential functions such as water storage, irrigation, and energy generation. In this study, the potential effects of climate change on atmospheric parameters such as precipitation and temperature as well as dam inflows and hydroelectric power generation in Altınkaya Dam Basin, which has a significant potential for hydroelectric power generation in Türkiye, were investigated. These potential effects were investigated using ERA5 reanalysis data, six different general circulation models (GCMs) selected from the CMIP6 current archive and two different shared socioeconomic pathway scenarios (SSP2-4.5 and SSP5-8.5). Statistical downscaling models were used to downscale the selected GCMs from global to regional scale. Four different Multiple Model Ensembles (MMEs) were developed using different methods. The prediction of dam inflows and energy generation values based on specified parameters and climate change impact is interpreted using different machine learning models and hybrid algorithms. According to the findings of the study, under the optimistic and pessimistic scenarios, temperature increases could reach 3.11 and 5.64 °C, respectively, precipitation could decrease by up to 19 and 43%, respectively, and monthly average dam inflow and energy production data would change at different rates on a.

**Key Words:** Dam Inflow, General Circulation Models, Hydroelectric Energy, Climate Change, Temperature, Precipitation

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

|           |                                                                                                                                                                                            |    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.  | Çalışmaya ait akış şeması .....                                                                                                                                                            | 19 |
| Şekil 2.  | Türkiye havzaları, barajın konumu ve baraj havzasının sınırları .....                                                                                                                      | 21 |
| Şekil 3.  | Altinkaya Baraj Havzası'ndan görüntüler (a): kayığın karaya oturması, (b): suların çekilmesi .....                                                                                         | 22 |
| Şekil 4.  | Boyabat ve Merzifon istasyonlarının: (a) aylık ortalama sıcaklık ve (b) aylık toplam yağış gözlemleri arasındaki korelasyon ve regresyon .....                                             | 23 |
| Şekil 5.  | Altinkaya Baraj Havzası, yağış istasyonlarının konumları ve oluşturulan Thiessen poligonları.....                                                                                          | 24 |
| Şekil 6.  | Alansal ortalama yağış verilerinin zamana bağlı değişimi .....                                                                                                                             | 25 |
| Şekil 7.  | Bafra istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık (°C) verilerinin zamana bağlı değişimi.....                                                                                                  | 26 |
| Şekil 8.  | Altinkaya Barajı aylık giriş akımlarının zamana bağlı değişimi .....                                                                                                                       | 26 |
| Şekil 9.  | Aylık toplam üretilen elektrik enerjisi verilerinin zamana bağlı değişimi .....                                                                                                            | 27 |
| Şekil 10. | Elektrik üretim verilerinin referans dönemi kapsayan aylık toplam değişimleri (%) .....                                                                                                    | 27 |
| Şekil 11. | Çok katmanlı YSA yapısı .....                                                                                                                                                              | 33 |
| Şekil 12. | LSTM ünitelerinin yapısı.....                                                                                                                                                              | 36 |
| Şekil 13. | Türkiye sınırlarını kapsayan (0.25 ° × 0.25 °) çözünürlüklü sayısal ağ merkezleri .....                                                                                                    | 39 |
| Şekil 14. | Altinkaya Baraj Havzasını temsil eden sayısal ağlar.....                                                                                                                                   | 39 |
| Şekil 15. | İstatistiksel ölçek indirgeme modelinden elde edilen test veri setinin aylık ortalama değerlerinin saçılım grafikleri ve karşılaştırılması .....                                           | 57 |
| Şekil 16. | GDM'lerin referans, yanlılığı düzeltilmiş referans senaryoları ve gözlem verileri için sıcaklık değerlerine ait grafikler.....                                                             | 63 |
| Şekil 17. | GDM'lerin referans, yanlılığı düzeltilmiş referans senaryoları ve gözlem verileri için yağış değerlerine ait grafikler.....                                                                | 64 |
| Şekil 18. | GDM'lerin Taylor Diyagramları (a): sıcaklık, (b): yağış .....                                                                                                                              | 66 |
| Şekil 19. | Yanlılığı düzeltilmiş referans dönem bulguları ile gelecek dönem senaryo (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5) bulguları arasında aylık ortalama sıcaklık değerlerindeki değişim ( $\Delta t$ , °C) ..... | 70 |
| Şekil 20. | Yanlılığı düzeltilmiş referans dönem bulguları ile gelecek dönem senaryo (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5) bulguları arasında aylık ortalama yağış değerleri arasındaki değişim (%) .....             | 72 |

|           |                                                                                                                                                                        |     |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 21. | GDM ve ÇMT'lerin yanlılığı düzeltilmiş senaryolara ait gelecek (P1, P2 ve P3) ve referans dönem için yıllık ortalama sıcaklık değerleri .....                          | 74  |
| Şekil 22. | GDM ve ÇMT'lerin yanlılığı düzeltilmiş senaryolara ait gelecek (P1, P2 ve P3) referans dönemi için yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin değişimi.....                 | 75  |
| Şekil 23. | GDM ve ÇMT'lerin yanlılığı düzeltilmiş senaryolara ait gelecek (P1, P2 ve P3) ve referans dönem için yıllık toplam yağışların ortalama değerleri .....                 | 75  |
| Şekil 24. | GDM ve ÇMT'lerin yanlılığı düzeltilmiş senaryolara ait gelecek (P1, P2 ve P3) ve referans dönem için yıllık toplam yağış değerlerinin ortalamasına göre değişimi ..... | 76  |
| Şekil 25. | Tüm topluluk modellerine ait SSP2-4.5 senaryosu için gelecek döneme ait (P1, P2 ve P3) üretilmiş aylık ortalama sıcaklık değerleri .....                               | 91  |
| Şekil 26. | Tüm topluluk modellerine ait SSP5-8.5 senaryosu için gelecek döneme ait (P1, P2 ve P3) üretilmiş aylık ortalama sıcaklık değerleri .....                               | 92  |
| Şekil 27. | Tüm topluluk modellerine ait SSP2-4.5 senaryosu için gelecek döneme ait (P1, P2 ve P3) üretilmiş aylık toplam yağış değerleri .....                                    | 93  |
| Şekil 28. | Tüm topluluk modellerine ait SSP5-8.5 senaryosu için gelecek döneme ait (P1, P2 ve P3) üretilmiş aylık toplam yağış değerleri .....                                    | 94  |
| Şekil 29. | ÇDURE M2 modeli test veri setindeki baraj giriş akımlarına ait zaman serisi grafiği ve saçılım diyagramı.....                                                          | 98  |
| Şekil 30. | ÇMT1 için P1, P2 ve P3 dönemlerinde üretilen akım verileri .....                                                                                                       | 99  |
| Şekil 31. | ÇMT2 için P1, P2 ve P3 dönemlerinde üretilen akım verileri .....                                                                                                       | 100 |
| Şekil 32. | ÇMT3 için P1, P2 ve P3 dönemlerinde üretilen akım verileri .....                                                                                                       | 101 |
| Şekil 33. | ÇMT4 için P1, P2 ve P3 dönemlerinde üretilen akım verileri .....                                                                                                       | 102 |
| Şekil 34. | P1, P2 ve P3 dönemi aylık ortalama baraj giriş akım değerleri.....                                                                                                     | 106 |
| Şekil 35. | Baraj giriş akımlarının tüm periyotlardaki uzun yıllar ortalama değerleri .....                                                                                        | 107 |
| Şekil 36. | Baraj giriş akımlarının ÇMT'lere göre aylık maksimum değerleri .....                                                                                                   | 108 |
| Şekil 37. | Enerji üretim tahmini için elde edilen en başarılı modele ait performans istatistikleri .....                                                                          | 112 |
| Şekil 38. | ÇMT1'in senaryoları için üretilmiş gelecek döneme ait (P1, P2 ve P3) aylık toplam elektrik enerjisi üretim değerleri.....                                              | 113 |
| Şekil 39. | ÇMT2'nin senaryoları için üretilmiş gelecek döneme ait (P1, P2 ve P3) aylık toplam elektrik enerjisi üretim değerleri.....                                             | 114 |
| Şekil 40. | ÇMT3'ün senaryoları için üretilmiş gelecek döneme ait (P1, P2 ve P3) aylık toplam elektrik enerjisi üretim değerleri.....                                              | 115 |
| Şekil 41. | ÇMT4'ün senaryoları için üretilmiş gelecek döneme ait (P1, P2 ve P3) aylık toplam elektrik enerjisi üretim değerleri.....                                              | 116 |
| Şekil 42. | SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına ait P1, P2 ve P3 dönemi için aylık ortalama elektrik enerjisi üretim değerleri.....                                                 | 120 |

|                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 43. ÇMT'lerin SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına göre uzun yılları kapsayan yıllık toplam enerji üretim verilerine ait zaman serisi grafikleri ..... | 121 |
| Şekil 44. Enerji üretim verilerinin referans döneme göre değişimleri (%). ....                                                                             | 122 |



## TABLolar DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                                    | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Tablo 1. Altinkaya Barajı ve hidroelektrik santraline ait karakteristikler.....                                                                                                                                    | 21                     |
| Tablo 2. Altinkaya Baraj Havzasını temsil eden meteoroloji istasyonları.....                                                                                                                                       | 22                     |
| Tablo 3. İstasyonların baraj havzası üzerindeki ağırlık oranları .....                                                                                                                                             | 24                     |
| Tablo 4. İstasyonlar arasındaki ortalama sıcaklık gözlemleri arasındaki korelasyon ilişkisi .....                                                                                                                  | 25                     |
| Tablo 5. Altinkaya Baraj Havzası aylık toplam yağış, ortalama sıcaklık, giriş akımları ve elektrik üretim verilerine ait temel istatistikler.....                                                                  | 28                     |
| Tablo 6. SSP'lerin ışımsal zorlama seviyeleri .....                                                                                                                                                                | 30                     |
| Tablo 7. İklim değişikliğinin projeksiyonu için çalışmada kullanılan GDM'lere ait bilgiler.....                                                                                                                    | 41                     |
| Tablo 8. Sıcaklık ve yağış parametreleri için ERA5 yeniden analiz veri seti kullanılarak kurulan modellerin eğitim, doğrulama ve test veri setlerine ait sonuçlarının istatistiksel olarak karşılaştırılması ..... | 55                     |
| Tablo 9. Ölçek küçültme modellerinin performans istatistikleri .....                                                                                                                                               | 56                     |
| Tablo 10. Gözlem, referans ve yanlılığı düzeltilmiş referans verilerinin aylık ortalama sıcaklığa ait istatistikleri .....                                                                                         | 59                     |
| Tablo 11. Gözlem, referans ve yanlılığı düzeltilmiş referans verilerinin aylık toplam yağışa ait istatistikleri .....                                                                                              | 61                     |
| Tablo 12. Çalışmada kullanılan CMIP6 modellerinin performansları ve sıralamaları .....                                                                                                                             | 65                     |
| Tablo 13. ÇMT4 modeli için ÇDURE modelinden elde edilen temel fonksiyonlar.....                                                                                                                                    | 67                     |
| Tablo 14. ÇMT'lerin sıcaklık ve yağış parametrelerine ait performans ölçütleri.....                                                                                                                                | 68                     |
| Tablo 15. Yanlılığı düzeltilmiş gelecek dönem senaryolara ait aylık ortalama sıcaklık değerlerinin referans dönem (1980-2014) senaryosuna göre değişimleri ( $\Delta t$ , °C).....                                 | 77                     |
| Tablo 16. Yanlılığı düzeltilmiş gelecek dönem senaryolarına ait aylık toplam yağış değerlerinin referans dönemi (1980-2014) senaryosuna göre değişimleri (%) .....                                                 | 80                     |
| Tablo 17. Akım tahmin modellerine ait girdi setleri.....                                                                                                                                                           | 95                     |
| Tablo 18. Akım tahmini için kurulmuş olan ÇDURE modeline ait temel fonksiyonlar ve denklemler .....                                                                                                                | 96                     |
| Tablo 19. Akım tahmin modeli bulgularına ait performans değerlendirme ölçütleri.....                                                                                                                               | 98                     |
| Tablo 20. ÇMT'lerin gelecek dönem (P1, P2 ve P3) senaryolarına ait aylık baraj giriş akımlarının referans dönemine (1987-2022) göre değişimleri .....                                                              | 104                    |

|           |                                                                                                                                                                 |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 21. | Girdi modelinin belirlenmesinde uygulanan LASSO regresyon ile elde edilen değişken katsayıları.....                                                             | 110 |
| Tablo 22. | Belirlenmiş değişkenler ile girdi modeli kombinasyonlarının oluşturulması.....                                                                                  | 111 |
| Tablo 23. | Enerji üretimi tahmin modellerinden elde edilen performans istatistikleri .....                                                                                 | 111 |
| Tablo 24. | ÇMT'lerin gelecek dönem (P1, P2 ve P3) senaryolarına ait aylık üretilen elektrik enerjisi değerlerinin referans dönemine (2013-2023) göre değişimleri (%) ..... | 118 |
| Tablo 25. | Tüm parametrelerin uzun yılları kapsayan eğilim analizi bulguları.....                                                                                          | 123 |



## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|          |                                                                                                                        |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AR4      | : Fourth Assessment Report (Dördüncü Değerlendirme Raporu)                                                             |
| AR6      | : Sixth Assessment Report (Altıncı Değerlendirme Raporu)                                                               |
| AOGCM    | : Küresel Birleşik Atmosfer-Okyanus Modeli                                                                             |
| ARIMA    | : Otomatik Regresyon Entegreli Hareketli Ortalama                                                                      |
| $B_x$    | : Basıklık katsayısı                                                                                                   |
| CGCM3    | : Kanada Küresel Çiftli Modeli Versiyon 3                                                                              |
| CMIP6    | : Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (6. Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi)                        |
| CORDEX   | : Koordineli Bölgesel Ölçek İndirgeme Deneyi                                                                           |
| CRI      | : Comprehensive Rating Index (Kapsamlı Derecelendirme İndeksi)                                                         |
| $C_{sx}$ | : Çarpıklık katsayısı                                                                                                  |
| $C_{vx}$ | : Değişkenlik katsayısı                                                                                                |
| ÇDURE    | : Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri                                                                      |
| ÇMT      | : Çoklu Model Topluluğu                                                                                                |
| DL       | : Deep Learning (Derin Öğrenme)                                                                                        |
| DSİ      | : Devlet Su İşleri                                                                                                     |
| DT       | : Decision Tree (Karar Ağacı)                                                                                          |
| E        | : Aylık Toplam Elektrik Enerjisi (MWh)                                                                                 |
| EPIAŞ    | : Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi                                                                             |
| FFNN     | : Feed-Forward Neural Network (İleri Beslemeli Sinir Ağı)                                                              |
| GBT      | : Gradient Boosting Trees (Gradyan Destekli Ağaçlar)                                                                   |
| GCV      | : Generalized Cross-Validation (Genelleştirilmiş Çapraz Doğrulama)                                                     |
| GDM      | : Genel Dolaşım Modeli                                                                                                 |
| GLM      | : Generalized Linear Models (Genelleştirilmiş Doğrusal Model)                                                          |
| HEC-HMS  | : Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (Hidrolik Mühendislik Merkezi-Hidrolojik Modelleme Sistemi) |
| HES      | : Hidroelektrik Santral                                                                                                |
| IEA      | : International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)                                                             |
| IPCC     | : Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli)                                |

|                |                                                                                                  |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| KDH            | : Kantil Delta Haritalama                                                                        |
| KGE            | : Kling-Gupta Verimliliği                                                                        |
| KOKF           | : Kök Ortalama Kare Farkı                                                                        |
| KRA            | : Klasik Regresyon Analizi                                                                       |
| KRA-DF         | : Klasik Regresyon Analizi-Doğrusal Fonksiyon                                                    |
| KRA-KF         | : Klasik Regresyon Analizi- Kuadratik Fonksiyon                                                  |
| KRA-ÜF         | : Klasik Regresyon Analizi- Üstel Fonksiyon                                                      |
| LASSO          | : Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (En Küçük Mutlak Küçültme ve Seçim Operatörü ) |
| LSTM           | : Long Short-Term Memory (Uzun Kısa Süreli Bellek)                                               |
| MD             | : Modified Index of Agreement (Değiştirilmiş Uyum İndeksi)                                       |
| MGM            | : Meteoroloji Genel Müdürlüğü                                                                    |
| NCAR           | : National Center for Atmospheric Research (Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi)                 |
| NCEP           | : National Centers for Environmental Prediction (Ulusal Çevresel Tahmin Merkezleri)              |
| NSE            | : Nash-Sutcliffe Verimlilik İndeksi                                                              |
| KHOK           | : Karesel Hatanın Ortalama Karekökü                                                              |
| nKHOK          | : Normalize Karesel Hatanın Ortalama Karekökü                                                    |
| P              | : Aylık Toplam Yağış (mm/ay)                                                                     |
| Q              | : Aylık Baraj Giriş Akımları (hm <sup>3</sup> )                                                  |
| Qg             | : Gözlenen Akım (hm <sup>3</sup> )                                                               |
| Qt             | : Tahmin Edilen Akım (hm <sup>3</sup> )                                                          |
| R              | : Korelasyon Katsayısı                                                                           |
| R <sup>2</sup> | : Belirleme Katsayısı                                                                            |
| RCM            | : Regional Climate Model (Bölgesel İklim Modeli)                                                 |
| RCP            | : Representative Concentration Pathways (Temsili Konsantrasyon Rotaları)                         |
| RF             | : Random Forest (Rastgele Orman)                                                                 |
| RNN            | : Recurrent Neural Network (Tekrarlayan Sinir Ağı)                                               |
| RVM            | : Relevance Vector Machine (İlgili Vektör Makinesi)                                              |
| SPI            | : Standardized Precipitation Index (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi)                           |

|              |                                                                                                                      |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SRES         | : Special Report on Emissions Scenarios (Emisyon Senaryolarına İlişkin Özel Rapor)                                   |
| SSPs         | : Shared Socioeconomic Pathways (Paylaşılan Sosyoekonomik Rotalar)                                                   |
| SVM          | : Support Vector Machines (Destek Vektör Makineleri)                                                                 |
| SWAT         | : Soil Water Assessment Tool (Toprak ve Su Değerlendirme Aracı)                                                      |
| $S_x$        | : Standart Sapma                                                                                                     |
| T            | : Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)                                                                                       |
| TFPW         | : Trend Free Pre-Whitening (Trendten Arındırılmış Önişleme)                                                          |
| TPA          | : Temporal Pattern Attention (Zamansal Örüntü Dikkat Mekanizması)                                                    |
| TPAFFNN-LSTM | : Uzun-Kısa Süreli Bellek ve İleri Beslemeli Sinir Ağlarının Zamansal Örüntü Dikkat Mekanizması ile Hibrit Yaklaşımı |
| VIC          | : Variable Infiltration Capacity (Değişken Sızma Kapasitesi)                                                         |
| WMO          | : World Meteorological Organization (Dünya Meteoroloji Örgütü)                                                       |
| YSA          | : Yapay Sinir Ağları                                                                                                 |

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Küresel iklim değişikliği, son yıllarda çevresel, ekonomik ve sosyal sistemler üzerinde potansiyel etkileri olması konusunda artan bir endişe yaratmakta ve tüm ülkelerin öncelikli gündem maddelerinden biri olmaktadır. Bu etkilerden biri de su kaynakları üzerindeki değişimlerdir. İklim değişikliği artan sıcaklıklar ve buharlaşma ile atmosferde daha fazla yoğunlaşmış su buharının bulunmasına, buna bağlı olarak da yağışın daha fazla ve yoğun olarak yeryüzüne geri dönmesine sebebiyet vermektedir. Su döngüsünde oluşan bu yağışın yeryüzünde eşit bir oranda yayılmaması bazı bölgelerde kuraklıktan dolayı su kıtlığı oluşmasına, bazı bölgelerde ise sel baskınlarına neden olmaktadır (Konapala vd. 2020). Bu gibi durumlar insanların temiz ve içilebilir su bulma imkanını daha da zorlaştırmaktadır. Yapılan çalışmalar dünya nüfusunun yarısından fazlasının 2025 yılına kadar su sıkıntısı çekeceğini göstermektedir (URL-1, 2024). Kuraklık, özellikle gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere gelişmiş ülkelerde de giderek artan bir şekilde sürdürülebilir kalkınmaya yönelik en büyük tehditler arasında yer almaktadır. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından yayınlanan raporda kuraklık süresinin 2000 yılından bu yana, önceki yirmi yıla kıyasla %29 oranında arttığı sunulmuştur (WMO, 2021). Halihazırda 2.3 milyardan fazla insan su stresiyle karşı karşıyayken, giderek daha fazla sayıda insanın su sıkıntısı çeken bölgelerde yaşıyor olması büyük bir sorun olarak görülmektedir.

İklim değişikliğine bağlı hidrolojik varyasyonlar zaman içerisinde daha şiddetli hale geldiğinden, özellikle dünya çapında sık sık kuraklık ve taşkınlar meydana gelmekte ve bunun sonucunda önemli derecede kayıplar yaşanmaktadır. Bu nedenle, kuraklık ve sel gibi daha yoğun doğal afetlerin gelecekte daha da sık gerçekleşmesi beklenmektedir. Bu durum özellikle barajlar ve hidroelektrik enerji üretimi için de kritik bir öneme sahiptir. Barajlar, su kaynaklarını depolama, sulama ve enerji üretimi gibi temel konuların sağlanmasında önemli bir rol üstlendiğinden dolayı iklim değişikliğinin barajların su toplama havzasındaki yağış ve sıcaklık üzerindeki etkilerini anlamak, su kaynakları yönetimi açısından kritik bir gerekliliktir. Su kaynakları üzerinde oluşacak olan belirsizlikler, akış rejimlerindeki değişikliklere ve su seviyelerinde dalgalanmalara sebep olmaktadır. Dolayısıyla barajdaki işleyişin ve enerji üretiminin de bu farklılıklardan etkileneceği öngörülmektedir.

21. yüzyılın en büyük tehdidi olarak görülen küresel iklim değişikliği, dünya genelinde atmosferin bileşiminde meydana gelen değişiklikler sonucu ortalama sıcaklık, yağış ve rüzgâr gibi iklim faktörlerinde meydana gelen uzun süreli değişikliklerden oluşmaktadır. Bu değişikliklerin nedeni ise insan kaynaklı etkenlerin yanı sıra doğal faktörlerdir. Fosil yakıt kullanımı, ormansızlaşma, endüstriyel faaliyetler gibi insan etkinlikleri iklim değişikliğine yol açarken, yanardağ patlamaları, güneş aktivitelerindeki değişimler gibi doğal etkenler de bu sürece etki etmektedir. İklim değişikliği, küresel ısınma, ozon tabakasındaki incelme, deniz seviyelerinin yükselmesi gibi birçok olumsuz etkiye yol açabilmektedir (Demirbas & Aydın, 2020). Bu etkilerin yanı sıra iklim değişikliği yağışlara da etki etmektedir. İklim değişikliğinin yağış miktarı ve deseni üzerindeki etkisi, tarım, su kaynakları ve doğal yaşam alanları için ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Ayrıca, yoğun yağışlar ile gelen taşkınlar, altyapıya ve yaşam alanlarına ciddi zararlar verebilmektedir (Tabari, 2020).

İklim değişikliği sıcaklık, yağış gibi parametrelerin yanı sıra, dünya genelindeki baraj sistemlerini de etkileyen son derece önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir. İklim değişikliklerinin yarattığı artan sıcaklık ve yağış değişkenlikleri, barajların su kaynakları üzerindeki etkilerini doğrudan etkileyebilme potansiyeline sahiptir. Sıcaklık artışı, suyun hızla buharlaşmasına yol açarak rezervuarlardaki su seviyelerinin hızla azalmasına neden olabilmekte, aynı şekilde yağış değişkenlikleri de barajların su toplama ve su tedarik kabiliyetlerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu nedenle, gelecekteki iklim değişikliklerine adaptasyonun ve baraj sistemlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi açısından iklim değişikliğinin baraj sistemleri üzerindeki etkilerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır (Rocha vd. 2020).

Hükümetler Arası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) Altıncı Değerlendirme Raporunda (AR6) küresel ortalama yüzey sıcaklıklarının hızla arttığı ve bu artışın büyük ölçüde insan kaynaklı sera gazı emisyonlarından kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca, son 40 yıl içinde birbirini takip eden her on yıllık dönem ayrı ayrı incelendiğinde, her on yılın bir öncekine kıyasla daha yüksek sıcaklıklara sahip olduğu ortaya çıkmaktadır (IPCC, 2021; Şeker & Gumus, 2022). Kuzey yarım kürede ve ılıman iklim kuşağında bulunan Türkiye'nin yıllık ve mevsimlik ortalama sıcaklık değerleri de hızlı bir artış göstermiştir.

Genel dolaşım modelleri (GDM'ler); atmosfer, okyanuslar, kara ve buzul içeren karmaşık iklim sistemini simüle etmek için geliştirilen modeller olarak adlandırılmaktadır. Gelecekteki iklim ve iklim parametrelerinin (yağış, sıcaklık, buharlaşma vb.) belirlenmesinde farklı yaklaşımlar olsa da GDM çıktıları kullanılarak üretilen senaryolar

diğerlerine göre çok daha güvenilir sonuçlar verdiği için araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir (Wilby & Harris, 2006; Islam vd. 2012; Kumar vd. 2022). Ancak kullanılan GDM'lerin çözünürlüğünün düşük olması, iklim değişikliğinin bölgesel düzeydeki etkilerinin doğru bir şekilde belirlenmesinde sınırlamalar oluşturmaktadır. Bu nedenle iklim değişikliğinin iklim parametreleri, hidrolojik döngüler ve su kaynakları üzerindeki etkilerini tahmin etmek için GDM çıktılarının küresel ölçekten bölgesel veya istasyon ölçeğine indirgenmesi gerekmektedir. Literatürde dinamik ve istatistiksel olmak üzere iki ölçek indirgeme yöntemi bulunmaktadır. Topografik özellikleri birleştiren dinamik ölçek küçültme, daha yüksek çözünürlüklerde çalışmaya olanak tanır (Crane & Hewitson, 1988). Bununla birlikte, bu tür modellerin uygulanması, kurulumu ve optimizasyonu uzun süreli ve titiz bir çaba gerektirdiğinden, bunların farklı bölgeler için hızlı bir şekilde özelleştirilmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenle, kapsamlı atmosferik değişkenler ile yerel yüzey değişkenleri arasında istatistiksel ilişkiler kuran istatistiksel ölçek indirgeme yöntemleri, uyarlanabilirliği ve verimliliği nedeniyle sıklıkla kullanılmaktadır (Fistikoglu & Okkan, 2011; Nacar vd. 2019; Baghanam vd. 2020, Yilmaz vd. 2024).

Ölçek indirgeme yöntemlerinin uygulanmasına yönelik yapılan çalışmalar incelendiğinde araştırmacıların meteorolojik uydulardan ve küresel kara gözlem ağından elde edilen yeniden analiz verilerinden faydalandıkları görülmektedir (Su vd. 2016; Okkan & Karakan 2016; Baghanam vd. 2020). Yeniden analiz verileri spektral istatistiksel enterpolasyon teknikleri ile üretilen veri setlerini içermekte ve tarihsel dönemden günümüze kadar uzanan dünya çapındaki atmosferik değerlendirmeleri bir araya getirmektedir. Bu veri kümeleri, atmosferik çalışmaların yanı sıra iklim olaylarının modellenmesi için çeşitli kuruluşlar tarafından sağlanmaktadır ve çeşitli ulusal arşivlerden, gözlem istasyonlarından, uydu verilerinden ve hava tahmin modellerinden elde edilen verileri kapsamaktadır. Bazı çalışmalar ERA5'in yüksek çözünürlüklü zamansal ve mekansal veri sağlama yeteneğinden dolayı diğerlerine göre daha detaylı sonuçlar verdiğini bildirmiştir (Liu vd. 2021; Nacar vd. 2022). Bu yönüyle ERA-Interim'in yerini alan, 80 km'den 31 km'ye çıkan aralıklarla önemli ölçüde geliştirilmiş bir çözünürlüğe sahip olan, bunlara ek olarak daha az tahmin belirsizliği sergileyen ERA5 yeniden analiz verileri, daha ayrıntılı sonuçlar sunması gerekçesiyle diğer veri kümelerinden daha ön plana çıkmaktadır (Hersbach vd. 2020).

Araştırmacılar, daha hassas sonuçlar verebilmek için küresel verilerin yerel düzeye indirgenmesi gerektiğini sıklıkla vurgulamışlardır. Küresel ölçekte modellerin belirsizliklerini azaltmak, doğruluk ve güvenirliliğini arttırmak amacıyla farklı yöntemlerle

istatistiksel ölçek indirgeme modelleri kurulmuştur (Valverde vd. 2014; Sharma vd. 2020; Wang vd. 2021; Nacar vd. 2022). Yapay sinir ağları (YSA) hidrometeoroloji alanında hava durumu, taşkın, rüzgar enerjisi tahmini, su kaynakları yönetimi, su kirliliği ve uydu veri analizlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Ahmad & Simonovic 2005; Iliadis & Maris 2007; Sharma & Mutreja 2013; Paul & Das 2014; Marugán vd. 2018; Abu-Ali 2019). İnsan beyninin biyolojik sinir ağlarından ilham alan bu makine öğrenme modeli, istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi olarak güvenilir bir şekilde kullanılan yöntemlerden biridir (Goyal & Ojha, 2012; Okkan & Kirdemir, 2018). Benzer şekilde, çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE) algoritması; hava sıcaklığını, enerji dağılımını, deşarj katsayısını, su kirliliğini, atıksu arıtmayı, sediment tahminini ve istatistiksel ölçek indirgemeyi tahmin etmek dahil olmak üzere çeşitli alanlarda etkili bir şekilde kullanılmış ve doğrulanmıştır (Zhou & Leung, 2007; Zakeri vd. 2010; Zhang & Goh, 2016; Ramesh & Anitha, 2014; Parsaie vd. 2016; Kisi & Parmar, 2016; Parsaie & Haghiabi, 2017; Yilmaz vd., 2018; Baki vd. 2019; Nacar vd. 2022).

Birleştirilmiş model karşılaştırma projesi (CMIP6), araştırmacılara bilgi sağlamak amacıyla IPCC tarafından yürütülen küresel iklim değişikliği çalışmalarının bir parçası olmakla beraber iklim bilimi topluluğunun farklı modellerin performansını değerlendirmesine ve iklim değişikliği ile ilgili projeksiyon ve senaryolar geliştirmesine olanak tanır. Küresel iklim değişikliğinin potansiyel etkilerini anlamak için çeşitli iklim modellerinin toplanmasını ve karşılaştırılmasını kolaylaştırır. CMIP6, önceki versiyonlara göre daha gelişmiş ve karmaşık iklim modellerini içermektedir. İklim değişikliğinin yağış ve sıcaklık üzerindeki etkilerini incelemek için CMIP5 ve CMIP6'dan seçilen GDM'ler kullanılarak çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu etkiler genel olarak birbirine benzer olsa da CMIP6'da CMIP5'e göre daha net görülmektedir (Chen vd. 2020; Zamani vd. 2020). Benzer şekilde, yapılan ikili bir karşılaştırmayı konu alan bir çalışma, klimatolojik sıcaklık ve yağışla ilgili olarak CMIP5'ten CMIP6'ya geçişte iklim modellerinde bir gelişme olduğunu göstermiştir (Jiang vd. 2020).

Sosyoekonomik Rotalar (SSP), iklim değişikliği senaryolarının altında yatan sosyal ve ekonomik faktörleri tanımlayan bir dizi yol haritasını ifade etmektedir. Toplumsal, ekonomik ve çevresel değişkenlerin farklı kombinasyonlarını içeren ve gelecekteki iklim değişikliği etkilerini incelemek için kullanılan bu senaryolar, çeşitli karbon emisyon seviyeleri temel alınarak geliştirilmiştir (Gütschow vd. 2021; Gurney vd. 2022). İklim değişikliği etkilerini değerlendirmek isteyen araştırmacılara, planlamacılara ve karar

vericilere önemli bir kaynak sağlayan bu senaryolar su kaynakları, tarım ve ekonomi gibi çeşitli sektörlerde iklim değişikliği etkisini analiz etmek için kullanılmaktadır. Ayrıca bu senaryolar iklim değişikliği ile mücadele için alınacak tedbirler konusunda da ulusal ve uluslararası düzeyde kullanılmaktadır. SSP2 iklim değişikliğinin azaltılması ve uyum için orta derecede, SSP5 ise iklim değişikliğinin azaltılması için yüksek derecede ve iklim değişikliğine uyum için düşük derecede zorlukları öngörmektedir (Aksoy, 2023).

GDM'ler kapsamı nedeniyle iklim modellemesinde yaygın olarak kullanılırken, kaba çözünürlükleri ve belirli atmosferik süreçleri doğru bir şekilde modellemedeki sınırlı yetenekleri nedeniyle yanlılıklara sahip olması ile bilinmektedirler. Bu nedenle, iklim modelleme çalışmalarındaki tahminlerin güvenilirliğini artırmak için bu yanlılıkların ele alınması önemlidir. Bu düzenleme, projeksiyonların gerçek koşulları daha iyi yansıtmasını ve iklimle ilgili politika ve stratejilerde daha kesin karar alınması konusunda güvenilir olmasını sağlamaktadır (Kırdemir & Okkan, 2019). Yanlılık düzeltmesi yöntemleri iklim değişikliği çalışmaları ve hava tahminlerinde uygulanan çok önemli bir süreçtir. Bu yöntemler incelenen iklim parametrelerinin verilerine ait çeşitli dağılım momentleri uygulanarak ve parametrenin dağılım yapısı esas alınarak gerçekleştirilmektedir. Literatürde farklı yanlılık düzeltme yöntemlerinin kullanıldığı çalışmaların bulunması ile birlikte, bu yöntemleri birbirleriyle karşılaştıran çalışmalar da mevcuttur (Teutschbein & Seibert, 2012; Chen vd. 2013; Cannon vd. 2015; Dai vd. 2020). Bu çalışmalar sonucunda dağılıma dayalı yöntemlerin yağış simülasyonlarının hidrolojik model performansını arttıracak şekilde düzelttiği sonucuna varılmıştır.

İklim olaylarının modellenmesi doğası gereği karmaşıktır ve tek bir modelden yapılan tahminler genellikle çeşitli sınırlamalar nedeniyle bir dereceye kadar belirsizlik taşımaktadır. Farklı modeller benzersiz, güçlü ve zayıf yönler gösterdiğinden, birden fazla modeli birleştirmek bu bireysel eksikliklerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Çoklu model topluluğu (ÇMT) tahmini olarak bilinen bu yaklaşım, belirsizliği etkili bir şekilde azaltmakta ve iklim tahminlerinin hem doğruluğunu hem de genel güvenilirliğini arttırmaktadır (Nourani vd. 2019; Ahmed vd. 2020). ÇMT stratejisi, model geliştiricilerin kullandıkları tekil GDM'lerin avantajlarını anlamalarına ve ilgili zayıflıklardan kaçınmalarına yardımcı olmaktadır. ÇMT'nin havza ölçeğinde geliştirilmesi, GDM simülasyonlarındaki parametre ve yapısal belirsizlikleri azaltmanın uygun bir yoludur. Ayrıca rezervuar havzası modelleyicilerinin modelleme için uygun kararlar almasına yardımcı olmaktadır.

Akdeniz makro iklim bölgesinin subtropikal bölgesinde yer alan Türkiye, iklim değişikliğinin etkilerine en duyarlı ülkelerden biri olarak öne çıkmaktadır (Turkes, 2020). Ayrıca Türkiye’de yıllık ve mevsimsel ortalama sıcaklıklarda da hızlı bir artış yaşandığı gözlenmiştir (IPCC, 2021; Şeker & Gümüş, 2022). Türkiye’nin farklı bölgelerinde gerçekleştirilen, gelecekteki iklim koşullarına ilişkin öngörü ve değerlendirmelere odaklanan birçok çalışma, yağışlarda ciddi azalma, kuraklık yoğunluğunun artması, bazı bölgelerde iklimin daha kurak hale gelmesi gibi önemli bulgulara dikkat çekmiştir. Bu bağlamda, Türkiye’deki ısınma oranının küresel ortalamaların üzerine çıkması beklenmektedir (Turkes vd. 2020; Bagcaci vd. 2021; IPCC, 2021). Ayrıca CMIP5 ve CMIP6 karşılaştırmasına odaklanılarak toplam yağış ve ortalama sıcaklıklara ilişkin geleceğe yönelik projeksiyonların yapıldığı çalışmada, çalışılan alanın kıyı alanında olup olmadığı ve yükseltisinin farklılıklara neden olabileceği vurgulanmıştır (Şeker & Gumus, 2022).

Tüm dünyada iklim değişikliğinin barajlar üzerindeki etkileri üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Beyene vd. 2010; Chernet vd. 2014; Tofiq & Güven, 2015; Qin, 2022). Türkiye’de barajlarla ilgili, iklim değişikliğinin barajların su kaynakları üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi, su yönetim stratejilerini anlamayı ve gelecekteki su kaynaklarına yönelik riskleri değerlendirmeyi amaçlayan çeşitli iklim çalışmaları bulunmaktadır (Selek vd. 2016; Yalcin, 2023). Küresel iklim değişikliğinin yağış, sıcaklık, akış gibi parametreleri nasıl etkileyeceğine dair rezervuar alanlarını kapsayan çalışmalar da yapılmıştır (Fujihara vd. 2008; Okkan & Kırdemir, 2018; Okkan vd. 2023). Ayrıca iklimsel açıdan havza-rezervuar belirsizliğinin araştırılması, taşkın sıklığı ve şiddetindeki değişikliklerin değerlendirilmesi, çok amaçlı bir rezervuarın su temini güvenilirliğinin belirlenmesi gibi farklı çalışmalar da bulunmaktadır (Kara vd. 2016; Yalcin, 2023).

İklim değişikliğinin hidroelektrik barajların rezervuarlarına gelen akış miktarını etkilemesi su kaynaklarının planlanması ve işletilmesi konusundaki endişeleri doğrular nitelikte olup, istenmeyen durumlardan biri olarak görülmektedir. Küresel raporlara göre, dünya elektriğinin yaklaşık %16’sı ve dünya yenilenebilir elektriğinin yaklaşık %70’i hidroelektrik enerjiden üretilmektedir (IEA, 2012; Pazheri vd. 2014; Feng vd. 2018). Hidroelektrik üretiminin çok düşük maliyetli olması ve atmosferde sera gazı (karbondioksit, metan vb.) salınımına neden olmaması gibi birçok faydası, onu dünya çapında en popüler enerji üretim kaynaklarından biri haline getirmektedir. Bu nedenle, iklim değişikliğinin sonuçları karşısında hidroelektrik sistemlerin kırılganlığının değerlendirilmesi gerekmektedir (Jakimavičius vd. 2020).

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) yayınlamış olduğu rapora göre, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması senaryosu kapsamında yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik üretiminin 2008 ile 2035 arasında üç katına çıkacağını öngörülmüştür. Hidroelektrik enerji üretimi günümüzün artan dünya elektrik talebinin karşılanmasına önemli bir katkı sağlamaktadır. Raporda, yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel elektrik üretimindeki payının %19'dan neredeyse tüm kaynakların üçte biri seviyesine çıktığı belirtilmiştir (URL-2, 2024).

Fosil yakıtların artan maliyetlerine karşın hidroelektrik projelerinin ekonomik olması gerekçesi, günümüzde toplumlarının ihtiyaç duyduğu enerjiyi hidroelektrik santrallerden sağlaması için gerekli bir sebep olarak görülmüştür. Hidroelektrik santrallerin inşası dünyadaki çoğu ülke tarafından düşük maliyetli bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Hidroelektrik santraller, enerji üretim kaynağı olarak iletim ve dağıtım ağlarının en önemli parçaları olarak kabul edilmekte ve üretilen enerji, ekonomik kalkınma, tarım ve sanayi için gerekli bir unsur olarak görülmektedir (Cai vd. 2019). Nüfus artışı, kişi başına düşen elektrik tüketiminin artması, sanayi sektörlerinin gelişmesi nedeniyle enerji talebi sürekli artmaktadır (Yu & Ghadimi, 2019). Yaşam tarzının enerjiye bağımlılığı, ekipman ve makine olmadan yaşamın hayal edilmesini imkansız hale getirmiştir (Antonopoulos vd. 2020). Bu nedenle enerji talebini daha iyi anlamak için analitik yöntemlerin kullanılması önemlidir. Tüketicilerin ihtiyaç duyduğu enerjiyi sağlamak için önümüzdeki yıllarda enerji üretim yükünün tahmin edilmesi, şebeke gelişimi ve planlama açısından önem arz etmektedir.

Yenilenebilir enerjinin değişken doğası nedeniyle, bu kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi oldukça değişkendir ve elektrik şebekesine yönelik arzın veya üretimin hesaplanması ve tahmin edilmesi kritik öneme sahiptir. Bu anlamda özellikle son yıllarda DL teknolojisinin gelişmesi ve makine öğrenme modellerinin kurulması ile tahmin modellerinin oluşturulması uygulamalar arasında yerini almıştır. Uygulamalarda, çoğu yağış-akış modellemesi gibi gerçek hayata uygulanan zaman serisi verilerine dayalı olarak DL modelleri oluşturulmaktadır. DL mimarileri, öğrenme yapısının girdiler ve çıktılar arasındaki karmaşık ilişkileri ve verilerdeki karmaşık kalıpları öğrenmesine olanak tanımaktadır. Uzun kısa süreli bellek (LSTM) ağları da günümüzde yeniden ilgi çekmekte ve tahmin sistemlerinin birçok pratik uygulamasının yerini almaktadır (Kratzert vd. 2018; Bulut 2021, Sharafi vd. 2023; Sharafi vd. 2024).

## 1.2. Geçmişte Yapılmış Çalışmalar

### 1.2.1. İklim Değişikliği Çalışmaları

Su yönetimi ve su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından iklim değişikliğinin hidrolojik döngü üzerinde doğrudan etkilere sahip olduğu yapılan birçok çalışma ile kanıtlanmıştır. Son yıllarda iklim değişikliğinin su kaynakları üzerine etkilerinin incelenmesi konusu ülkemizde de önem kazanmıştır.

Fıstıkoğlu ve Okkan (2011) tarafından yapılan çalışmada, seçilen çalışma alanı için YSA tabanlı ölçek indirgeme modeli aylık yağış miktarını indirmek üzere kullanılmıştır. Ulusal Çevresel Tahmin Merkezi ve Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi (NCEP/NCAR) yeniden analiz veri setinden seçilen potansiyel tahminci değişkenler incelenmiş, yağış, yüzey ve deniz seviyesi basınçları, yüzey, 850, 500 ve 200 hPa basınç seviyelerindeki hava sıcaklıkları ile 850 ve 200 hPa basınç seviyelerindeki jeopotansiyel yüksekliklerin çalışma alanı için en açıklayıcı değişkenler olduğu sonucuna varılmıştır.

Okkan (2013) tarafından yağış ve sıcaklık değerlerinin IPCC kapsamında hazırlanan dördüncü değerlendirme raporuna (AR4) göre incelendiği çalışmada, yeryüzünde pek çok bölge için istatistiksel anlamda önemli değişimlerin olabileceği ve akımların da bu değişimlerden anlamlı düzeyde etkileneceği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma kapsamında iklim değişikliğinden etkilenmesi beklenen havzalardan birinde bulunan Tahtalı Baraj Havzası örneğine yer verilmiştir. İstatistiksel ölçek indirgeme modelinin de kullanıldığı çalışmada on dört farklı iklim modeli ve kombine iklim modeline yer verilmiştir. Farklı parametrik yağış-akış modelleri kullanılarak iklim değişikliği etkisi altında olması beklenen yağış ve sıcaklıklardaki değişimlerin akım üzerindeki etkilerinin de değerlendirildiği çalışmada baraj akışları farklı hazne performansları ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar iyimser ve kötümser tahminlere göre, yağışların sırasıyla %3 ve 13 azalabileceğini, sıcaklıkların 1.5 ve 2.1 °C artabileceğini ve akımların %9 ve 22 azalabileceğini öngörmektedir.

Okkan ve Gül (2015) ileri beslemeli sinir ağı (FFNN), destek vektör makineleri (SVM), ilgili vektör makinesi (RVM) gibi makine öğrenme yöntemleri ile oluşturulan istatistiksel ölçek indirgeme modelinin yanı sıra, GDM'ler, farklı emisyon senaryoları, çok modellenli topluluk ve yanlılık düzeltme yöntemlerini, Kemer Barajı'nın aylık akışlarının 1979-1999 referans dönemine göre değişimlerinin incelenmesi için kullanmışlardır. Çalışmada ölçek indirgeme performansı için RVM modelinin etkinliği uygun bulunmuş,

2010-2039 yılları arasında ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimlerinde akımlarda azalan eğilimlerin olabileceği öngörülmüştür.

Okkan ve Karakan (2016) iklim değişikliğinin Balıkesir-İkizce tepeler baraj havzasındaki 2015-2030 yılları için akımlar üzerindeki etkisini, AR4 kapsamında türetilen ECHAM5 modeli ve aylık olarak ölçülmüş yağış ve sıcaklıkların istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi kullanılmasıyla incelemişlerdir. Yağış ve sıcaklık verilerinin indirgenmiş senaryo sonuçlarının parametrik bir yöntem ile akımlara dönüştürülmesiyle elde edilen sonuçlara göre akışlar üzerinde yaklaşık olarak %23'lük bir azalma olması öngörülmektedir.

Dabanlı (2017) tarafından yapılan çalışmada, iklim değişikliği etkisi altında Akarçay Havzası'ndaki aylık toplam yağış ve ortalama sıcaklık ve Türkiye genelindeki kuraklık etkisi değerlendirilmiş, istatistiksel ölçek indirgeme, iklim modelinin kurulumu ve iklim etkisi altında gelecek tahmini olmak üzere üç ayrı ana bölüme yer verilmiştir. Belirlenen parametreler üzerindeki iklim değişikliği etkisi Emisyon Senaryolarına İlişkin Özel Rapor (SRES) senaryoları kullanılarak araştırılmıştır. 2011-2100 dönemi için elde edilen sonuçlar havza için ortalama yağış değerlerinde anlamlı bir değişimin olmamasına karşın aşırı yağışlarda artışların olabileceğini göstermiştir. Yıllık ortalama sıcaklık değerlerinde ise %0.3-0.4 artış göstereceği sonucuna varılmıştır. Çalışmada ek olarak havzaya ait gözlem ve model tahmin verileri için Yenilikçi Şen yöntemi ve diğer klasik yöntemler ile eğilim analizleri uygulanmıştır. Son bölümde ise Türkiye'de homojen olarak dağılmış 250 istasyonun 1931-2010 yılları arasındaki gözlenmiş değerleri kullanılarak kuraklık analizleri yapılmıştır. SPI (Standardized Precipitation Index) serileri kullanılarak mevsimlik (SPI-3) ve yıllık (SPI-12) ölçekte kuraklık karakterleri ortaya konmuştur.

Demircan vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları ve HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M GDM'leri, Türkiye ve çevre bölgesi için iklim değişikliği olasılıklarının ortaya konması amacıyla kullanılmıştır. Dinamik ölçek indirgeme yöntemi kullanılarak, 2016-2099 yıllarını kapsayan sıcaklık ve yağış projeksiyonlarının türetildiği çalışmadan elde edilen sonuçlar, Türkiye ortalama sıcaklıklarında 1 ile 6 °C arasında bir artışın, yağışlarda ise kış mevsimi dışında azalmaların olabileceğini öngörmektedir. Bu sonuçlara ek olarak, belirlenen dönem boyunca belirli bir azalış ya da artış eğiliminin beklenmesinden çok yağış rejiminde düzensizliklerin gözlenebileceği sonucuna varılmıştır.

Nacar (2020) tarafından yapılan çalışmada iklim değişikliğinin yağış ve sıcaklık üzerine olası etkisi Doğu Karadeniz Havzası örneği için incelenmiştir. İki farklı yeniden

analiz veri seti ve dört farklı GDM kullanılan çalışmada elde edilen sonuçlara göre, 2020-2100 dönemi için iyimser ve kötümser senaryoya göre sırasıyla havzanın güneyinde yer alan istasyonlarda ortalama 2.5 ve 3.5 °C, kuzeyinde yer alan istasyonlarda ise 2 ve 3 °C sıcaklık artışlarının olması beklenmektedir. Yağışlarda ise havzanın güneyinde düşüşler olması beklenirken, kıyı bölümlerde yer alan istasyonlarda ilkbahar aylarında artışların olması beklenmektedir.

Aziz vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'deki yıllık ve mevsimsel ekstrem sıcaklıkların zamansal değişkenliğini hem durağan hem de durağan olmayan frekans analizi kullanılarak incelenmiş, tarihsel dönem (1971-2016) ve gelecek döneme ait (2051-2100) minimum ve maksimum sıcaklıkları analiz etmek için RCP8.5 senaryosu kapsamında CORDEX bölgesel iklim modellerinden 12 üyeli bir toplulukla değerlendirilmeler yapılmıştır. Durağan olmayan etkiler altında özellikle Türkiye'nin doğusunda, maksimum sıcaklıklara (+4 °C'ye kadar) kıyasla minimum sıcaklıklar (+10 °C'ye kadar) için daha yüksek etkilerle birlikte, güçlü mekansal ve mevsimsel değişkenliklerin görülebileceği öngörülmüştür. Uzun vadede, artan minimum sıcaklıkların kar yığınlarını azaltabileceği, kar erimesi akışını yılın başlarına kaydırabileceği ve yaz mevsimindeki su mevcudiyetini azaltabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Bağçacı vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, CMIP5 ile CMIP6 modellerinin, Türkiye üzerindeki aylık yağış ve sıcaklık açısından değerlendirilmiş ve karşılaştırmalı performansları sunulmuş, özellikle yağış açısından doğruluk istatistikleri için CMIP6 verilerinin CMIP5'ten daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Çalışma neticesinde yaz aylarındaki ısınmanın 6.5 °C'ye kadar çıkabileceği, sonbahara doğru yağışlardaki azalmanın %40 oranlarında olabileceği ve bu durumun ülke geneline yayılabileceği öngörülmüştür.

Nacar vd. (2022) yaptıkları çalışmada, aylık ortalama sıcaklık ve toplam yağış verilerinin istatistiksel ölçek indirgenme modeli için en uygun yeniden analiz veri setinin belirlenmesini amaçlamışlardır. Bu bağlamda modellerin oluşturulmasında NCEP/NCAR, ERA-Interim ve ERA5 yeniden analiz veri setlerini yöntem olarak ise ÇDURE ve geleneksel regresyon denklemlerini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre ERA5 veri setleri kullanılarak elde edilen değerlerin meteoroloji istasyonlarından ölçülen yağış ve sıcaklık değerlerine daha yakın olduğu ve ÇDURE yönteminin, iklim değişikliği etki çalışmalarında istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi olarak başarıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Gümüş vd. (2023) 2015-2100 dönemi için SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarını ve Era5-Land verilerini göz önünde bulundurarak tüm CMIP6 iklim modellerinin en güncel

sürümünü, Türkiye’deki iklim aşırılıklarının teşhisinde kullanmak üzere değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, Türkiye’de SSP5-8.5 senaryosunda, SSP2-4.5 senaryosuna kıyasla daha şiddetli su stresinin yaşanabileceğini, en soğuk, en sıcak ve ortalama günlük maksimum sıcaklık gibi aşırı sıcaklık değerlerinin Türkiye’nin tüm bölgelerinde artmasına ve yüzyılın sonuna kadar 7.5 °C’ye kadar ısınma koşullarının olabileceğine işaret etmektedir.

Okkan vd. (2023) yapmış oldukları çalışmada, Gördes rezervuarı için iki RCP senaryosu etkisinde, 12 farklı GDM’den elde edilen istatistiksel olarak indirgenmiş ve yanlılıkları düzeltilmiş meteorolojik veriler, 2021-2050 dönemi için bir hidrolojik modelleme prosedürü kullanılarak giriş projeksiyonlarına dönüştürülmüştür. Sonrasında, riskten korunma kuralı diferansiyel evrim algoritmasıyla entegre edilerek, tüm senaryo GDM varyasyonlarına uyum sağlamaya yönelik bir parametrelendirme-simülasyon-optimizasyon çerçevesi geliştirilmiştir. Uyarlanabilir riskten korunma politikalarının standart işletme politikalarından kaynaklanan potansiyel kırılganlıkları %68 ile 97 arasında değişen oranlarda azalttığını ve iklim değişikliği kaynaklı su açıklarına karşı sürdürülebilirlik endeksini 0.75’in üzerinde tuttuğunu göstermiştir.

Işınkaralar vd. (2024) Batı Karadeniz Havzası’nda yaptıkları çalışmada iklim değişikliğinin mekân-zamansal koşullarda temel parametreler olan sıcaklık, yağış ve iklim sınıfları üzerindeki etkilerini simüle etmişlerdir. SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolar çerçevesinde farklı indeksler kullanılarak 2100 yılına kadar yirmi yıllık periyotlarda tahmin haritaları üretilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tüm alanda farklı indisler için çok nemli, nemli ve yarı nemli bölgelerdeki yüzdelerde düşüşler olması beklenmektedir.

Şan (2024) 1979-2014 yıllarını referans alarak yakın ve uzak gelecek (2030-2059 ve 2070-2099) için yağış, sıcaklık ve su güvenliğine ait değişimleri incelemiştir. Bunun için üç farklı SSP (SSP1-2.6, SSP3-7.0 ve SSP5-8.5), 14 farklı GDM ve dokuz farklı meteoroloji gözlem istasyonunun kullanıldığı çalışmada, günlük toplam yağış, maksimum ve minimum sıcaklıklar için istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi uygulanmıştır. En uygun olarak belirlenmiş dört adet GDM ile çoklu model topluluğu ortalaması alınmış ve geleceğe ait veriler SWAT hidrolojik modeline, su tüketim verileri ile girilmiştir. Sonucunda mavi ve yeşil su parametreleri hesap edilmiştir. Bulgulara göre her iki gelecek dönem için de yıllık yağışlarda 120 ve 250 mm azalış, maksimum sıcaklıklarda -4-1,5 °C ile 0-4 °C’lik ve yıllık minimum sıcaklıklarda -1-1 ile 1-5 °C’lik azalış/artış beklenmektedir. Gelecekteki mavi ve yeşil su depolanmasında azalmalar olması, kıtlıkta ise artışların olması beklenmektedir.

### 1.2.2. İklim Değişikliğinin Hidroelektrik Enerji Üzerine Etkisi ve Enerji Tahmin Modelleri ile İlgili Çalışmalar

İklim değişikliği altında hidroelektrik üretiminin gelecekteki değişimini incelemek, orta ve uzun vadeli hidroelektrik tahmini açısından büyük önem taşımaktadır. İklim değişikliği altında büyük ölçekli rezervuar gruplarının gelecekteki hidroelektrik üretimini tahmin etme konusunda çeşitli araştırmalar yapılmıştır.

Minville vd. (2009) tarafından Kanada'nın Peribonka Nehir Havzası'nda yapılan çalışmada, hidrolojik rejimlerdeki değişikliklerin hidroelektrik enerji üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada SRES A2 sera gazı emisyon senaryosu ve Kanada bağlantılı küresel iklim modeli (CGCM3) ile iç içe geçmiş Kanada bölgesel iklim modelinden yararlanılmıştır. 1961-1990 yılları referans dönem olarak baz alınan çalışmada ileriye dönük değişiklikler 2010-2039, 2040-2069 ve 2070-2099'lu yıllar olmak üzere üç ayrı dönemde incelenmiştir. Ana sonuçlar, yıllık ortalama hidroelektrik gücün 2010-2039 dönemi için %1.8 oranında azalacağını ve ardından 2040-2069 ve 2070-2099 dönemlerinde sırasıyla %9.3 ve 18.3 oranında artacağını göstermiştir.

Yu vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, iklim değişikliği etkisinin kademeli hidroelektrik santraller için rezervuar giriş akımları ve bunu takip eden hidroelektrik enerji üretimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bir hidrolojik model ve bir simülasyon modelinin entegre edilmesiyle hem referans dönemi (1980-1999) hem de gelecek dönem (2020-2039) boyunca analizler yapılmıştır. Yedi farklı GDM için çoklu model ortalaması alınmış, A1B ve B1 emisyon senaryoları altında ölçeği indirgenmiş yağışlar ve sıcaklıklar kullanılmıştır. Simüle edilmiş mevsimsel girişler gelecekte azalma eğiliminde iken, hidroelektrik enerji üretiminde Mayıs-Ekim yağışlı sezonunda -%14.9 ile 4.6 arasında ve Kasım-Nisan kurak sezonunda -%33.1 ile 0.2 arasında değişeceği öngörülmüştür. B1 senaryosu altında bu değerlere karşılık gelen değerler yağışlı ve kurak mevsimlerde sırasıyla -%19.6 ile 4.1 ve -%30.6 ile -6.4'tür.

Chilkoti vd. (2017) tarafından Florida eyaletine bağlı Tallahassee yakınlarındaki Ochlockonee Nehri üzerinde yapılan çalışmada, koordineli bölgesel ölçek indirgeme deneyi (CORDEX) aracılığıyla mevcut olan bölgesel iklim modeli (RCM) verilerini kullanarak iklim değişikliğinin hidroelektrik üretimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için hidrolojik model tabanlı bir çalışma yürütülmüştür. Gelecekte öngörülen iklim senaryosu (2091-2100), altı iklim modeli topluluğu ile RCP 4.5 senaryosu izlenerek oluşturulmuştur. Gelecekteki iklimin su mevcudiyeti üzerindeki etkisi, buna karşılık gelen girişler ve enerji

üretiminde model topluluğu sonuçları arasında önemli bir mevsimsel değişkenlik olduğunu göstermektedir.

Alrayess vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye’de üretilen hidroelektrik enerjinin elektrik arzına katkıda bulunan birincil yenilenebilir enerji kaynağı olduğu ve gelecekteki katkısının da önemli ölçüde artmasının beklendiği ifade edilmiştir. Enerji üretiminin doğru tahmin edilmesi konusunun mevcut güç yönetimi için önemli bir konu olduğu ve doğru tahminin sağlanmasıyla yenilenebilir enerjinin pazarlanmasının optimize edilebilmesi konusu üzerinde durulmuştur. Yaptıkları çalışma kapsamında hidroelektrik santral tarafından üretilen enerji miktarının tahmininde makine öğrenimi tekniklerini kullanmışlardır. 1993’ten 2013’e kadar olan aylık hidroelektrik enerji üretim verilerini kullanarak YSA, SVM ve DL hidroelektrik tahmin sürecinde kullanımını araştırmışlardır. DL yönteminin diğer yöntemlere göre daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Elias ve Miegel (2018) yaptıkları çalışmada, RCP4.5 ve RCP8.5 olmak üzere iki senaryo etkisine dayalı olarak, 2006-2014 referans dönemi ve 2019-2040, 2041-2070 ve 2071-2100 periyotları olmak üzere üç ayrı gelecek dönem için hidroelektrik enerji üretimi ve ilgili hidrolojik değişkenleri modellemişlerdir. Sonuçlar, değişkenlikler de olsa RCP4.5 senaryosuna göre her üç dönemde de referans döneme göre enerji üretiminde %7.6, 1.5 ve 0.9 oranında artış olacağını, RCP8.5 senaryosuna göre ise 21. yüzyılın son yirmi yılında %15.1 oranında bir azalma yaşanacağını ortaya koymuştur.

Zhong vd. (2020) tarafından büyük ölçekli rezervuar gruplarının gelecekteki hidroelektrik üretimini tahmin etme amaçlı yapılan çalışmada en uygun işletme modeli ile birleştirilmiş makro ölçekli dağıtılmış hidrolojik model önerilmiştir. Oluşturulan model, 62 rezervuar da dahil olmak üzere büyük ölçekli rezervuar gruplarının özel işletme süreçlerini dikkate almaktadır. Çalışmada ilk olarak istatistiksel ölçek indirgeme modeli oluşturulmuş ve gelecekteki yağış ve sıcaklığın evrim eğilimi tahmin edilmiştir. İkinci olarak, gelecekteki yüzey akışını tahmin etmek için makro ölçekli dağıtılmış Değişken Sızma Kapasitesi (VIC) modeli oluşturulmuştur. Son olarak hidroelektrik üretim eğilimlerini tahmin etmek için büyük ölçekli rezervuar gruplarının optimum işletme üretim modeli kurulmuştur. Sonuçlar, RCP2.6 senaryosu altında, gelecekte hidroelektrik üretiminde önemli bir artış veya azalma eğilimi olmadığını göstermektedir. Ancak RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında hidroelektrik üretimi bir artış eğilimi göstermekte olup bu eğilim RCP8.5 senaryosunda daha da belirgindir.

Wang vd. (2020) yapmış oldukları çalışmada, Yangtze Nehri Havzası'ndaki kuraklık eğilimlerini ve bunların hidroelektrik kapasitesi üzerindeki etkilerine ilişkin iklim modellerinden elde edilen bulguları değerlendirmiştir. Bulgulara göre 1999-2018 dönemine kıyasla 1.5 ve 2 °C ısınma senaryoları altında kuraklık şiddeti ve sıklığının artacağını öngörmektedir. Ayrıca, bu ısınma senaryoları altında, meteorolojik koşulların tek başına hidroelektrik kapasitesinde bir düşüşe yol açacağı öne sürülmüştür. Genel olarak hem artan kuraklık olaylarının hem de hidroelektrik sisteminin gelişiminin nehir havzasındaki hidroelektrik kapasitesini ortaklaşa etkileyeceği ve meteorolojik koşullardaki kuruma eğilimi nedeniyle gelecekte özellikle bahsedilen çalışma alanını etkileyeceği sonucuna varılmıştır.

Alrayess ve Keskin (2021) tarafından yapılan çalışmada, belirlenmiş olan barajın ve hidroelektrik santralin GDM verilerinden üretilen enerji miktarının kısa vadeli tahmininde makine öğrenimi tekniklerinin kullanılmasının sonuçları sunulmuştur. Hidroelektrik üretimini tahmin etmek için Karar Ağacı (DT), Derin Öğrenme (DL), Genelleştirilmiş Doğrusal (GL), Gradyan Destekli Ağaçlar (GBT) ve Rastgele Orman (RF) modelleri kullanılmıştır. Sonuçlar, gradyan destekli ağaçlar modelinin korelasyon değerinin 0.717'ye eşit olduğunu ve mevcut veriler için en başarılı model olduğunu göstermiştir. Her bir GDM'nin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için elde edilen tahmin sonuçlarında GDM'lerin enerji üretimi üzerindeki eğilimlerinin modeller arasında farklılık gösterebileceği sonucuna varılmıştır.

Bhattarai vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, önemli bir hidroelektrik potansiyele sahip çalışma alanı için iklim değişikliğinin enerji üretimi üzerindeki olası etkisi değerlendirilmiştir. Yüzyılın ortası için aylık, mevsimsel ve yıllık zamansal ölçeklerde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarını dikkate alan enerji üretimi tahmin sonuçları, enerji üretiminin büyük ölçüde rezervuar işletme kuralına bağlı olduğunu göstermiştir. Ortalama yıllık enerji üretiminin, aylık bazda önemli farklılıklar göstererek, yüzyılın ortalarındaki durumunun -%5 ile 12 arasında değişmesi beklenmektedir.

Pir vd. (2024) yapmış oldukları çalışmada iklim değişikliğinin Türkiye'nin Sakarya Nehri havzasındaki HES'lerde üretilen enerji verileri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, enerji ve nehir akışı verilerinde Mann-Kendall (verilerin %50'si) ve Yenilikçi Trend Analizi (verilerin %90'ı) yöntemlerinde azalan bir eğilim gözlenirken, Üç Boyutlu Yenilikçi Trend Analizi yönteminde (verilerin %70'i) kararsız eğilimler gözlenmiştir. Ancak Pamukova HES'in enerji ve akış verilerinde orta bölgede kararlı bir

azalma eğilimi gözlenmiş, Sakarya iline ait yağış verilerinde tüm yöntemlerde genel olarak bir eğilim gözlenmemiş olsa da sıcaklık verilerinde genel olarak artış eğilimi gözlenmiştir.

Tayyeh ve Mohammed (2024) Fırat Nehri havzasındaki Haditha Barajındaki iklim değişikliğinin nehir havzasının deşarj modellerini, rezervuarın giriş hacmini ve hiper-kurak bölgedeki barajın gelecekteki hidroelektrik santrallerinin potansiyelini nasıl etkileyeceğini, CMIP6 tarafından yönlendirilen beş GDM ve üç SSP kullanılarak araştırmışlardır. Tahminler, havza genelinde sıcaklık artışının 2.3 °C'ye ve yağıştaki azalmanın %6.2'ye varacağını, ek olarak, akışta %18.28 ve rezervuarın giriş hacminde %14.71'e varan azalmaların olacağını öngörmüşlerdir. Hidroelektrik enerji üretimindeki düşüş %15'e kadar olup, bu değişim yıllık 0.29 ile 1.16 TWh arasında değişmektedir.

Javed vd. (2020) Pakistan'da bulunan Tarbela Barajı'nda hidroelektrik santrallerden elektrik üretiminin tahmin edilmesine yönelik tahmin modelleri geliştirmişlerdir. Tahmin modelleri santralden gelen parametrelerin yanı sıra, baraj havzasındaki sıcaklık ve yağış değerlerini de içermektedir. Ayrıca enerji üretimini tahmin etmek için çoklu doğrusal regresyon, KNN, SVM, RF ve zaman serisi tabanlı LSTM yöntemleri olmak üzere farklı denetimli makine öğrenimi ve zaman serisi tabanlı modeller uygulanmıştır.

Hanoon vd. (2023) Çin'de bulunan Three Gorges Barajı'nda yapmış oldukları çalışmada 1979-2016 aralığındaki verileri kullanarak bir rezervuarın güç üretimini tahmin etmede YSA, Otomatik Regresyon Entegreli Hareketli Ortalama (ARIMA) ve SVM olmak üzere farklı denetimli ve denetimsiz makine öğrenme algoritmalarının performansını araştırmışlardır. Elektrik üretimi ilk senaryoda günlük, ikinci senaryoda aylık, üçüncü senaryoda mevsimsel olarak tahmin edilmiştir. Sonuçlar, önerilen modellerin enerji üretimini verimli bir şekilde tahmin etmek için kullanılabileceğini ve enerji karar vericileri için etkili bir yöntem olabileceğini göstermektedir.

Türkiye'de hidroelektrik başta olmak üzere rüzgar, güneş ve jeotermal gibi yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi her yıl hızlı bir artış göstermektedir. 2019 yılı sonu itibarıyla Türkiye'nin kurulu elektrik kapasitesi 2018 yılına göre %3.07 artarak 91267 MW'a ulaşmıştır (Bulut, 2020). Kurulu gücün 20642.5 MW'ını baraj tipi hidroelektrik santralleri, 7860.5 MW'ını ise nehir tipi santralleri oluşturmuştur. 2024 yılının Temmuz ayı sonu itibarıyla Türkiye elektrik üretiminin kurulu gücün kaynaklarına göre dağılımı %19.3'ü kömür, %21.9'u doğal gaz, %28.5'i hidroelektrik kaynaklar, %10.9'u rüzgar enerjisi, %15.6'si güneş enerjisi, %1.5'i jeotermal enerji ve %2.4'ü ise diğer kaynaklar şeklindedir (URL-3, 2024).

### 1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

İklim değişikliğine yönelik çalışmalar incelendiğinde Türkiye'nin hemen hemen tüm bölgelerinde birçok sorunla karşı karşıya olduğu görülmektedir. Bu sorunlar arasında artan sıcaklıklar, azalan su miktarı ve kalitesi, kısa ancak yoğun yağışlar nedeniyle taşkınların ve su baskınlarının meydana gelmesinde artış ve aşırı sıcaktan kaynaklanan kuraklıklar da dahil olmak üzere aşırı hava olaylarının sıklığında ve büyüklüğünde artışlar yer almaktadır. Tüm bu bilgiler ışığında, iklim değişikliğinden kaynaklanan sorunların buharlaşma, yağış, baraj akımları, su seviyeleri, enerji üretimi gibi rezervuar havzası ölçeğindeki önemli hususları yakından etkileyebileceği öngörülmektedir.

Kızılırmak Nehri üzerine inşa edilen ve 700 MW kurulu güç ile Türkiye'nin beşinci büyük barajı olan Altınkaya Barajı su toplama havzasında 2020 yılında yağışların neredeyse yarı yarıya azalması nedeniyle suyun kilometrelerce çekildiği ve göl alanının küçüldüğü gözlenmiştir. Suların çekilmesi ile gözle görülür şekilde tarım alanları ortaya çıkmış ve balıkçı kayıklarının karaya oturduğu gözlenmiştir. Bölgedeki belirli dönemlerde yaşanan bu sorunun varlığının vurgulanması ve gelecekte oluşabilecek sorunların önceden tahmin edilmesi konusunda ileri düzeyde bilgi sahibi olunması açısından, çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Altınkaya Baraj Havzası'nda iklim değişikliğinin yağış ve sıcaklık gibi atmosferik parametreler üzerindeki olası etkilerini ve bu etkilerin baraj giriş akımları ve hidroelektrik enerji üretimi üzerinde oluşturabilecek olası değişikliklerini incelemektir. Çalışma üç ana aşamadan oluşmakta olup aşağıda bu aşamalara ait bilgiler verilmektedir.

Çalışmanın ilk aşamasında iklim değişikliğinin bölgesel etkilerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri olan küresel ölçekli GDM çıktılarının bölgesel ölçeğe indirgenmesi işlemi uygulanmıştır. Bu amaçla, önceden yapılmış çalışmalar da baz alınarak en güncel iklim projeksiyon arşivi olan CMIP6'dan seçilmiş altı farklı GDM çıktılarından yararlanılmıştır. Bu modeller arasında CNRM-CM6-1, GFDL-ESM4, MRI-ESM2-0, CNRM-CM6-1-HR, MIROC6 ve ACCESS-CM2 bulunmaktadır. Seçilen GDM'ler küresel ölçekten bölgesel ölçeğe indirgenmiş referans dönem senaryo verileri ile geçmiş dönemi, iyimser (SSP2-4.5) ve kötümser (SSP5-8.5) senaryolarla gelecek dönemi temsil etmiştir. İstatistiksel ölçek indirgeme modellerinin oluşturulmasında klasik regresyon analizi (KRA) ve YSA yöntemleri kullanılmıştır. Modeldeki girdi verisini çalışma alanının içinde

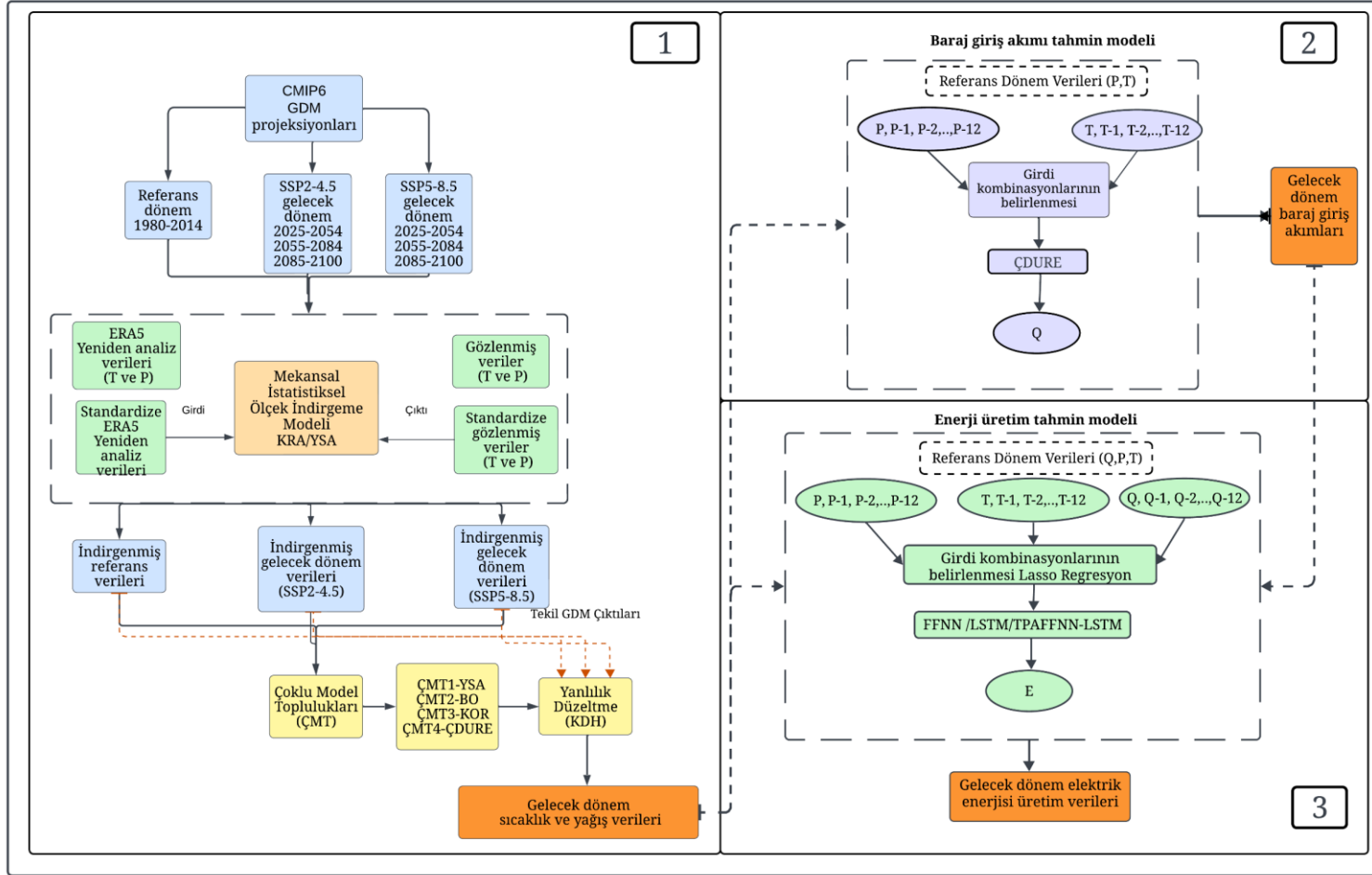
bulunduğu sayısal ağırları kapsayan ERA5 yeniden analiz veri seti, çıktı verisini ise baraj havzasını en iyi temsil ettiği düşünülen ve en az otuz yıllık gözlem verisine sahip olan istasyonlardan alınan 1980-2014 dönemine ait sıcaklık ve yağış verileri oluşturmuştur. Her istasyonun havzada temsil ettiği bölge Thiessen poligonları kullanılarak belirlenmiştir. Model çıktıları çeşitli istatistikler kullanılarak karşılaştırılmış ve en iyi sonuçları veren ölçek indirgeme modeli referans ve gelecek dönem verilerini oluşturmak için kullanılmıştır. Daha sonra, bu verilere kantil delta haritalama (KDH) yanlılık düzeltme işlemi uygulanmış ve veriler P1, yakın gelecek (2025-2054); P2, orta uzak gelecek (2055-2084) ve P3, uzak gelecek (2085-2100) olmak üzere üç ayrı döneme ayrılmıştır. Referans dönem senaryo çıktılarına dayanarak, bireysel GDM'nin performans sıralamaları belirlenmiştir. Ardından, en başarısız model topluluk üyeliğinden çıkartılarak beş tekil modelin referans dönemine ait senaryo çıktıları YSA, basit ortalama, korelasyon katsayılarının ağırlıklandırılması ve ÇDURE olmak üzere dört farklı yöntemde kullanılarak çoklu model toplulukları (ÇMT) oluşturulmuştur. Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında tekil GDM'ler yerine, oluşturulan dört adet ÇMT etkisi üzerinden analizler ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında baraj giriş akımları için akım tahmin modelleri oluşturmak amacıyla ÇDURE yönteminden faydalanılmıştır. Modellerde girdi parametresi olarak baraj havzasını temsil eden gözlenen aylık toplam yağış (P, mm/ay) ve aylık ortalama sıcaklık (T, °C) değerleri, t zamanlı aylık gecikmeli durumları da göz önünde bulundurularak kullanılmıştır. Modeldeki girdi kombinasyonlarının belirlenmesi için M1 korelasyon, M2 geriye doğru eleme, M3 adimsal regresyon, M4 ileriye doğru seçim, M5 en iyi alt kümeler ve M6 ise üç aylık periyotlar yöntemi olmak üzere altı farklı özellik seçim yöntemi kullanılmıştır. Girdi kombinasyonları ile oluşturulan modeller arasından en iyi sonucu veren model çalışmanın akım tahmin modeli olarak seçilmiştir. 1987-2022 yılları aralığını kapsayan gözlem verileri ile oluşturulan referans tahmin modeli belirlendikten sonra, iklim değişikliği etkisi altında baraj akım verilerinin üretilebilmesi için bu tahmin modelinin yeni girdileri tekil GDM'lerden oluşturulan ÇMT'lerin her iki senaryo etkisi altında ileriye dönük üretilmiş sıcaklık ve yağış parametrelerinden oluşturulmuştur. Yeni çıktılar ise iklim değişikliği etkisi altında elde edilmiş baraj giriş akımı tahmin değerlerini oluşturmaktadır.

Çalışmanın son aşamasında ise hidroelektrik enerji üretim tahmin modelleri oluşturulmuştur. Model girdi kombinasyonları için özellik seçimi sürecinde sıcaklık, yağış ve akım parametrelerinin referans dönemine ait verilerinin akım tahmin modellerinde olduğu gibi t zamanlı aylık gecikmeli etkileri de dikkate alınmıştır. Modellerin uygulanma

aşamasından önce tüm girdi parametrelerine En Küçük Mutlak Küçültme ve Seçim Operatörü (LASSO) regresyonu uygulanmıştır. Tahmin modeli olarak uzun-kısa süreli bellek ağları (LSTM), ileri beslemeli sinir ağları (FFNN) ve uzun-kısa süreli bellek ağları ve ileri beslemeli sinir ağlarının zamansal örüntü dikkat mekanizması ile hibrit yaklaşımı (TPAFFNN-LSTM) olmak üzere üç ayrı yöntemin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen bulgular değerlendirilerek en düşük hata değerine sahip yöntem ve model belirlenmiştir. Modelin yeni girdilerini ÇMT'ler etkisinde üretilen gelecek dönem sıcaklık, yağış ve akım verileri, çıktı verisini ise bu parametrelere bağlı olarak üretilen gelecek dönem hidroelektrik enerji üretim tahmin verileri oluşturmuştur.

İklim değişikliğinin sıcaklık, yağış, baraj giriş akımı ve üretilen enerji miktarındaki değişimlerinin iyimser ve kötümser senaryolar etkisinde tahmin modelleri yardımı ile geleceğe dönük incelenmesinin amaçlandığı bu çalışmanın, elektrik üretim potansiyeli yüksek olan bu baraj havzasında, sürdürülebilir su kaynakları yönetimi ve hidroelektrik enerji üretiminde gelecekte karşılaşılabilecek zorluklar için alternatif çözümler bulunabilmesi konusunda yardımcı olabileceği düşünülmektedir. Çalışmanın uygulama adımlarının gösterildiği akış şeması Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Çalışmaya ait akış şeması

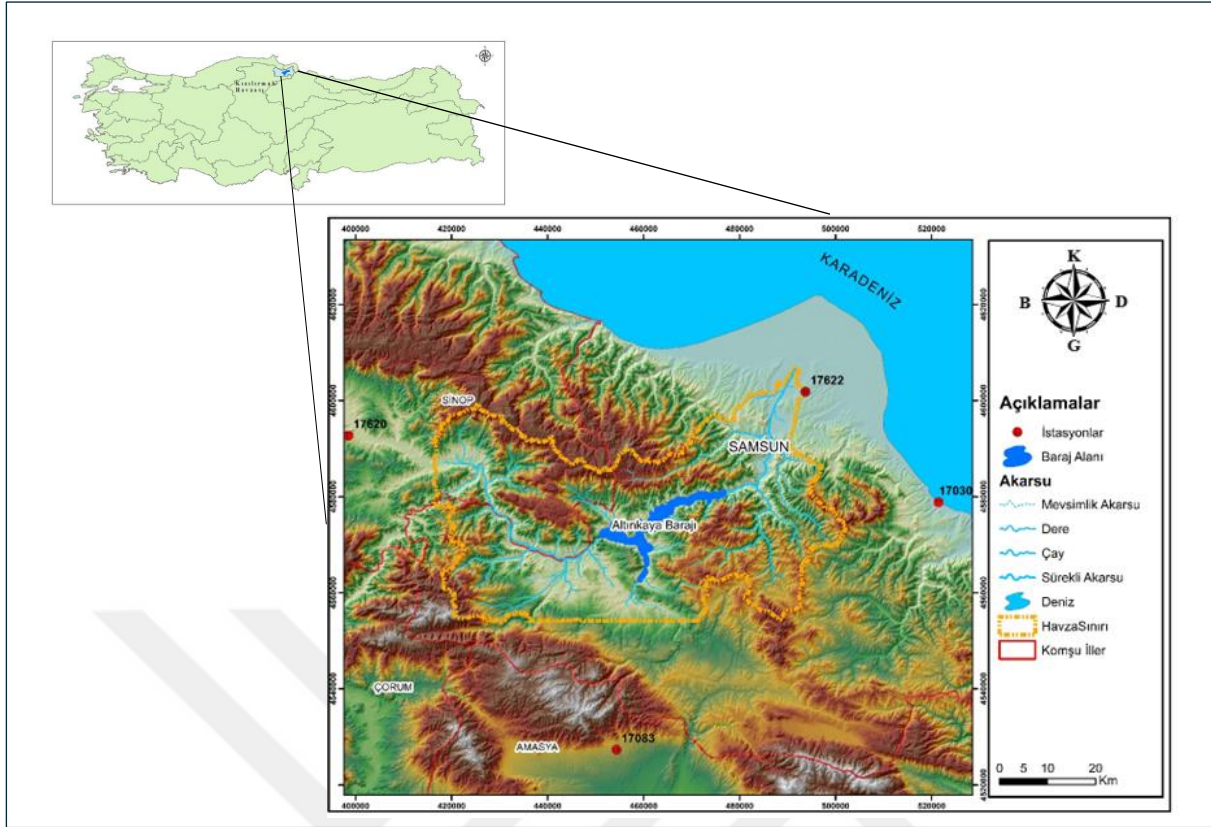
## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Çalışma Alanı ve Baraj Karakteristikleri

Kızılırmak Havzası yüzölçümü açısından Fırat'tan sonra Türkiye'nin ikinci büyük havzası olup İç Anadolu Bölgesi'nin doğu bölümünde, 41°- 44' ve 38°- 25' kuzey enlemleri ile 32°- 48' ve 38°- 25' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Kızılırmak Havzası Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %10.49'unu kaplamaktadır. Kızılırmak Havzası'nın iklimi genellikle karasal bir karaktere sahiptir. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı bir iklim hakimdir. Türkiye'nin en az yağış alan bölgelerinden biri olup ortalama yağış miktarı 400 mm'dir. Bu iklim koşulları, havzanın bitki örtüsünü belirlemiştir. Özellikle nehir yatağı etrafında sulama ile tarım yapılan alanlar dışında, havzanın genellikle bozkır bitki örtüsü ile kaplı olduğu görülmektedir. Bazı bölgelerde çukurda kalan bölgelerin varlığı iklimi yumuşatırken, yaylalardaki dağlık kesimler iklimi sertleştirmektedir (URL-4, 2024).

Kızılırmak Nehri, Sivas Kızıldag'dan doğarak Samsun ilinin batısında yer alan Bafra'dan Karadeniz'e dökülmekte ve aynı zamanda ülkemiz toprakları üzerinde bulunan en uzun akarsu olma özelliğini taşımaktadır. Altinkaya Barajı, Kızılırmak Nehri üzerinde enerji üretmek amacıyla 1980-1988 yılları arasında inşa edilmiştir. Barajın konumu ve baraj havzasının sınırları Şekil 2'de verilmektedir.

Kil çekirdekli kaya dolgu tipinde inşa edilmiş, her biri 175 MW'lık dört üniteden oluşan toplam 700 MW kurulu güce ve yıllık  $1.632 \times 10^6$  kWh elektrik enerjisi üretme kapasitesine sahip Altinkaya Barajı Türkiye'nin en büyük hidroelektrik santrallerinden biridir (Yılmaz, 2014). Baraj karakteristiklerine ait daha ayrıntılı bilgi Tablo 1'de verilmektedir.



Şekil 2. Türkiye havzaları, barajın konumu ve baraj havzasının sınırları

Tablo 1. Altinkaya Barajı ve hidroelektrik santraline ait karakteristikler

|                                       |                         |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Havzası                               | Kızılırmak              |
| İli                                   | Samsun                  |
| İşletmeye açılış tarihi               | 01.01.1988              |
| Yağış alanı                           | 75165 km <sup>2</sup>   |
| Yıllık ortalama akım                  | 4019 hm <sup>3</sup>    |
| Yıllık ortalama yağış                 | 490 mm/yıl              |
| Minimum işletme kotu                  | 160 m                   |
| Maksimum işletme kotu                 | 190 m                   |
| Minimum işletme hacmi                 | 2871 hm <sup>3</sup>    |
| Maksimum işletme hacmi                | 5763 hm <sup>3</sup>    |
| Dolu savak maksimum kapasitesi        | 11800 m <sup>3</sup> /s |
| Dolu savak eşik kotu                  | 175 m                   |
| Dolu savak kret kotu                  | 195 m                   |
| Dip savak kapasitesi                  | 139 m <sup>3</sup> /s   |
| Yıllık Ortalama Enerji Üretimi (Plan) | 1632 GWh/yıl            |

Barajın kurulum amaçları arasında; elektrik enerjisi üretmek, barajın yaklaşık 20 km mansabında bulunan Derbent Barajı'na sürekli ve düzenli olarak su temin etmek ve taşkın kontrolü sağlamaktır. 16.159 hm<sup>3</sup> gövde hacmi ile Türkiye'nin büyük barajlarından biri olma özelliğini taşıyan Altinkaya Barajı'nda son yıllarda havzaya düşen yağışların azalması ve

sıcaklıkların artması gibi sebeplerden dolayı su seviyesinin metrelerce düştüğü gözlemlenmektedir. Nehir debisinin azalmasına bağlı olarak baraj gölünün yeterince beslenememesi tarım arazilerinin meydana çıkması ve balıkçı kayıklarının karaya oturması gibi sorunları da beraberinde getirmiştir (Şekil 3). Son yıllarda yaşanan bu değişiklikler yağış, sıcaklık ve baraj akımlarını önemli ölçüde etkilemiştir.



Şekil 3. Altinkaya Baraj Havzası'ndan görüntüler (a): kayığın karaya oturması, (b): suların çekilmesi (URL-5, 2024)

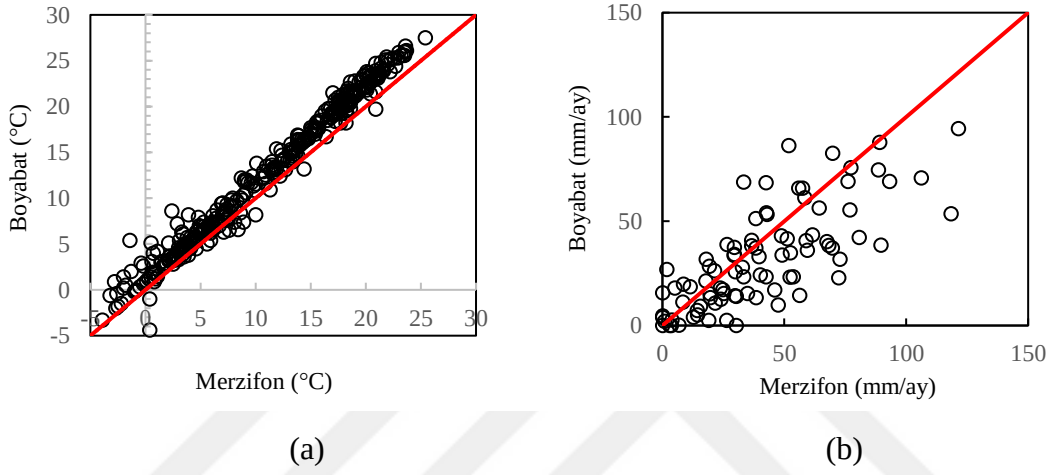
## 2.2. Gözlem Verileri

Çalışma kapsamında aylık ortalama sıcaklık, toplam yağış, toplam giriş akımı ve toplam hidroelektrik enerji gözlem verilerinden faydalanılmıştır. Altinkaya Baraj Havzası'na ait yağış ve sıcaklık gözlem verileri ise Meteoroloji 11. Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir. Çalışmada dikkate alınan meteoroloji istasyonlarına ait bilgiler Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Altinkaya Baraj Havzasını temsil eden meteoroloji istasyonları

| İstasyon adı | İstasyon no | Koordinat                    | Kot (m) | Gözlem aralığı | İşleten kuruluş | Ortalama yağış (mm) | Ortalama sıcaklık (°C) |
|--------------|-------------|------------------------------|---------|----------------|-----------------|---------------------|------------------------|
| Samsun       | 17030       | 41°20'39.0"K<br>36°15'23.0"D | 4       | 950-2021       | MGM             | 59.20               | 14.62                  |
| Bafra        | 17622       | 41°33'05.4"K<br>35°55'26.9"D | 103     | 1963-2021      | MGM             | 66.12               | 13.96                  |
| Boyabat      | 17620       | 41°27'46.6"K<br>34°47'07.1"D | 350     | 1960-2021      | MGM             | 46.6                | 13.41                  |
| Merzifon     | 17063       | 40°52'45.5"K<br>35°27'30.6"D | 754     | 1930-2021      | MGM             | 34.36               | 11.56                  |

Boyabat istasyonuna ait eksik gözlenmiş aylık ortalama sıcaklık ve toplam yağış verileri doğrusal regresyon ilişkisi göz önünde bulundurularak Merzifon istasyonundan tamamlanmıştır. Özellikle aylık ortalama sıcaklık değerlerindeki korelasyonun iki istasyon arasında çok yüksek olduğu görülmüştür. Boyabat ve Merzifon istasyonları arasındaki ortalama sıcaklık ve toplam yağış verileri arasındaki korelasyon ve regresyon ilişkisi Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Boyabat ve Merzifon istasyonlarının: (a) aylık ortalama sıcaklık ve (b) aylık toplam yağış gözlemleri arasındaki korelasyon ve regresyon

$$T_{Boyabat} = 1,0553T_{Merzifon} + 1,1777 \quad (R=0,99) \quad (1)$$

$$P_{Boyabat} = 0,6366P_{Merzifon} + 6,2426 \quad (R=0,75) \quad (2)$$

Eşitlik (1) ve (2)'de verilen regresyon ilişkileri yardımıyla Boyabat istasyonunun eksik olan yağış ve sıcaklık verileri Merzifon istasyonuna bağlı olarak tamamlanmıştır. Eksik veriler tamamlanırken eksiksiz ve kesintisiz olarak veri alınmış yıllar göz önünde bulundurulmuştur.

### 2.2.1. Baraj Havzasını Temsil Eden Yağışlar

Altinkaya Baraj Havzasının aylık yağışlarını temsil etmek üzere seçilen ve Şekil 5'te konumları gösterilen Samsun, Bafra, Merzifon ve Boyabat meteoroloji istasyonlarından havzanın alansal ortalama yağışlarının bulunabilmesi için ArcGIS programı ile istasyonlar

arasında Thiessen poligonları oluşturulmuş ve her bir istasyonun havza üzerindeki ağırlıkları hesap edilmiştir. Ağırlık katsayıları Tablo 3'te sunulmuştur.

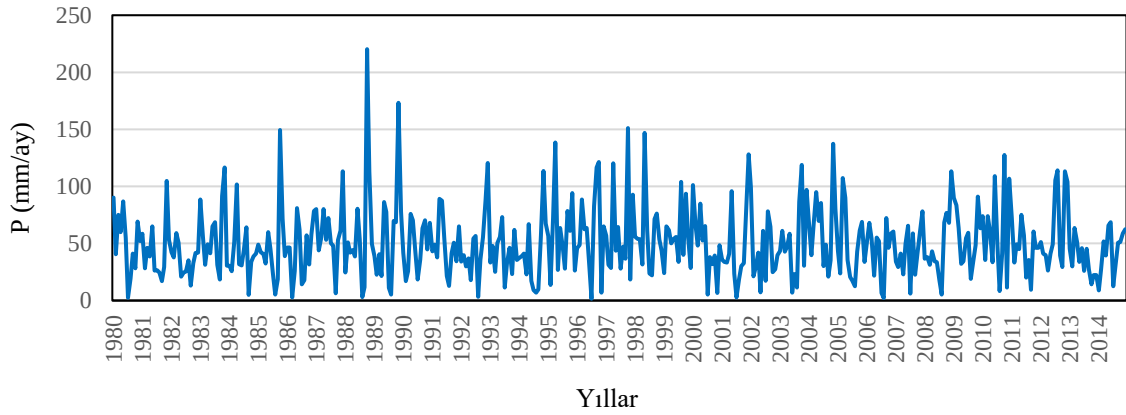


Şekil 5. Altinkaya Baraj Havzası, yağış istasyonlarının konumları ve oluşturulan Thiessen poligonları

Tablo 3. İstasyonların baraj havzası üzerindeki ağırlık oranları

| Meteoroloji İstasyonları | Ağırlık Katsayıları |
|--------------------------|---------------------|
| Bafra-17622              | 0,40                |
| Boyabat-17620            | 0,26                |
| Merzifon-17063           | 0,27                |
| Samsun-17030             | 0,05                |

Tablo 3'te belirtilen her bir istasyona ait ağırlık katsayıları ile o istasyonda gözlenmiş olan aylık toplam yağış verileri çarpılarak havzaya ortalama olarak düşen yağış verileri elde edilmiştir. Şekil 6'da istasyon oranlarına bağlı olarak elde edilen aylık ortalama yağış verilerinin zamana bağlı değişimi verilmektedir.



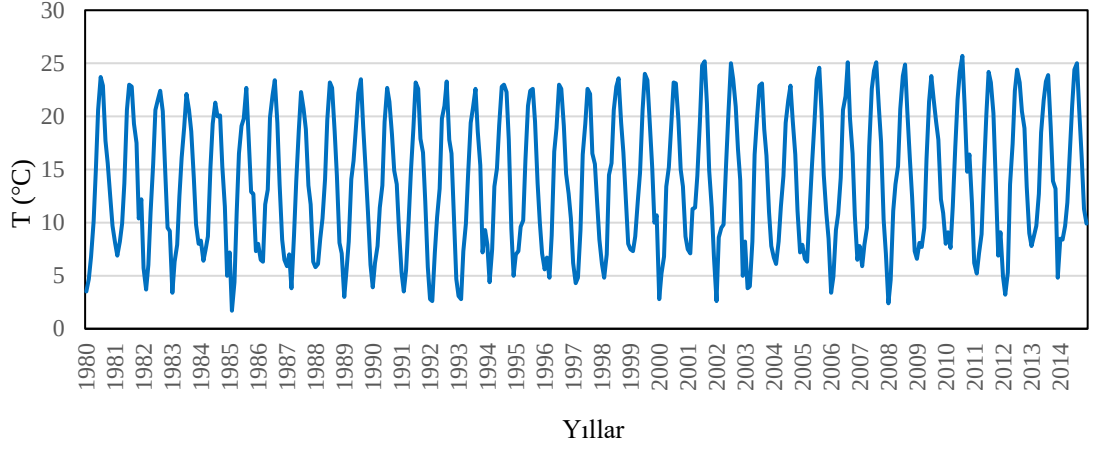
Şekil 6. Alansal ortalama yağış verilerinin zamana bağlı değişimi

### 2.2.2. Baraj Havzasını Temsil Eden Sıcaklıklar

Altinkaya Baraj Havzasının temsil edildiği Merzifon, Bafra, Samsun ve Boyabat istasyonları arası ortalama sıcaklık değerlerindeki korelasyon ilişkisinin yüksekliği, regresyon doğrusunun eğiminin 1 değerine yakın olması ve barajı temsil eden alansal ortalama sıcaklığının yüksekliği göz önünde bulundurularak, Bafra istasyonunun 1980-2014 döneminde arasındaki aylık ortalama sıcaklık değerlerinin baraj havzasının temsil ettiği kabul edilmiştir. Tablo 4’te istasyonlar arasındaki ilişkiyi gösteren  $R^2$  değerleri, Şekil 7’de ise Bafra istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık ölçümlerinin zamana bağlı değişimi ( $^{\circ}\text{C}$ ) verilmektedir.

Tablo 4. İstasyonlar arasındaki ortalama sıcaklık gözlemleri arasındaki korelasyon ilişkisi

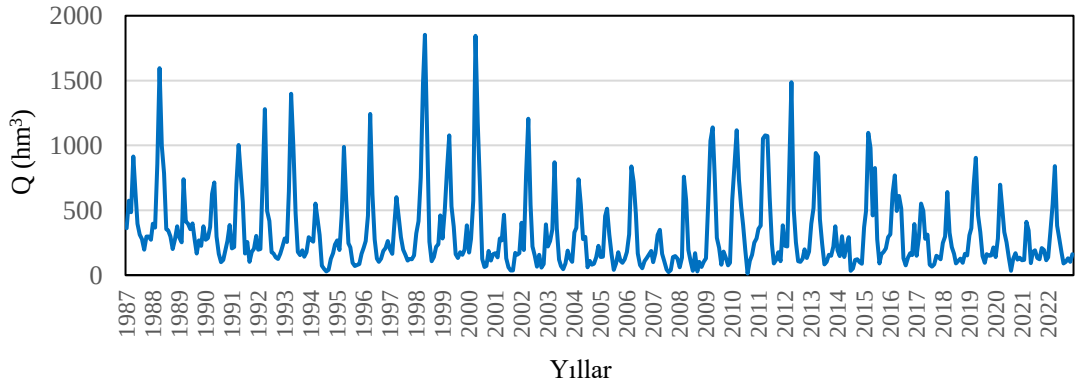
| İstasyonlar      | $R^2$ |
|------------------|-------|
| Samsun-Bafra     | 0.99  |
| Boyabat-Merzifon | 0.98  |
| Bafra-Merzifon   | 0.97  |
| Boyabat- Bafra   | 0.96  |
| Samsun -Merzifon | 0.96  |
| Boyabat-Samsun   | 0.95  |



Şekil 7. Bafra istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık (°C) verilerinin zamana bağlı değişimi

### 2.2.3. Altınkaya Barajı Giriş Akımları

Baraj giriş akımları, bir barajın belli bir zamanda ne kadar su aldığını ve su kaynakları ve yağıştan gelen suyun barajlara ulaşma miktarını belirleyen verilerdir. Altınkaya Barajı'na ait aylık giriş akımları Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Veriler  $\text{hm}^3$  cinsinden olup, 1987-2022 yılları aralığını kapsamaktadır. Şekil 8'de aylık baraj giriş akımlarının zamana bağlı değişimi gösterilmektedir.

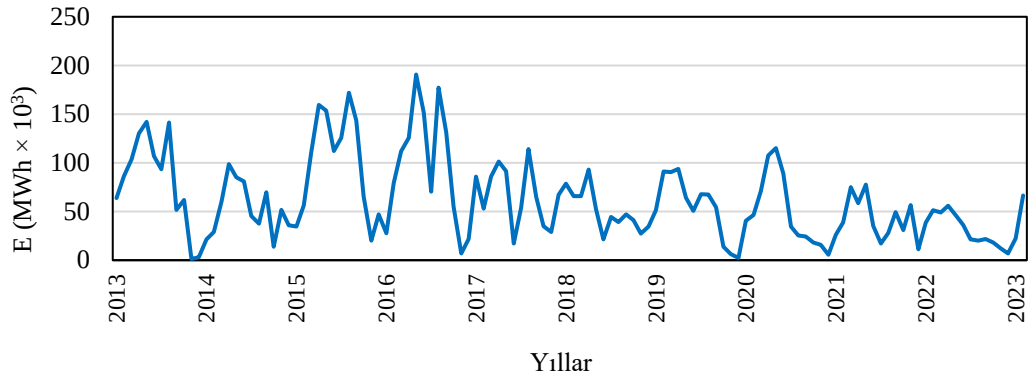


Şekil 8. Altınkaya Barajı aylık giriş akımlarının zamana bağlı değişimi

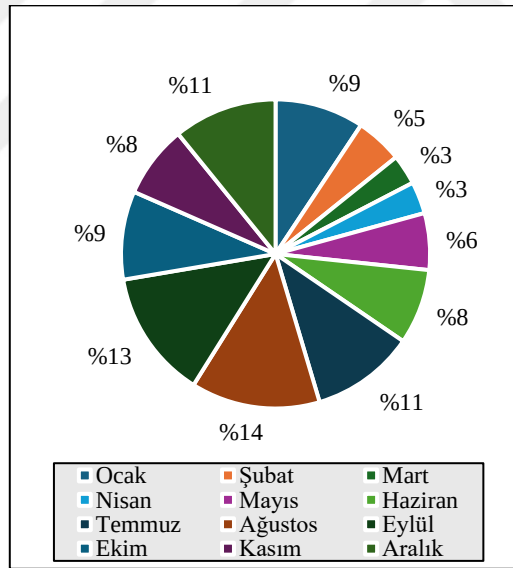
### 2.2.4. Elektrik Enerjisi Üretim Verileri

Barajda üretilen gerçek zamanlı elektrik üretim verilerine Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPIAŞ) şeffaflık platformu üzerinden erişim sağlanmıştır. Aylık toplam üretilen enerji miktarları MWh cinsinden olup, 2013-2023 yılları aralığını kapsamaktadır.

Şekil 9’da aylık toplam üretilen elektrik enerjisi verilerinin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 10’da referans dönemini kapsayan yıllar aralığında aylık toplam bazda üretilen enerjinin yüzde cinsinden dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 9. Aylık toplam üretilen elektrik enerjisi verilerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 10. Elektrik üretim verilerinin referans dönemi kapsayan aylık toplam değişimleri (%)

### 2.2.5. Gözlenmiş Verilerin İstatiksel Analizleri

Altinkaya Baraj Havzasının aylık toplam yağış, ortalama sıcaklık, baraj giriş akımları ve toplam üretilen elektrik enerjisi verilerini temsil eden değerlere ait minimum (min), maksimum (mak), ortalama (ort), standart sapma ( $S_x$ ), çarpıklık ( $C_{sx}$ ), değişkenlik ( $C_{vx}$ ) ve basıklık ( $B_x$ ) gibi temel istatistik değerleri sırasıyla Tablo 5’te verilmektedir.

Tablo 5. Altinkaya Baraj Havzası aylık toplam yağış, ortalama sıcaklık, giriş akımları ve elektrik üretim verilerine ait temel istatistikler

| Parametre            | Min   | Mak    | Ort   | S <sub>x</sub> | C <sub>ss</sub> | C <sub>vx</sub> | B <sub>x</sub> |
|----------------------|-------|--------|-------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| P (mm)               | 1.59  | 220.23 | 50.33 | 30.23          | 1.25            | 0.60            | 3.02           |
| T (°C)               | 1.70  | 25.70  | 13.81 | 6.42           | 0.08            | 0.46            | -1.26          |
| Q (hm <sup>3</sup> ) | 12.60 | 1852   | 325   | 298            | 2.06            | 0.91            | 5.00           |
| E (MWh)              | 1322  | 190692 | 63441 | 40900          | 0.86            | 0.64            | 0.41           |

### 2.3. ERA5 Yeniden Analiz Verileri

Çalışma kapsamında kullanılan veriler çeşitli kuruluşlar tarafından atmosfer çalışmaları ve iklim olaylarının modellenmesi amacıyla kullanıma sunulmaktadır. Yeniden analiz verileri, hava istasyonları, uydular, gemiler, uçaklar vb. gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen gözlemlerin, atmosfer ve okyanusların sayısal modeliyle birleştirilmesiyle oluşturulan bir tür veri kümesini ifade etmektedir. Bu veri kümeleri, geçmiş hava ve iklim koşullarını kapsamlı ve tutarlı bir şekilde temsil edebilmek amacıyla belirli bir süre boyunca, küresel veya bölgesel bir etki alanı genelinde kayıt altına alınmıştır. Genellikle saatlik, günlük veya aylık gibi düzenli aralıklarla sunulmasının yanı sıra çok çeşitli mekana ve zamana bağlı ölçekleri kapsamaktadır.

Yüksek uzaysal ve zamansal çözünürlüğe sahip olması, yer ve zaman içindeki değişimler hakkında güvenilir bilgiler vermesi, yağış ve buharlaşma dengesi, toprak nemi, deniz yüzeyi sıcaklığı, deniz buzu gibi özellikleri daha iyi yansıtması ve gelişmiş troposfer özelliklerinden dolayı ERA5 yeniden analiz verileri birçok alanda kullanılmaktadır.

Kaba çözünürlüklü olan farklı GDM'lerin yerel ölçekteki yağışlara ve sıcaklıklara dönüştürülmesi için, yeniden analiz verileri ile gözlenmiş yağış ve sıcaklık değerleri arasında bazı istatistiksel dönüşüm ilişkilerinin kurulması önerilmektedir (Anandhi vd. 2008; Fistikoğlu & Okkan, 2011; Okkan & Fistikoğlu, 2012). Bu kapsamda çalışmada Era-Interim yeniden analiz veri setinin yerini alan, önemli ölçüde geliştirilmiş yüksek çözünürlüğe (60 km yerine 31 km aralıklarla) ve daha düşük tahmin belirsizliğine sahip ERA5 yeniden analiz veri seti kullanılmıştır. ERA5 yeniden analiz veri seti 1940'tan günümüze kadar olan dönemi kapsamaktadır.

#### 2.4. Genel Dolaşım Modeli (GDM)

Pek çok ulusal ve uluslararası kurum ve kuruluş, potansiyel iklim değişikliği ve etkilerinin hassas bir şekilde değerlendirilmesi konusunda çeşitli çalışmalar yürütmektedir. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ve bu teknolojinin bilimsel çalışmalarda kullanılmasının yaygınlaşmasıyla birlikte iklim modelleme konusu da önem kazanmaya başlamıştır. Atmosferin, okyanusun, buz örtüsünün ve toprak süreçlerinin matematiksel temsiline dayanan GDM'ler, geçmiş iklim değişikliklerini anlamak, gelecekteki iklim değişikliği senaryolarını tahmin etmek ve sera gazı emisyonları ile volkanik aktivite gibi çeşitli faktörlerin iklim sistemi üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla kullanılan önemli ve güvenilir araçlardır.

İklimsel modellemeler ve iklim sistemini anlamlandırmak için en güvenilir araçlar olarak görülen GDM'ler bölgesel ölçekli modellere göre bazı sınırlandırılmalara sahiptirler. Bu modeller genellikle sınırlı çözünürlüklü sayısal ağlar üzerinde çalıştıklarından dolayı; daha küçük ölçekli atmosferik ve okyanus süreçlerini doğru şekilde yakalayamayabilecekleri gibi bölgesel iklim değişkenliğini ve aşırı hava olaylarını temsil etme konusunda zorluklar ile karşılaşabilmektedirler. Başka bir ifadeyle, GDM'ler yaklaşık olarak 100 ile 250 km aralığını kapsayan kaba bir çözünürlük ile çalıştıklarından, küresel iklim ve hava olaylarını mantıksal olarak açıklasalar da bölgesel ölçek düzeyinde yeterli hassasiyeti verememektedirler. Sonuç olarak bölgesel bir iklim değişkeninin ayrıntılı olarak temsil edilebilmesi için iklim simülasyonlarının daha yüksek çözünürlükler kullanılarak yapılması önerilmektedir (Chilkoti vd. 2017).

Küresel birleşik atmosfer-okyanus modellerinden (AOGCM) elde edilen çıktılar için kapsamlı arşivlerin oluşturulmasıyla, 1990'ların ortalarında iklim araştırmaları ile ileriye yönelik büyük adımlar atılmaya başlanmıştır. Bu arşivler, model çıktılarının anlaşılması ve yorumlanması, iklim modeli karşılaştırma projeleri ve IPCC'nin değerlendirme raporları için gerekli görülmüştür.

CMIP arşivleri, iklim araştırma topluluğunun değişen ve büyüyen gereksinimlerine yanıt olarak gelişen resmi bir proje olarak görülmektedir. CMIP projelerinin temel amacı, iklim projeksiyonlarındaki performansları değerlendirmek, ortak noktaları belirlemek ve belirsizlikleri ölçmek için birden fazla GDM'nin çıktılarını karşılaştırmak ve değerlendirmektir.

## 2.5. Paylaşılan Sosyoekonomik Rotalar (SSPs)

SSP senaryoları; iklim değişikliği araştırmalarında, gelecekteki farklı sosyoekonomik gelişmelerin ve bunların sera gazı emisyonları, iklim etkileri ve uyum stratejileri üzerindeki etkilerini keşfetmek amacıyla kullanılan bir dizi niceliksel yol haritasını ifade etmektedir. İklim değişikliği değerlendirmeleri yapılırken sosyoekonomik faktörlerin de bu değerlendirmelere entegre edilebilmesi gerekçesiyle yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Wang vd. 2022).

SSP senaryolarının geliştirilmesinden önce iklim modelleri, 1990'ların sonlarında geliştirilen SRES adı verilen bir dizi senaryoya dayanmaktaydı. Ancak küresel sosyoekonomik eğilimlerdeki değişiklikler ve iklim bilimindeki yeni anlayış nedeniyle bu senaryolar geçerliliğini yitirmiştir. Ekonomik ve sosyal yapıda önemli değişiklikler meydana gelmesiyle birlikte daha kapsamlı ve güncel bir senaryo seti olarak sunulan SSP'ler araştırmacılar tarafından daha iyi bir analiz ve planlama aracı olması sebebiyle kullanılmaya başlanmıştır.

Bu senaryolar çeşitli karbon emisyon seviyeleri temel alınarak oluşturulmuş ve sonuç olarak farklı SSP senaryoları ortaya çıkmıştır. Tablo 6'da SSP1 küresel olarak güçlü bir sürdürülebilirlik temelinde bir gelecek görünümünü; SSP2 sosyal, ekonomik ve teknolojik etkenlerde orta seviyede değişimleri ve ilerlemeleri ifade etmektedir. SSP3 bölgesel rekabetin arttığı ve küresel ısınma ile mücadelede ortak çabaların sınırlı olduğu; SSP5 ise ekonomik büyümenin hızlı, nüfus artışının yüksek ve enerji kullanımının fosil yakıtlara dayalı olarak devam ettiği bir senaryoyu temsil etmektedir.

Tablo 6. SSP'lerin ışımsal zorlama seviyeleri

| 2100'e kadar yaklaşık ışımsal zorlama seviyeleri (W/m <sup>2</sup> ) | SSP1<br>Sürdürülebilirlik | SSP2<br>Orta yol | SSP3<br>Bölgesel rekabet | SSP5<br>Fosil yakıt gelişimi |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------|--------------------------|------------------------------|
| 8.5                                                                  |                           |                  |                          | SSP5-8.5                     |
| 7.0                                                                  |                           |                  | SSP3-7.0                 |                              |
| 4.5                                                                  |                           | SSP2-4.5         |                          |                              |
| 2.6                                                                  | SSP1-2.6                  |                  |                          |                              |
| 1.9                                                                  | SSP1-1.9                  |                  |                          |                              |

Pek çok bilimsel çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da ortalama bir yolu temsil eden SSP2-4.5 senaryosunun yanı sıra, en yüksek emisyon seviyelerini ve en olumsuz iklim senaryolarını temsil eden SSP5-8.5 senaryosu dikkate alınmıştır (Qin vd. 2022; Haider vd.

2023). Atmosferdeki radyatif zorlamanın  $4.5 \text{ W/m}^2$  seviyesinde kaldığını varsayan SSP2-4.5 senaryosu çalışma genelinde iyimser bir senaryo olarak tanımlanırken, bunu  $8.5 \text{ W/m}^2$  seviyesinde tutan SSP5-8.5 senaryosu ise kötümser bir senaryo olarak kabul edilmiştir.

## 2.6. Çalışmada Kullanılan Yöntemler

Bu başlık altında bahsedilecek olan yöntemler çalışmanın farklı aşamaları için uygulanmıştır. KRA ölçek indirgeme modellerinin, YSA ölçek indirgeme modellerinin ve çoklu model ortalamalarının, ÇDURE çoklu model ortalamalarının ve akım tahmin modellerinin oluşturulması aşamasında kullanılmıştır. LSTM, FFNN ve TPAFFNN-LSTM yöntemleri ise hidroelektrik enerji üretim tahmin modellemelerinde kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan tüm yöntemlere ait bilgilere aşağıda yer verilmiştir.

### 2.6.1. Klasik Regresyon Analizi (KRA)

KRA, bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi modellemek için kullanılan temel bir istatistiksel analizdir. Amaç, deterministik bir yaklaşım ile bağımsız değişkeni veya değişkenleri, bağımlı değişkenle eşleştiren fonksiyonel formu öğrenmektir. Bağımsız ve bağımlı değişkenler arasında, basit bir doğrusal ilişki olabileceği gibi doğrusal olmayan daha karmaşık bir ilişkinin varlığından da söz edilebilir.

Doğrusal olmayan regresyon, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki karmaşık ilişkilerin modellenmesinde verilere daha iyi uyum sağlayarak bu tür ilişkileri doğrusal regresyona kıyasla daha esnek bir şekilde yansıtabilir. Hidrolojik süreçler, yağış, buharlaşma, sızma, yüzey akışı ve yeraltı suyu akışı gibi çeşitli faktörler arasındaki karmaşık etkileşimler nedeniyle sıklıkla doğrusal olmayan ilişkiler sergiler. Bu bağlamda, bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen regresyon modellerinde doğrusal fonksiyonun (KRA-DF) yanı sıra, üstel fonksiyon (KRA-ÜF) ve kuadratik fonksiyon (KRA-KF) olmak üzere doğrusal olmayan fonksiyonlara da yer verilmiştir.

Regresyon analizinin amacı, bağımlı değişkenin gözlenen değerleri ile model tarafından tahmin edilen değerler arasındaki farkı en aza indirgeyen katsayıları tahmin etmektir. Regresyon modellerinin kurulmasında kullanılan çok değişkenli fonksiyonlar aşağıda verilmiştir.

Doğrusal fonksiyon;

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m \quad (3)$$

Üstel fonksiyon;

$$y = \beta_0 + e^{(\beta_1 + \beta_2 x_1 + \beta_3 x_2 + \dots + \beta_m x_{m-1})} \quad (4)$$

Kuadratik Fonksiyon,

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_1 x_1 + \beta_3 x_2 + \beta_4 x_2 x_2 + \beta_5 x_1 x_2 \quad (5)$$

biçiminde tanımlanır. Eşitliklerde;  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$  değerleri bağımsız değişkenleri,  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m$  değerleri regresyon katsayılarını,  $y$  ise bağımsız değişkenler yerine konularak elde edilen bağımlı değişkenleri göstermektedir. Eşitlikler iki değişken durumuna göre sunulmuştur.

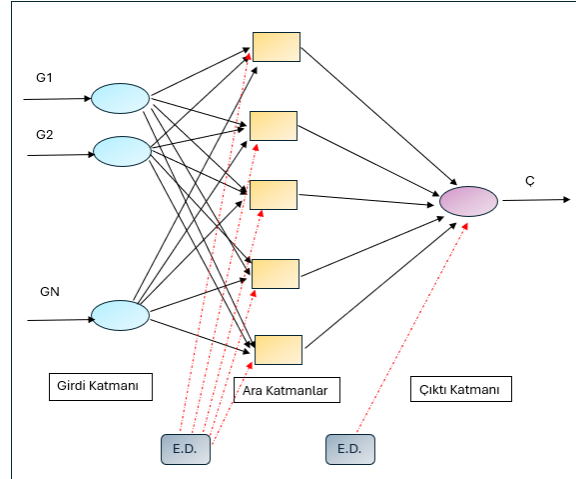
### 2.6.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

YSA, insan beyninin yapısından ve işleyişinden esinlenerek geliştirilen bir tür makine öğrenme yöntemidir. Katmanlar halinde düzenlenmiş, birbirine bağlı düğümlerden veya yapay nöronlardan oluşurlar. Bilgi işlem süreçleri olarak nitelendirilebilen YSA, verilen girdilere karşı çıktılar üreten bir kara kutuya benzetilebilir (Kohonen, 1988). Bilgi, her bir nöronun girdi verilerini işlemesi ve çıktıyı bir sonraki katmana aktarmasıyla bu katmanlar boyunca iletilir. YSA'lar, modelin tahmin edilen ve gerçek çıktılar arasındaki hataya dayalı olarak ağırlıklarını ve önyargılarını ayarladığı ve kademeli olarak iyileştiği geri yayılım adı verilen bir süreç kullanılarak eğitilir. Genellikle sınıflandırma, regresyon, örüntü tanıma ve daha fazlası gibi görevler için kullanılırlar.

Sınıflandırma, modelleme ve tahmin konularında kullanılan YSA karmaşık modellere gerek duymadan yalnızca problemin ait olduğu ağı eğitilmesiyle çözüme varmaktadır. Eğitim esnasında kullanılan nümerik bilgilerden, problemin genel özelliklerini elde ederek eğitim sırasında kullanılmayan girdiler için de anlamlı yanıtlar üretebilmektedir. Bilgiler ağı tamamında saklanır. Geleneksel programlamada olduğu gibi bilgiler veri tabanları ya da dosyalarda belli bir düzende tutulmaz, ağı tamamına yayılarak değerler ile ölçülen ağ bağlantılarında saklanmaktadır.

FFNN, makine öğrenimi ve DL alanlarında yaygın olarak kullanılan bir yapay sinir ağıdır. Bilginin iletimi, ilk katmandan başlayarak ve çıktı katmanına ulaşana kadar gizli katmanları geçerek tek yönlü olarak gerçekleşir ve böylece “ileri beslemeli” sıfatını açıklar. YSA’nın mimarisi tipik olarak giriş katmanı, gizli katmanlar ve çıkış katmanı olmak üzere üç ana katman türünü içerir. Bunların dışında ağırlıklar ve aktivasyon fonksiyonları ağ mimarisinin diğer önemli parametreleridir. Giriş katmanı, giriş verilerini dış ortamdan alan düğümlerden oluşan ilk katmandır. Bu katmandaki her düğüm, giriş verilerinin bir özelliğini veya niteliğini temsil etmektedir. Giriş ve çıkış katmanları arasındaki giriş verilerini bir dizi dönüşüm yoluyla işleyen bir veya daha fazla nöron katmanını içeren ara katmanlar ise gizli katmanları oluşturmaktadır. Çıktı katmanı, ağı çıktılar tahminlerini veya sınıflandırmalarını üretmekten sorumlu olan sinir ağının son katmanıdır.

Bitişik katmanlardaki nöronlar, nöronlar arasındaki ilişkinin gücünü temsil eden bağlantı ağırlıkları ile bağlanır. Aktivasyon fonksiyonu ise, sinir ağına doğrusal olmayan bir özellik kazandırarak, verilerdeki karmaşık kalıpları ve ilişkileri öğrenmesine olanak tanır. Aktivasyon fonksiyonları doğrusal, adım (step), sigmoid, tanjant hiperbolik, eşik değer ve sinüs olmak üzere birçok şekilde seçilebilmektedir (Öztemel, 2006). Şekil 11’de çok katmanlı YSA yapısı örnek olarak verilmektedir.



Şekil 11. Çok katmanlı YSA yapısı

### 2.6.3. Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (ÇDURE)

ÇDURE, Friedman (1991) tarafından geliştirilen bir tür regresyon analizi tekniğidir. ÇDURE modelleri, bağımsız değişkenler ile bir yanıt değişkeni arasındaki karmaşık ilişkileri

yakalamak için fayda sağlayan esnek ve parametrik olmayan regresyon modelleridir (Kişi ve Parmar, 2016).

Yöntemin ilk aşamasında temel fonksiyonlar oluşturulur. Bu işlevler parçalı doğrusaldır ve verilerdeki doğrusal olmayan ilişkileri yakalamak için çeşitli şekiller alabilmektedir. ÇDURE modelleri adım adım inşa edilir. Başlangıçta model, yanıt değişkeninin ortalamasını temsil eden sabit bir terimle başlar. Daha sonra, verilere daha iyi uyum sağlamak için yinelemeli olarak temel fonksiyonlar ekler.

ÇDURE algoritması ileri ve geri doğru olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada kullanılan ileriye doğru geçiş algoritması her tahminciyi ayrı ayrı inceler ve kalan kareler toplamında en büyük azalmayla sonuçlanan temel işlevleri modele ekler. Geriye doğru geçiş algoritması ise, ileri geçişin ardından gereksiz temel işlevleri budamak ve modelin yorumlanabilirliğini geliştirmek için gerçekleştirir. Kalan kareler toplamının azaltılmasına önemli ölçüde katkıda bulunmayan temel fonksiyonları ortadan kaldırır. Nihai olarak oluşturulan ÇDURE modeli, her biri bir katsayı ile ağırlıklandırılan temel fonksiyonların toplamıdır. Elde edilen ÇDURE modeli,

$$Y = \theta_0 + \sum_{m=1}^M \theta_m \psi_m(X) + \varepsilon \quad (6)$$

şeklinde gösterilebilir. Burada  $m$  değeri veriye uygun olan maksimum temel fonksiyon sayısıdır. Eldeki veri kümesi  $(x_i, y_i)$  ( $i=1,2,\dots,N$ )'ne göre ÇDURE modelinin  $m$ . temel fonksiyonu;

$$\psi_m(x) = \prod_{j=1}^{K_m} [s_{K_j^m} \cdot (x_{K_j^m} - \tau_{K_j^m})] \quad (7)$$

olarak ifade edilebilir. Burada  $K_m$   $m$ . temel fonksiyonda çarpılan doğrusal fonksiyon sayısını,  $s+1$  veya  $-1$ 'i;  $x_{K_j^m}$   $m$ . temel fonksiyondaki  $j$ . değişkeni göstermektedir.

Aşağıda tanımlanan genelleştirilmiş çapraz doğrulama (GCV) ölçüsü kullanılarak, ileri doğru adım algoritmasının her aşamasında kullanılabilecek en uygun düğüm noktaları ve temel fonksiyonları belirlenir.

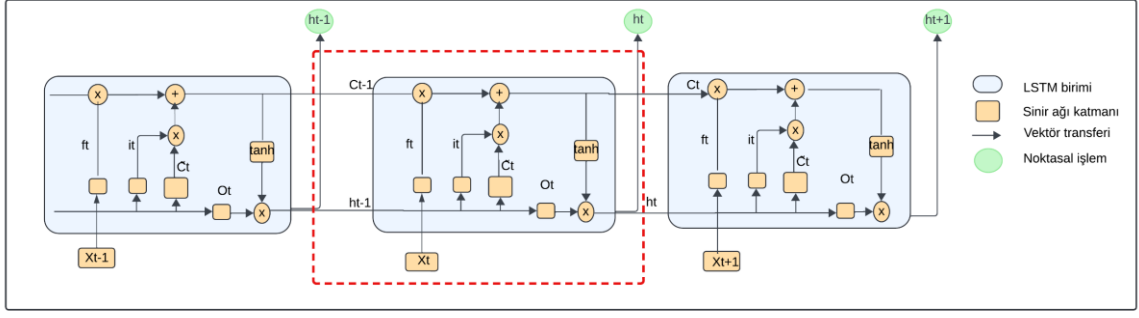
$$GCV = \frac{1}{N} \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{f}_\alpha(x_i))^2}{(1 - M(\alpha)/N)^2} \quad (8)$$

Burada  $M(\alpha) = u + dK$ ;  $N$ : örneklem genişliği;  $u$ : bağımsız temel fonksiyonların sayısı;  $K$ : seçilen düğüm sayısı;  $d$ : temel fonksiyonların maliyetidir. GCV'nin payı hata kareler toplamını, paydası ise modelin karmaşıklığını hesaplamaktadır. Algoritmanın ilk adımında oluşturulan en büyük modelin yorumlanması ve kullanımı kolay olmadığından dolayı ikinci adımda önemli bağımsız değişkenler ve bu değişkenlerin etkileşimleri belirlenerek, GCV ölçüsü en küçük olan model elde edilir (Yerlikaya vd. 2006; Yılmaz, 2016).

#### 2.6.4. Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağları (LSTM)

LSTM, Tekrarlayan Sinir Ağı (RNN) mimarisinin bir çeşididir ve bir dizi veri noktasının doğasında bulunan karmaşık uzun vadeli bağımlılıkları etkili bir şekilde yakalamak ve kavramak için özel olarak tasarlanmıştır (Song vd. 2020). Belirtilen amaç, hem mevcut zaman adımında alınan girdiyi hem de önceki zaman adımından türetilen ağ durumlarını dikkate alarak ağı iç konfigürasyonunun değiştirilmesidir. LSTM birbirine bağlı dört temel bileşenden oluşan bir hafıza hücresinden oluşmaktadır. Bu bileşenler Şekil 12'de gösterildiği gibi bilgiyi depolayan bir hücre ( $C$ ), unutma için bir kapı ( $f_t$ ), giriş için bir kapı ( $i_t$ ) ve çıkış için bir kapı ( $O_t$ ) dir (Sahoo vd. 2019; Sharafi vd. 2023; Sharafi vd. 2024).

Şekil 12'deki ikinci yinelenen modülde gösterildiği gibi,  $X_t$ , LSTM modelinin giriş vektörünü temsil eder. Bu modül içerisinde,  $f_t$ ,  $i_t$  ve  $O_t$  geçitlerinin yanı sıra aday hücre durumu  $\tilde{C}_t$ , ( $X_t$ ,  $h_{t-1}$ ) girişi tarafından düzenlenir. Hücre durumu  $C_t$ , unutma kapısı ( $f_t$ ) ve giriş kapısı ( $i_t$ ) kullanılarak güncellenir. Bir sonraki zaman adımına aktarılan ve  $t+1$  olarak gösterilen bilgi miktarı " $O_t$ " değişkeni tarafından belirlenir. Kapılar, sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve noktasal çarpma fonksiyonu içeren tamamen birbirine bağlı bir sinir ağı katmanından oluşur. Bu kapıların çalışma tipleri ve bilginin aktarımı şu şekilde özetlenebilir:



Şekil 12. LSTM ünitelerinin yapısı

$$f_t = \sigma(W_f x_t + U_f h_{t-1} + b_f) \quad (9)$$

$$i_t = \sigma(W_i x_t + U_i h_{t-1} + b_i) \quad (10)$$

$$O_t = \sigma(W_o x_t + U_o h_{t-1} + b_o) \quad (11)$$

$$\tilde{C}_t = \sigma_h(W_z x_t + U_z h_{t-1} + b_z) \quad (12)$$

$$C_t = f_t \odot C_{t-1} + i_t \odot \tilde{C}_t \quad (13)$$

$$h_t = O_t \odot \sigma_h(C_t) \quad (14)$$

Girişlerden  $i$ ,  $f$  ve  $O$  çıkışlarına yapılan değişiklikler sigmoid fonksiyonlar tarafından belirlenmektedir.  $W$  ve  $b$  değişkenleri sırasıyla ağ ağırlıklarını ve önyargı parametrelerini saklar. " $h$ " değişkeni gizli durumları belirtir.  $\odot$  ile gösterilen işlem, Hadamard çarpımı olarak da bilinen bileşen bazında çarpmayı temsil eder. Hiperbolik tanjant fonksiyonu  $\tanh$  ( $l$ ),  $l$  vektörünün her bileşeni üzerinde bağımsız bir şekilde çalışır.

Bir LSTM'nin verimliliğini arttırmak için, katmanların miktarı ve her katmandaki nöron sayısı dahil olmak üzere modelin hiper parametrelerinin ayarlanması zorunlu bir süreçtir. LSTM hiper parametrelerine, bu çalışmada test setinin kullanılmasıyla Bayesian optimizasyon tekniği kullanılarak ayarlama yapılmıştır. Çalışma kapsamında, özellikle 1, 2 ve 3 yoğun katman (yani tamamen bağlantılı katmanlar) ile birleştirilmiş LSTM katmanlarının sayısı farklı değerler (1 ile 5 arasında değişen) kullanılarak çeşitli konfigürasyonların verimliliği değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre dört

katmandan oluşan bir düzenek seçilmiştir. Düzen, her biri sırasıyla 128, 128, 64 ve 1 nöron içeren iki LSTM katmanı ve iki tam bağlantılı katmandan oluşmuştur. Toplu normalizasyon kullanımı, ağ içindeki her gizli katmandan sonra uygulanmıştır. Mümkün olan en yüksek verimlilik 32'lik bir mini yığın grubu boyutu kullanıldığında elde edilmiştir. Ayrıca, eğitim işlemi sırasında aşırı uyum (overfitting) sorununu azaltmak için hem ek LSTM katmanının hem de ilk tam bağlantılı katmanın girişlerinde 'dropout' denilen bırakma yöntemi uygulanmıştır. Her iki katman için bırakma oranları sırasıyla 0.2 ve 0.1 olarak belirlenmiştir. Bu işlemin amacı, bazı nöronların geçici olarak kapatılarak, modelin aşırı uyuma karşı daha dirençli olmasına yardımcı olmaktır. Modelde kullanılan kayıp fonksiyonu KHOK'dir. Çalışma kapsamında, Adam, AdaGrad, Nesterovs, SGD ve Adadelta'nın optimizasyon stratejileri değerlendirilmiş ve sonuçta Adam stratejisi optimize edici olarak seçilmiştir. Bu çalışmada sunulan LSTM ağı, TensorFlow tabanı üzerine inşa edilen Keras Python kütüphanesi kullanılarak oluşturulmuştur. Çok serili özellik yapısı bilgilerinin tahmininin doğruluğu, yalnızca LSTM modelinin hiperparametrelerinden değil, aynı zamanda iterasyon (devir) sayısından ve geçmiş girdi verilerinin süresinden (zaman adımı) de etkilenmektedir.

#### **2.6.5. Uzun-Kısa Süreli Bellek ve İleri Beslemeli Sinir Ağlarının Zamansal Örüntü Dikkat Mekanizması ile Hibrit yaklaşımı (TPAFFNN-LSTM)**

Dikkat mekanizması görüntü, doğal dil işleme ve zaman serisi analizi gibi veri işleme görevleri için tasarlanmış modellerde kullanılan bir mekanizmadır. Ayrıca her bir zaman adımına ait bilgileri, geçerli zaman adımından önce inceleyerek ve ilgili bilgilere odaklanarak çıktı üretilmesine yardımcı olur. Ancak geleneksel dikkat mekanizması birden fazla zaman adımındaki zaman modelini yakalayamadığı için periyodik verileri iyi işleyemez. Shih vd. (2019) tarafından bu dezavantajın üstesinden gelmek için, sıralı veriler içindeki zamansal bağımlılıkları ve kalıpları yakalamaya odaklanan zamansal örüntü dikkat mekanizması (TPA) önerilmiştir.

Çalışma kapsamında, enerji üretim tahmini gibi zaman serisi tahmin görevlerinin karmaşıklıklarının üstesinden gelmek için tasarlanmış yenilikçi bir hibrit DL yaklaşımı (TPAFFNN-LSTM) kullanılmıştır. Bu yöntem, ileri beslemeli sinir ağlarının (FFNN) ve uzun kısa süreli bellek ağlarının (LSTM) analitik güçlerini benzersiz bir şekilde birleştirmiş ve yeni bir TPA ile daha da güçlü hale getirmiştir. Süreç, veri kümesi içindeki zamansal değişiklikleri vurgulayan ve tahmin için önemli modellerin tanımlanmasına yardımcı olan bir zamansal fark katmanı ile başlamaktadır. Buna dayanarak, TPA mekanizması, doğru

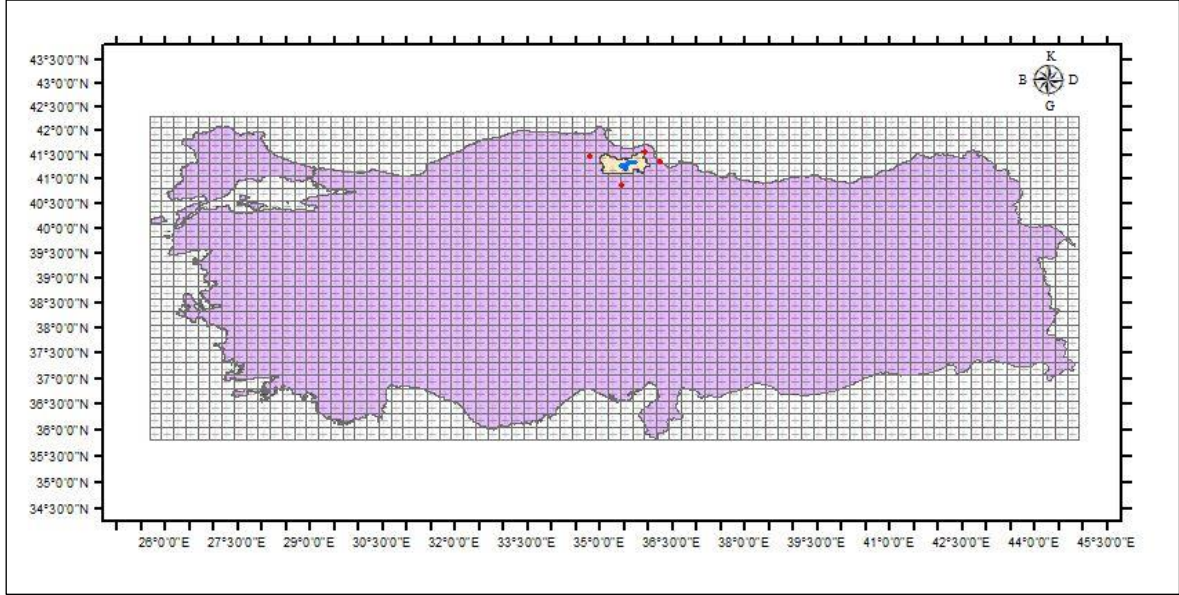
tahmin sonuçları için en önemli olduğu düşünülen zamansal yönlelere öncelik vererek, verilerin farklı bölümlerine ağırlıklar atamak için dikkat temelli bir model uygulamaktadır. Bu dikkat katmanı yalnızca modelin ilgili veri özelliklerine odaklanmasını keskinleştirmekle kalmamakta, aynı zamanda hangi zamansal modellerin en güçlü tahmin gücüne sahip olduğunu ortaya çıkartarak yorumlanabilirliğini de arttırmaktadır.

TPA aşamasının ardından yöntem, dikkat ağırlıklı özellikleri analiz etmek için FFNN'nin güçlü örüntü tanıma yeteneklerinden yararlanarak verilerdeki karmaşık zamansal olmayan ilişkileri yakalamaktadır. Modelin mimarisini tamamlayan LSTM katmanları, dizi verilerini kapsamlı bir şekilde işlemek için kullanılır ve uzun süreler boyunca bilgiyi koruma yeteneklerinden yararlanır. Bu kapasite, zaman serisi veri kümelerinde kesin tahmin için gerekli olan uzun vadeli zamansal bağımlılıkların iyice anlaşılmasını ve tahmin modelinde kullanılmasını sağlar. Bu bileşenlerin TP AFFNN-LSTM yöntemine entegre edilmesi, zaman serisi verilerinin kapsamlı ve incelikli bir şekilde analiz edilmesine olanak tanıyarak gelişmiş tahmin doğruluğu sağlar. Zamansal örüntü dikkatinin kullanımı yalnızca hassasiyeti arttırmakla kalmaz, aynı zamanda modelin karar verme sürecine ilişkin öngörüler sunarak karmaşık sinir ağı mimarilerindeki yaygın yorumlanabilirlik sorununu ele alır. Enerji tahmini düşünülerek tasarlanmış olsa da yöntemin esnek ve uyarlanabilir tasarımı, finansal piyasa analizinden çevresel veri izlemeye kadar çeşitli alanlarda uygulanmasına olanak tanır. TP AFFNN-LSTM yaklaşımı, zaman serisi tahmini alanında önemli bir ilerlemeyi temsil etmekte ve analiz derinliğini öngörü netliği ile birleştiren sağlam bir çerçeve sunmaktadır.

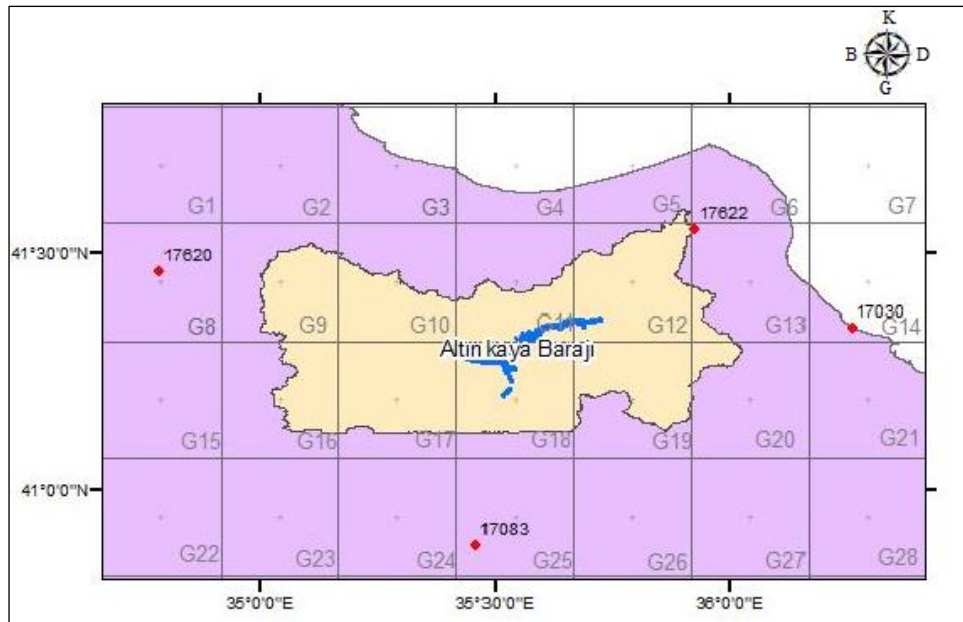
#### 2.6.6. Ölçek İndirgeme Modelinin Kurulması

Türkiye haritası ArcGIS programı ile ERA5 yeniden analiz veri takımının çözünürlüğüne uygun olarak ( $0.25 \times 0.25^\circ$ ) sayısal ağlara ayrılmıştır. Tüm dünya yüzeyini kapsayan sayısal ağ içerisinde çalışma alanını temsil eden sayısal ağ merkezleri belirlenmiş ve istasyonlar harita üzerinde işaretlenmiştir. Veriler, 30 km'lik bir ızgarada olup tüm dünyayı kapsamakta ve atmosferik yüzeyden 60 km yüksekliğe kadar 137 seviye kullanılarak belirlenmektedir. Türkiye sınırlarını kapsayan ERA5 yeniden analiz sayısal ağ merkezleri Şekil 13'te, Altınkaya Baraj havzasını temsil eden sayısal ağlar ise Şekil 14'te verilmektedir.

Bu çalışmada 1980-2014 yılları arasında elde edilen ERA5, P ve T verilerinin meteorolojik gözlem verileriyle doğrulanması yapılmıştır. Doğrulama için ERA5 veri setinin istasyon verilerini içeren sayısal ağ üzerindeki yağış ve sıcaklık değerleri kullanılmıştır.



Şekil 13. Türkiye sınırlarını kapsayan (0.25 ° × 0.25 °) çözünürlüklü sayısal ağ merkezleri



Şekil 14. Altinkaya Baraj Havzasını temsil eden sayısal ağlar

Bu çalışma kapsamında da kullanılan ERA5 yeniden analiz verilerine ECMWF (Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi)'nin internet sitesinden

(<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>) üyelik ile erişilmiştir. Veri setleri hem yağış hem sıcaklık parametrelerine yönelik, sayısal ağların orta noktasını temsilen oluşturulan 28 adet sayısal ağın her biri için ArcGIS programında açılmış ve derlenmiş, daha sonra excel programına aktarılmıştır.

YSA modelinde deneme yanılma yoluyla en iyi sonuca ulaşmak için birçok işlem yapılabilmektedir. Bunlardan bazıları ara katman sayısını 5'ten 15'e (5'er artışlarla) çıkarmak, çalışmadaki öğrenme ve momentum katsayılarına farklı değerler (0.1, 0.5 ve 1) vermektir. Ağ eğitiminde maksimum iterasyon sayısı 10.000 olarak ayarlanmıştır. Ağın gizli ve çıkış katmanlarının aktivasyonu için sırasıyla tanjant sigmoid transfer fonksiyonu (tansig) ve doğrusal transfer fonksiyonu (purelin) kullanılmıştır. YSA analizleri Matlab yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

İstatistiksel ölçek indirgeme modelleri kurulurken YSA tabanlı ölçek indirgeme modeline girdi olarak ERA5 yeniden analiz veri takımlarının hazırlanmış ve standardize edilmiş olan yağış ve sıcaklık verileri, çıktı olarak ise istasyondan ölçülmüş olan yağış ve sıcaklık parametrelerinin standardize edilmiş halleri kullanılmıştır. Modeller kurulurken verilerin %60'ı (1980-2000) eğitim, %20'si (2001-2007) doğrulama ve %20'si (2008-2014) test setinde kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerin birbirleriyle kıyaslanmasını ve bir bütün olarak yorumlanmasını kolaylaştırmak amacıyla veri setleri KRA yönteminde, YSA yönteminde olduğu gibi aynı oranla ayrılmıştır. Aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış için kurulan ölçek indirgeme modellerinin performansları; normalize karesel hatanın ortalama karekökü (nKHOK), korelasyon katsayısı (R) ve Nash-Sutcliffe verimlilik (NSE) indeksi istatistikleri ile değerlendirilmiştir. Bu istatistiklerin hesaplanmasında kullanılan eşitliklere '2.6.11. Performans Değerlendirme Ölçütleri' başlığı altında yer verilmiştir.

#### **2.6.7. Çalışma Kapsamında Kullanılan GDM'lerin Seçilmesi**

Çalışma kapsamında kullanılan GDM'lerin seçiminde hem yeniden analiz veri seti hem de gözlem verileriyle ortak referans dönemini kapsayan bir veri aralığına sahip olmaları dikkate alınmıştır. Bir diğer önemli faktör ise seçilen GDM'lerin, Türkiye genelini konu alan ve birçok GDM'nin performansını kıyaslayan bir çalışmada, yağış konusunda diğerlerine kıyasla daha başarılı performans gösteren ilk 10 GDM arasında yer almasıdır (Bagcacı vd. 2021). Benzer şekilde yapılan farklı bir çalışmada da bu çıkarımın desteklendiği görülmüştür (Oruç, 2022). Bahsedilen her iki çalışmada özellikle yağış için ön plana çıkan modeller

dikkate alınmıştır. Bu seçimin yapılmasının temel nedeni, iklim üzerine yapılan çalışmaların büyük bir kısmında yağış parametresinin sıcaklığa göre daha duyarlı olması ve modellemedeki tahmin başarısının ve korelasyonunun daha düşük olmasıdır. Bu bağlamda bu çalışmada CMIP6 arşivinden seçilen altı farklı GDM (CNRM-CM6-1, GFDL-ESM4, MRI-ESM2-0, CNRM-CM6-1-HR, MIROC6 ve ACCESS-CM2) kullanılmıştır. Tablo 7’de kullanılan bu modellere ilişkin bilgiler verilmiştir. GDM’de geçmiş referans verileri 1980-2014 yıllarını, ileriye dönük veriler ise 2025-2100 yıllarını kapsamaktadır.

Tablo 7. İklim değişikliğinin projeksiyonu için çalışmada kullanılan GDM’lere ait bilgiler

| Model         | Yatay çözünürlük | Değişken etiketi | Enstitü                                                                          |
|---------------|------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| CNRM-CM6-1    | 1,4°× 1,4°       | r1i1p1f2         | National Center for Meteorological Research, France                              |
| GFDL-ESM4     | 1,3°× 1°         | r1i1p1f1         | Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA                                       |
| CNRM-CM6-1-HR | 0,5°× 0,5°       | r1i1p1f2         | National Center for Meteorological Research, France                              |
| MIROC6        | 1,4°× 1,4°       | r1i1p1f1         | Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Japan                      |
| ACCESS-CM2    | 1,9°× 1,3°       | r1i1p1f1         | Australian Community Climate and Earth System Simulator-coupled model, Australia |
| MRI-ESM2-0    | 1,1°× 1,1°       | r1i1p1f1         | Meteorological Research Institute (MRI) of the Japan Meteorological Agency (JMA) |

#### 2.6.8. Çoklu Model Toplulukları (ÇMT)

İklimle bağlı olarak değişkenlik gösteren olayların modellenmesi oldukça karmaşıktır ve tek bir modelin tahminleri belirsizlik içerebilmektedir. Farklı modellerin farklı zayıf ve güçlü yönleri olabileceğinden, bu modellerin birleştirilmesiyle belirsizlik azaltılabilir. Bu nedenle Çoklu Model Toplulukları (ÇMT) yaklaşımının kullanılması modelin doğruluğunu ve genel güvenilirliğini arttırılabilmektedir (Nourani vd, 2019; Ahmed vd, 2020; Dey vd, 2022). ÇMT stratejisi, model geliştiricilerin kendi küresel dolaşım modellerinin avantajlarını anlamalarına ve ilgili zayıflıklardan kaçınmalarına yardımcı olmaktadır. ÇMT’nin havza ölçeğinde geliştirilmesi, GDM simülasyonlarındaki parametre ve yapısal belirsizlikleri azaltmanın uygun bir yoludur. Ayrıca rezervuar havzası modelleyicilerinin de problem hakkında uygun modelleme kararları almalarına yardımcı olabilmektedir.

ÇMT’ler oluşturulurken, seçilmesi gereken GDM’ler için kesin bir sayı veya kural olmasa da genellikle bu sayı 3 ile 10 arasında seçilmektedirler (Ahmed vd. 2019). Bazı çalışmalarda, kullanılan tüm GDM’lerin çıktıları bu modele dahil edilmektedir. Ancak bu

süreçte iyi performans göstermeyen modeller de dikkate alındığından topluluk modelinin başarısı düşebilmektedir. Ayrıca daha önce yapılan ölçek küçültme işlemi nedeniyle bu durum daha çok zaman alıcı ve külfetli olabilir. Bu nedenle bir topluluk modeli oluşturulurken optimum sayıda GDM'nin seçilmesi önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada ÇMT1, ÇMT2, ÇMT3 ve ÇMT4 olmak üzere dört farklı yöntem ile topluluk modelleri oluşturulmuştur. ÇMT1 YSA'ya, ÇMT2 basit ortalamaya, ÇMT3 korelasyon katsayılarının ağırlıklandırılmasına, ÇMT4 ise ÇDURE yöntemine dayalı olarak kurulmuş topluluk modelleridir. ÇMT1 ve ÇMT4 oluşturulurken YSA ve ÇDURE modellerinde bireysel GDM'lerin referans dönemlerine ait veriler girdileri, gözlemlenen değerler ise çıktıları oluşturmuştur. ÇMT2 adı verilen basit ortalamaların alındığı yöntem, her bir GDM'nin eşit derecede önemli olduğu varsayılarak oluşturulan aritmetik ortalamaya dayanmaktadır. Korelasyon katsayılarının ağırlıklandırılması yönteminde öncelikle korelasyon katsayıları oluşturulmuştur. Bu katsayılar, bireysel modellerin topluluk modelleri üzerindeki önemini belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Bu yöntem ile korelasyon katsayıları yüksek olan değişkenler diğerlerine göre daha güçlü bir ilişkiye sahip olduğundan katsayılarla doğru orantılı olarak daha fazla ağırlığa sahip oldukları varsayılmıştır. Ağırlıklandırmalar aşağıdaki eşitlik yardımıyla yapılmıştır.

$$WR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + \dots + R_N} \quad (15)$$

Bu denklemde WR ağırlıklı korelasyonu, R her bir modelin korelasyon katsayısını ve N ise ÇMT'deki üye sayısını göstermektedir.

#### 2.6.9. Baraj Giriş Akımı Tahmin Modellerinin Oluşturulması

Akış, su kaynakları yönetiminde ana faktörlerden biridir. Su kaynakları planlaması ve yönetimi politikaları, belirli bir zaman dilimindeki akım tahmini ve su talebi değişim planlarına dayalı olarak geliştirilmektedir. Akım tahmin modellemesinde, yağıştan akışa dönüşüm sürecinin uygun şekilde modellenebilmesi için havza ve bileşenlerinin uygun şekilde anlaşılması gereklidir (Saha vd. 2014). Havza alanı zaman, mekân ve dinamik olarak heterojen bir sisteme sahip olduğundan, yağış-akış iletim sürecini yansıtabilmek de çok karmaşık bir olgudur. Havza karakteristiklerindeki zamansal ve mekansal değişiklikler,

yağış biçimindeki belirsizlikler ve yağışı akışa dönüştüren çok sayıda parametre, bu tür ilişkilerdeki karmaşıklığın ana kaynaklarıdır.

Havzanın büyüklüğü, şekli, arazi kullanımı, toprak türleri, bitki örtüsü ve topografya gibi fiziksel özellikleri ile sızma hızı, toprağın nem kapasitesi gibi toprak özelliklerini kapsayan birçok parametrenin uygun olarak belirlenmesi karmaşık bir süreç olarak görülebilmektedir. Akım tahmin modellerinin kurulmasında makine öğrenim yöntemlerinin kullanımı, deterministik modellere kıyasla zaman tasarrufu sağlaması, ihtiyaç duyulacak verinin nitelik ve nicelik olarak daha az olması (örneğin, girdi parametresi olarak yağış, sıcaklık, buharlaşma, parametrelerinin kullanılması) ve daha düşük işlem hacmine sahip olmasından ötürü tercih edilmektedir. Bu kapsamda pek çok farklı metod ile akım tahmin modelleri kullanılmakta olup ÇDURE yöntemi de ilgili çalışmalarda önemli bir yer tutmaktadır (Yin vd. 2016; Adnan vd. 2021). Çalışmada akım tahmin modellerinin kurulması aşamasında, Salford Predictive Modeler yazılımı kullanılarak ÇDURE yöntemi uygulanmıştır.

Sıcaklık ve yağış parametrelerine bağlı olarak, akım tahmin modellerini geliştirmek için kullanılacak olan makine öğrenimi yöntemleri, girdi setlerini optimum performans elde etmek amacıyla deneme-yanılma yoluyla belirlemektedir. Ancak, modellere ait girdi parametreleri belirlenirken tüm parametrelerin işleme dahil edilmesi, üretilecek olan kombinasyonları da arttıracaktır. Çalışma kapsamında, işlem yükünün fazla, eğitim ve tahmine dayalı analizlerin uzun olmaması adına, optimum çözüme ulaşabilmek için modele en iyi katkıyı sağlayacağı düşünülen en fazla 10 adet parametre seçilmesine dikkat edilmiştir. Hazırlanan modellerde girdi parametresi olarak baraj havzasını temsil eden ve 1987-2022 ortak yıllarını kapsayan gözlenen aylık toplam yağış ( $P_t$ ) ve aylık ortalama sıcaklık ( $T_t$ ) değerleri kullanılmıştır. Modeller oluşturulurken yağış ve sıcaklık parametrelerinin  $t$  zamanlı aylık verilerine ek olarak  $(t-1)$ ,  $(t-2)$ ,..., $(t-12)$  kadar ay gecikmeli veriler de modellere dahil edilmiştir.

Bir modele ait girdi parametrelerinin belirlenmesi, modelin doğruluğunu, açıklanabilirliğini, yorumlanabilirliğini, hesaplama maliyetini ve genelleme yeteneğini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu gibi nedenlerden dolayı model girdi parametreleri seçilirken tek bir yöntemin kullanılması yerine, çalışılan probleme ve veri setine özgü yöntemlerin kullanılması ya da birleştirilmesi daha uygun olabilmektedir. Akım değerlerini tahmin etmek için, kullanılan istatistiksel yöntemler M1 korelasyon, M2 geriye doğru eleme, M3 adimsal regresyon, M4 ileriye doğru seçim, M5 en iyi alt kümeler, M6 ise üç aylık

periyotlar yöntemi olmak üzere altı farklı yöntemden oluşmaktadır. Bu girdi kombinasyonları ile oluşturulan modeller arasından en iyi sonucu veren model çalışmanın akım tahmin modeli olarak seçilmiştir.

#### **2.6.10. Hidroelektrik Enerji Üretim Tahmin Modellerinin Oluşturulması**

Değişen kuraklıklar, taşkın miktarları, sıcaklıkların artması, yağışların azalması, buharlaşma oranındaki artış ve buzul erimesi nedeniyle su mevcudiyetinde meydana gelen değişiklikler, iklim değişikliğinin hidroelektrik enerji üretimine yan etki yapabilecek göstergeleri olmaktadır (Shrestha vd. 2014). Bu nedenle iklim değişikliği, nehir hidrolojisini ve nihayetinde hidroelektrik enerji projelerini etkileyen temel bir stres etkeni olarak hareket etmektedir. Bunlara ek olarak toplam nüfustaki yoğun artış ve teknolojik gelişmeler de elektrik talebinin artmasına neden olmaktadır. Elektriğe olan bu artan talep, yenilenebilir enerjinin hızla yaygınlaşmasına, buna bağlı olarak karbon bazlı veya nükleer enerji üretimini azaltma ve enerjinin sürdürülebilir ve ekonomik olarak ilerlemesi hedefine ulaşılmasına yardımcı olmaktadır (Dmitrieva, 2015). İklim değişikliğinin hidroelektrik enerji üretimi üzerindeki etkisini incelemek ve rezervuarlardaki girişi simüle etmek için birçok model bulunmaktadır. İklimsel parametrelere ek olarak hidrolojik olaylar da hidroelektrik üretimini etkilemektedir. En önemli hidrolojik olaylardan biri, türbine giden giriş akışını etkileyebilen ve jeneratörlerin güç üretiminde değişikliklere neden olabilen rezervuar giriş akışıdır.

Önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan HES’lerde üretilen enerji değerlerinin tahmin edilmesinde günümüzde yapay zeka, makine öğrenimi, DL gibi yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır (Hanoon, 2023). Bu yöntemler karmaşık verilerin daha iyi temsil edilmesine ve yorumlanmasına yönelik yöntemleridir.

Çalışmanın bu bölümünde baraj giriş akımları ile birlikte baraj havzasını temsil ettiği düşünülen sıcaklık ve yağış değerlerine ait referans dönem verileri de göz önünde bulundurularak hidroelektrik enerji üretim miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elektrik enerjisi tahmin modelleri önceki başlıklarda bahsedilen LSTM, FFNN ve TPAFFNN-LSTM olmak üzere 3 ayrı yöntem kullanılarak oluşturulmuştur. Enerji tahmin modellerinde sıcaklık, yağış ve akım parametrelerinin her biri için akım tahmin modellerinde olduğu gibi  $t-1$ ,  $t-2$ ,...,  $t-12$  aylık gecikmeli etkiler de göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Analizlerin uygulanma aşamasından önce tüm girdi parametrelerine LASSO regresyon uygulanmıştır.

Özellik seçimi yapmak için uygulanan LASSO regresyon önışleminin yapılmasının farklı birkaç sebebi daha bulunmaktadır. Tüm girdi parametrelerinin 12 ay gecikmeli halleri modele dahil edildiği takdirde, çıktı parametresi ile daha az ilişkiye sahip olan ayların hem işlem hacmini arttırması hem de analizleri optimum süre dışında tamamlayarak daha da külfetli hale getirmesi gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda LASSO regresyon model karmaşıklığını azaltmaktadır. Bir diğer sebep ise regülarizasyon terimlerini kullanarak modele girdi olarak tanıtılan bazı katsayıların büyüklüğünü sınırlayarak modeli genelleştirmesi ve modelin aşırı uyum yapmasını engellemesidir. Böylelikle daha iyi bir model performansı elde edilmesine yardımcı olmaktadır.

#### **2.6.11. Performans Değerlendirme Ölçütleri**

Performans değerlendirme ölçütleri, bir modelin veya sistemin performansını ölçmek ve değerlendirmek için kullanılan ölçümler ve değerlerdir. Modeller arasında daha iyi karşılaştırma yapabilmek ve sonuçları daha doğru değerlendirebilmek amacıyla çalışma kapsamında çoklu değerlendirme kriterleri kullanılmıştır. Ölçek indirgeme modellerinin performansları, en düşük nKHOK, en yüksek R ve NSE ölçütleri ile değerlendirilmiştir. GDM çıktılarının en başarılı modelleri belirlenirken, GDM'lerin kullanıldığı iklim modeli çalışmalarında sıklıkla kullanılması nedeniyle nKHOK'nin yanı sıra Kling-Gupta verimliliği (KGE) ve değiştirilmiş uyum indeksi (MD) ölçütleri de hesaplanmıştır (Bagcaci vd. 2021; Şeker & Gümüş, 2022). Model performansını değerlendirmek için KHOK'ye göre daha avantajlı olan nKHOK kullanılmıştır. Verinin ölçeklenmesine ya da dönüştürülmesine bakılmaksızın kullanılabilen bu ölçüt, farklı ölçeklerdeki değişkenlerle çalışırken daha güvenilir sonuçlar vermektedir. NSE indeksi hidrolojik modellerin tahmin yeteneğini değerlendirmek için kullanılmakta, gözlenen ve hesaplanan verilerin ne ölçüde yakınlıştığını ifade etmekte ve 1'e yakın değerler, daha fazla tahmin yeteneği olan bir modelin önerildiğini göstermektedir (Nash & Sutcliffe, 1970). İki değişken arasındaki ilişkinin ne kadar güçlü, hangi yönde, ne kadar düzenli olduğunu anlamak için de R'den yararlanılmıştır. KGE, hidroloji ve hidrometeoroloji alanlarında model performansını değerlendirmek için kullanılan başka bir istatistiksel ölçüdür. KGE, modelin belirli özelliklerini dikkate alarak modelin gerçek verilere ne kadar iyi uyum sağladığını çok yönlü bir şekilde değerlendirir. KGE değeri 1'e ne kadar yakınsa, model gözlemlenen verilere o kadar iyi uymakta ve modelin tahmin yeteneği o kadar iyi olmaktadır. MD indeksi hidrolojik

model performansının değerlendirilmesi ve farklı modellerin karşılaştırılması için yararlı bir ölçümdür. Bu değer genellikle 0 ile 1 arasında değişmektedir. İdeal olarak MD değerinin 1'e yakın olması gerekir.

Bu ölçütlere ek olarak Taylor diyagramları oluşturulurken, simüle edilmiş ve gözlenen modeller arasındaki farkın oranını ve x ekseninde "gözlemlenen" olarak tanımlanan noktaya olan mesafeyi gösteren merkezi kök ortalama kare farkı (KOKF) da kullanılmıştır (Taylor 2005).

Bu kriterlerin hesaplanmasında kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir.

$$nOKHK = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (P_{m,t} - P_{g,t})^2}}{P_{g(max)} - P_{g(min)}} \quad (16)$$

$$NSE = 1 - \left[ \frac{\sum_{t=1}^N (P_{m,t} - P_{g,t})^2}{\sum_{t=1}^n (P_{g,t} - \bar{P}_g)^2} \right] \quad (17)$$

$$R = \frac{\sum (P_{g,t} - \bar{P}_g)(P_{m,t} - \bar{Q}_m)}{\sqrt{\sum (P_{g,t} - \bar{Q}_g)^2 \sum (P_{m,t} - \bar{Q}_m)^2}} \quad (18)$$

$$KGE = 1 - \sqrt{(R - 1)^2 + \left( \frac{\bar{P}_m}{\bar{P}_g} - 1 \right)^2 + \left( \frac{\sigma_m / \bar{P}_m}{g / \bar{P}_g} - 1 \right)^2} \quad (19)$$

$$MD = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N |P_{g,t} - P_{m,t}|}{\sum_{t=1}^N |P_{m,t} - \bar{P}_g| + |P_{g,t} - \bar{P}_g|} \quad (20)$$

$$KOKF = \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [(P_{m,t} - \bar{P}_{m,t}) - (P_{g,t} - (\bar{P}_{g,t}))]^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

Denklemlerde  $P_g$  gözlem değerini,  $P_m$  model çıktısını,  $\bar{P}_g$  gözlem değerlerinin ortalamasını,  $\bar{P}_m$  model çıktısının ortalamasını,  $\sigma_m$  ve  $\sigma_g$  simüle edilen ve gözlemlenen verilerin standart sapmasını ve  $n$  veri sayısını ifade etmektedir.

GDM çıktılarının her bir performans değerlendirme kriterine göre başarı sıralaması değerlendirildiğinde, belirsizlik ve çokluk ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, bu belirsizliği

ortadan kaldırmak ve modeller arasında nihai kararı vermek için sistem performansını kapsamlı bir şekilde değerlendiren bir endeks olan Kapsamlı Derecelendirme İndeksi (CRI) kullanılmıştır (Şeker & Gumus, 2022; He vd. 2023). Bu indeks aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır.

$$CRI = 1 - \frac{1}{nm} \sum_{t=1}^n Rank_t \quad (22)$$

Bu denklemde n performans değerlendirme kriterlerinin sayısını, m ise çalışmada kullanılan GDM'lerin sayısını ifade etmektedir. Sıralama, her bir modelin her bir performans istatistiğine göre başarı sıralarının toplamının n ile m değerinin çarpımına bölünmesi ile ifade edilmektedir. Eşitlik sonucunda bulunan değer 1'e ne kadar yaklaşırsa başarı o kadar artmaktadır.

## **2.7. Tahmin Modelleri İçin En İyi Girdi Kombinasyonun Seçilmesi ve Çalışmada Kullanılan İstatistiksel Yöntemler**

### **2.7.1. Korelasyona Dayalı Seçim (M1)**

Korelasyon, iki değişken arasındaki ilişkiyi ölçen bir istatistiksel ölçüdür. Eğer bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasında güçlü bir korelasyon varsa, bu bağımsız değişkenlerin modeldeki tahmin edici güç açısından önemli olabileceği düşünülerek girdi parametreleri bu yöntemle seçilebilmektedir (Michalak & Kwasnicka, 2010).

### **2.7.2. Geriye Doğru Eleme Yöntemi (M2)**

Bu yöntemde, regresyon modeli başlangıçta tüm bağımsız değişkenleri içermektedir. Ardından, her adımda, en az katkı sağlayan bağımsız değişken modelden çıkarılmaktadır. Belirli bir kriter karşılanana kadar bu adımlar devam etmektedir.

### 2.7.3. Adımsal Regresyon (M3)

Adımsal regresyon, ileriye doğru seçim ve geriye doğru eleme yöntemlerinin bir birleşimi olup, ileriye doğru seçim yöntemine benzer şekilde modelde hiçbir değişken bulunmadan varsayıma başlamaktadır. Değişkenler ileriye doğru seçim yönteminde açıklandığı gibi seçilmekte ve her adımdan sonra F istatistiğine dayalı olarak geriye doğru eleme yöntemine göre kontrol edilmektedir (Lee vd. 2020). Bağımlı değişkeni daha iyi açıklayan yeni değişkenler modele girilirken, halihazırda dahil edilen değişkenlerin gereksiz olabileceği durumu esas alınmaktadır.

### 2.7.4. İleriye Doğru Seçim (M4)

İleriye doğru seçim yöntemi, işlemlere sabit terim dışında modelde hiç değişken olmadığı varsayımıyla başlamaktadır. Her defasında modele sadece bir değişken eklenerek bir optimal alt küme bulunmaya çalışmaktadır. Bağımlı değişken ile en büyük basit korelasyona sahip bağımsız değişken, modele dahil edilerek ilk tahminleyici olarak seçilmektedir.

### 2.7.5. En İyi Alt Kümeler Yöntemi (M5)

Bu yöntem bağımlı değişkenin tahmini için kullanılacak olan regresyon denklemlerinin oluşturulmasında modelde girdi olarak kullanılacak bağımsız değişkenlerin, tüm kombinasyonların arasından belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Yöntem, her bir alt kümenin regresyon modelini değerlendirmekte ve belirli bir kriter kullanarak en uygun modeli seçmektedir. Bu yaklaşım genellikle kullanılan hata değerlerini minimize etmeyi amaçlamaktadır.

### 2.7.6. Üçer Ay Gecikmeli Seçim (M6)

Su akışı ve su talebi mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, bu yöntemle mevsimlik değişimleri göz önünde bulundurmak amacıyla parametrelerin üçer ay gecikmeli hallerinin, aralıklarla modele dahil edilmesi amaçlanmıştır (Weekaew vd. 2022).

### 2.7.7. LASSO Regresyon

LASSO regresyon, Tibshirani (1996) tarafından önerilen yüksek boyutlu öngörücü girdi değişkenlerini belirlenmesinde kullanılan bir düzenleme tekniğidir.

Çok büyük veri setlerinin kullanıldığı ve algoritmaların hızlı çalışmasının istendiği problemlerde LASSO regresyonu uygulanmaktadır. Katsayıların modülü veya mutlak değerlerinin toplamı ile regresyon katsayılarını mümkün olduğu kadar azaltabilme (büzülme) veya bazılarını tam olarak sıfıra ayarlayabilme (seçim) gibi özelliklere sahiptir. Diğer bir ifadeyle, LASSO regresyon düzenleme için L1 normunu kullanan cezalandırılmış bir doğrusal regresyon yöntemidir (Kwon vd. 2017). Bu yöntem ile modele ait girdi değişkenleri seçilirken, değişkenler arasındaki yüksek korelasyon baz alınarak değişkenin model içerisinde tutulması amaçlanmaktadır (Oyeyemi vd. 2015; Sever, 2021).

LASSO regresyon ile elde edilen katsayı tahminleri Eşitlik (23) ile hesaplanır.

$$\beta_{Lasso} = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^p \beta_j x_{ij})^2 + \lambda \sum_{j=1}^p |\beta_j| = HKT + \lambda \sum_{j=1}^p |\beta_j| \quad (23)$$

Bu denklemde  $\sum |\beta_j|$  kullanılan L1 düzeltmesini,  $\lambda$  değeri katsayıların mutlak değerlerinin düzenleme parametresini, hata karelerinin toplamını ifade etmektedir. LASSO regresyonunun amaç fonksiyonu, katsayıların mutlak değerlerinin toplamı ( $\lambda$ ) ile çarpılarak hata karelerinin toplamını en aza indirmektir. Yöntem ile ilgili detaylı bilgiye ve tüm uygulama adımlarına ilgili kaynaktan ulaşılabilir (Tibshirani, 1996).

### 2.8. Eğilim (Trend) Analizi

Eğilim analizleri, bir zaman serisinin ortalama davranışındaki uzun vadeli bir artış veya azalmanın sonucunu yansıtan istatistiksel analizlerdir. Hidrolojik zaman serilerindeki eğilimler belirli bir zaman periyodu boyunca, antropojenik etkiler veya iklimsel değişkenlik gibi nedenlerle hidrolojik döngüde veya nehir havzasında büyük değişiklikleri yansıtmaktadır (Chang vd. 2023).

İklim değişkenlerinin eğilim analizi ve hidrolojik döngü üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi, seçilen daha uzun bir süre boyunca gözlenmiş serinin bir tür toplu değerinden oluşan alt örneklenmiş zaman serileri üzerinde gerçekleştirilmektedir. Yaygın

bir örnek olarak, bölgesel veya nehir havzası ölçeğinde su kaynakları üzerindeki etkinin değerlendirilmesinde iklim modellerinden elde edilen çıktılar kullanılarak gelecekteki olası iklim değişikliklerinin araştırılması gösterilebilmektedir (Madsen, 2014).

Hidrolojik sistemlerin gelecekteki durumlarını ve eğilimlerini tahmin etmek, hidrolojik analizin zor olmasına rağmen en önemli yönlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Su kaynakları yöneticileri ve planlamacıları sıklıkla bir sistemin zaman içinde belirli bir şekilde değişip değişmeyeceği ve bu değişikliklerin olası sonuçlarının neler olabileceği ile ilgilenmektedirler. Eğilim tespiti ve tahmini, bu tür modellerin formülasyonu ve test edilmesi için niceliksel olarak değerli bilgiler sağlamaktadır (Chen vd. 2014).

Hidrolojik zaman serisi analizinde eğilim testlerinin uygulanmasına ilişkin, özellikle de iklim değişikliği etkisinin tespiti alanında geniş bir literatür zenginliği bulunmaktadır (Ganguli & Ganguly, 2016; Hasson vd. 2017; Alemu & Dioha, 2020). Birçok araştırmacı tarafından, bir değişikliğin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını tespit etmek için yağış ve akarsu akışı verilerinin analizinde eğilim testleri uygulanmıştır. Genel amaçlı eğilim testi, serinin ortalamasında tutarlı bir yükseliş veya düşüş eğiliminin tespit edilmesi amaçlı kullanılmaktadır. Eğilim testinin uygulanması, hidrolojik zaman serisinin, zamanın belirli bir noktasında verilerde meydana gelen bir kayma ile durağan olmayan ve durağan süreçlere bölünebileceği varsayımına dayanmaktadır.

Parametrik olmayan eğilim analizleri, nehir akışı, yağış, yeraltı suyu seviyeleri ve diğer ilgili parametreler gibi hidrolojik değişkenlerdeki eğilimleri değerlendirmek için hidrolojide yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler, verilerin parametrik tekniklerin varsayımlarını karşılamadığı veya değişkenler arasındaki ilişkilerin karmaşık olduğu ve basit matematiksel modellerle kolayca tanımlanamadığı durumlarda avantajlar sunmaktadır. Bu çalışmada da aykırı değerlerden etkilenmeyen ve veri değerlerinin sıralanmasına dayanan Mann-Kendall eğilim analizi ve Sen'in eğim testi yöntemleri uygulanmıştır.

Zamanın herhangi bir noktasındaki veri değeri, daha önceki çeşitli zamanlarda karşılık gelen değerlere bağlıysa, zaman serisi verilerinde iç bağımlılık mevcut olabilmektedir. Bu tür bir bağımlılık, örnek istatistiklerin varyanslarının tahminlerinde yanlılığa neden olmaktadır (Mallick vd. 2021; Sam vd. 2022). Mann-Kendall eğilim analizi uygulanmadan önce tüm veri setlerine içsel bağımlılık ve otokorelasyon testi uygulanmış, bağımlılık olduğu tespit edilen verilerde Trend Free Pre-Whitening (TFPW) olarak bilinen bir arındırma işlemi uygulanmıştır.

### 2.8.1. İçsel Bağımlılığın Tespiti, Otokorelasyon Testi ve TFPW Yöntemi ile Arındırma İşlemi

İçsel bağımlılığın ve otokorelasyonun kontrol edilmesi, Mann-Kendall testinin temelini oluşturan varsayımların karşılanıp karşılanmadığının doğrulanmasına yardımcı olmaktadır. Mann-Kendall testi, veri noktalarının bağımsız ve aynı şekilde dağıtıldığını varsaymaktadır. Verilerin bu varsayımları ihlal etmesi durumunda Mann-Kendall testinin sonuçları geçerli olmayabilir. Başka bir ifadeyle, otokorelasyon ve içsel bağımlılık, eğilim analizi sonuçlarının doğruluğunu etkileyebilmektedir. Özetle, Mann-Kendall eğilim analizinden önce içsel bağımlılık kontrolleri ve otokorelasyon testlerinin yapılması, sonuçların geçerliliğinin, doğruluğunun ve yorumlanabilirliğinin sağlanması açısından önemlidir (Cliff vd. 2021).

Seri korelasyon olarak da bilinen otokorelasyon, bir zaman serisindeki her gözlemin önceki veya sonraki gözlemlerle korelasyon derecesini ölçmektedir. Otokorelasyon katsayısı,  $-1$  ile  $1$  arasında değerler almakta olup negatif değerler ters yönde bir ilişkinin, pozitif değerler ise aynı yönlü doğrusal bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Tüm veriler için otokorelasyon katsayıları  $k$  zaman aralığı için önerilmiş olan Eşitlik (24) ile hesaplanır.

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} [(x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})]}{\sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})^2} \quad (24)$$

Burada  $x_i$  seri değerlerini,  $\bar{x}$  serideki ortalamayı,  $n$  veri sayısını,  $k$  değeri öteleme sayısını ifade etmekte ve  $1$  olarak seçilmektedir.

Eşitlik (24) ile hesaplanan  $r_k$  değeri Eşitlik (25)'te belirtilen sınırlar içerisinde yer almıyorsa, farklı gecikmeli otokorelasyon katsayısının etkisi dikkate alınmalı ve ortadan kaldırılmalıdır (Douglas vd. 2000). Fakat seri korelasyonunun kaldırılmasının eğilim etkisini gerçekçi olmayan bir şekilde değiştirebileceği de unutulmamalıdır (Haktanır ve Çıtakoğlu, 2015; Şan vd. 2021). Bu nedenle, çalışmanın bu aşamasında, zaman serisi verilerindeki eğilime bağlı korelasyonları düzelterek daha doğru tahminler yapılmasına yardımcı olan TFPW yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem Von Storch (1995) tarafından önerilmiş olup daha sonraki çalışmalarda da sıklıkla kullanılmıştır.

$$\frac{-1 - 1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k} \leq r_k \leq \frac{-1 + 1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k} \quad (25)$$

Zaman serisinin eğilim modeli belirlendikten sonra, zaman değerlerinin yatayda, gözlem değerlerinin düşeyde olduğu bir grafik çizilir. Bu grafiğin eğimi (a1) Eşitlik (26) ile hesaplanır.

$$y = a_0 + a_1x \quad (26)$$

Serinin özgünlüğü değişmeden hesap edilen eğim değeri seriden çıkarılır ve tekrardan otokorelasyon katsayısı ( $r_1$ ) hesaplanır.

$$y'_i = y_i - a_1x_i \quad (27)$$

Eğim etkisinin çıkarıldığı seriden, hesap edilen içsel bağımlılık etkisi giderilir.

$$y''_i = y'_i - r_1y'_{i-1} \quad (28)$$

Eşitlik (29) ile eğim seriye yeniden eklenir ve serinin içsel bağımlılığı giderilir.

$$y'''_i = y''_i + a_1x_i \quad (29)$$

Mann-Kendal eğilim analizlerinden önce TFPW yönteminin uygulanması, serideki içsel bağımlılık etkisini arındırdığından sonuçlar gerçek eğilim hakkında bilgiler verecektir. TFPW yöntemi uygulanırken otokorelasyon ve içsel bağımlılık analizinde  $\alpha$  anlamlılık düzeyi 0.05 olarak belirlenmiştir (Yue vd. 2002).

### 2.8.2. Mann-Kendall Yöntemi

Mann-Kendall yöntemi, zamana bağlı olarak değişen veri setlerindeki eğilimin varlığını ortaya çıkarmak için kullanılan istatistiksel bir test yöntemidir (Mann, 1945; Kendall, 1975). Mann-Kendall testi, veri setindeki artış, azalma veya değişim olasılığını değerlendirir ve bu şekilde bir eğilimin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemektedir. Bunun için  $H_0$  hipotezinin test edilmesi gereklidir.  $x_1, x_2, \dots, x_n$  serisindeki  $x_i$ ,  $x_j$  çiftleri iki gruba ayrılmıştır. Burada  $x_i$  ve  $x_j$  veri değerlerini;  $i$  ve  $j$  indisleri ve  $n$  değeri de zaman serisinin uzunluğunu temsil etmektedir. Burada,  $i < j$  için  $x_i < x_j$  çiftlerinin sayısı  $P$ ,  $i < j$  için  $x_i > x_j$  çiftlerinin sayısı ise  $M$  olarak ifade edildiğinde  $S$  istatistiği Eşitlik (30) ile ifade

edilmektedir. Kendall korelasyon katsayısı Eşitlik (31) ile, varyans değeri Eşitlik (32) ile, eğer seride eşit gözlemler varsa Eşitlik (33) ile hesap edilmektedir.

$$S = P - M \quad (30)$$

$$\tau = \frac{S}{\left[ \frac{n(n-1)}{2} \right]} \quad (31)$$

$$\sigma_S = \sqrt{\frac{n(n-1)(2n+5)}{16}} \quad (32)$$

$$\sigma_S = \sqrt{\frac{n(n-1)(2n+5) - \sum t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{16}} \quad (33)$$

Varyans değerleri hesap edildikten sonra, standartlaştırılmış Mann-Kendall istatistiği (Z) aşağıda gösterilen eşitlik ile elde edilebilmektedir.

$$Z = \begin{cases} \frac{(S-1)}{\sigma_S}; & S > 0 \\ 0; & S = 0 \\ \frac{(S+1)}{\sigma_S}; & S < 0 \end{cases} \quad (34)$$

Eşitlik (34) ile elde edilen Z değerinin mutlak hali, seçilen anlamlılık seviyesine ( $\alpha=0,05$ ) karşılık gelen normal dağılımın kritik Z değerinden küçükse,  $H_0$  hipotezi kabul edilmekte; aksi takdirde serideki eğilimin varlığı belirlenmektedir. Pozitif değerler artan bir eğilimin varlığına işaret ederken, negatif değerler ise azalan bir eğilimin varlığına işaret etmektedir (Yu vd. 1993).

Çalışma kapsamında Mann-Kendall yöntemi, yağış, sıcaklık, akım ve enerji parametrelerinin hem geçmişte gözlemlenmiş verilerine hem de modellemeler aracılığıyla üretilmiş olan ileriye dönük zaman serisi verilerine uygulanmıştır.

### 2.8.3. Sen'in Eğim Yöntemi

Sen (1968) tarafından geliştirilen eğim yöntemi, zaman serisi verilerindeki eğilimleri değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, zaman serisi verilerindeki eğilimleri belirlemek ve bu eğilimlerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendirmek için kullanılmaktadır.

Sen'in Eğim yöntemi, aykırı değerlere karşı dayanıklı olması ve doğrusal olmayan eğilimleri yakalama yeteneği gibi konularda ön plana çıkmasından dolayı, zaman serisi verilerinde eğilim analizi için sıklıkla kullanılan bir yöntem haline gelmiştir.

Medyan tabanlı eğimlerin kullanıldığı bu yöntemde zaman serisindeki her veri noktası çifti için eğilim çizgisinin eğimi hesaplanmaktadır. Hesap edilen bu eğimlerin önemi Mann-Kendall yöntemi gibi istatistiksel testler ile değerlendirilebilir. Sen'in eğim yönteminde  $x_j$  ve  $x_k$ ,  $j > k$  olmak üzere,  $j$ . ve  $k$ . zamandaki değerleri,  $n$  zaman serisindeki eleman sayısını ve  $N$  ise serideki veri çiftini ifade etmektedir.

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (35)$$

Eşitlik (34) ile hesaplanan veri çifti sayısı belirlendikten sonra yine bu sayı kadar bulunacak  $Q_i$  zamansal bileşeni,

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (36)$$

Eşitliği yardımıyla hesaplanır.  $Q_i$  değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanır ve medyan miktarları ( $Q_{med}$ ) eğilimin eğimini gösterir. Medyan değeri, veri çifti sayısı olarak belirlenen  $N$ 'nin tek ya da çift olma durumuna göre aşağıdaki eşitlikler ile hesap edilir.

$$Q_{med} = \left[ Q_{\frac{N+1}{2}} \right] \quad N \text{ tek ise} \quad (37)$$

$$Q_{med} = \frac{1}{2} \left[ Q_{\frac{N}{2}} + Q_{\frac{N+2}{2}} \right] \quad N \text{ çift ise} \quad (38)$$

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. İstatistiksel Ölçek İndirgeme Modeli Bulguları

ERA5 yeniden analiz sayısal ağ merkezleri belirlendikten sonra, veri setlerindeki sıcaklık ve yağış değişkenleri ile gözlem verileri kullanılarak KRA ve YSA tabanlı ölçek indirgeme modelleri kurulmuştur. Sıcaklık ve yağış için ERA5 yeniden analiz veri seti kullanılarak kurulan modellerin eğitim, doğrulama ve test veri setlerine ait bulguların istatistiksel olarak karşılaştırılması Tablo 8’de verilmektedir. KRA ve YSA’ya dayalı olarak kurulan ölçek indirgeme modellerinin eğitim, doğrulama ve test veri setlerine ait performans istatistiklerine Tablo 9’da yer verilmektedir.

Tablo 8. Sıcaklık ve yağış parametreleri için ERA5 yeniden analiz veri seti kullanılarak kurulan modellerin eğitim, doğrulama ve test veri setlerine ait sonuçlarının istatistiksel olarak karşılaştırılması

| Parametre        | İstatistikler   | Eğitim |        | Doğrulama |        | Test   |        |
|------------------|-----------------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|
|                  |                 | Gözlem | Model  | Gözlem    | Model  | Gözlem | Model  |
| Sıcaklık<br>(°C) | Ort             | 13.43  | 13.59  | 14.07     | 13.98  | 14.69  | 14.40  |
|                  | S <sub>x</sub>  | 6.32   | 6.24   | 6.65      | 6.68   | 6.53   | 6.46   |
|                  | C <sub>sx</sub> | 0.05   | 0.06   | 0.16      | 0.16   | 0.04   | 0.09   |
|                  | Mak.            | 24.00  | 24.48  | 25.20     | 25.74  | 25.70  | 26.05  |
|                  | Min.            | 1.70   | 2.74   | 2.60      | 2.44   | 2.40   | 2.11   |
|                  | B <sub>x</sub>  | -1.32  | -1.32  | -1.32     | -1.30  | -1.32  | -1.35  |
| Yağış<br>(mm)    | Ort             | 50.87  | 52.23  | 48.67     | 46.37  | 50.37  | 48.73  |
|                  | S <sub>x</sub>  | 31.41  | 26.7   | 29.49     | 22.27  | 27.69  | 22.87  |
|                  | C <sub>sx</sub> | 1.47   | 1.53   | 0.78      | 0.57   | 0.84   | 0.28   |
|                  | Mak.            | 220.23 | 188.51 | 137.30    | 116.79 | 127.65 | 111.67 |
|                  | Min.            | 1.59   | 2.00   | 2.27      | 3.01   | 5.38   | 4.82   |
|                  | B <sub>x</sub>  | 4.16   | 4.55   | 0.38      | 0.76   | 0.35   | -0.08  |

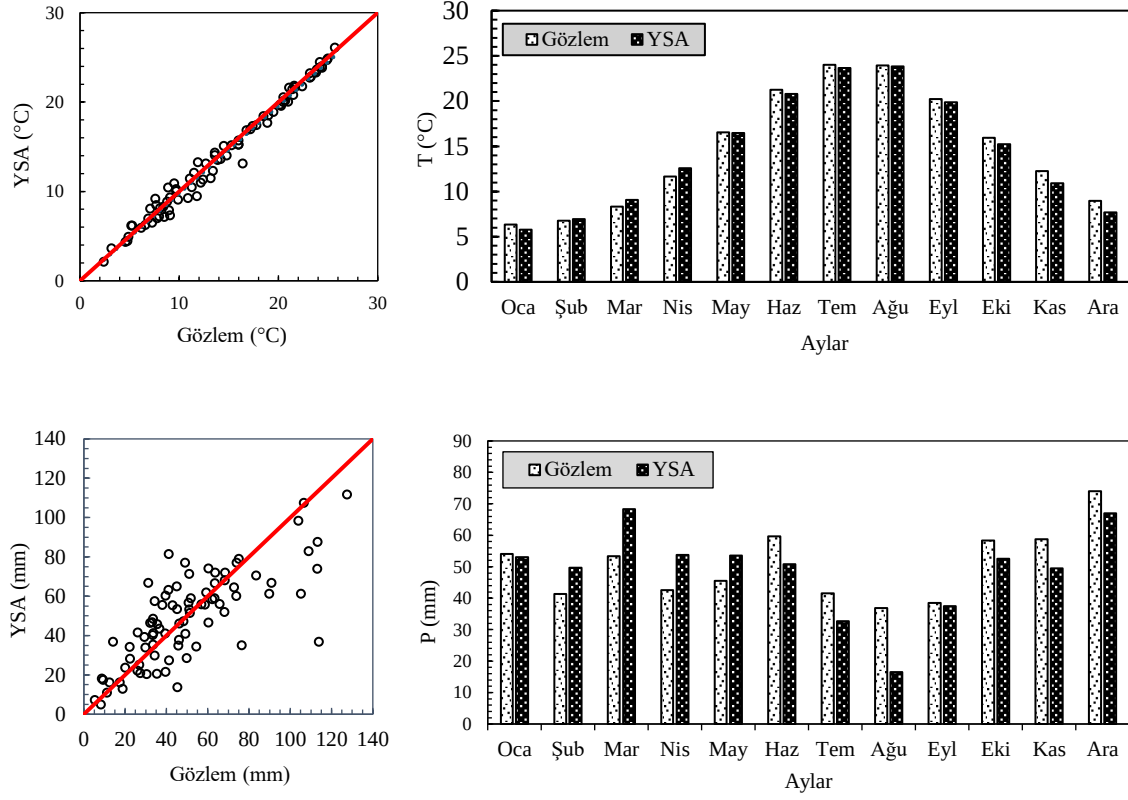
Tablo 9. Ölçek küçültme modellerinin performans istatistikleri

| Yöntem | Performans istatistikleri | Veri Seti |           |       |        |           |       |
|--------|---------------------------|-----------|-----------|-------|--------|-----------|-------|
|        |                           | Sıcaklık  |           |       | Yağış  |           |       |
|        |                           | Eğitim    | Doğrulama | Test  | Eğitim | Doğrulama | Test  |
| KRA-DF | nKHOK                     | 0.037     | 0.042     | 0.042 | 0.073  | 0.119     | 0.156 |
|        | NSE                       | 0.982     | 0.978     | 0.977 | 0.742  | 0.697     | 0.516 |
|        | R                         | 0.991     | 0.99      | 0.991 | 0.861  | 0.844     | 0.748 |
| KRA-ÜF | nKHOK                     | 0.07      | 0.095     | 0.094 | 0.138  | 0.137     | 0.166 |
|        | NSE                       | 0.938     | 0.895     | 0.893 | 0.069  | 0.597     | 0.452 |
|        | R                         | 0.978     | 0.976     | 0.973 | 0.812  | 0.812     | 0.753 |
| KRA-KF | nKHOK                     | 0.034     | 0.038     | 0.040 | 0.071  | 0.119     | 0.151 |
|        | NSE                       | 0.985     | 0.982     | 0.979 | 0.752  | 0.696     | 0.547 |
|        | R                         | 0.992     | 0.992     | 0.992 | 0.867  | 0.847     | 0.756 |
| YSA    | nKHOK                     | 0.034     | 0.036     | 0.036 | 0.071  | 0.118     | 0.147 |
|        | NSE                       | 0.985     | 0.984     | 0.983 | 0.754  | 0.701     | 0.572 |
|        | R                         | 0.993     | 0.992     | 0.992 | 0.869  | 0.847     | 0.762 |

Tablo 8’de sıcaklık ve yağış parametrelerinin ortalama değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Standart sapma değerlerinde ise sıcaklık parametresinde yağışa oranla gözlem ve model değerleri arasında daha az fark olduğu gözlenmiştir. Tablo 9’da test setine göre, KRA yönteminde nKHOK, R ve NSE ölçütleri; sıcaklık ve yağış için KF yönteminde sırasıyla 0.040 °C/ 0.151 mm, 0.992/0.756 ve 0.979/0.547 olarak hesaplanmıştır. ÜF’nin tüm veri setleri için en başarısız fonksiyon olduğu belirlenmiştir. Sıcaklık değişkeni için YSA tabanlı modelden elde edilen nKHOK 0.036 °C, NSE 0.983 ve R değeri 0.992 iken yağış için nKHOK 0.147 mm, NSE 0.572 ve R değeri 0.762 olarak hesaplanmıştır. Özetle, her iki parametre için tüm performans değerlendirme ölçütleri birlikte ele alındığında, KRA-KF yönteminin tüm KRA yöntemleri arasından en başarılı yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte özellikle doğrulama ve test setlerindeki NSE ve nKHOK değerlendirildiğinde YSA yönteminin başarısının tüm yöntemlerden üstün olduğu görülmüştür.

Sıcaklık verilerinin kurulan tüm modeller için NSE indeksine göre, performansının ‘çok iyi’ olarak sınıflandırılan kategoriye girdiği görülmüştür (Moriasi vd. 2007). Yağış verileri için ise bu değerlendirme tüm modeller için ‘tatmin edici’ aralığındadır.

En başarılı yöntem olan YSA’ya göre test veri seti için ölçek indirgeme model değerleri ile gözlem verilerinin saçılım grafikleri ve aylık ortalama değerlerinin karşılaştırılması Şekil 15’te gösterilmektedir.



Şekil 15. İstatistiksel ölçek indirgeme modelinden elde edilen test veri setinin aylık ortalama değerlerinin saçılım grafikleri ve karşılaştırılması

Şekil 15 incelendiğinde, sıcaklık parametresine ait saçılım grafiğindeki verilerin 45° doğrusu üzerinde veya doğruya yakın şekilde dağılmış olması, model doğruluğunun yağış parametresine göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Modellerden elde edilen belirleme katsayısı ( $R^2$ ) sıcaklık ve yağış için sırasıyla 0.985 yağış için ise 0.579 olarak hesaplanmıştır.

### 3.2. GDM Senaryo Verilerinin Üretilmesi

ERA5 yeniden analiz veri setleri ve gözlem verileri kullanılarak ölçek indirgeme modellerinin kurulması ve performanslarının değerlendirilmesi aşamasından sonra en az hata değerine sahip olan model ile çalışma kapsamında seçilen altı farklı GDM'ye ait (CNRM-CM6-1, GFDL-ESM4, MRI-ESM2-0, CNRM-CM6-1-HR, MIROC6 ve ACCESS-CM2) hem referans dönem hem de gelecek senaryo verileri üretilmiştir.

### 3.2.1. Referans Dönem Senaryo Verilerinin Üretilmesi

Yeniden analiz veri setlerinde sayısal ağ ile belirlenen havza sınırları GDM'ler için de belirlenmiş ve her bir GDM için veri takımları oluşturulmuştur. GDM'lere ait referans dönemi (1980-2014) senaryo verileri ERA5 yeniden analiz veri takımı ile kurulmuş ölçek indirgeme modelinin yeni girdileri olarak kullanılmıştır. YSA ile elde edilmiş ölçek küçültme modeline ait ağırlıklar kaydedilmiş ve yeni verilerin türetilmesinde yine bu ağırlıklara sahip ağdan faydalanılmıştır.

Yapılan işlemler sonucunda her bir GDM'ye ait referans dönemi ve havzayı temsil eden yeni sıcaklık ve yağış verileri türetilmiştir. Referans dönemine ait gözlem, referans ve yanlılığı düzeltilmiş referans verilerinin aylık ortalama sıcaklık değerlerine ait istatistikler Tablo 10'da yağış değerlerine ait istatistikler ise Tablo 11'de verilmektedir.

GDM'lerin referans, yanlılığı düzeltilmiş referans senaryoları ve gözlem verileri için sıcaklık değerlerine ait grafikler Şekil 16'da, yağış değerlerine ait grafikler ise Şekil 17'de verilmektedir.

Tablo 10. Gözlem, referans ve yanlışlığı düzeltilmiş referans verilerinin aylık ortalama sıcaklığa ait istatistikleri

|                                              | İstatistikler    | Oca   | Şub   | Mar   | Nis   | May   | Haz   | Tem   | Ağu   | Eyl   | Eki   | Kas   | Ara   |
|----------------------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Gözlem                                       | Min              | 2.40  | 1.70  | 3.80  | 8.20  | 13.10 | 18.70 | 19.80 | 20.00 | 16.50 | 12.90 | 6.90  | 4.70  |
|                                              | Ort              | 5.87  | 5.72  | 7.41  | 11.03 | 15.36 | 20.10 | 22.91 | 23.12 | 19.49 | 15.53 | 11.25 | 7.89  |
|                                              | Mak              | 8.50  | 9.10  | 11.30 | 14.50 | 18.50 | 22.60 | 25.00 | 25.70 | 22.30 | 18.90 | 16.40 | 12.20 |
|                                              | S <sub>x</sub>   | 2.02  | 1.86  | 1.87  | 1.69  | 1.27  | 1.01  | 1.21  | 1.32  | 1.19  | 1.41  | 1.97  | 2.01  |
| Referans<br>CMRM-<br>CM6-1                   | Min              | 0.46  | 1.33  | 5.85  | 10.60 | 16.23 | 21.68 | 25.76 | 25.02 | 21.63 | 14.45 | 8.58  | 4.56  |
|                                              | Ort              | 5.16  | 5.62  | 8.94  | 13.87 | 19.87 | 24.47 | 27.73 | 28.37 | 24.66 | 18.97 | 13.38 | 8.11  |
|                                              | Mak              | 10.06 | 11.03 | 14.32 | 18.45 | 24.57 | 28.26 | 31.30 | 32.73 | 29.91 | 23.27 | 18.27 | 12.96 |
|                                              | S <sub>x</sub>   | 2.61  | 2.37  | 2.28  | 1.93  | 1.94  | 1.46  | 1.39  | 1.66  | 1.85  | 2.33  | 2.12  | 1.90  |
| Referans<br>CMRM-<br>CM6-1<br>düzeltilmiş    | Min              | 2.24  | 2.36  | 4.89  | 8.16  | 12.98 | 18.16 | 21.20 | 20.45 | 17.54 | 12.80 | 6.79  | 4.13  |
|                                              | Ort              | 5.87  | 5.72  | 7.41  | 11.03 | 15.36 | 20.10 | 22.91 | 23.12 | 19.49 | 15.53 | 11.25 | 7.89  |
|                                              | Mak              | 9.67  | 9.96  | 11.81 | 15.03 | 18.44 | 22.73 | 26.01 | 26.59 | 22.86 | 18.14 | 15.79 | 13.03 |
|                                              | S <sub>x</sub>   | 2.02  | 1.86  | 1.87  | 1.69  | 1.27  | 1.01  | 1.21  | 1.32  | 1.19  | 1.41  | 1.97  | 2.01  |
| Referans<br>GFDL-ESM4                        | Min              | -1.85 | -3.66 | 0.59  | 5.71  | 12.23 | 19.47 | 23.73 | 23.70 | 17.50 | 12.49 | 2.55  | -2.83 |
|                                              | Ort              | 2.96  | 2.63  | 5.99  | 10.91 | 15.82 | 22.70 | 26.42 | 26.35 | 22.19 | 15.74 | 9.43  | 3.57  |
|                                              | Mak              | 6.75  | 6.60  | 9.54  | 16.87 | 20.65 | 27.24 | 29.04 | 29.84 | 27.03 | 20.41 | 13.38 | 8.02  |
|                                              | S <sub>x</sub>   | 1.97  | 2.58  | 2.31  | 2.60  | 1.71  | 1.78  | 1.18  | 1.50  | 1.97  | 1.98  | 2.39  | 1.98  |
| Referans<br>GFDL-<br>ESM4-<br>düzeltilmiş    | Min              | 0.94  | 1.18  | 3.03  | 7.66  | 12.69 | 18.26 | 20.14 | 20.78 | 16.65 | 13.22 | 5.58  | 1.39  |
|                                              | X <sub>ort</sub> | 5.87  | 5.72  | 7.41  | 11.03 | 15.36 | 20.10 | 22.91 | 23.12 | 19.49 | 15.53 | 11.25 | 7.89  |
|                                              | Mak              | 9.76  | 8.58  | 10.28 | 14.89 | 18.96 | 22.67 | 25.59 | 26.18 | 22.41 | 18.86 | 14.50 | 12.40 |
|                                              | S <sub>x</sub>   | 2.02  | 1.86  | 1.87  | 1.69  | 1.27  | 1.01  | 1.21  | 1.32  | 1.19  | 1.41  | 1.97  | 2.01  |
| Referans<br>CMRM-<br>CM6-1-HR                | Min              | -6.95 | -5.13 | 1.12  | 8.03  | 14.11 | 18.09 | 20.89 | 20.12 | 15.99 | 11.78 | 2.04  | -2.04 |
|                                              | Ort              | -0.05 | 2.18  | 6.54  | 11.49 | 16.47 | 20.72 | 23.76 | 23.39 | 19.95 | 15.29 | 8.28  | 3.21  |
|                                              | Mak              | 6.98  | 7.78  | 12.33 | 17.18 | 19.82 | 23.43 | 26.21 | 27.16 | 24.12 | 20.41 | 14.17 | 8.37  |
|                                              | S <sub>x</sub>   | 2.95  | 2.97  | 2.96  | 1.95  | 1.24  | 1.32  | 1.27  | 1.76  | 2.04  | 1.61  | 2.65  | 2.53  |
| Referans<br>CMRM-<br>CM6-1-HR<br>düzeltilmiş | Min              | 1.15  | 1.15  | 3.99  | 8.04  | 12.95 | 18.09 | 20.17 | 20.66 | 17.18 | 12.46 | 6.61  | 3.72  |
|                                              | Ort              | 5.87  | 5.72  | 7.41  | 11.03 | 15.36 | 20.10 | 22.91 | 23.12 | 19.49 | 15.53 | 11.25 | 7.89  |
|                                              | Mak              | 10.69 | 9.23  | 11.05 | 15.93 | 18.80 | 22.17 | 25.25 | 25.94 | 21.92 | 20.01 | 15.63 | 11.99 |
|                                              | S <sub>x</sub>   | 2.02  | 1.86  | 1.87  | 1.69  | 1.27  | 1.01  | 1.21  | 1.32  | 1.19  | 1.41  | 1.97  | 2.01  |

Tablo 10'un devamı

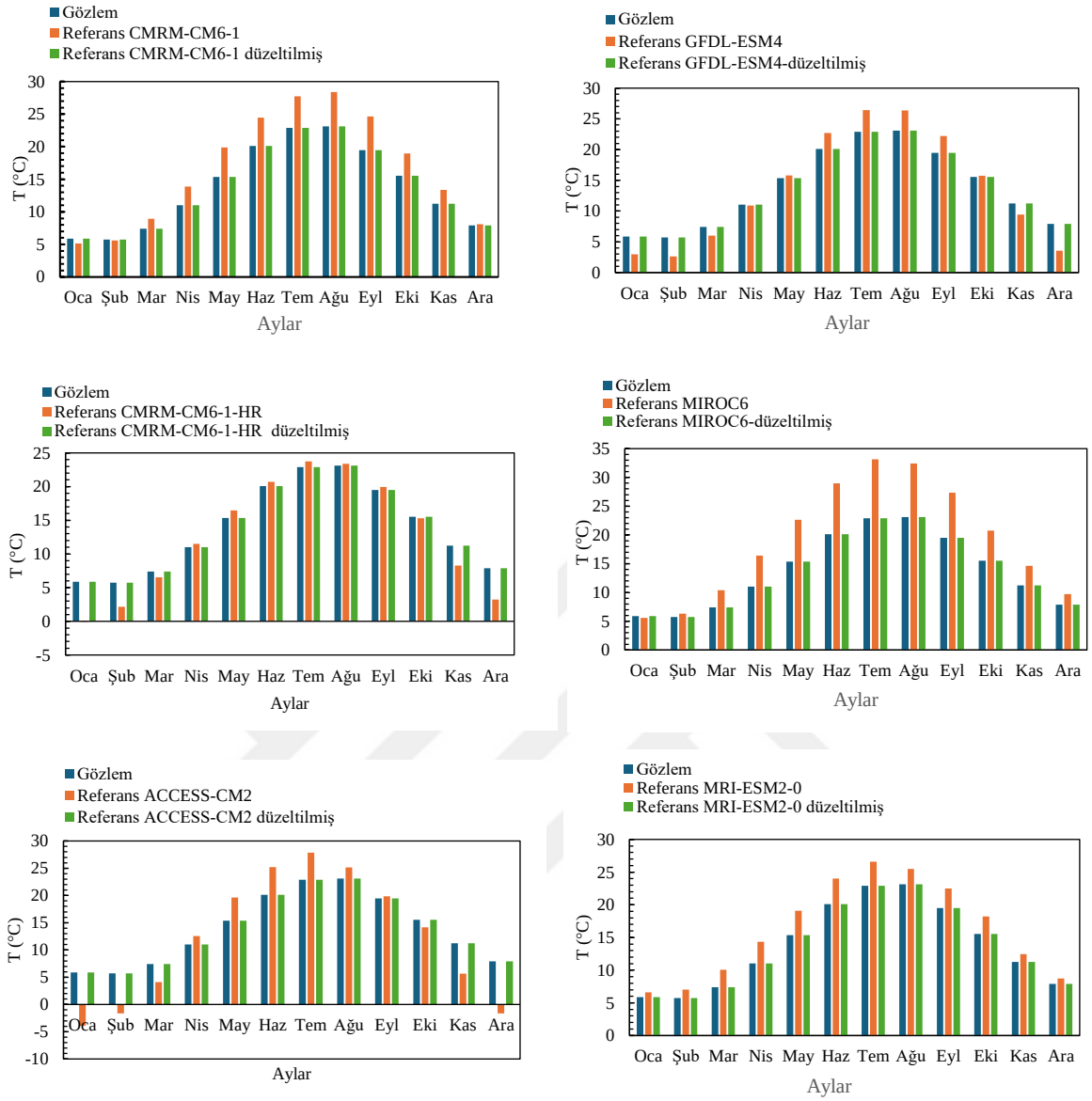
|                                           | İstatistikler    | Oca  | Şub    | Mar   | Nis   | May   | Haz   | Tem   | Ağu   | Eyl   | Eki   | Kas   | Ara    |
|-------------------------------------------|------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Gözlem                                    | Min              | 2.40 | 1.70   | 3.80  | 8.20  | 13.10 | 18.70 | 19.80 | 20.00 | 16.50 | 12.90 | 6.90  | 4.70   |
|                                           | Ort              | 5.87 | 5.72   | 7.41  | 11.03 | 15.36 | 20.10 | 22.91 | 23.12 | 19.49 | 15.53 | 11.25 | 7.89   |
|                                           | Mak              | 8.50 | 9.10   | 11.30 | 14.50 | 18.50 | 22.60 | 25.00 | 25.70 | 22.30 | 18.90 | 16.40 | 12.20  |
|                                           | S <sub>x</sub>   | 2.02 | 1.86   | 1.87  | 1.69  | 1.27  | 1.01  | 1.21  | 1.32  | 1.19  | 1.41  | 1.97  | 2.01   |
| Referans<br>MIROC6                        | Min              | 1.06 | 0.45   | 3.24  | 10.70 | 19.23 | 25.50 | 30.32 | 30.26 | 24.20 | 15.84 | 9.50  | 4.16   |
|                                           | Ort              | 5.57 | 6.33   | 10.40 | 16.41 | 22.62 | 28.98 | 33.15 | 32.41 | 27.36 | 20.78 | 14.65 | 9.72   |
|                                           | Mak              | 10.7 | 11.79  | 16.96 | 22.51 | 27.43 | 32.69 | 36.45 | 35.81 | 29.69 | 26.04 | 17.89 | 13.46  |
|                                           | S <sub>x</sub>   | 2.44 | 2.59   | 3.15  | 2.52  | 1.72  | 1.54  | 1.67  | 1.57  | 1.49  | 2.26  | 1.96  | 2.28   |
| Referans<br>MIROC6-<br>düzeltilmiş        | Min              | 2.14 | 1.51   | 3.17  | 7.21  | 12.85 | 17.82 | 20.86 | 21.31 | 16.97 | 12.46 | 6.07  | 2.98   |
|                                           | Ort <sub>t</sub> | 5.87 | 5.72   | 7.41  | 11.03 | 15.36 | 20.10 | 22.91 | 23.12 | 19.49 | 15.53 | 11.25 | 7.89   |
|                                           | Mak              | 10.1 | 9.64   | 11.30 | 15.11 | 18.93 | 22.53 | 25.30 | 25.98 | 21.35 | 18.81 | 14.50 | 11.20  |
|                                           | S <sub>x</sub>   | 2.02 | 1.86   | 1.87  | 1.69  | 1.27  | 1.01  | 1.21  | 1.32  | 1.19  | 1.41  | 1.97  | 2.01   |
| Referans<br>ACCESS-<br>CM2                | Min              | -10  | -13.23 | -3.06 | 6.15  | 15.72 | 21.78 | 24.18 | 20.42 | 15.04 | 8.69  | -0.73 | -12.56 |
|                                           | Ort              | -3.8 | -1.64  | 4.09  | 12.55 | 19.61 | 25.20 | 27.84 | 25.12 | 19.87 | 14.14 | 5.68  | -1.63  |
|                                           | Mak              | 2.67 | 7.12   | 8.20  | 19.52 | 22.61 | 28.90 | 30.97 | 28.45 | 25.02 | 20.35 | 10.31 | 5.70   |
|                                           | S <sub>x</sub>   | 3.93 | 4.30   | 2.66  | 3.33  | 2.01  | 1.85  | 1.74  | 2.18  | 2.73  | 2.76  | 2.94  | 4.22   |
| Referans<br>ACCESS-<br>CM2<br>düzeltilmiş | Min              | 2.45 | 0.72   | 2.39  | 7.79  | 12.90 | 18.23 | 20.36 | 20.27 | 17.38 | 12.75 | 6.96  | 2.67   |
|                                           | Ort              | 5.87 | 5.72   | 7.41  | 11.03 | 15.36 | 20.10 | 22.91 | 23.12 | 19.49 | 15.53 | 11.25 | 7.89   |
|                                           | Mak              | 9.24 | 9.51   | 10.29 | 14.55 | 17.27 | 22.12 | 25.08 | 25.14 | 21.73 | 18.70 | 14.35 | 11.39  |
|                                           | S <sub>x</sub>   | 2.02 | 1.86   | 1.87  | 1.69  | 1.27  | 1.01  | 1.21  | 1.32  | 1.19  | 1.41  | 1.97  | 2.01   |
| Referans<br>MRI-<br>ESM2-0                | Min              | 2.76 | 1.05   | 5.22  | 9.43  | 15.40 | 21.82 | 24.10 | 23.10 | 19.22 | 11.45 | 9.44  | 4.44   |
|                                           | Ort              | 6.63 | 7.02   | 10.08 | 14.33 | 19.09 | 24.02 | 26.57 | 25.49 | 22.49 | 18.22 | 12.44 | 8.71   |
|                                           | Mak              | 11.6 | 11.58  | 13.61 | 19.03 | 22.02 | 26.11 | 29.34 | 27.66 | 26.36 | 22.70 | 17.11 | 12.94  |
|                                           | S <sub>x</sub>   | 2.29 | 2.47   | 2.07  | 2.11  | 1.95  | 1.22  | 1.36  | 1.12  | 1.54  | 2.58  | 1.60  | 1.53   |
| Referans<br>MRI-<br>ESM2-0<br>düzeltilmiş | Min              | 2.47 | 1.23   | 3.04  | 7.12  | 12.95 | 18.28 | 20.71 | 20.31 | 16.95 | 11.84 | 7.55  | 2.29   |
|                                           | Ort              | 5.87 | 5.72   | 7.41  | 11.03 | 15.36 | 20.10 | 22.91 | 23.12 | 19.49 | 15.53 | 11.25 | 7.89   |
|                                           | Mak              | 10.3 | 9.16   | 10.59 | 14.78 | 17.28 | 21.82 | 25.36 | 25.67 | 22.49 | 17.97 | 17.00 | 13.45  |
|                                           | S <sub>x</sub>   | 2.02 | 1.86   | 1.87  | 1.69  | 1.27  | 1.01  | 1.21  | 1.32  | 1.19  | 1.41  | 1.97  | 2.01   |

Tablo 11. Gözlem, referans ve yanlışlığı düzeltilmiş referans verilerinin aylık toplam yağışa ait istatistikleri

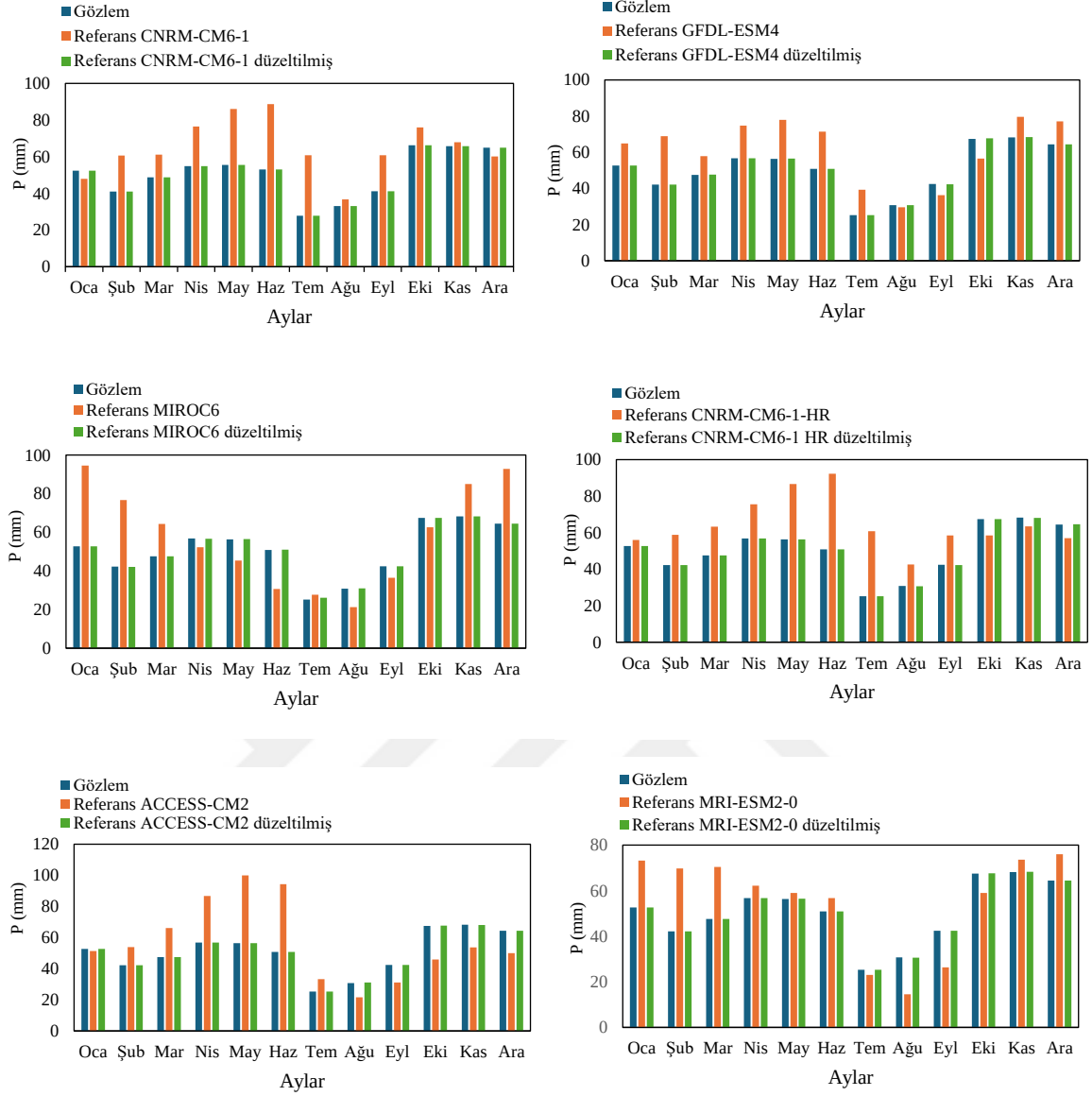
|                                       | İstatistikler  | Oca    | Şub    | Mar    | Nis    | May    | Haz    | Tem    | Ağu    | Eyl    | Eki    | Kas    | Ara    |
|---------------------------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Gözlem                                | Min            | 12.06  | 12.23  | 15.37  | 18.17  | 14.61  | 15.79  | 1.62   | 0.05   | 3.57   | 3.34   | 11.27  | 21.95  |
|                                       | Ort            | 52.37  | 40.94  | 48.74  | 54.91  | 55.45  | 53.02  | 27.77  | 33.12  | 41.18  | 66.18  | 65.79  | 64.99  |
|                                       | Mak            | 106.32 | 71.73  | 93.62  | 164.62 | 123.03 | 102.60 | 108.93 | 118.24 | 97.59  | 151.39 | 144.43 | 123.07 |
|                                       | S <sub>x</sub> | 22.55  | 15.58  | 19.94  | 29.38  | 26.76  | 21.70  | 22.17  | 27.86  | 25.79  | 42.59  | 37.26  | 29.30  |
| Referans<br>CNRM-<br>CM6-1            | Min            | 11.83  | 20.73  | 22.95  | 29.63  | 24.07  | 21.84  | 10.72  | 0.71   | 7.38   | 16.28  | 21.84  | 21.84  |
|                                       | Ort            | 47.94  | 60.71  | 61.13  | 76.51  | 85.98  | 88.74  | 60.74  | 36.78  | 60.84  | 75.94  | 67.86  | 60.17  |
|                                       | Mak            | 95.26  | 101.93 | 109.72 | 207.61 | 186.48 | 183.14 | 177.58 | 103.05 | 135.31 | 135.31 | 124.18 | 110.83 |
|                                       | S <sub>x</sub> | 19.90  | 21.14  | 22.13  | 35.88  | 40.00  | 40.57  | 35.33  | 23.51  | 34.77  | 32.39  | 28.48  | 25.74  |
| Referans<br>CNRM-<br>CM6-1<br>düz.    | Min            | 12.06  | 12.23  | 15.37  | 18.17  | 14.61  | 15.79  | 1.62   | 0.05   | 3.57   | 3.34   | 11.27  | 21.95  |
|                                       | Ort            | 52.37  | 40.94  | 48.74  | 54.91  | 55.45  | 53.02  | 27.77  | 33.12  | 41.18  | 66.18  | 65.79  | 64.99  |
|                                       | Mak            | 106.32 | 71.73  | 93.62  | 164.62 | 123.03 | 102.60 | 108.93 | 118.24 | 97.59  | 151.39 | 144.43 | 123.07 |
|                                       | S <sub>x</sub> | 22.55  | 15.58  | 19.94  | 29.38  | 26.76  | 21.70  | 22.17  | 27.86  | 25.79  | 42.59  | 37.26  | 29.30  |
| Referans<br>GFDL-<br>ESM4             | Min            | 31.48  | 27.40  | 14.06  | 25.55  | 37.42  | 27.77  | 9.24   | 2.93   | 10.72  | 7.01   | 20.36  | 40.75  |
|                                       | Ort            | 71.49  | 72.04  | 61.85  | 76.98  | 85.89  | 75.37  | 42.72  | 30.41  | 39.39  | 59.77  | 81.04  | 82.22  |
|                                       | Mak            | 185.36 | 131.97 | 98.23  | 136.42 | 186.85 | 148.65 | 96.00  | 69.30  | 95.26  | 123.07 | 165.71 | 147.91 |
|                                       | S <sub>x</sub> | 29.06  | 27.62  | 18.71  | 29.34  | 30.48  | 28.95  | 22.23  | 16.91  | 19.53  | 29.04  | 35.78  | 28.51  |
| Referans<br>GFDL-<br>ESM4 düz.        | Min            | 21.69  | 15.62  | 5.17   | 10.13  | 16.37  | 18.05  | 1.48   | 0.32   | 6.69   | 1.93   | 8.66   | 24.61  |
|                                       | Ort            | 52.33  | 40.93  | 48.79  | 54.94  | 55.41  | 53.01  | 27.82  | 33.11  | 41.05  | 66.22  | 65.80  | 64.98  |
|                                       | Mak            | 142.15 | 74.87  | 89.04  | 116.15 | 150.38 | 108.34 | 85.81  | 102.81 | 119.51 | 167.97 | 160.60 | 135.13 |
|                                       | S <sub>x</sub> | 22.71  | 15.65  | 19.54  | 29.07  | 26.86  | 21.64  | 21.77  | 27.59  | 26.20  | 43.09  | 37.35  | 29.16  |
| Referans<br>CNRM-<br>CM6-1-HR         | Min            | 13.11  | 14.24  | 17.63  | 11.73  | 22.52  | 29.68  | 11.36  | 4.08   | 9.22   | 4.45   | 8.47   | 9.73   |
|                                       | Ort            | 41.66  | 42.97  | 45.12  | 55.11  | 63.43  | 64.46  | 41.28  | 28.92  | 41.33  | 45.46  | 43.73  | 41.83  |
|                                       | Mak            | 80.87  | 79.87  | 79.49  | 108.23 | 122.53 | 106.47 | 100.45 | 106.59 | 113.62 | 136.46 | 121.28 | 84.76  |
|                                       | S <sub>x</sub> | 14.79  | 17.54  | 16.02  | 23.09  | 24.89  | 20.91  | 20.18  | 20.14  | 20.60  | 25.93  | 20.12  | 14.34  |
| Referans<br>CNRM-<br>CM6-1 HR<br>düz. | Min            | 11.91  | 14.80  | 15.68  | 6.57   | 14.41  | 18.97  | 1.94   | 2.23   | 5.08   | 3.25   | 6.63   | 7.88   |
|                                       | Ort            | 52.37  | 40.93  | 48.75  | 55.04  | 55.45  | 53.01  | 27.67  | 32.88  | 41.05  | 65.97  | 65.54  | 65.06  |
|                                       | Mak            | 114.18 | 73.60  | 92.68  | 124.19 | 120.96 | 97.58  | 101.83 | 149.74 | 138.49 | 230.31 | 224.06 | 157.78 |
|                                       | S <sub>x</sub> | 22.46  | 15.69  | 19.88  | 28.70  | 26.69  | 21.58  | 22.42  | 28.67  | 26.27  | 44.45  | 38.80  | 28.75  |

Tablo 11'in devamı

|                                 | İstatistikler  | Oca    | Şub    | Mar    | Nis    | May    | Haz    | Tem    | Ağu    | Eyl    | Eki    | Kas    | Ara    |
|---------------------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Gözlem                          | Min            | 12.06  | 12.23  | 15.37  | 18.17  | 14.61  | 15.79  | 1.62   | 0.05   | 3.57   | 3.34   | 11.27  | 21.95  |
|                                 | Ort            | 52.37  | 40.94  | 48.74  | 54.91  | 55.45  | 53.02  | 27.77  | 33.12  | 41.18  | 66.18  | 65.79  | 64.99  |
|                                 | Mak            | 106.32 | 71.73  | 93.62  | 164.62 | 123.03 | 102.60 | 108.93 | 118.24 | 97.59  | 151.39 | 144.43 | 123.07 |
|                                 | S <sub>x</sub> | 22.55  | 15.58  | 19.94  | 29.38  | 26.76  | 21.70  | 22.17  | 27.86  | 25.79  | 42.59  | 37.26  | 29.30  |
| Referans<br>MIROC6              | Min            | 24.07  | 35.19  | 25.18  | 17.39  | 12.94  | 5.16   | 1.82   | 2.93   | 6.27   | 15.17  | 15.17  | 38.53  |
|                                 | Ort            | 96.12  | 81.56  | 65.42  | 53.69  | 49.87  | 32.81  | 27.18  | 25.56  | 39.77  | 63.00  | 89.32  | 97.14  |
|                                 | Mak            | 159.78 | 147.54 | 109.72 | 120.84 | 85.25  | 99.71  | 169.79 | 75.24  | 97.48  | 160.89 | 192.04 | 165.34 |
|                                 | S <sub>x</sub> | 31.66  | 29.95  | 21.58  | 25.35  | 19.52  | 23.72  | 33.58  | 19.49  | 25.04  | 36.73  | 45.21  | 30.60  |
| Referans<br>MIROC6 düz          | Min            | 7.28   | 16.92  | 13.78  | 14.89  | 9.37   | 22.43  | 7.13   | 2.45   | 6.41   | 11.35  | 7.48   | 15.18  |
|                                 | Ort            | 52.48  | 40.93  | 48.74  | 54.97  | 55.57  | 53.12  | 28.80  | 33.10  | 41.14  | 65.87  | 65.76  | 65.00  |
|                                 | Mak            | 99.06  | 75.58  | 91.05  | 133.61 | 104.82 | 107.93 | 111.17 | 106.78 | 101.14 | 188.57 | 154.73 | 133.53 |
|                                 | S <sub>x</sub> | 21.71  | 15.66  | 19.89  | 29.10  | 26.04  | 21.61  | 21.02  | 28.02  | 26.00  | 44.69  | 37.84  | 28.93  |
| Referans<br>ACCESS-<br>CM2      | Min            | 40.62  | 26.15  | 29.77  | 45.15  | 61.43  | 83.13  | 2.63   | 5.35   | 7.16   | 15.30  | 17.11  | 27.06  |
|                                 | Ort            | 83.07  | 89.18  | 109.96 | 144.15 | 164.33 | 160.15 | 55.56  | 33.90  | 51.86  | 77.63  | 95.33  | 83.42  |
|                                 | mak            | 124.74 | 151.88 | 229.66 | 272.17 | 265.84 | 285.74 | 127.45 | 73.18  | 103.03 | 172.68 | 186.25 | 167.25 |
|                                 | S <sub>x</sub> | 26.02  | 29.66  | 45.50  | 50.31  | 47.45  | 52.58  | 31.87  | 19.12  | 28.79  | 41.53  | 41.62  | 29.24  |
| Referans<br>ACCESS-<br>CM2 düz. | Min            | 18.22  | 9.46   | 13.24  | 7.38   | 8.30   | 22.59  | 0.13   | 1.00   | 3.76   | 6.77   | 4.90   | 13.67  |
|                                 | Ort            | 52.42  | 40.95  | 48.72  | 55.07  | 55.53  | 52.99  | 28.04  | 33.33  | 41.22  | 66.17  | 65.65  | 64.96  |
|                                 | Mak            | 89.19  | 74.54  | 101.62 | 134.36 | 116.36 | 106.35 | 81.10  | 94.21  | 87.85  | 171.93 | 152.92 | 153.24 |
|                                 | S <sub>x</sub> | 21.99  | 15.45  | 20.11  | 28.24  | 25.81  | 21.71  | 21.10  | 26.66  | 25.63  | 43.44  | 38.13  | 29.35  |
| Referans MRI-<br>ESM2-0         | Min            | 16.84  | 16.84  | 39.64  | 35.19  | 26.29  | 18.51  | 2.93   | 5.16   | 7.38   | 20.17  | 31.30  | 24.07  |
|                                 | Ort            | 74.41  | 72.25  | 75.08  | 64.65  | 61.09  | 57.53  | 23.89  | 14.88  | 27.91  | 63.24  | 74.08  | 79.56  |
|                                 | Mak            | 159.22 | 126.41 | 118.62 | 109.16 | 97.48  | 106.94 | 52.43  | 42.98  | 62.44  | 132.52 | 144.76 | 130.86 |
|                                 | S <sub>x</sub> | 35.19  | 26.58  | 22.93  | 18.25  | 19.13  | 20.53  | 13.10  | 8.27   | 15.09  | 29.96  | 30.49  | 28.63  |
| Referans MRI-<br>ESM2-0 düz     | Min            | 14.05  | 8.85   | 19.45  | 14.70  | 13.02  | 13.80  | 0.61   | 4.60   | 7.90   | 10.23  | 16.89  | 13.07  |
|                                 | Ort            | 52.36  | 40.94  | 48.71  | 54.97  | 55.54  | 53.04  | 27.85  | 32.77  | 41.17  | 66.06  | 65.69  | 65.04  |
|                                 | Mak            | 106.00 | 72.95  | 87.99  | 133.13 | 108.51 | 106.16 | 79.41  | 141.87 | 102.08 | 175.23 | 159.54 | 118.58 |
|                                 | S <sub>x</sub> | 22.66  | 15.59  | 20.01  | 28.61  | 25.80  | 21.46  | 21.73  | 28.96  | 25.78  | 43.58  | 37.78  | 28.85  |



Şekil 16. GDM'lerin referans, yanlışlığı düzeltilmiş referans senaryoları ve gözlem verileri için sıcaklık değerlerine ait grafikler



Şekil 17. GDM’lerin referans, yanlışlığı düzeltilmiş referans senaryoları ve gözlem verileri için yağış değerlerine ait grafikler

Şekil 17 incelendiğinde sıcaklık referans verileri için uygulanan yanlışlık düzeltme işleminden sonra referans dönem senaryo sonuçlarına ait istatistik verilerinin gözlem veri setine yaklaştığı görülmüştür. Her bir GDM’nin gözlem veri setine yaklaşma oranı farklı olsa da bu değişimin CNRM-CM6-1 modelinde en az, ACCESS-CM2 modelinde ise en fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 18’de yağış parametresi için de aynı şekilde yanlışlık düzeltme işlemleri yapılmış, gözlem, referans ve düzeltilmiş referans değerlerinin değişimini görebilmek için histogramlardan faydalanılmıştır. Sıcaklık referans verilerinde olduğu gibi yağış verilerinde de referans dönem senaryo verilerinin gözlem veri setine yaklaştığı görülmüştür. En az değişimin MRI-ESM2-0 modelinde, en fazla değişimin ise

sıcaklık değerlerinde olduğu gibi ACCESS-CM2 modelinde olduğu görülmüştür. Yağış parametresindeki yanlışlıkların sıcaklık parametresine oranla daha fazla olduğu oluşturulan histogramlardan açıkça gözlenmiştir.

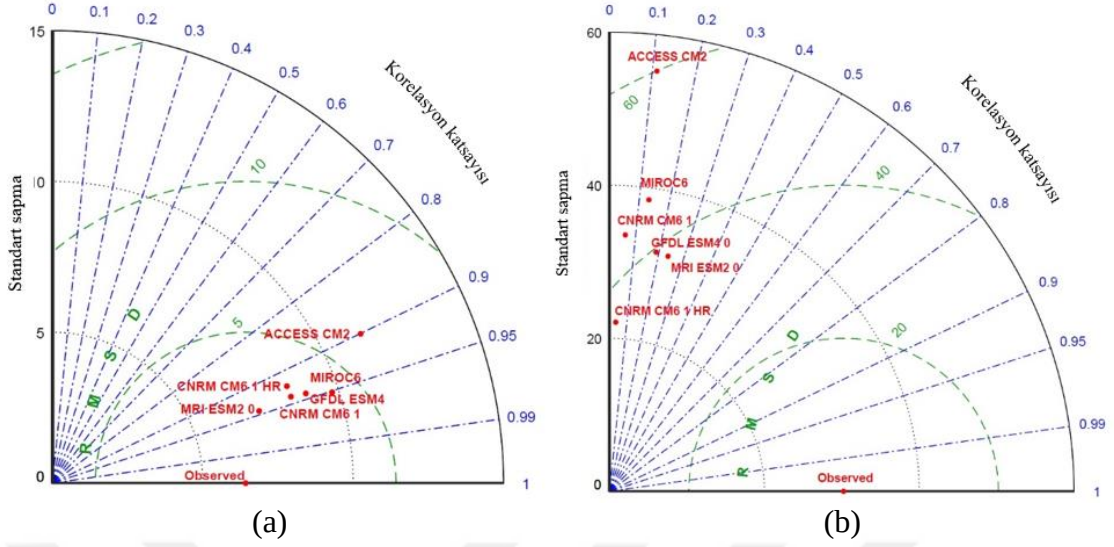
### 3.2.2. GDM Performanslarının Değerlendirilmesi

Gelecekteki iklim projeksiyonlarındaki değişiklikleri incelemekten önce GDM simülasyonlarının referans dönemini (1980-2014) kapsayan verilerle değerlendirilmesi süreci iklim çalışmalarında yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu değerlendirme ile belirli bir bölge için kullanılan iklim modellerinin artı ve eksilerinin belirlenerek, ileriye dönük verilerin üretilmesinde GDM'lerin iklim projeksiyonlarının güvenilirliğinin artırılması öngörülmektedir. Bu değerlendirmenin, ÇMT sürecinde topluluk üyelerinin seçiminde de faydalı olacağı öngörülmektedir.

CMIP6 arşivinden seçilmiş GDM'lerin farklı ölçütlere dayalı olarak baraj havzasının yağış ve sıcaklık projeksiyonları için oluşturulmuş performans sıralaması Tablo 12'de gösterilmektedir. Modellerin performansını değerlendirmek için birden fazla performans değerlendirme kriteri kullanıldığından, her bir GDM için kapsamlı model sıralamaları hesaplanmıştır. Hem T hem de P parametreleri için CRI'ya dayalı olarak üretilen sıralama Tablo 12'nin son sütununda gösterilmektedir. Bu tabloya ek olarak, GDM model çıktılarının gözlem değerleriyle uyumunu belirlemek için her iki parametre için Taylor diyagramları da oluşturulmuştur (Şekil 18).

Tablo 12. Çalışmada kullanılan CMIP6 modellerinin performansları ve sıralamaları

| Parametre | GDM           | nKHOK | KGE    | MD    | R     | S <sub>x</sub> | KOKF   | CRI   | Sıra |
|-----------|---------------|-------|--------|-------|-------|----------------|--------|-------|------|
| T (°C)    | MRI.ESM2-0    | 0.144 | 0.810  | 0.758 | 0.944 | 7.277          | 2.432  | 0.720 | 1    |
|           | CNRM-CM6.1    | 0.178 | 0.770  | 0.722 | 0.940 | 8.431          | 3.236  | 0.583 | 2    |
|           | GFDL-ESM4-0   | 0.140 | 0.597  | 0.779 | 0.943 | 8.934          | 3.583  | 0.527 | 3    |
|           | CNRM-CM6.1-HR | 0.154 | 0.547  | 0.789 | 0.925 | 8.431          | 3.493  | 0.472 | 4    |
|           | MIROC6        | 0.278 | 0.605  | 0.611 | 0.951 | 9.775          | 4.165  | 0.361 | 5    |
|           | ACCESS-CM2    | 0.268 | -0.008 | 0.672 | 0.900 | 11.379         | 6.253  | 0.083 | 6    |
| P (mm)    | MRI.ESM2-0    | 0.177 | 0.221  | 0.400 | 0.240 | 31.631         | 38.186 | 0.778 | 1    |
|           | GFDL-ESM4-0   | 0.193 | 0.119  | 0.357 | 0.190 | 31.826         | 39.541 | 0.611 | 2    |
|           | CNRM-CM6.1-HR | 0.169 | 0.011  | 0.319 | 0.036 | 22.112         | 36.814 | 0.444 | 3    |
|           | MIROC6        | 0.213 | 0.108  | 0.343 | 0.132 | 38.425         | 45.643 | 0.361 | 4    |
|           | CNRM-CM6.1    | 0.211 | 0.004  | 0.270 | 0.060 | 33.562         | 43.790 | 0.277 | 5    |
|           | ACCESS-CM2    | 0.344 | -0.267 | 0.241 | 0.111 | 55.254         | 59.979 | 0.083 | 6    |



Şekil 18. GDM’lerin Taylor Diyagramları (a): sıcaklık, (b): yağış

Tablo 12’den görüldüğü üzere sıcaklık parametresi için sırasıyla en başarılı ve en başarısız modeller nKHOK ölçütüne göre GFDL-ESM4-0 ve MIROC6, KGE ölçütüne göre MRI-ESM2-0 ve ACCESS-CM2, MD ölçütüne göre CNRM-CM6.1-HR ve MIROC6, R ölçütüne göre MIROC6 ve ACCESS-CM2 modeli olmuştur. Şekil 19’daki Taylor diyagramında ise sıcaklık parametresi için en başarılı ve en başarısız model sırasıyla MRI-ESM2-0 ve ACCESS-CM2 modeli olmuştur. Yağış parametresi için sırasıyla en başarılı ve en başarısız modeller nKHOK ölçütüne göre CNRM-CM6.1-HR ve ACCESS-CM2, KGE ölçütüne göre MRI.ESM2-0 ve ACCESS-CM2, MD ölçütüne göre MRI.ESM2-0 ve ACCESS-CM2, R ölçütüne göre MRI.ESM2-0 ve CNRM-CM6.1-HR modeli olmuştur. Şekil 19’daki Taylor diyagramında ise yağış parametresi için en başarılı ve en başarısız model sırasıyla CNRM-CM6.1-HR ve ACCESS-CM2 modeli olmuştur.

CRI’ya göre tüm ölçütler göz önünde bulundurularak kapsamlı bir sıralama yapıldığında, her iki parametre için de MRI-ESM2-0 modeli en başarılı, ACCES-CM2 modeli ise en başarısız model olmuştur.

### 3.2.3. Topluluk Modellerinin Oluşturulması

Bir önceki bölümde GDM’lerin referans dönemine dayalı olarak oluşturulmuş başarı sıralamalarına yer verilmiştir. ACCESS-CM2 modeli her iki parametre için de en başarısız model olduğundan ÇMT üyeliğinden çıkarılmıştır. Çıkarma kararı, topluluk modelinin genel

başarısı üzerindeki potansiyel olumsuz etkiyi azaltmak için verilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada topluluk modeli üye sayısı 5 olarak belirlenmiştir.

Daha önceden belirtilmiş olduğu gibi ÇMT1, ÇMT2, ÇMT3 ve ÇMT4 olmak üzere dört farklı yöntem ile topluluk modelleri oluşturulmuştur. ÇMT1 YSA'ya, ÇMT2 basit ortalamaya, ÇMT3 korelasyon katsayılarının ağırlıklandırılmasına, ÇMT4 ise ÇDURE yöntemine dayalı olarak kurulmuş topluluk modelleridir. ÇMT4 için ÇDURE yönteminden elde edilmiş temel fonksiyonlar ve model denklemleri sıcaklık ve yağış için Tablo 13'te sunulmuştur.

Tablo 13. ÇMT4 modeli için ÇDURE modelinden elde edilen temel fonksiyonlar

| Sıcaklık (°C)                                                                            | Yağış (mm)                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| BF1=max(MIROC6 – 9.64798);                                                               | BF2=max(95.8161 – MRI-ESM2-0);        |
| BF2=max(9.64798 – MIROC6);                                                               | BF4=max(104.901 – GFDL-ESM4-0)×BF2;   |
| BF3=max(MRI-ESM2-0 – 1.05159);                                                           | BF5=max(MIROC6 – 100.822);            |
| BF6=max(GFDL-ESM4-0 – 6.83949)×BF2;                                                      | BF7=max(MIROC6 – 54.1015)×BF2;        |
| BF8=max(GFDL-ESM4 + 3.66147);                                                            | BF12=max(27.4042 – CNRM-CM6-1)×BF7;   |
| BF10=max( 4.8193 – CNRM-CM6-1)×BF1;                                                      | BF13=max(CNRM-CM6-1-HR–8.21931)×BF12; |
| BF12=max(12.5614 – GFDL-ESM4-0)×BF1;                                                     |                                       |
| BF13=max(CNRM-CM6-1-HR + 6.95407)×BF8;                                                   |                                       |
| T=5.588+0.2146×BF1–0.2674×BF2+0.1901×BF3–1.5634×BF6–0.0883×BF10+0.0431×BF12+0.0082×BF13; |                                       |
| P=54.985–0.00380×BF4+0.35382×BF5+8.49822e–05×BF13;                                       |                                       |

Korelasyon katsayılarının ağırlıklandırılmasına dayalı olarak oluşturulan ÇMT3 model çıktıları incelendiğinde, sıcaklığa ait korelasyonlar tüm modeller için 0.97 civarında olması sebebiyle hesap edilen ağırlıklar tüm modeller için yaklaşık olarak aynı ağırlığa sahiptirler. Dolayısıyla korelasyon katsayılarının ağırlıklandırılmasına dayalı olarak oluşturulan ÇMT3 modeli ile basit ortalamaya dayalı olarak oluşturulan ÇMT2 modeli aynı sonuçları vermiştir. Fakat bu değerler yağış parametresi için tüm GDM'lerde birbirinden daha farklı oranlara sahip olduğundan ÇMT2 ve ÇMT3 için üretilen değerler farklı bulunmuştur. Yağış parametresinin ÇMT3 için kurulmuş olan korelasyon katsayılarının ağırlıklandırılmasıyla elde edilen denklem aşağıda verilmektedir.

$$Y = 0.288 \times GFDL.ESM4 + 0.201 \times MIROC6 + 0.364 \times MRI - ESM2 - 0 + 0.055 \times CNRM - CM6 - 1 - HR + 0.091 \times CNRM - CM6 - 1 \quad (39)$$

Çalışma kapsamında oluşturulan ÇMT'ler arasında sıcaklık ve yağış parametrelerinin referans döneme ait elde edilen bulgular Tablo 14'te verilmektedir.

Tablo 14. ÇMT'lerin sıcaklık ve yağış parametrelerine ait performans ölçütleri

| ÇMT  | nKHOK | nKHOK |
|------|-------|-------|
|      | T     | P     |
| ÇMT1 | 0.085 | 0.127 |
| ÇMT2 | 0.161 | 0.148 |
| ÇMT3 | 0.158 | 0.154 |
| ÇMT4 | 0.087 | 0.130 |

Tablo 14'teki bulgular irdelendiğinde, uygulanan dört farklı ÇMT modelinden YSA tabanlı ÇMT1 yönteminin her iki parametre için de diğer üç topluluk modeline göre daha az hata değerine sahip olduğu belirlenmiştir. ÇDURE tabanlı ÇMT4 modeli de hata değeri bakımından ikinci sıradaki ÇMT model olmuştur. YSA yöntemine dayanan ÇMT1 ile elde edilen analiz sonucunda, çıktı setinden elde edilmesi gereken maksimum değerlerin yeterli düzeyde tahmin edilemediği gözlenmiştir. Çıktıya ait veri seti aylık bazda irdelendiğinde, pik seviyede olması beklenen değerler başarılı olarak tahmin edilemediği için bu durum aylık ortalama değerlere de yansımıştır. Dolayısıyla referans döneme göre hesap edilen değişikliklerde negatif değerler bulunmuştur. ÇMT1'deki hata değerlerinin minimum çıkma sebebi, üretilen verilerinin orta hatta kalarak pik değerleri doğru tahmin edememesi ile ilgilidir. ÇMT1'in zaman serisi verilerini az hata ile tahmin etmiş olmasına karşın değişim grafiklerinden de görüldüğü üzere aylık değişimleri diğer ÇMT'lerden farklı olarak elde ettiği görülmüştür.

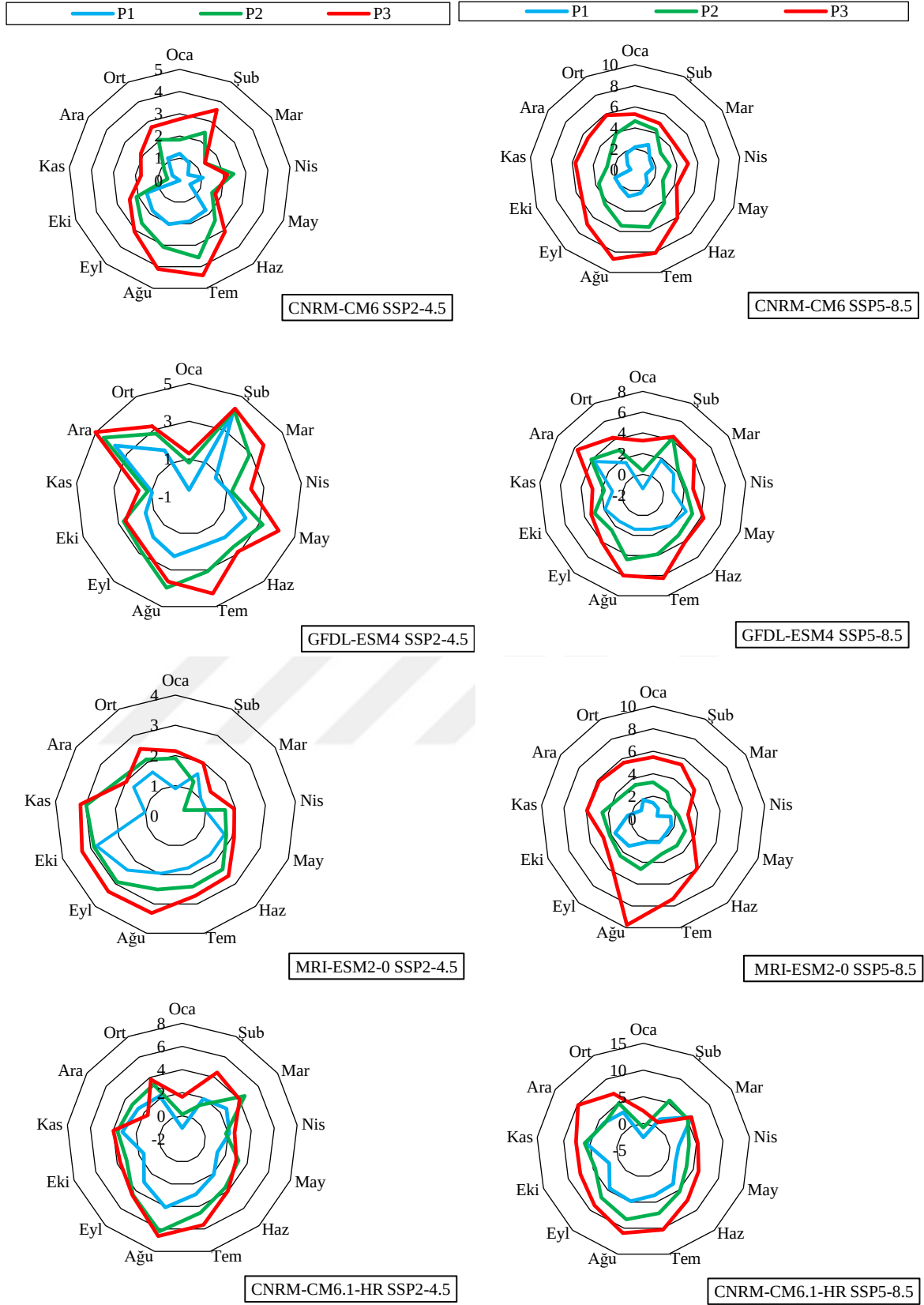
#### 3.2.4. Yanlılık Düzeltme İşlemleri ve Gelecek Dönem SSP2.4-5 ve SSP5.8-5 Senaryoları İçin Yağış ve Sıcaklık Verilerinin Üretilmesi

Çalışmanın önceki aşamasında GDM'lere ait referans verileri baraj havzası ölçeğine indirgenirken YSA tabanlı oluşturulmuş ve test edilmiş ölçek indirgeme modeli kullanılmıştı. İleriye dönük yağış ve sıcaklık verileri üretilirken de aynı modelde girdi olarak GDM'lerin gelecek döneme ait iyimser ve kötümser senaryo verileri kullanılmıştır. Bu işlemler sonrasında her bir tekil GDM ve her bir ÇMT için 2025-2100 yılları arasında SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryo verileri havza ölçeğine indirgenmiştir. Gelecek döneme ait veriler üretildikten sonra referans dönem senaryo verilerine uygulandığı gibi bu veriler için de

yanlılık düzeltme işlemi uygulanmıştır. Çalışma kapsamında modellerden veya çeşitli etkenlerden kaynaklanan yanlılıkların düzeltilmesi için yanlılık düzeltme prosedürü uygulanmıştır. Bu işlem tekil GDM projeksiyonlarına ölçek küçültme işlemi sonrasında uygulanırken, ÇMT'ler için kara kutu ya da makine öğrenim yöntemlerinin de bazı yanlılıklara sahip olabilme ihtimalinden dolayı topluluk modeli oluşturma sürecinden sonra uygulanmıştır.

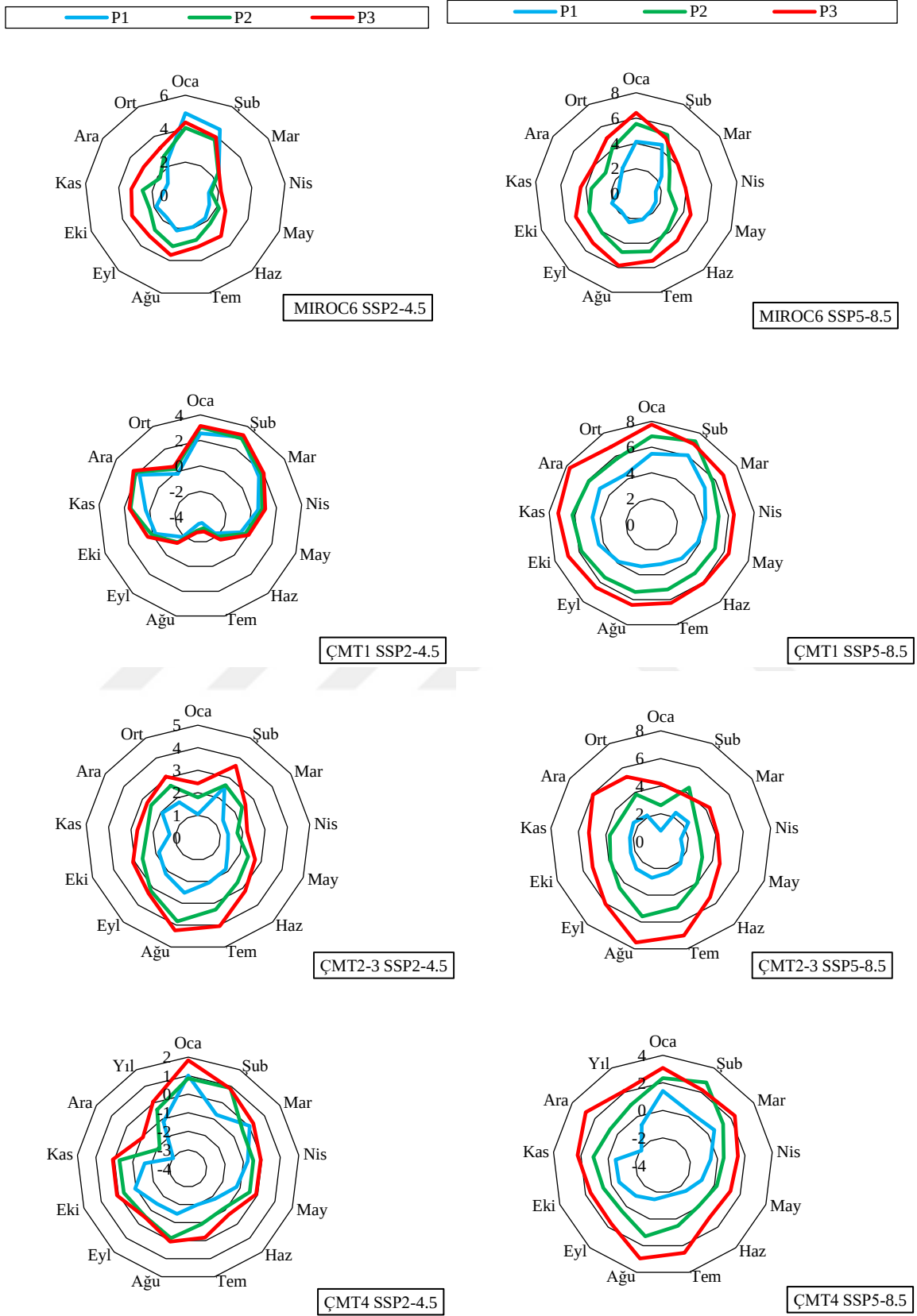
Yanlılık düzeltme işlemi uygulandıktan sonra veriler art arda olacak şekilde üç ayrı periyoda ayrılmıştır (P1, P2 ve P3). Sıcaklık ve yağış parametreleri için tüm tekil GDM ve ÇMT'lere ait radar grafikleri üç ayrı periyot için sırasıyla Şekil 19 ve Şekil 20'de verilmektedir. Tüm radar grafiklerine genel olarak bakıldığında, radarın dış köşegenlerinin bulunduğu aylarda sıcaklık artışının maksimum, iç köşegenlerinin bulunduğu aylarda ise minimum olduğu görülmektedir. Diğer bir ifade ile, negatif sıcaklık artış miktarları sıcaklıklardaki düşüşleri temsil etmektedir. Buna paralel olarak yağış için de radarın dış köşegenlerinin olduğu aylarda yağış artışının daha fazla, iç köşegenlerinin olduğu aylarda ise en az olacağı ya da bu değerlerin negatif olması durumunda yağışlarda azalma olacağı söylenebilir.

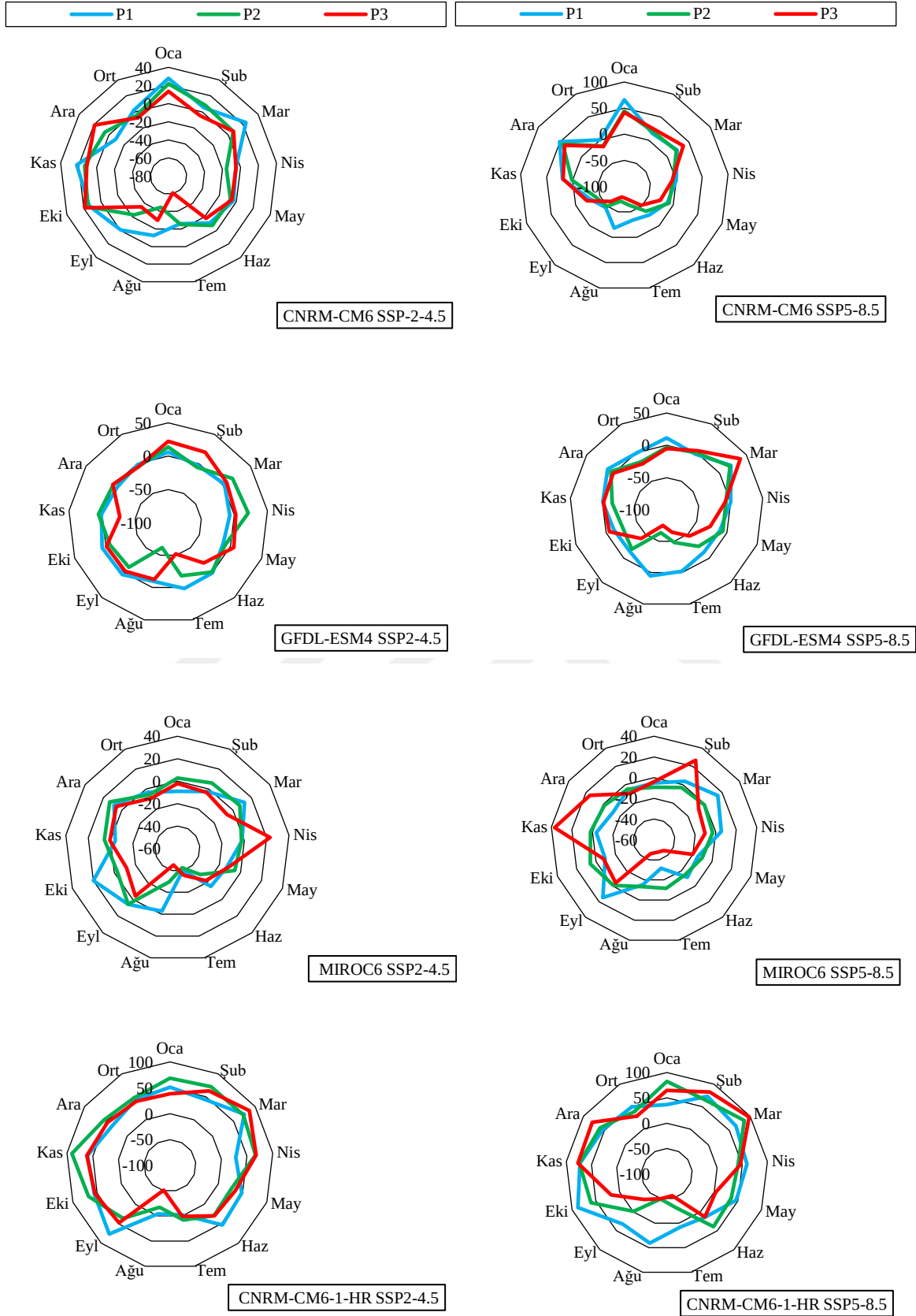
Yanlılığı düzeltilmiş referans dönemi senaryosu ile gelecek dönem (P1, P2 ve P3) SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için yıllık ortalama sıcaklık değerleri ve değişimleri ( $\Delta t$ ) Şekil 21 ve Şekil 22'de, yıllık toplam yağışın ortalama değerlerinin karşılaştırılması ve değişimleri Şekil 23 ve Şekil 24'te verilmektedir. SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları altında, aylık ve mevsimlik sıcaklık ve yağış değişimlerine ait tüm model çıktıları Tablo 15'te ve Tablo 16'da verilmektedir. Gelecekteki üç farklı dönem için model çıktıları ile referans dönem senaryosu arasındaki farklar zaman içindeki değişiklikleri değerlendirmek amacıyla hesaplanmıştır.



Şekil 19. Yanlılığı düzeltilmiş referans dönem bulguları ile gelecek dönem senaryo (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5) bulguları arasında aylık ortalama sıcaklık değerlerindeki değişim ( $\Delta T$ , °C)

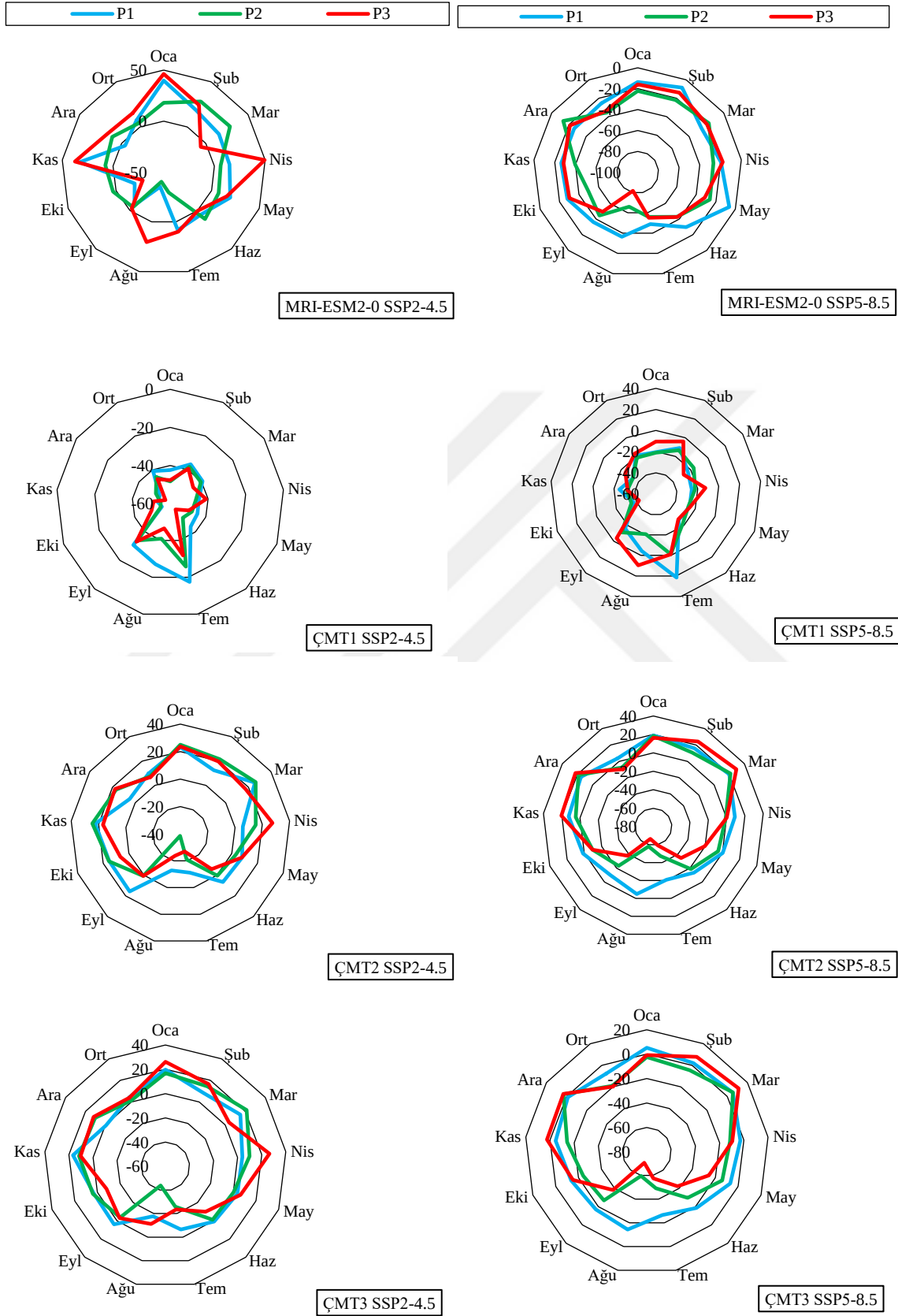
Şekil 19'un devamı



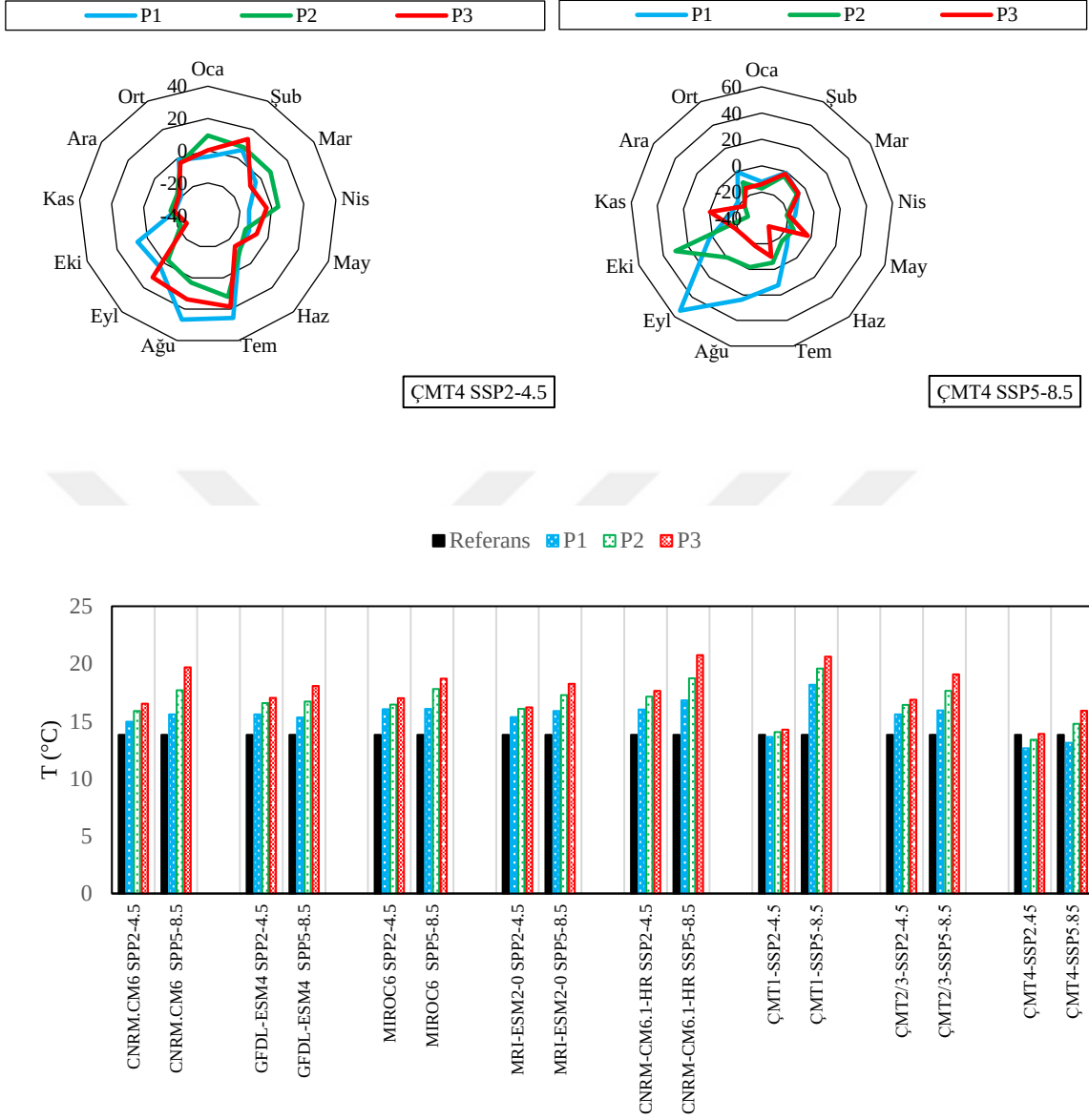


Şekil 20. Yanlılığı düzeltilmiş referans dönem bulguları ile gelecek dönem senaryo (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5) bulguları arasında aylık ortalama yağış değerleri arasındaki değişim (%)

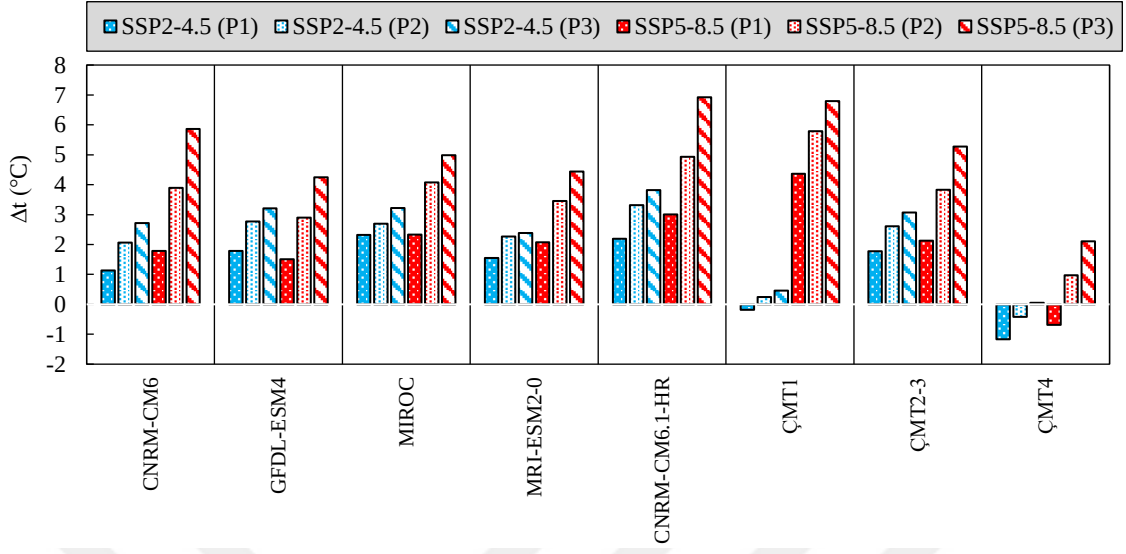
Şekil 20'nin devamı



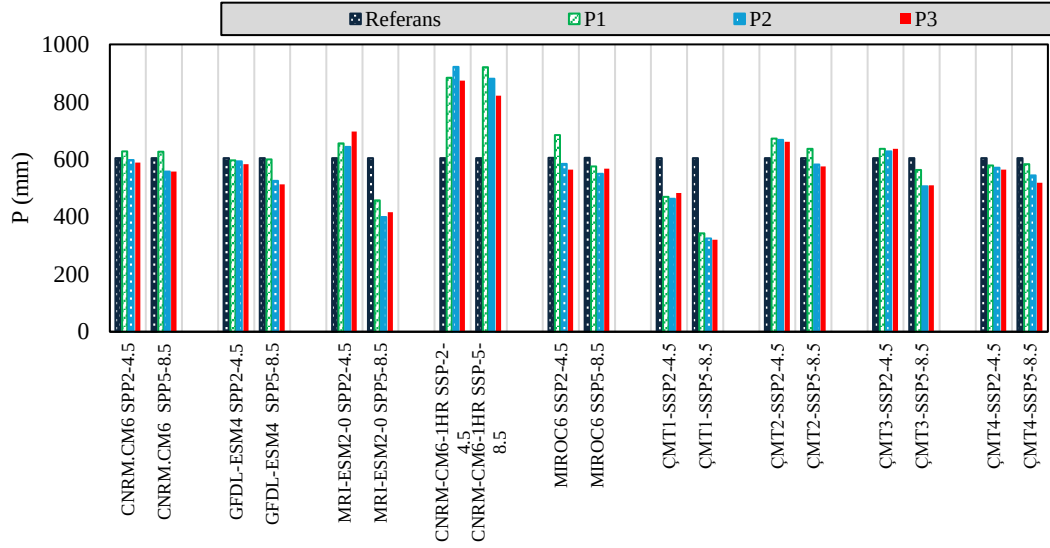
Şekil 20'nin devamı



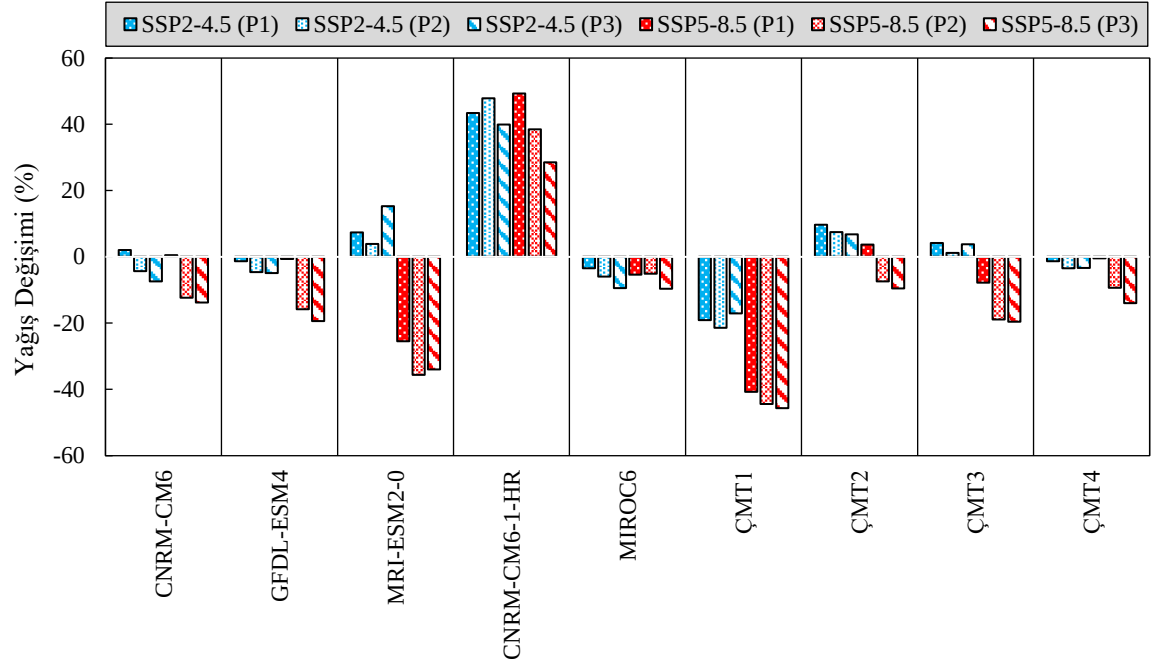
Şekil 21. GDM ve ÇMT'lerin yanlılığı düzeltilmiş senaryolara ait gelecek (P1, P2 ve P3) ve referans dönem için yıllık ortalama sıcaklık değerleri



Şekil 22. GDM ve ÇMT'lerin yanlılığı düzeltilmiş senaryolara ait gelecek (P1, P2 ve P3) referans dönemi için yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin değişimi



Şekil 23. GDM ve ÇMT'lerin yanlılığı düzeltilmiş senaryolara ait gelecek (P1, P2 ve P3) ve referans dönem için yıllık toplam yağışların ortalama değerleri



Şekil 24. GDM ve ÇMT'lerin yanlılığı düzeltilmiş senaryolara ait gelecek (P1, P2 ve P3) ve referans dönem için yıllık toplam yağış değerlerinin ortalamasına göre değişimi

Tablo 15. Yanlılığı düzeltilmiş gelecek dönem senaryolara ait aylık ortalama sıcaklık değerlerinin referans dönem (1980-2014) senaryosuna göre değişimleri ( $\Delta t$ , °C)

| GDM           | Senaryo  | Periyot/Aylar | Oca   | Şub  | Mar  | Nis  | May  | Haz  | Tem   | Ağu   | Eyl  | Eki  | Kas  | Ara  |    |    |
|---------------|----------|---------------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|----|----|
| CNRM-CM6      | SSP2-4.5 | P1            | 1.21  | 0.90 | 0.45 | 1.05 | 0.50 | 1.77 | 1.88  | 2.03  | 1.83 | 1.59 | 0.00 | 0.39 |    |    |
|               |          | P2            | 1.84  | 2.44 | 1.38 | 2.45 | 1.56 | 2.40 | 3.57  | 3.08  | 2.57 | 2.08 | 0.54 | 0.84 |    |    |
|               |          | P3            | 2.76  | 3.59 | 1.38 | 2.16 | 1.72 | 3.08 | 4.40  | 4.10  | 3.07 | 2.41 | 1.75 | 2.12 |    |    |
|               | SSP5-8.5 | P1            | 2.19  | 2.72 | 1.72 | 1.69 | 1.10 | 1.70 | 2.26  | 2.58  | 2.10 | 2.04 | 0.42 | 0.87 |    |    |
|               |          | P2            | 4.65  | 4.31 | 2.92 | 3.33 | 2.81 | 4.19 | 5.57  | 5.44  | 4.31 | 3.68 | 2.67 | 2.83 |    |    |
|               |          | P3            | 5.30  | 4.99 | 4.48 | 5.07 | 4.22 | 6.05 | 8.10  | 8.69  | 6.86 | 5.53 | 5.70 | 5.41 |    |    |
| GFDL-ESM4     | SSP2-4.5 | P1            | −0.64 | 4.04 | 0.72 | 1.12 | 2.21 | 1.88 | 1.72  | 2.26  | 1.87 | 1.46 | 0.96 | 3.77 |    |    |
|               |          | P2            | 0.80  | 4.17 | 2.90 | 1.29 | 3.19 | 2.55 | 3.09  | 3.98  | 2.84 | 2.71 | 1.21 | 4.51 |    |    |
|               |          | P3            | 1.28  | 4.28 | 3.81 | 2.31 | 4.09 | 2.91 | 4.29  | 3.63  | 2.60 | 2.60 | 1.68 | 5.03 |    |    |
|               | SSP5-8.5 | P1            | −1.39 | 1.82 | 1.61 | 0.95 | 2.46 | 1.96 | 1.39  | 1.39  | 1.40 | 1.89 | 0.96 | 3.70 |    |    |
|               |          | P2            | 0.34  | 4.24 | 2.14 | 2.20 | 3.11 | 3.19 | 3.89  | 4.40  | 2.54 | 2.97 | 1.75 | 4.05 |    |    |
|               |          | P3            | 3.23  | 4.36 | 4.01 | 2.88 | 4.28 | 4.10 | 6.26  | 5.98  | 3.99 | 3.32 | 2.88 | 5.68 |    |    |
| CNRM-CM6.1-HR | SSP2-4.5 | P1            | −1.05 | 1.91 | 2.63 | 2.10 | 1.25 | 2.11 | 2.92  | 4.08  | 2.98 | 1.56 | 3.22 | 2.63 |    |    |
|               |          | P2            | 0.12  | 1.31 | 4.56 | 1.81 | 3.21 | 3.61 | 4.56  | 6.22  | 4.43 | 3.13 | 3.64 | 3.23 |    |    |
|               |          | P3            | 1.64  | 4.50 | 4.02 | 2.55 | 3.01 | 3.97 | 5.63  | 6.64  | 4.50 | 3.73 | 4.00 | 1.62 |    |    |
|               | SSP5-8.5 | P1            | −2.60 | 1.56 | 5.93 | 1.65 | 1.43 | 3.43 | 3.66  | 4.82  | 4.52 | 1.84 | 5.79 | 3.98 |    |    |
|               |          | P2            | −0.75 | 5.53 | 5.12 | 3.59 | 3.63 | 5.29 | 7.12  | 8.32  | 6.82 | 4.61 | 6.06 | 3.80 |    |    |
|               |          | P3            | 2.36  | 0.87 | 5.90 | 5.26 | 6.05 | 7.48 | 10.30 | 10.94 | 8.80 | 7.61 | 7.69 | 9.85 |    |    |
| Δt (°C)       | −4       | −3            | −2    | −1   | 0    | 1    | 2    | 3    | 4     | 5     | 6    | 7    | 8    | 9    | 10 | 11 |

Tablo 15'in devamı

| GDM        | Senaryo  | Periyot/Aylar | Oca  | Şub  | Mar  | Nis  | May   | Haz   | Tem   | Ağu   | Eyl   | Eki   | Kas  | Ara  |    |    |
|------------|----------|---------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|----|----|
| MRI-ESM2-0 | SSP2-4.5 | P1            | 0.76 | 1.39 | 0.53 | 1.07 | 1.63  | 1.78  | 1.83  | 2.08  | 2.34  | 2.78  | 0.82 | 1.58 |    |    |
|            |          | P2            | 2.14 | 1.51 | 0.69 | 1.69 | 1.81  | 2.41  | 2.49  | 2.75  | 3.17  | 2.96  | 3.39 | 2.24 |    |    |
|            |          | P3            | 1.98 | 1.76 | 1.17 | 1.84 | 2.20  | 2.66  | 2.76  | 3.17  | 3.12  | 3.28  | 2.87 | 1.87 |    |    |
|            | SSP5-8.5 | P1            | 1.54 | 1.28 | 0.45 | 1.53 | 1.93  | 1.88  | 2.23  | 2.45  | 3.43  | 3.73  | 2.65 | 1.80 |    |    |
|            |          | P2            | 3.24 | 2.65 | 1.82 | 2.36 | 3.11  | 3.47  | 3.42  | 5.05  | 4.69  | 4.20  | 4.50 | 2.97 |    |    |
|            |          | P3            | 3.57 | 3.64 | 3.06 | 3.54 | 3.68  | 4.38  | 4.94  | 6.20  | 5.35  | 4.75  | 5.47 | 4.76 |    |    |
| MIROC6     | SSP2-4.5 | P1            | 4.93 | 4.45 | 2.42 | 1.41 | 1.54  | 1.80  | 1.92  | 2.16  | 1.70  | 1.86  | 1.33 | 1.27 |    |    |
|            |          | P2            | 4.05 | 3.77 | 2.40 | 1.55 | 2.16  | 2.24  | 2.73  | 3.12  | 2.74  | 2.27  | 2.58 | 1.84 |    |    |
|            |          | P3            | 4.38 | 3.94 | 2.44 | 2.15 | 2.56  | 3.23  | 3.15  | 3.66  | 3.23  | 3.40  | 3.25 | 3.01 |    |    |
|            | SSP5-8.5 | P1            | 4.14 | 4.38 | 2.44 | 1.55 | 1.67  | 1.77  | 2.09  | 2.31  | 1.80  | 2.06  | 1.41 | 1.57 |    |    |
|            |          | P2            | 5.55 | 5.28 | 3.20 | 2.61 | 3.39  | 3.74  | 4.67  | 4.73  | 4.08  | 3.97  | 3.56 | 2.95 |    |    |
|            |          | P3            | 6.41 | 4.99 | 4.02 | 3.92 | 4.60  | 4.89  | 5.43  | 5.83  | 5.16  | 5.10  | 4.43 | 4.06 |    |    |
| ÇMT1       | SSP2-4.5 | P1            | 2.55 | 3.05 | 1.57 | 0.55 | -0.61 | -2.29 | -3.51 | -3.44 | -1.89 | -0.25 | 0.32 | 1.80 |    |    |
|            |          | P2            | 3.03 | 2.95 | 1.83 | 0.86 | -0.24 | -1.94 | -3.10 | -2.88 | -1.34 | 0.04  | 1.51 | 2.18 |    |    |
|            |          | P3            | 3.14 | 3.23 | 2.03 | 1.12 | 0.03  | -1.62 | -2.82 | -2.74 | -1.26 | 0.41  | 1.61 | 2.36 |    |    |
|            | SSP5-8.5 | P1            | 5.48 | 6.06 | 5.01 | 4.20 | 3.84  | 3.50  | 3.16  | 3.34  | 3.87  | 4.38  | 4.62 | 4.90 |    |    |
|            |          | P2            | 6.84 | 7.30 | 5.77 | 5.23 | 5.25  | 5.04  | 5.19  | 5.38  | 5.48  | 5.81  | 6.19 | 5.91 |    |    |
|            |          | P3            | 7.75 | 7.05 | 6.76 | 6.43 | 6.38  | 6.07  | 6.26  | 6.42  | 6.52  | 6.90  | 7.29 | 7.71 |    |    |
| Δt (°C)    | -4       | -3            | -2   | -1   | 0    | 1    | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8    | 9    | 10 | 11 |

Tablo 15'in devamı

| GDM       | Senaryo  | Periyot/Aylar | Oca  | Şub   | Mar   | Nis   | May   | Haz   | Tem   | Ağu   | Eyl   | Eki   | Kas   | Ara   |
|-----------|----------|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ÇMT2-ÇMT3 | SSP2-4.5 | P1            | 1.04 | 2.54  | 1.35  | 1.35  | 1.43  | 1.87  | 2.05  | 2.52  | 2.15  | 1.85  | 1.27  | 1.93  |
|           |          | P2            | 1.79 | 2.64  | 2.39  | 1.76  | 2.39  | 2.64  | 3.29  | 3.83  | 3.15  | 2.63  | 2.27  | 2.53  |
|           |          | P3            | 2.41 | 3.61  | 2.56  | 2.20  | 2.72  | 3.17  | 4.05  | 4.24  | 3.30  | 3.08  | 2.71  | 2.73  |
|           | SSP5-8.5 | P1            | 0.77 | 2.35  | 2.43  | 1.47  | 1.72  | 2.15  | 2.33  | 2.71  | 2.65  | 2.31  | 2.24  | 2.38  |
|           |          | P2            | 2.61 | 4.40  | 3.04  | 2.82  | 3.21  | 3.98  | 4.93  | 5.59  | 4.49  | 3.89  | 3.71  | 3.32  |
|           |          | P3            | 4.18 | 3.77  | 4.30  | 4.14  | 4.56  | 5.38  | 7.00  | 7.53  | 6.03  | 5.26  | 5.23  | 5.95  |
| ÇMT4      | SSP2-4.5 | P1            | 1.01 | -0.73 | 0.03  | -0.76 | -1.21 | -1.82 | -1.99 | -1.48 | -1.46 | -0.95 | -1.65 | -3.02 |
|           |          | P2            | 0.86 | 0.90  | -0.43 | -0.46 | -0.44 | -1.12 | -0.92 | -0.14 | -0.54 | -0.30 | -0.28 | -2.14 |
|           |          | P3            | 1.83 | 0.86  | 0.27  | -0.06 | -0.08 | -0.69 | -0.18 | 0.06  | -0.50 | 0.09  | 0.08  | -1.05 |
|           | SSP5-8.5 | P1            | 1.41 | 0.32  | 0.54  | -0.51 | -0.98 | -1.51 | -1.79 | -1.46 | -1.04 | -0.59 | -0.54 | -2.12 |
|           |          | P2            | 2.34 | 2.80  | 1.31  | 0.45  | 0.18  | -0.07 | 0.53  | 1.30  | 0.46  | 0.63  | 1.09  | 0.64  |
|           |          | P3            | 3.08 | 2.17  | 2.35  | 1.49  | 1.25  | 1.09  | 2.54  | 2.96  | 1.65  | 1.60  | 2.24  | 2.80  |

| $\Delta t$ (°C) | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|-----------------|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
|-----------------|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

Tablo 16. Yanlılığı düzeltilmiş gelecek dönem senaryolarına ait aylık toplam yağış değerlerinin referans dönemi (1980-2014) senaryosuna göre değişimleri (%)

| GDM          | Senaryo  | Periyot/Aylar | Oca   | Şub   | Mar   | Nis    | May    | Haz    | Tem    | Ağu    | Eyl    | Eki    | Kas    | Ara   |
|--------------|----------|---------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| CNRM-CM6-1   | SSP2-4.5 | P1            | 27.87 | 5.01  | 23.81 | 5.39   | -3.48  | -10.83 | -25.83 | -12.45 | -0.60  | 13.44  | 22.13  | -8.90 |
|              |          | P2            | 21.91 | 8.06  | 6.73  | -15.53 | -6.93  | -7.28  | -25.05 | -44.60 | -22.88 | 15.06  | 13.36  | 5.51  |
|              |          | P3            | 13.52 | -4.67 | 7.06  | -5.02  | -5.39  | -17.73 | -60.79 | -29.75 | -34.68 | 18.81  | 10.85  | 19.07 |
|              | SSP5-8.5 | P1            | 65.78 | 14.87 | 22.85 | -0.01  | -11.98 | -27.36 | -33.52 | -18.02 | -45.84 | -30.77 | 19.36  | 50.67 |
|              |          | P2            | 44.37 | 18.50 | 21.22 | -6.46  | -8.94  | -36.71 | -63.45 | -70.80 | -48.69 | -41.90 | 1.41   | 43.31 |
|              |          | P3            | 41.76 | 23.30 | 37.27 | -7.52  | -26.16 | -51.99 | -74.72 | -79.20 | -61.55 | -23.42 | 18.14  | 38.71 |
| GFDL-ESM4    | SSP2-4.5 | P1            | 6.01  | -2.95 | 2.49  | -6.88  | -11.65 | 0.17   | 1.55   | -9.41  | 4.06   | 6.04   | 1.08   | -6.43 |
|              |          | P2            | 13.69 | -6.05 | 17.12 | 21.05  | -7.99  | -1.03  | -18.13 | -61.61 | -10.89 | -6.60  | 5.55   | 0.18  |
|              |          | P3            | 22.24 | 19.60 | 6.50  | 2.20   | 5.12   | -19.58 | -52.00 | -12.52 | -2.86  | -0.81  | -26.96 | 1.00  |
|              | SSP5-8.5 | P1            | 11.38 | -2.89 | 21.27 | 0.20   | -11.18 | -12.84 | -2.14  | 5.22   | -14.02 | -12.96 | -0.53  | 10.86 |
|              |          | P2            | -3.30 | -0.12 | 19.45 | -7.27  | -6.73  | -24.79 | -48.02 | -63.82 | -18.75 | -26.47 | -15.18 | 4.82  |
|              |          | P3            | -5.07 | 3.27  | 38.92 | -8.90  | -27.60 | -46.11 | -64.31 | -75.40 | -40.86 | -5.27  | -1.59  | 0.19  |
| CNRM-CM6-1HR | SSP2-4.5 | P1            | 51.24 | 44.13 | 74.53 | 28.19  | 48.82  | 53.27  | -2.18  | -4.05  | 76.40  | 55.64  | 60.22  | 34.96 |
|              |          | P2            | 68.62 | 71.64 | 72.11 | 66.54  | 26.73  | 28.94  | 8.26   | -16.89 | 35.82  | 68.00  | 90.52  | 54.60 |
|              |          | P3            | 38.62 | 62.71 | 86.56 | 67.76  | 35.42  | 29.81  | 0.74   | -51.10 | 47.54  | 54.21  | 61.45  | 46.11 |
|              | SSP5-8.5 | P1            | 36.67 | 72.87 | 66.12 | 59.37  | 46.60  | 14.29  | 8.35   | 40.82  | 32.08  | 87.92  | 73.17  | 53.68 |
|              |          | P2            | 82.49 | 64.55 | 85.74 | 41.40  | 36.02  | 39.22  | -31.83 | -49.00 | -1.19  | 60.27  | 74.11  | 60.42 |
|              |          | P3            | 64.79 | 82.36 | 97.47 | 45.86  | 2.87   | 13.55  | -55.71 | -49.28 | -32.75 | 17.45  | 77.00  | 79.14 |

Değişim (%) -90 -80 -70 -60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Tablo 16'nın devamı

| GDM        | Senaryo  | Periyot/Aylar | Oca    | Şub    | Mar    | Nis    | May    | Haz    | Tem    | Ağu    | Eyl    | Eki    | Kas    | Ara    |
|------------|----------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| MRI-ESM2-0 | SSP2-4.5 | P1            | 39.81  | 18.40  | 15.76  | 14.93  | 19.63  | 5.03   | 8.17   | -35.50 | -6.97  | -19.52 | 32.57  | -4.07  |
|            |          | P2            | 17.94  | 28.27  | 28.86  | 6.28   | 7.50   | 11.11  | -29.70 | -40.61 | -4.47  | 3.06   | 7.55   | 11.29  |
|            |          | P3            | 46.26  | 24.25  | -6.06  | 49.57  | 16.02  | 0.05   | 9.88   | 20.30  | -2.69  | -28.12 | 37.53  | 16.73  |
|            | SSP5-8.5 | P1            | -13.60 | -8.57  | -25.72 | -19.62 | -6.17  | -29.98 | -48.82 | -36.42 | -36.13 | -27.90 | -26.23 | -26.23 |
|            |          | P2            | -22.21 | -21.91 | -17.15 | -26.91 | -26.20 | -43.15 | -55.98 | -66.04 | -44.76 | -49.48 | -39.80 | -13.37 |
|            |          | P3            | -15.92 | -14.04 | -19.36 | -17.87 | -31.31 | -42.82 | -55.11 | -81.60 | -49.62 | -30.01 | -28.49 | -21.05 |
| MIROC6     | SSP2-4.5 | P1            | -8.97  | -2.54  | 12.53  | -2.12  | -13.13 | -15.06 | -39.89 | -2.74  | 6.00   | 19.98  | -4.27  | 8.53   |
|            |          | P2            | 2.82   | 5.98   | 7.51   | -2.51  | -5.36  | -29.39 | -42.45 | -29.68 | 6.00   | -2.78  | 5.46   | 13.16  |
|            |          | P3            | -1.97  | -3.69  | -6.50  | 23.13  | -12.25 | -22.06 | -35.65 | -45.07 | -3.66  | -11.76 | 0.54   | 6.04   |
|            | SSP5-8.5 | P1            | -5.24  | 3.75   | 15.00  | 5.56   | -14.77 | -11.56 | -31.58 | -15.41 | 14.72  | -9.34  | -3.69  | -12.23 |
|            |          | P2            | -9.32  | -3.14  | -0.67  | -2.93  | -10.32 | -14.76 | -11.56 | -13.27 | -0.94  | 5.97   | 1.98   | -1.67  |
|            |          | P3            | -3.95  | 26.68  | -7.62  | -10.31 | -20.22 | -46.08 | -47.44 | -46.11 | -4.18  | -7.86  | 36.84  | 15.37  |
| ÇMT1       | SSP2-4.5 | P1            | -20.55 | -10.87 | -23.15 | -25.73 | -25.70 | -27.25 | 21.59  | -4.36  | -16.05 | -37.50 | -25.19 | -33.78 |
|            |          | P2            | -20.96 | -13.24 | -16.52 | -22.52 | -26.90 | -21.72 | -1.15  | -20.64 | -11.24 | -35.22 | -32.68 | -33.69 |
|            |          | P3            | -10.45 | -3.85  | -27.93 | -12.66 | -25.34 | -27.94 | -0.98  | 9.67   | -3.89  | -42.85 | -33.08 | -24.95 |
|            | SSP5-8.5 | P1            | -42.52 | -36.75 | -39.35 | -44.89 | -44.60 | -43.75 | -17.45 | -27.06 | -30.70 | -55.32 | -53.36 | -53.17 |
|            |          | P2            | -48.39 | -38.22 | -40.39 | -46.53 | -47.82 | -49.97 | -25.77 | -40.85 | -34.04 | -54.61 | -54.96 | -50.78 |
|            |          | P3            | -47.78 | -39.34 | -45.25 | -40.99 | -49.56 | -55.70 | -31.80 | -46.54 | -33.13 | -49.54 | -51.20 | -56.99 |

Değişim (%) -90 -80 -70 -60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Tablo 16'nın devamı

| GDM  | Senaryo  | Periyot/Aylar | Oca    | Şub   | Mar   | Nis    | May    | Haz    | Tem    | Ağu    | Eyl    | Eki    | Kas    | Ara    |
|------|----------|---------------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ÇMT2 | SSP2-4.5 | P1            | 23.21  | 12.41 | 25.88 | 5.70   | 8.08   | 6.55   | -11.06 | -12.89 | 15.69  | 15.33  | 22.43  | 4.87   |
|      |          | P2            | 25.02  | 21.59 | 26.53 | 15.12  | 2.83   | 0.50   | -20.90 | -38.77 | 0.66   | 15.56  | 24.56  | 17.01  |
|      |          | P3            | 23.75  | 19.64 | 17.57 | 27.48  | 7.82   | -5.87  | -26.99 | -23.76 | 0.66   | 6.67   | 16.75  | 17.85  |
|      | SSP5-8.5 | P1            | 19.02  | 16.01 | 19.97 | 9.06   | 0.53   | -13.46 | -20.95 | -4.86  | -9.91  | 1.55   | 12.49  | 15.40  |
|      |          | P2            | 18.43  | 10.67 | 21.64 | -0.96  | -4.86  | -18.62 | -47.38 | -57.99 | -23.19 | -9.57  | 4.77   | 18.58  |
|      |          | P3            | 16.35  | 24.32 | 29.41 | 0.21   | -20.46 | -34.67 | -59.01 | -66.34 | -37.83 | -9.66  | 20.46  | 22.53  |
| ÇMT3 | SSP2-4.5 | P1            | 19.72  | 8.16  | 15.22 | 3.96   | 3.52   | 0.76   | -6.44  | -17.68 | 3.86   | 3.09   | 16.70  | -0.53  |
|      |          | P2            | 16.76  | 14.36 | 21.51 | 9.95   | 0.19   | -1.27  | -25.86 | -43.68 | -3.78  | 3.92   | 11.69  | 10.29  |
|      |          | P3            | 26.15  | 16.69 | 3.74  | 26.46  | 6.29   | -10.07 | -23.44 | -11.12 | -3.21  | -8.00  | 10.41  | 11.85  |
|      | SSP5-8.5 | P1            | 5.25   | 2.10  | 5.49  | -2.83  | -6.98  | -18.68 | -26.72 | -14.41 | -16.76 | -13.65 | -4.61  | -1.34  |
|      |          | P2            | -2.37  | -4.38 | 5.72  | -11.40 | -14.07 | -29.67 | -49.31 | -59.75 | -26.77 | -24.26 | -14.02 | 3.26   |
|      |          | P3            | -0.72  | 7.79  | 11.38 | -9.43  | -25.66 | -42.18 | -57.57 | -70.71 | -38.17 | -15.08 | 2.53   | 3.34   |
| ÇMT4 | SSP2-4.5 | P1            | -3.66  | 5.70  | -3.86 | -14.12 | -12.50 | -10.64 | 25.57  | 26.64  | 3.79   | 6.51   | -19.49 | -19.93 |
|      |          | P2            | 9.45   | 7.73  | 7.26  | 4.02   | -15.11 | -10.17 | 12.09  | 2.86   | -2.71  | -22.26 | -16.82 | -17.02 |
|      |          | P3            | 0.26   | 13.35 | -8.05 | -3.23  | -7.43  | -14.42 | 18.41  | 13.60  | 11.46  | -26.19 | -19.11 | -18.43 |
|      | SSP5-8.5 | P1            | -12.29 | -0.86 | -6.36 | -14.48 | -17.90 | -11.53 | 12.40  | 23.63  | 53.77  | 2.52   | -15.99 | -17.84 |
|      |          | P2            | -17.34 | -3.72 | -7.62 | -20.93 | -14.08 | -17.06 | -5.23  | -1.75  | -0.16  | 30.23  | -29.41 | -24.41 |
|      |          | P3            | -14.03 | -1.84 | -6.41 | -19.41 | -2.68  | -31.98 | -9.93  | -18.43 | -21.09 | -18.16 | -0.23  | -23.82 |

Değişim (%) -90 -80 -70 -60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

CNRM-CM6 modeline ait çıktılar incelendiğinde SSP2-4.5 senaryosuna ait tüm aylarda sıcaklık artışlarının olması beklenmektedir. Bu artış değerleri SSP2-4.5 senaryosuna göre yıllık ortalama baz alındığında P1 için 1.13 °C, P2 için 2.06 °C ve P3 için ise 2.71°C olarak hesap edilmiştir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için en düşük artışın 0 °C ile kasım ayında, en yüksek artışın 2.03 °C ile ağustos ayında; P2 için en düşük artışın 0.54 °C ile kasım ayında, en yüksek artışın 3.57 °C ile temmuz ayında; P3 için ise en düşük artışın 1.38 °C ile mart ayında, en yüksek artışın 4.40 °C ile temmuz ayında olması beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosuna göre yıllık ortalama baz alındığında P1 için 1.78 °C; P2 için 3.89 °C, P3 için ise 5.86 °C olarak hesap edilmiştir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için en düşük artışın 0.42 °C ile kasım ayında, en yüksek artışın 2.71 °C ile şubat ayında; P2 için en düşük artışın 2.67 °C ile aralık ayında, en yüksek artışın 5.56 °C ile temmuz ayında; P3 için ise en düşük artışın 4.22 °C ile mayıs ayında, en yüksek artışın 8.69 °C ile ağustos ayında olması beklenmektedir. SSP2-4.5 senaryosundaki sıcaklık değişiminin aylık olarak yaklaşık 0 ile 4 °C aralığında, SSP5-8.5 senaryosunda ise bu değişimin yaklaşık 0.4 ile 8 °C aralığında olduğu gözlenmiştir. Sıcaklık artışlarının en çok görülebileceği dönemlerin yaz aylarında olması beklenmektedir.

GFDL-ESM4 modeline ait çıktılar incelendiğinde hem SSP2-4.5 hem de SSP5-8.5 senaryosuna göre P1 ocak ayı hariç tüm aylar için sıcaklık artışlarının olması beklenmektedir. Bu değerler SSP2-4.5 senaryosuna göre yıllık ortalama baz alındığında P1 için 1.78 °C, P2 için 2.77 °C ve P3 için ise 3.21 °C olarak hesap edilmiştir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için sıcaklıkta tek azalma olması beklenen ayın -0.64 °C ile ocak ayında, en yüksek artışın 4.04 °C ile şubat ayında; P2 için en düşük artışın 0.80 °C ile ocak ayında, en yüksek artışın 4.51 °C ile aralık ayında; P3 gelecek için ise en düşük artışın 1.28 °C ile ocak ayında, en yüksek artışın 5.03 °C ile aralık ayında olması beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosuna göre yıllık ortalama baz alındığında P1 için 1.51 °C, P2 için 2.90 °C ve P3 için ise 4.25 °C olarak hesap edilmiştir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için sıcaklıkta azalma olması beklenen tek ayın -1.39 °C ile ocak ayında, en yüksek artışın 3.70 °C ile aralık ayında; P2 için en düşük artışın 0.34 °C ile ocak ayında, en yüksek artışın 4.40 °C ile ağustos ayında; P3 için ise en düşük artışın 2.88 °C ile kasım ve nisan ayında, en yüksek artışın 6.26 °C ile temmuz ayında olması beklenmektedir. SSP2-4.5 senaryosundaki sıcaklık değişiminin aylık olarak yaklaşık -0.64 ile 5 °C aralığında, SSP5-8.5 senaryosunda ise bu değişimin yaklaşık -1.39 ile 6.26 °C aralığında olduğu gözlenmiştir.

MIROC6 modeline ait çıktılar incelendiğinde hem SSP2-4.5 hem de SSP5-8.5 senaryosuna göre P1, P2 ve P3 için tüm aylarda sıcaklık artışlarının olması beklenmektedir. Bu artış değerler SSP2-4.5 senaryosuna göre yıllık ortalama baz alındığında P1 için 2.32 °C, P2 için 2.69 °C ve P3 için ise 3.22 °C olarak hesap edilmiştir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için en düşük artışın 1.27 °C ile aralık ayında, en yüksek artışın 4.93 °C ile ocak ayında; P2 için en düşük artışın 1.55 °C ile nisan ayında, en yüksek artışın 4.05 °C ile ocak ayında; P3 için ise en düşük artışın 2.15 °C ile nisan ayında, en yüksek artışın 4.38 °C ile ocak ayında olması beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosuna göre yıllık ortalama baz alındığında P1 için 2.33 °C, P2 için 4.07 °C ve P3 için ise 4.98 °C olarak hesap edilmiştir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için en düşük artışın 1.41 °C ile kasım ayında, en yüksek artışın 4.38 °C ile şubat ayında; P2 için en düşük artışın 2.61 °C ile nisan ayında, en yüksek artışın 5.55 °C ile ocak ayında; P3 için ise en düşük artışın 3.92 °C ile nisan ayında, en yüksek artışın 6.41 °C ile ocak ayında olması beklenmektedir. SSP2-4.5 senaryosundaki sıcaklık değişiminin yaklaşık 1.27 ile 4.93 °C aralığında, SSP5-8.5 senaryosunda ise bu değişimin yaklaşık 1.41 ile 6.41 °C aralığında olduğu gözlenmiştir.

MRI-ESM2-0 modeline ait çıktılar incelendiğinde hem SSP2-4.5 hem de SSP5-8.5 senaryosuna göre P1, P2 ve P3 için tüm aylarda sıcaklık artışlarının olması beklenmektedir. Bu artış değerler SSP2-4.5 senaryosuna göre yıllık ortalama baz alındığında P1 için 1.55 °C, P2 için 2.27 °C ve P3 için ise 2.39 °C olarak hesap edilmiştir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için en düşük artışın 0.76 °C ile ocak ayında, en yüksek artışın 2.78 °C ile ekim ayında; P2 için en düşük artışın 0.69 °C ile mart ayında, en yüksek artışın 3.39 °C ile kasım ayında; P3 için ise en düşük artışın 1.17 °C ile mart ayında, en yüksek artışın 3.28 °C ile ekim ayında olması beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosuna göre yıllık ortalama baz alındığında P1 için 2.07 °C, P2 için 3.45 °C ve P3 için ise 4.44 °C olarak hesap edilmiştir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için en düşük artışın 0.45 °C ile mart ayında, en yüksek artışın 3.73 °C ile ekim ayında; P2 için en düşük artışın 1.82 °C ile mart ayında, en yüksek artışın 5.05 °C ile ağustos ayında; P3 için ise en düşük artışın 3.06 °C ile mart ayında, en yüksek artışın 6.20 °C ile ağustos ayında olması beklenmektedir. SSP2-4.5 senaryosundaki sıcaklık değişiminin yaklaşık 0.76 ile 3.39 °C aralığında, SSP5-8.5 senaryosunda ise bu değişimin yaklaşık 0.45 ile 6.20 °C aralığında olduğu gözlenmiştir. Genel olarak en düşük sıcaklık artışlarının kış aylarında, en yüksek artışların ise yaz ve sonbahar aylarında olabileceği sonucuna varılmıştır.

CNRM.CM6-1-HR modeline ait çıktılar incelendiğinde hem SSP2-4.5 hem de SSP5-8.5 senaryosuna göre P1 ocak ayı hariç tüm aylar için sıcaklık artışlarının olması beklenmektedir.

Bu değerler SSP2-4.5 senaryosuna göre yıllık ortalama baz alındığında P1 için 2.19 °C, P2 için 3.32 °C ve P3 için ise 3.81 °C olarak hesap edilmiştir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için sıcaklıkta tek azalma olması beklenen ayın -1.05 °C ile ocak ayında, en yüksek artışın 4.08 °C ile ağustos ayında; P2 için en düşük artışın 0.12 °C ile ocak ayında, en yüksek artışın 6.22 °C ile ağustos ayında; P3 için ise en düşük artışın 1.62 °C ile aralık ayında, en yüksek artışın 6.64 °C ile ağustos ayında olması beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosuna göre yıllık ortalama baz alındığında P1 için 3 °C, P2 için 4.93 °C ve P3 için ise 6.93°C olarak hesap edilmiştir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için sıcaklıkta azalma olması beklenen tek ayın -2.6 °C ile ocak ayında, en yüksek artışın 5.79 °C ile kasım ayında; P2 için sıcaklıkta azalma olması beklenen tek ayın -0.75 °C ile ocak ayında, en yüksek artışın 8.32 °C ile ağustos ayında; P3 için ise en düşük artışın 0.87 °C ile şubat ayında, en yüksek artışın 10.94 °C ile ağustos ayında olması beklenmektedir. SSP2-4.5 senaryosundaki sıcaklık değişiminin yaklaşık -1.05 ile 6.63 °C aralığında, SSP5-8.5 senaryosunda ise bu değişimin yaklaşık -2.6 ile 10.94 °C aralığında olduğu gözlenmiştir.

YSA tabanlı ÇMT1 modelinin çıktıları incelendiğinde, iyimser senaryo altında bazı aylara ait sıcaklık düşüşlerinin mümkün olabilme ihtimali görünse de genel olarak sıcaklıklarda artış eğiliminin olabileceği görülmüştür. Kötümser senaryo altında ise tüm ay ve uzun yıllar boyunca sıcaklık ortalamalarında artışın olması beklenmektedir. Bu değerler iyimser senaryoya göre -0.18 ile 0.46 °C gibi küçük bir aralıkta değişirken, kötümser senaryoya göre 4.36 ile 6.79°C olmak üzere daha geniş aralıkta değişmektedir. SSP2-4.5 senaryosundaki aylık ortalama değişimler incelendiğinde en çok değişiminin P1 için 3.51°C düşüş ile temmuz ayında, 3.05 °C artış ile şubat ayında; P2 için 3.10 °C düşüş ile temmuz ayında, 3.03 °C artış ile ocak ayında; P3 için 2.82 °C düşüş ile temmuz ayında; 3.23 °C artış ile şubat ayında olması beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosundaki aylık ortalama değerlerdeki değişimler P1 için 3.16 °C ile temmuz ayında, 6.06 °C ile şubat ayında; P2 için 5.04 °C ile haziran ayında; 7.30 °C ile şubat ayında, P3 için 6.07 °C ile haziran ayında, 7.75 °C ile ocak ayında olması beklenmektedir. İyimser senaryo altında yaz aylarında ortalama sıcaklık artışı beklenmese de kötümser senaryoya göre tüm aylarda tahmini 3-7 °C civarında değişen artışların olması beklenmektedir. Kış aylarındaki sıcaklık artışları yaz aylarına göre daha belirgindir.

Daha önce belirtilen sebepten dolayı, ÇMT3'e ve ÇMT2'ye ait ağırlıklar eşit oran ile bölündüklerinden yaklaşık olarak aynı sonuçlar üretilmiştir. Bu modellerde tüm ay ve uzun yıllar ortalamalarına göre her iki senaryo için de sıcaklıklarda artışlar olması beklenmektedir. İyimser senaryoya göre bu değerlerin 1.77 ile 3.06 °C, kötümser senaryoya göre 2.12 ile 5.27°C aralığında olması beklenmektedir. SSP2-4.5 senaryosu için aylık değişimler incelendiğinde en

düşük ve en yüksek ayların sırasıyla P1 için 1.04 °C ile ocak ayında; 2.54 °C ile şubat ayında; P2 için 1.76 °C ile nisan ayında, 3.83 °C ile ağustos ayında; P3 için ise 2.20 °C ile nisan ayında; 4.24 °C ile ağustos ayında olması beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosuna göre ise bu değerlerin P1 için 0.77 °C ile ocak ayında; 2.71 °C ile ağustos ayında; P2 için 2.61 °C ile ocak ayında; 5.59 °C ile ağustos ayında; P3 için ise 3.77 °C ile şubat ayında; 7.53 °C ile ağustos ayında olması beklenmektedir. Her iki modele göre (ÇMT2 ve ÇMT3) yaz aylarındaki sıcaklık artışı kış aylarındakinden daha fazladır.

ÇDURE yöntemine dayalı ÇMT4 model çıktıları incelendiğinde, uzun yıllar ortalama değerlerinde her iki senaryo için de sıcaklıklarda artış yönünde bir eğilim olduğu görülmektedir. İyimser senaryoya göre bu değerlerin -1.17 ile 0.05 °C, kötümser senaryoya göre -0.68 ile 2.10 °C aralığında olması beklenmektedir. SSP2-4.5 senaryosundaki aylık ortalama değişimler incelendiğinde en çok değişiminin P1 için -3.02 °C düşüş ile aralık ayında, 1.01 °C artış ile ocak ayında; P2 için -2.14 °C düşüş ile aralık ayında, 0.90 °C artış ile şubat ayında; P3 için -1.05 °C düşüş ile aralık ayında; 1.83 °C artış ile ocak ayında olması beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosundaki aylık ortalama değişimler incelendiğinde ise en çok değişimin P1 döneminde -2.12 °C ile aralık ayında; 1.41 °C ile ocak ayında; P2 için -0.07 °C ile haziran ayında, 2.80 °C ile şubat ayında; P3 için ise 1.09 °C ile haziran ayında, 3.08 °C ile ocak ayında olması beklenmektedir. Genel olarak, sıcaklık artışlarında en belirgin artışların yüzyılın sonlarında olabileceği gözlenmiştir.

SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları altında, P1, P2 ve P3 olmak üzere üç ayrı dönemde, aylık ve mevsimlik yağış değişimlerine ait tüm model çıktıları Şekil 6'da verilmektedir. GDM'lerin ve topluluk modellerinin yanlılığı düzeltilmiş SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına ait gelecek dönem (P1, P2 ve P3) yıllık toplam yağış değerlerinin yanlılığı düzeltilmiş referans dönemi senaryosu yıllık toplam yağış değerlerine göre değişimi (%) Şekil 7'de verilmektedir. Yanlılığı düzeltilmiş referans dönemi senaryosu ile gelecek dönem (P1, P2 ve P3) SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için yıllık toplam yağış değerlerinin karşılaştırılması Şekil 8'de verilmektedir.

Yağış parametresi için hazırlanmış olan ağ grafikleri incelendiğinde CNRM-CM6 modeline ait senaryolarda referans dönem senaryosuna göre ilkbahar ve yaz ayları yağışlarında düşüşler kış aylarında artışlar olacağı beklenmektedir. SSP2-4.5 senaryosuna göre yıllık toplam yağış değerlerinde P1 için %2.06, P2 için -%4.30 ve P3 için ise -%7.39'e varan değişimler öngörülmektedir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için yağışın en belirgin değişimleri -%25.83 ile temmuz ayında, %27.87 ile ocak ayında; P2 için -%44.60 ile ağustos ayında, %21.91 ile ocak ayında; P3 için -%60.79 ile temmuz ayında, %19.07 ile aralık ayında

olacağı beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosuna göre yıllık toplam yağış değerlerinde ise P1 için %0.5, P2 için -%12.34 ve P3 için ise -%13.78'e varan değişimler öngörülmektedir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için yağışın en belirgin değişiminin -%45.84 ile eylül ayında, %65.78 ile ocak ayında; P2 için -%70.80 ile ağustos ayında, %44.37 ile ocak ayında; P3 için -%79.72 ile ağustos ayında; %41.76 ile ocak ayında olacağı beklenmektedir. SSP2-4.5 senaryosundaki yağış değişiminin aylık olarak yaklaşık -%60.79 ile 27.86 aralığında, SSP5-8.5 senaryosunda ise bu değişimin yaklaşık -%79.72 ile 65.78 aralığında olabileceği gözlenmiştir.

GFDL-ESM4 modeline ait tüm senaryo ve periyotlara göre yıllık toplam yağış değerlerinde azalma olması beklenmektedir. Bu değerler SSP2-4.5 senaryosuna göre P1 için -%1.33, P2 için -%4.56 ve P3 için ise -%4.84'e varan değişimler öngörülmektedir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için yağışın en belirgin değişimleri -%11.65 ile mayıs ayında, %6.04 ile ekim ayında; P2 için -%61.61 ile ağustos ayında, %21.05 ile nisan ayında; P3 için -%52 ile temmuz ayında, %22.23 ile ocak ayında olacağı beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosuna göre yıllık toplam yağış değerlerinde ise P1 için -%0.64, P2 için -%15.85 ve P3 için ise -%19.39'e varan değişimler öngörülmektedir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için yağışın en belirgin değişiminin -%14.01 ile eylül ayında, %21.27 ile nisan ayında; P2 için -%63.82 ile ağustos ayında, %19.45 ile mart ayında; P3 için -%75.4 ile ağustos ayında; %38.92 ile mart ayında olacağı beklenmektedir. SSP2-4.5 senaryosundaki yağış değişiminin aylık olarak yaklaşık -%61.61 ile 22.23 aralığında, SSP5-8.5 senaryosunda ise bu değişimin yaklaşık -%75.40 ile 38.92 aralığında olabileceği gözlenmiştir.

MIROC6 modeline ait tüm senaryo ve periyotlara göre yıllık toplam yağış değerlerinde azalma olması beklenmektedir. Bu değerler SSP2-4.5 senaryosuna göre P1 için -%3.47, P2 için -%5.93 ve P3 için ise -%9.41'e varan değişimler öngörülmektedir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için yağışın en belirgin değişimleri -%39.88 ile temmuz ayında, %19.98 ile ekim ayında; P2 için -%42.45 ile temmuz ayında, %7.51 ile mart ayında; P3 için -%45.07 ile ağustos ayında, %23.13 ile nisan ayında olacağı beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosuna göre ise yıllık toplam yağış değerlerinde P1 için -%5.39, P2 için -%5.05 ve P3 için ise -%9.57'e varan değişimler öngörülmektedir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda; P1 için yağışın en belirgin değişiminin -%31.58 ile temmuz ayında, %15 ile mart ayında; P2 için -%14.76 ile haziran ayında, %5.97 ile ekim ayında; P3 için -%47.43 ile temmuz ayında; %36.84 ile kasım ayında olacağı beklenmektedir. SSP2-4.5 senaryosundaki

yağış değişiminin aylık olarak yaklaşık  $-45.07$  ile  $23.13$  aralığında, SSP5-8.5 senaryosunda ise bu değişimin yaklaşık  $-47.43$  ile  $36.84$  aralığında olabileceği gözlenmiştir.

MRI-ESM2-0 modeline ait SSP2-4.5 senaryo ve periyotlarına göre yıllık toplam yağış değerlerinde artış, SSP5-8.5 senaryosuna ait periyotlarda ise azalma olması beklenmektedir. Bu değerler SSP2-4.5 senaryosuna göre P1 için  $7.35$ , P2 için  $3.92$  ve P3 için ise  $15.31$ 'e varan değişimler öngörülmektedir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için yağışın en belirgin değişimleri  $-35.50$  ile ağustos ayında,  $39.80$  ile ocak ayında; P2 için  $-40.61$  ile ağustos ayında,  $28.58$  ile mart ayında; P3 için  $-28.12$  ile ekim ayında,  $49.57$  ile nisan ayında olacağı beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosuna göre ise yıllık toplam yağış değerlerinde P1 için  $-25.45$ , P2 için  $-35.58$  ve P3 için ise  $-33.93$ 'e varan değişimler öngörülmektedir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için yağışın en belirgin değişiminin  $-48.82$  ile temmuz ayında,  $-6.17$  ile mayıs ayında; P2 için  $-66.04$  ile ağustos ayında,  $13.37$  ile aralık ayında; P3 için  $-81.59$  ile ağustos ayında;  $-14.04$  ile şubat ayında olacağı beklenmektedir. SSP2-4.5 senaryosundaki yağış değişiminin aylık olarak yaklaşık  $-40.61$  ile  $49.57$  aralığında, SSP5-8.5 senaryosunda ise bu değişimin yaklaşık  $-81.59$  ile  $-6.17$  aralığında olabileceği gözlenmiştir.

CNRM-CM6-1-HR modeline ait her iki senaryo ve tüm periyotlara göre yıllık toplam yağış değerlerinde artış, olması beklenmektedir. Bu değerler SSP2-4.5 senaryosuna göre P1 için  $43.43$ , P2 için  $47.91$  ve P3 için ise  $39.98$  olarak öngörülmektedir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için yağışın en belirgin değişimleri  $-4.05$  ile ağustos ayında,  $76.39$  ile eylül ayında; P2 için  $-16.89$  ile ağustos ayında,  $90.52$  ile kasım ayında; P3 için  $-51.10$  ile ağustos ayında,  $86.55$  ile mart ayında olacağı beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosuna göre ise yıllık toplam yağış değerlerinde P1 için  $49.33$ , P2 için  $38.52$  ve P3 için ise  $28.56$ 'e varan değişimler öngörülmektedir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için yağışın en belirgin değişiminin  $8.35$  ile temmuz ayında,  $87.92$  ile ekim ayında; P2 için  $-49$  ile ağustos ayında,  $85.74$  ile mart ayında; P3 için  $-55.71$  ile temmuz ayında;  $97.47$  ile mart ayında olacağı beklenmektedir. SSP2-4.5 senaryosundaki yağış değişiminin aylık olarak yaklaşık  $-51.10$  ile  $90.52$  aralığında, SSP5-8.5 senaryosunda ise bu değişimin yaklaşık  $-55.71$  ile  $-97.47$  aralığında olabileceği gözlenmiştir.

YSA tabanlı ÇMT1 modelinin çıktıları incelendiğinde toplam yağış değerleri sonuçlarına göre her iki senaryo ve tüm periyotlar için neredeyse tüm aylarda ve uzun yıllar ortalamalarında aylık toplam yağışlarda azalma olması beklenmektedir. İyimser senaryo altında yıllık değişimlerin  $-21.37$  ile  $-17.02$  arasında, kötümser senaryo altında ise bu değişim  $-40.74$  ile  $-45.65$  arasında olması beklenmektedir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda,

P1 için yağışın en belirgin değişimleri-%37.50 ile ekim ayında, %21.59 ile temmuz ayında; P2 için -%35.22 ile ekim ayında, -%1.15 ile temmuz ayında; P3 için -%42.85 ile ekim ayında, -%0.98 ile temmuz ayında olacağı beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosuna göre aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için yağışın en belirgin değişiminin -%55.32 ile ekim ayında, -%17.45 ile temmuz ayında; P2 için -%54.96 ile kasım ayında, -%25.77 ile temmuz ayında; P3 için -%56.99 ile aralık ayında; -% 31,80 ile temmuz ayında olacağı beklenmektedir. SSP2-4.5 senaryosundaki yağış değişiminin aylık olarak yaklaşık -%0.98 ile -%42.85 aralığında, SSP5-8.5 senaryosunda ise bu değişimin yaklaşık -%17.45 ile -56.99 aralığında olabileceği gözlenmiştir. Yağıştaki azalmanın belirli bir ayda ya da mevsimde kendini göstermesinden ziyade tüm aylarda belirli oranlarda oluşabileceği gözlenmiştir.

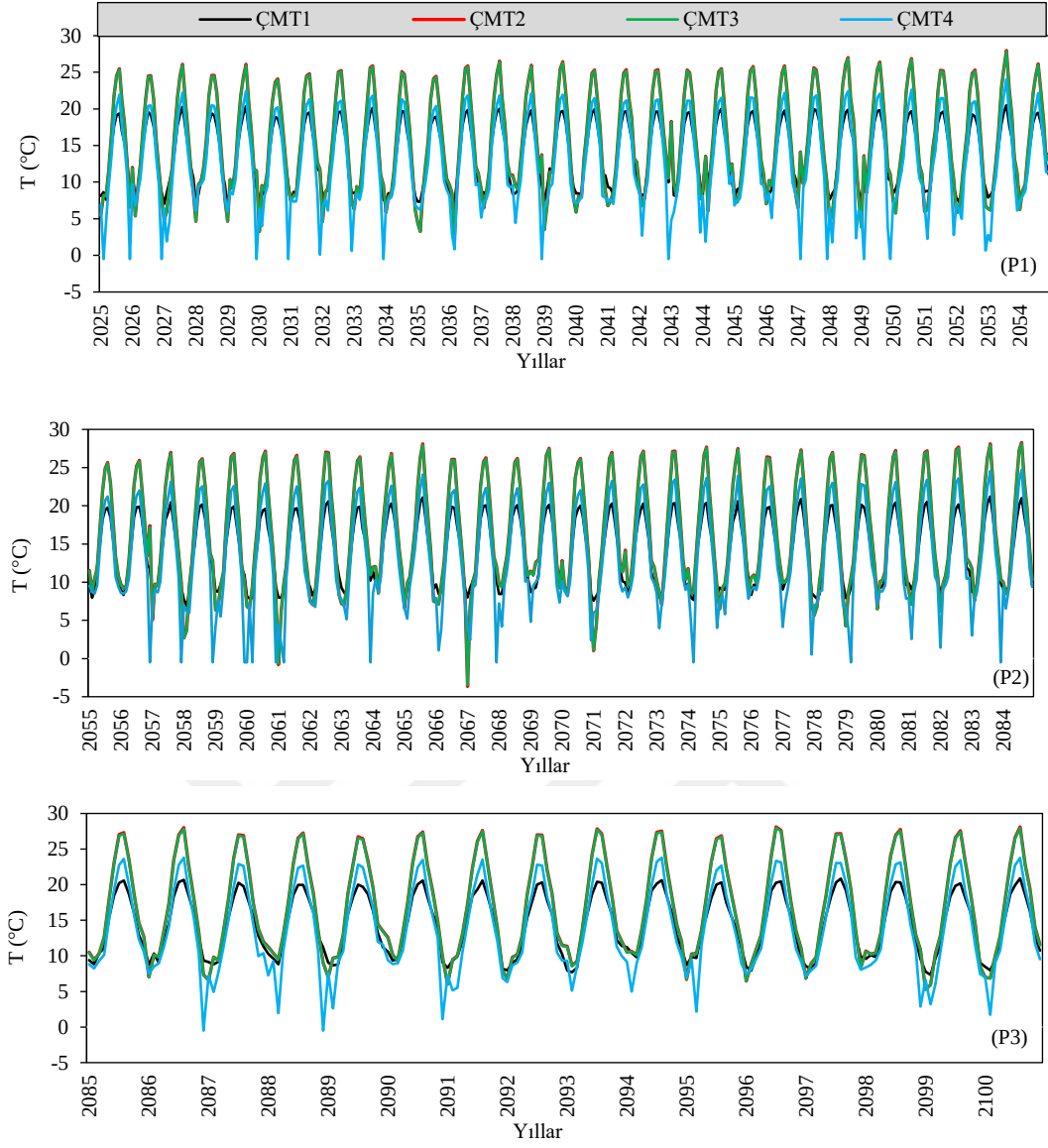
Basit ortalamaya dayalı ÇMT2'ye göre yıllık ortalama yağış değerlerinde iyimser senaryo altında %9.68 ile 6.79 arasında; kötümser senaryoya göre ise %3.73 ile -9.55 aralığında değişeceği öngörülmektedir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için yağışın en belirgin değişimleri -%12.89 ile ağustos ayında, %25.88 ile mart ayında; P2 için -%38.77 ile ağustos ayında, %26.53 ile mart ayında; P3 için -%26.99 ile temmuz ayında, %27.48 ile nisan ayında olacağı beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosuna göre aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda, P1 için yağışın en belirgin değişiminin -%20.95 ile temmuz ayında, %19.97 ile mart ayında; P2 için -%57.99 ile ağustos ayında, %21.64 ile mart ayında; P3 için -%59.01 ile temmuz ayında; %29.41 ile mart ayında olacağı beklenmektedir. SSP2-4.5 senaryosundaki yağış değişiminin aylık olarak yaklaşık %26.53 ile -38.77 aralığında, SSP5-8.5 senaryosunda ise bu değişimin yaklaşık %29.41 ile -66.34 aralığında olabileceği gözlenmiştir. Aylık değerlendirmelere dayanarak, yağış azalmasının mayıs-ekim ayları arasında görüleceği tahmin edilmektedir.

Korelasyon katsayılarının ağırlıklandırılmasına dayanan ÇMT3 topluluk modeline ait çıktılar incelendiğinde uzun yıllar yağış ortalamalarında P1, P2 ve P3 için SSP2-4.5 senaryosuna göre yağışlarda artış olabileceği, SSP5-8.5 senaryosuna göre ise yağışlarda azalma olması beklenmektedir. Bu artış değerleri SSP2-4.5 senaryosuna göre P1 için %4.19, P2 için %1.17 ve P3 için ise %3.81; azalan değerler ise SSP5-8.5 senaryosuna göre -%7.76, -18.92 ve -19.54 olarak hesap edilmiştir. Aylık değişimler göz önünde bulundurulduğunda SSP2-4.5 senaryosu için, P1'de yağışın en belirgin değişimleri -%17.68 ile ağustos ayında, %19.72 ile ocak ayında; P2 için -%43.67 ile ağustos ayında, %21.50 ile mart ayında; P3 için -%23.43 ile temmuz ayında, %26,46 ile nisan ayında olacağı beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosu için, P1 döneminde yağışın en belirgin değişimleri -%26.72 ile temmuz ayında, %5.49 ile mart ayında; P2 için -%59.75 ile ağustos ayında, %5.72 ile mart ayında; P3 için -%70.71 ile temmuz ayında,

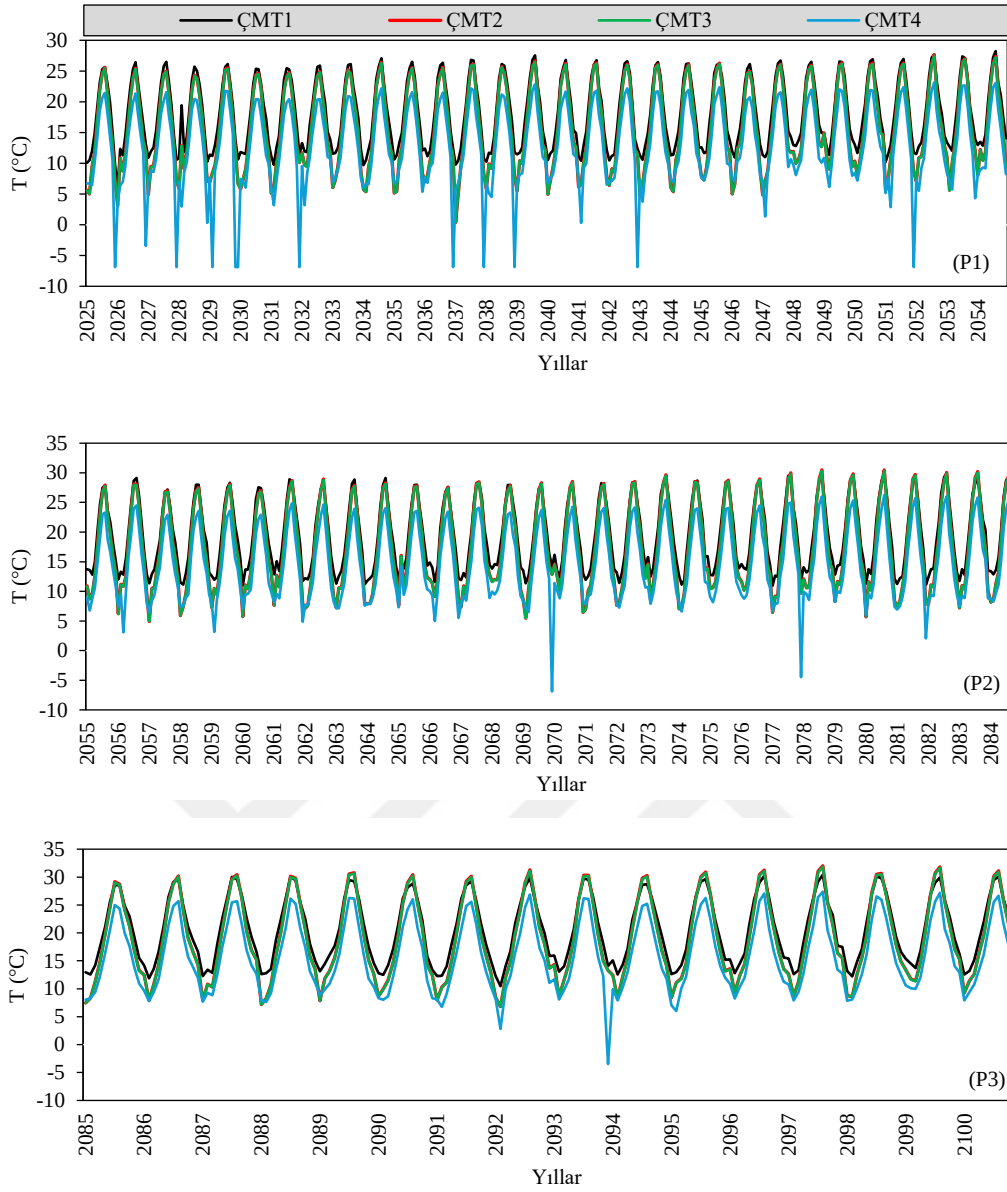
%11.38 ile mart ayında olacağı beklenmektedir. Yağış azalışlarının en çok temmuz ve ağustos aylarında; artışlarının ise daha çok mart, ocak ve nisan aylarında olması beklenmektedir. SSP2-4.5 senaryosundaki yağış değişiminin yaklaşık  $-43.67$  ile  $26.46$  aralığında, SSP5-8.5 senaryosunda ise bu değişimin yaklaşık  $-70.71$  ile  $11.38$  aralığında olduğu gözlenmiştir.

ÇDURE yöntemine dayalı ÇMT4 model çıktıları incelendiğinde, uzun yıllar ortalama yağış değerlerinde her iki senaryo için de yağışlarda azalmalar olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu değerlerin SSP2-4.5 senaryosu için  $-1.33$  ile  $-3.39$  aralığında, SSP5-8.5 senaryosu için  $-0.41$  ile  $-14$  aralığında olması beklenmektedir. Aylık değerlendirmelere göre SSP2-4.5 senaryosu için, P1’de yağışın en belirgin değişimleri  $-19.93$  ile aralık ayında,  $26.64$  ile ağustos ayında; P2 için  $-22.26$  ile ekim ayında,  $12.09$  ile temmuz ayında; P3 için  $-26.19$  ile ekim ayında,  $18.41$  ile temmuz ayında olacağı beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosu için, P1’de yağışın en belirgin değişimleri  $-17.90$  ile mayıs ayında,  $53.77$  ile eylül ayında; P2 için  $-29.41$  ile kasım ayında,  $30.23$  ile ekim ayında; P3 için  $-31.98$  ile haziran ayında,  $-0.23$  ile kasım ayında olacağı beklenmektedir.

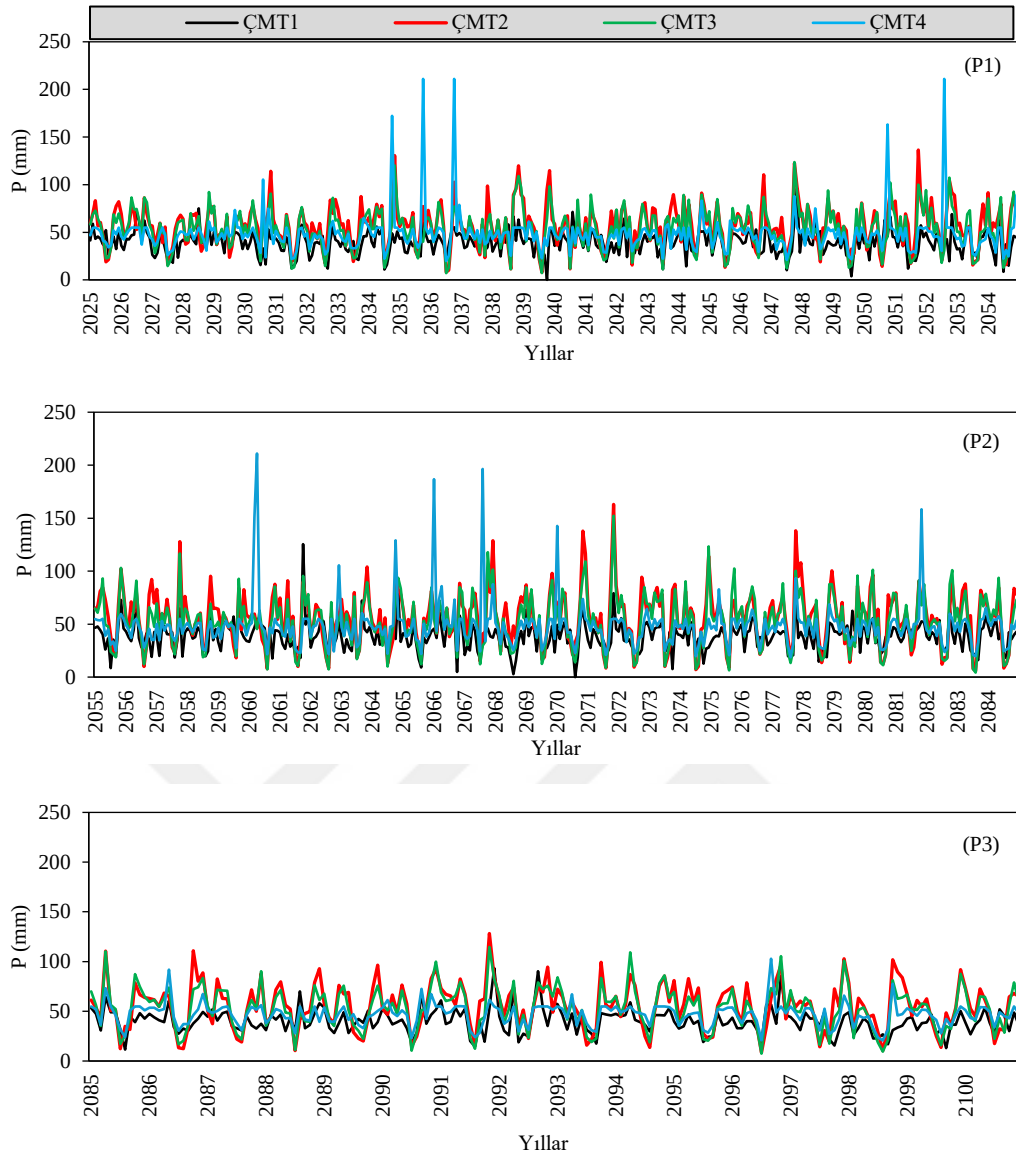
Çalışma kapsamında oluşturulan topluluk model sonuçlarına ait SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları etkisinde üretilmiş olan tüm periyotlarda gerçekleşmesi beklenen aylık ortalama sıcaklıkların ve aylık toplam yağış verilerinin zaman serisi grafikleri sırasıyla Şekil 25-26 ve Şekil 27-28’de verilmektedir.



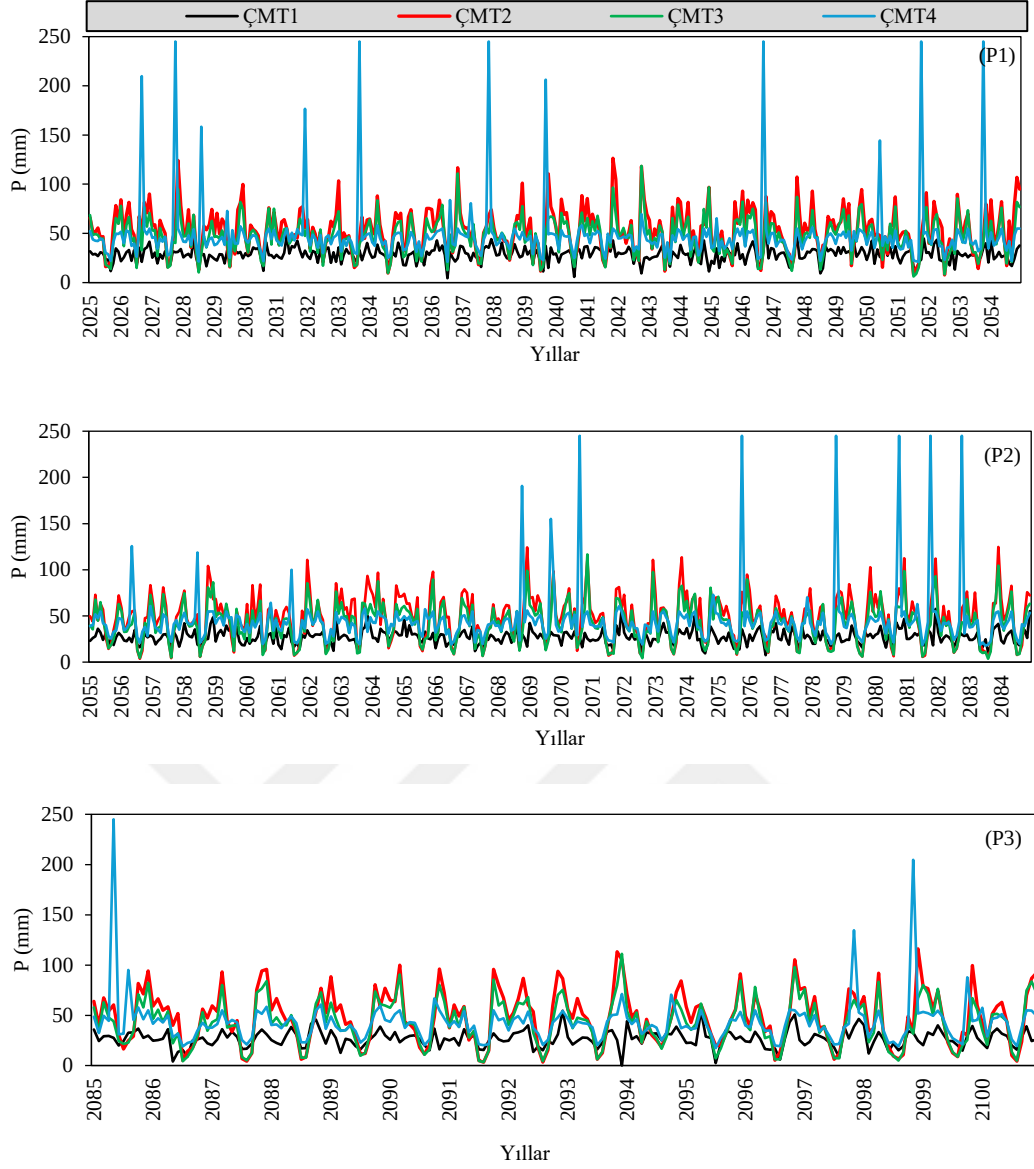
Şekil 25. Tüm topluluk modellerine ait SSP2-4.5 senaryosu için gelecek döneme ait (P1, P2 ve P3) üretilmiş aylık ortalama sıcaklık değerleri



Şekil 26. Tüm topluluk modellerine ait SSP5-8.5 senaryosu için gelecek döneme ait (P1, P2 ve P3) üretilmiş aylık ortalama sıcaklık değerleri



Şekil 27. Tüm topluluk modellerine ait SSP2-4.5 senaryosu için gelecek döneme ait (P1, P2 ve P3) üretilmiş aylık toplam yağış değerleri



Şekil 28. Tüm topluluk modellerine ait SSP5-8.5 senaryosu için gelecek döneme ait (P1, P2 ve P3) üretilmiş aylık toplam yağış değerleri

### 3.3. Akım Tahmin Modeli Bulguları

Akım tahmin modellerinde en iyi girdi kombinasyonu oluşturulurken çözüm havuzu içerisinde, optimum sürede, en iyi çözümün seçilebilmesi amaçlanmıştır. Girdi setlerini oluşturan parametreler ise P ve T değerlerinin mevcut zamanlı ve belirlenmiş (t-12) ay kadar gecikmeli versiyonlarından oluşmaktadır. Bu ötelenme sonucunda ileriye dönük baraj giriş akım üretim verilerinde bir yıllık bir ötelenme olduğundan geleceğe ait veriler üretilirken analizlerde akımlar için yakın dönem 2026 yılından başlatılmıştır. Dolayısıyla yakın dönem olarak ifade edilen P1 dönemi baraj giriş akım verilerinin üretim aşaması için 2026-2054 yılını

kapsamaktadır. Tablo 17’de oluşturulan altı farklı girdi kombinasyonuna ait veri setleri verilmektedir.

Tablo 17. Akım tahmin modellerine ait girdi setleri

| Model     | Girdi seti                                                              |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>M1</b> | T(t-1), T(t-2), T(t-3), T(t-9), T(t-10), P(t), P(t-3), P(t-9)           |
| <b>M2</b> | T(t-2), T(t-6), T(t-9), T(t-11), P(t), P(t-5), P(t-6), P(t-10)          |
| <b>M3</b> | T(t-3), T(t-9), T(t-11), P(t-5), P(t-6), P(t-10), P(t-12)               |
| <b>M4</b> | T(t-3), T(t-6), T(t-8), T(t-11), P(t), P(t-5), P(t-6), P(t-12)          |
| <b>M5</b> | T(t-2), T(t-9), T(t-11), P(t), P(t-3), P(t-4), P(t-5), P(t-10), P(t-12) |
| <b>M6</b> | T(t), T(t-3), T(t-6), T(t-9), P(t), P(t-3), P(t-6), P(t-9)              |

Her bir model için en iyi girdi kombinasyonları belirlendikten sonra her bir kombinasyon için ÇDURE yöntemi ile akım tahmin modelleri oluşturulmuştur. Tablo 18’de model bulgularından elde edilen temel fonksiyonlara ve denklemlere; Tablo 19’da ise belirlenen modele ait performans değerlendirme ölçütlerine yer verilmektedir.

Tablo 18. Akım tahmini için kurulmuş olan ÇDURE modeline ait temel fonksiyonlar ve denklemler

| M1                             | M2                                  | M3                                  | M4                                 | M5                                 | M6                                  |
|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| BF1 = max (0, T9 - 14.5);      | BF1 = max( 0, T9 - 14.5);           | BF1 = max( 0, T9 - 14.4);           | BF1 = max( 0, T8 - 19.2);          | BF1 = max( 0, T9 - 14.4);          | BF1 = max( 0, T9 - 14.5);           |
| BF2 = max (0, 14.5 - T9);      | BF2 = max( 0, 14.5 - T9);           | BF3 = max( 0, T11 - 14.7) ×BF1;     | BF4 = max( 0, 10.7 - T3);          | BF3 = max( 0, T11 - 14.7) ×BF1;    | BF3 = max( 0, T0 - 7.1) ×BF1;       |
| BF4 = max (0, 9.7 - T2);       | BF3 = max( 0, T11 - 14.5) ×BF1;     | BF4 = max( 0, 14.7 - T11) ×BF1;     | BF5 = max( 0, P0 - 107.351) ×BF4;  | BF6 = max( 0, 53.732 - P3) ×BF1;   | BF4 = max( 0, 7.1 - T0) ×BF1;       |
| BF5 = max (0, T10 - 20.6);     | BF4 = max( 0, 14.5 - T11) ×BF1;     | BF6 = max( 0, 33.891 - P10) ×BF1;   | BF10 = max( 0, 16.6 - T6) ×BF4;    | BF7 = max( 0, T2 - 2.4);           | BF6 = max( 0, 51.918 - P3) ×BF1;    |
| BF6 = max(0, 20.6 - T10);      | BF5 = max( 0, T2 - 3.8);            | BF8 = max( 0, 83.625 - P5) ×BF1;    | BF14 = max( 0, 33.985 - P5) ×BF1;  | BF9 = max( 0, 91.04 - P5) ×BF1;    | BF7 = max( 0, P0 - 0.0740013) ×BF3; |
| BF7 = max( 0, P0 - 0.0740013); | BF6 = max( 0, 3.8 - T2);            | BF9 = max( 0, P6 - 1.594) ×BF8;     | BF18 = max( 0, P6 - 92.8788) ×BF4; | BF11 = max( 0, 38.023 - P10) ×BF1; | BF8 = max( 0, T3 - 4) ×BF7;         |
| BF8 = max( 0, T1 - 5.5);       | BF7 = max( 0, P0 - 0.0740013) ×BF1; | BF13 = max( 0, 3.9 - T3) ×BF9;      | BF21 = max( 0, 15.8 - T11) ×BF10;  | BF15 = max(0, P12 - 51.918) ×BF1;  | BF9 = max( 0, 4 - T3) ×BF7;         |
| BF9 = max( 0, 5.5 - T1);       | BF8 = max( 0, P10 - 35.5) ×BF7;     | BF16 = max( 0, P6 - 1.594) ×BF4;    | BF22 = max( 0, P12 - 1.594) ×BF18; | BF17 = max(0, P4 - 1.594) ×BF15;   | BF10 = max( 0, T3 - 5) ×BF3;        |
| BF10 = max( 0, P9 - 35.866);   | BF9 = max( 0, 35.5 - P10) ×BF7;     | BF19 = max( 0, P6 - 56.4931) ×BF1;  |                                    | BF18 = max(0, P0 - 80.421) ×BF15;  | BF11 = max( 0, 5 - T3) ×BF3;        |
| BF11 = max( 0, 35.866 - P9);   | BF10 = max( 0, P5 - 76.204) ×BF7;   | BF21 = max( 0, P12 - 68.535) ×BF19; |                                    | BF19 = max (0, 80.421 - P0) ×BF15; | BF12 = max( 0, T9 - 2.4);           |
| BF12 = max( 0, T3 - 4);        | BF11 = max( 0, 76.204 - P5) ×BF7;   |                                     |                                    | BF22= max(0, P0 - 0.0740013) ×BF1; | BF14 = max( 0, 20.157 - P9) ×BF1;   |
| BF13 = max(0, 4 - T3);         | BF12 = max( 0, P6 - 113.948) ×BF11; |                                     |                                    |                                    | BF15 = max( 0, T3 - 4);             |
| BF14 = max(0, T3 - 4.8);       | BF13 = max( 0, 113.948 - P6) ×BF11; |                                     |                                    |                                    | BF16 = max( 0, 4 - T3);             |
| BF16 = max(0, T3 - 8.2);       | BF14 = max( 0, P5 - 24.581) ×BF7;   |                                     |                                    |                                    | BF18 = max( 0, 11.2845 - P9) ×BF10; |
| BF18 = max( 0, P3 - 1.594);    | BF16 = max( 0, P0 - 63.572) ×BF4;   |                                     |                                    |                                    | BF19 = max( 0, P6 - 1.594) ×BF18;   |
| BF19 = max( 0, P5 - 1.594);    | BF17 = max( 0, 63.572 - P0) ×BF4;   |                                     |                                    |                                    |                                     |

Tablo 18'in devamı

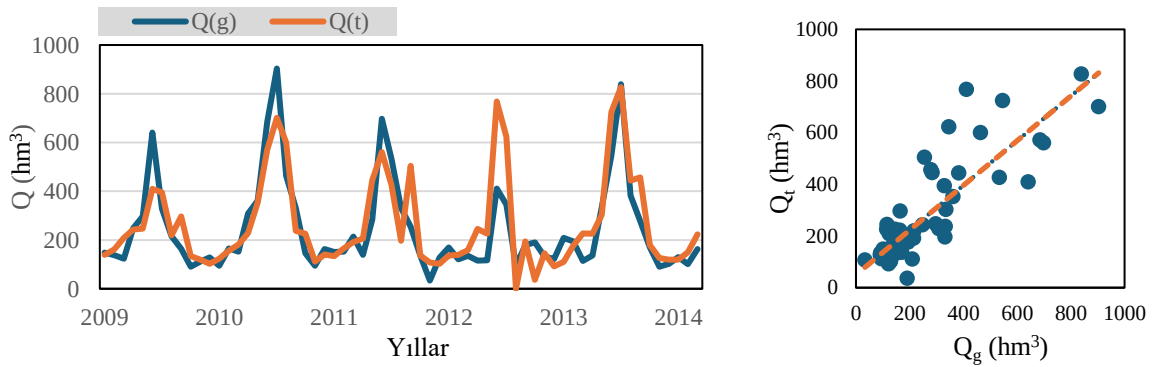
| M1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | M2                                                                                                                                                                                                                         | M3 | M4 | M5 | M6 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $BF18 = \max(0, P6 - 94.176) \times BF1;$<br>$BF19 = \max(0, 94.176 - P6) \times BF1;$<br>$BF20 = \max(0, P6 - 78.583) \times BF4;$<br>$BF21 = \max(0, 78.583 - P6) \times BF4;$<br>$BF22 = \max(0, T6 - 2.4) \times BF6;$ |    |    |    |    |
| $Y_1 = -53.2535 + 40.9356 \times BF1 + 3.51082 \times BF2 + 30.6489 \times BF4 - 49.6418 \times BF5 - 10.2542 \times BF6 + 1.2053 \times BF7 - 13.6959 \times BF8 - 57.4331 \times BF9 - 0.217386 \times BF10 - 5.08412 \times BF11 + 580.998 \times BF12 + 464.559 \times BF13 - 630.145 \times BF14 + 54.1175 \times BF16 + 0.96115 \times BF18 + 0.713385 \times BF19;$                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                            |    |    |    |    |
| $Y_2 = 303.786 + 51.9105 \times BF1 + 5.86717 \times BF2 - 5.3582 \times BF3 - 4.40348 \times BF4 - 10.9488 \times BF5 + 1678.69 \times BF6 + 4.17783 \times BF7 - 0.00504995 \times BF8 - 0.0315981 \times BF9 + 0.0429138 \times BF10 - 0.0727187 \times BF11 + 0.00222421 \times BF12 + 0.000117145 \times BF13 - 0.0525095 \times BF14 - 0.806253 \times BF16 - 0.289436 \times BF17 - 0.593255 \times BF18 - 0.529258 \times BF19 + 0.366434 \times BF20 + 0.278535 \times BF21 - 89.4972 \times BF22;$ |                                                                                                                                                                                                                            |    |    |    |    |
| $Y_3 = 180.807 + 103.664 \times BF1 - 5.485 \times BF3 + 7.64244 \times BF4 - 1.11806 \times BF6 - 1.23864 \times BF8 + 0.0115294 \times BF9 + 0.0177628 \times BF13 - 0.116546 \times BF16 - 0.373143 \times BF19 + 0.0158839 \times BF21;$                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                            |    |    |    |    |
| $Y_4 = 189.52 + 89.5188 \times BF1 + 44.8478 \times BF4 + 5.17948 \times BF5 - 3.39507 \times BF14 - 3.71395 \times BF18 + 27.029 \times BF21 + 0.0600596 \times BF22;$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                            |    |    |    |    |
| $Y_5 = 329.203 + 64.9218 \times BF1 - 4.78492 \times BF3 - 1.2167 \times BF6 - 9.83702 \times BF7 - 0.392596 \times BF9 - 1.02878 \times BF11 + 0.0265556 \times BF17 - 0.270085 \times BF18 - 0.0195224 \times BF19 + 0.604116 \times BF22;$                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                            |    |    |    |    |
| $Y_6 = 333.362 + 92.0951 \times BF1 - 5.54431 \times BF3 - 18.93 \times BF4 - 1.09584 \times BF6 + 0.0963219 \times BF7 - 0.0148689 \times BF8 + 0.147405 \times BF9 - 8.13039 \times BF11 - 7.19962 \times BF12 - 2.98722 \times BF14 - 4.58315 \times BF15 + 592.106 \times BF16 - 0.374797 \times BF18 + 0.00888044 \times BF19;$                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                            |    |    |    |    |

Tablo 19. Akım tahmin modeli bulgularına ait performans değerlendirme ölçütleri

|        |      | ÇDURE |             |      |      |      |      |
|--------|------|-------|-------------|------|------|------|------|
| Eğitim |      | M1    | M2          | M3   | M4   | M5   | M6   |
|        | R    | 0.80  | 0.87        | 0.82 | 0.81 | 0.86 | 0.85 |
|        | NSE  | 0.64  | 0.77        | 0.67 | 0.66 | 0.74 | 0.73 |
|        | KHOK | 188   | 149         | 178  | 183  | 161  | 163  |
|        | OMH  | 130   | 104         | 124  | 121  | 112  | 111  |
| Test   |      | M1    | M2          | M3   | M4   | M5   | M6   |
|        | R    | 0.86  | 0.84        | 0.86 | 0.80 | 0.84 | 0.87 |
|        | NSE  | 0.61  | <b>0.67</b> | 0.66 | 0.53 | 0.54 | 0.45 |
|        | KHOK | 117   | <b>109</b>  | 109  | 128  | 126  | 138  |
|        | OMH  | 90    | <b>77</b>   | 83   | 90   | 84   | 98   |

ÇDURE için oluşturulan farklı model kombinasyonlarından en başarılı olan model, test veri seti için en az KHOK değeri (109) ve en yüksek NSE (0.67) ile M2 modeli olmuştur. NSE ait yeterlilik tablosuna göre ( $0.65 < \text{NSE} < 0.75$ ) ÇDURE ile kurulan modelinin, akım tahmin performansı için ‘iyi’ olarak adlandırılan aralıkta olduğu saptanmıştır.

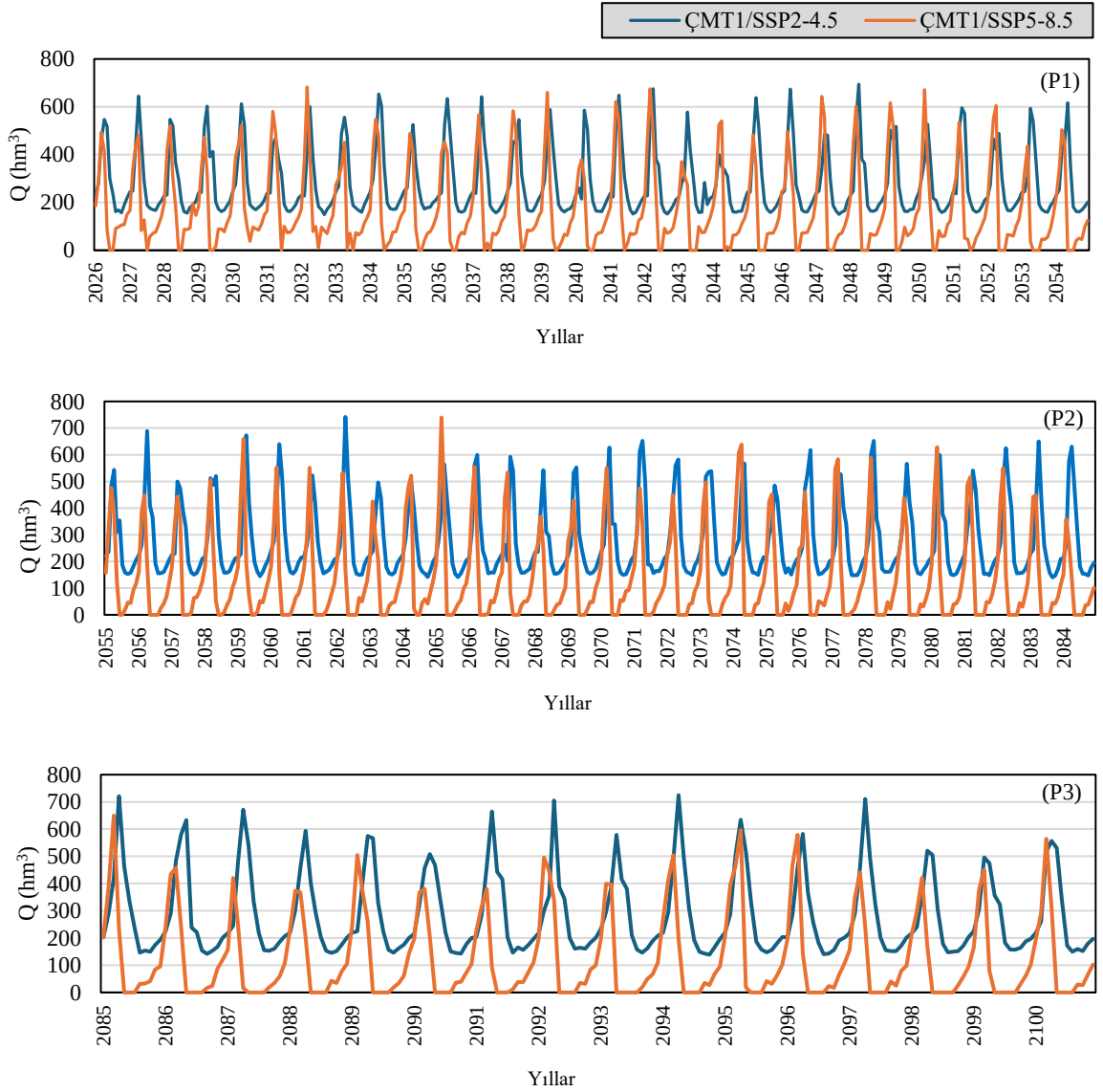
Tüm model sonuçları performans değerlendirme ölçütlerine göre kıyaslandığında, M2 modelinin ÇDURE ile elde edilen performansı, akım tahmini için en başarılı seviyede bulunmuştur. Dolayısıyla ileriye dönük akım tahmininde sıcaklık ve yağış parametreleri için bu model dikkate alınmıştır. Baraj giriş akımı tahmin modelini oluşturan 1988-2022 yılları arasındaki gözlenmiş verilerin %85’i eğitim, %15’i test veri seti olarak ayrılmıştır. Referans modeline ait akımın belirli bir zaman içerisinde değişkenliğini gösteren zaman serisi grafiği ile gözlem ve tahmin modelinden elde edilen bulgular arasındaki ilişkiyi gösteren saçılım diyagramı Şekil 29’da verilmektedir.



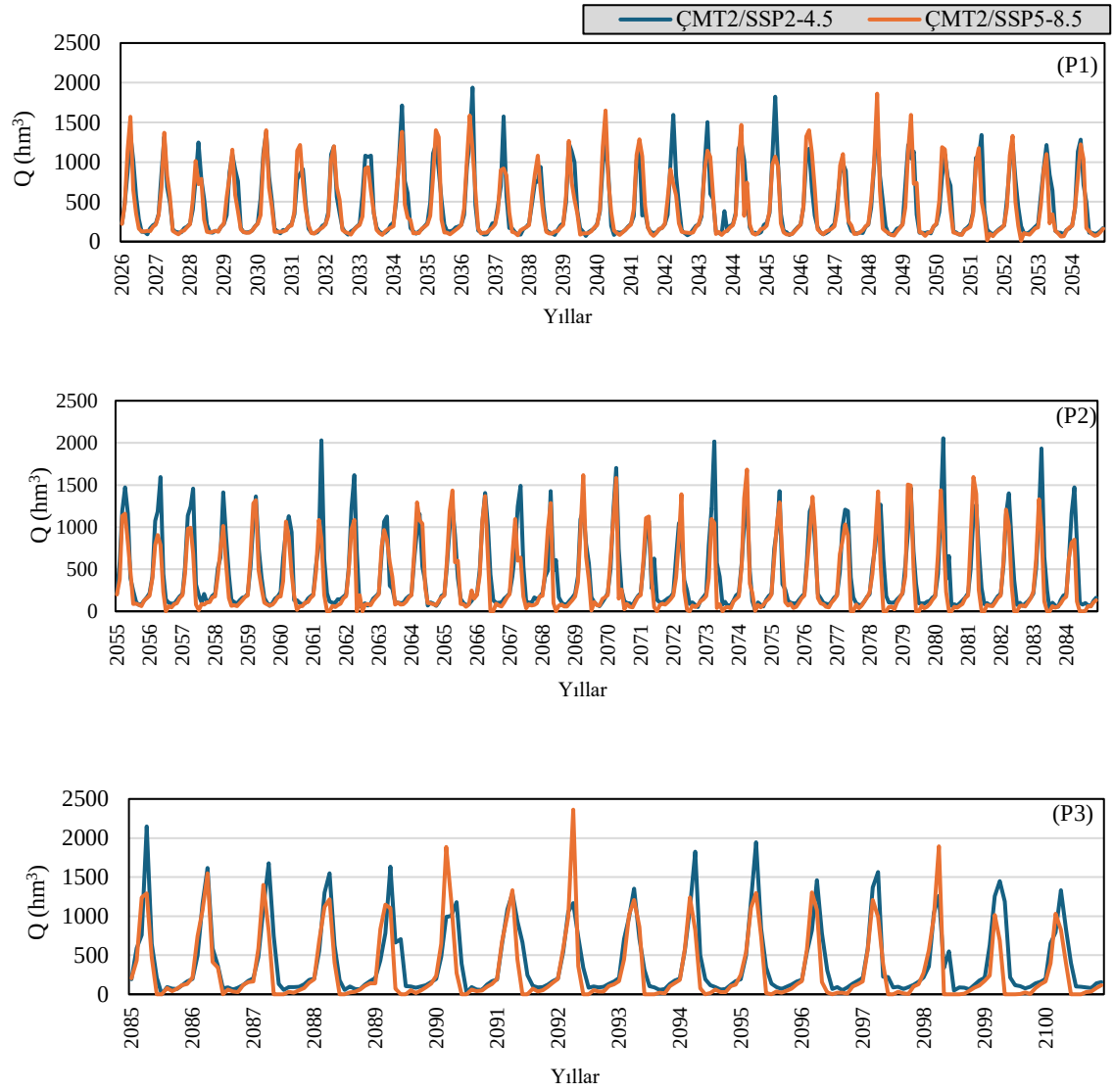
Şekil 29. ÇDURE M2 modeli test veri setindeki baraj giriş akımlarına ait zaman serisi grafiği ve saçılım diyagramı

### 3.3.1. İleriye Dönük Baraj Akım Verilerinin Üretilmesi

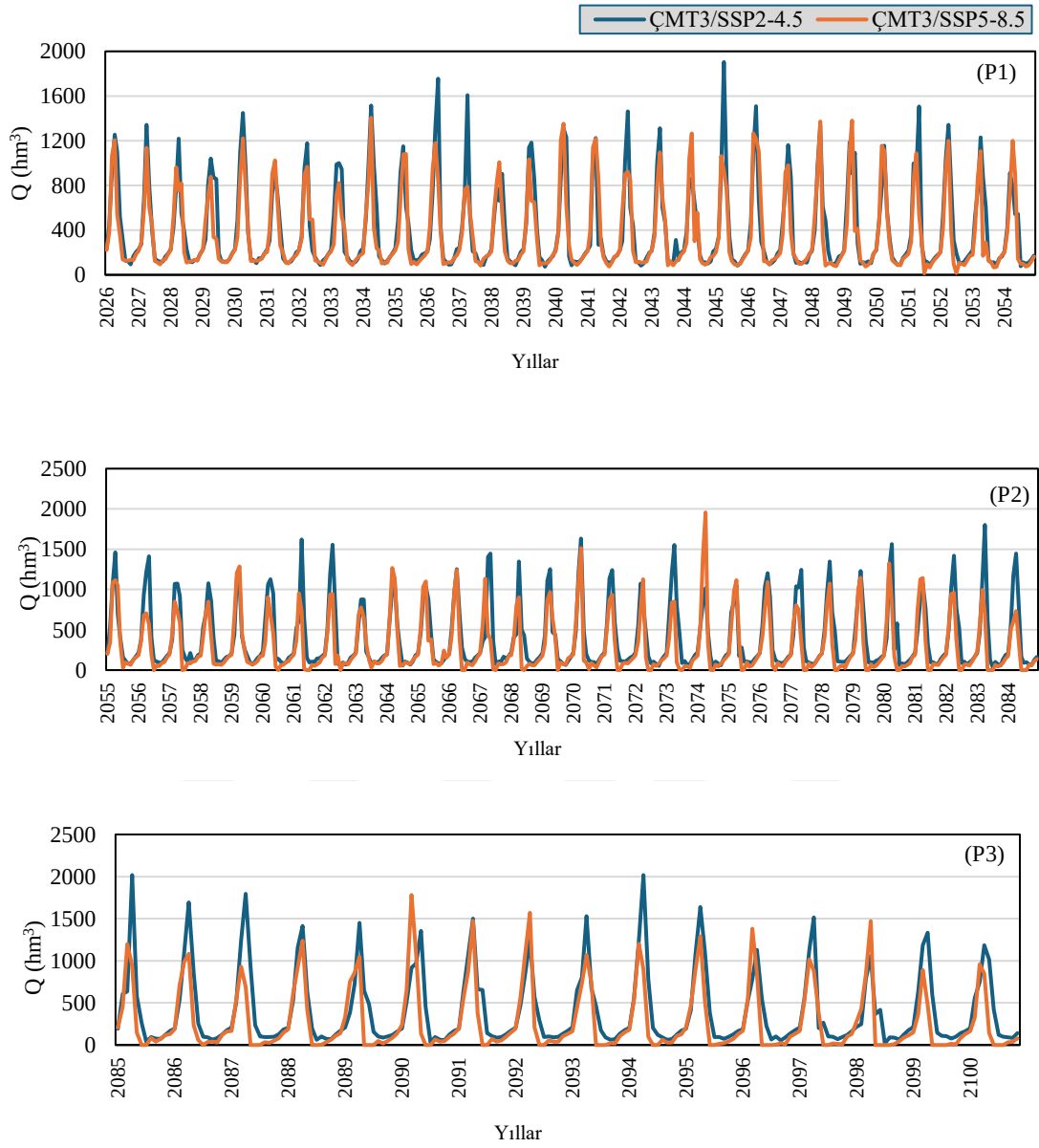
Çalışma kapsamında ileriye dönük baraj akım tahmin modeli önceki bölümde bahsedildiği üzere ÇDURE yöntemi ve en yüksek performansa sahip olması gerekçesiyle M2 modeli baz alınarak üretilmiştir. Tahmin modelindeki girdi setlerinde ÇMT1, ÇMT2, ÇMT3 ve ÇMT4 ile SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları altında oluşturulan aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış verileri kullanılmıştır. Çıktı olarak ise  $\text{hm}^3$  cinsinden aylık baraj giriş akım değerleri elde edilmiştir. Tüm dönemler için üretilen akım verilerinin ÇMT1, ÇMT2, ÇMT3 ve ÇMT4'e ait zaman serisi grafikleri sırasıyla Şekil 30-Şekil 33'te verilmektedir.



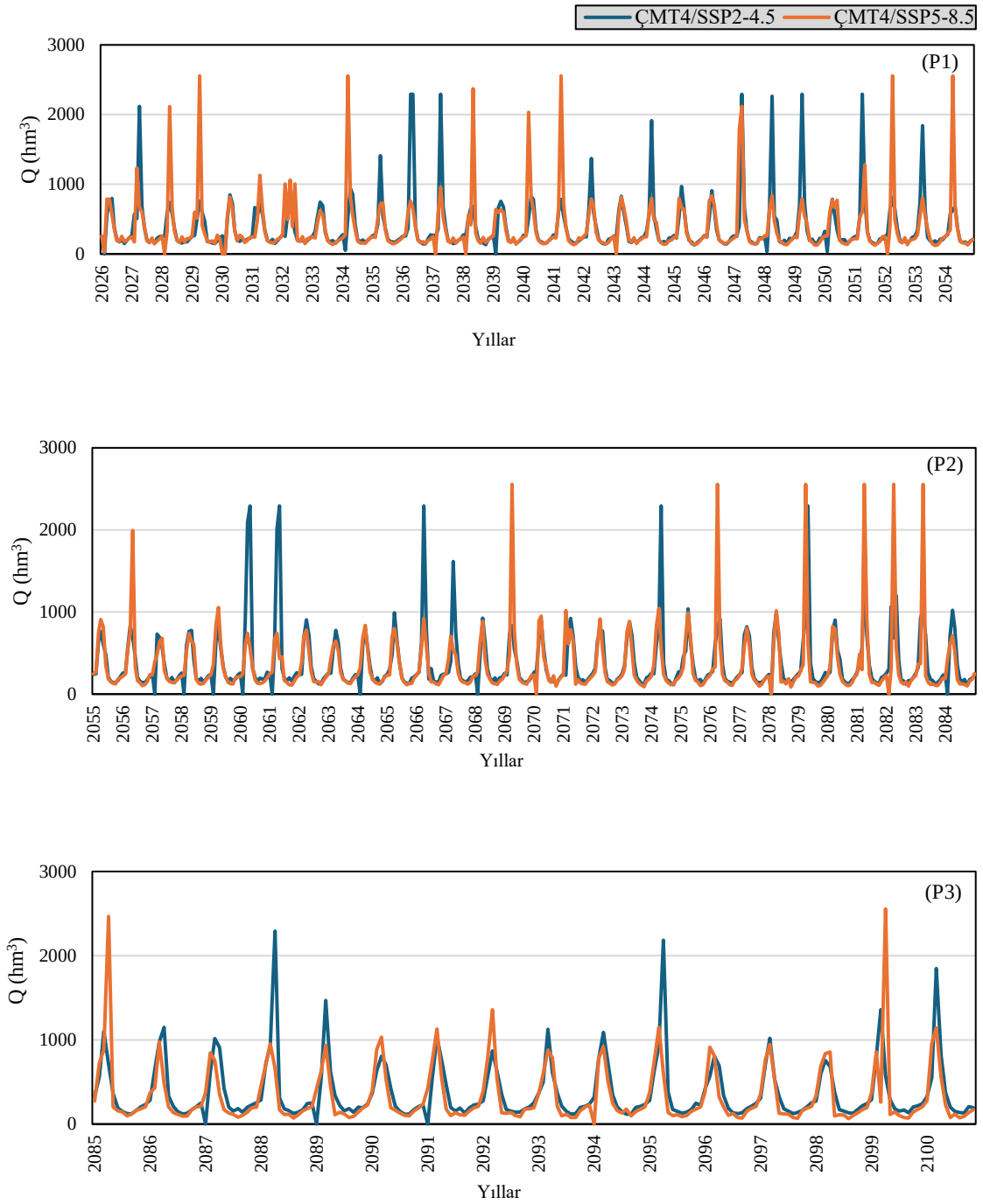
Şekil 30. ÇMT1 için P1, P2 ve P3 dönemlerinde üretilen akım verileri



Şekil 31. ÇMT2 için P1, P2 ve P3 dönemlerinde üretilen akım verileri



Şekil 32. ÇMT3 için P1, P2 ve P3 dönemlerinde üretilen akım verileri



Şekil 33. ÇMT4 için P1, P2 ve P3 dönemlerinde üretilen akım verileri

ÇMT1 ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, her üç dönem için ortalama akım değerlerinin genelinde SSP5-8.5 senaryosunda SSP2-4.5 senaryosuna göre daha fazla azalma olacağı beklenmektedir. P1 dönemine ait aylık ortalama değerlerin SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına göre, maksimum değerinin sırasıyla 694.35 ve 682.88  $\text{hm}^3$  olduğu görülmektedir. P2 için bu değerler 741.84 ve 739.72  $\text{hm}^3$ ; P3 için ise 724.65 ve 649.55

hm<sup>3</sup>'tür. ÇMT2 ile elde edilen bulgulara göre P1 için SSP2-4.5 senaryosuna göre 1938.49 hm<sup>3</sup>; SSP5-8.5 senaryosuna göre ise 1862.26 hm<sup>3</sup>'tür. P2 için bu değerler 2055.191 ve 1683.41 hm<sup>3</sup>; P3 için ise 2148.65 ve 2363.26 hm<sup>3</sup>'tür. ÇMT3 ile elde edilen bulgulara göre, P1 için SSP2-4.5 senaryosuna göre 1904.12 hm<sup>3</sup>; SSP5-8.5 senaryosuna göre ise 1406.15 hm<sup>3</sup>'tür. P2 için bu değerler 1801.36 ve 1956.42 hm<sup>3</sup>; P3 için ise 2018.07 ve 1781.54 hm<sup>3</sup>'tür. ÇMT4 için ise bu değerler 2292.38 ve 2555.13 hm<sup>3</sup>'tür.

### 3.3.2. İklim Değişikliği Etkisinin Baraj Giriş Akımları Üzerinde Aylık ve Yıllık Olarak İncelenmesi

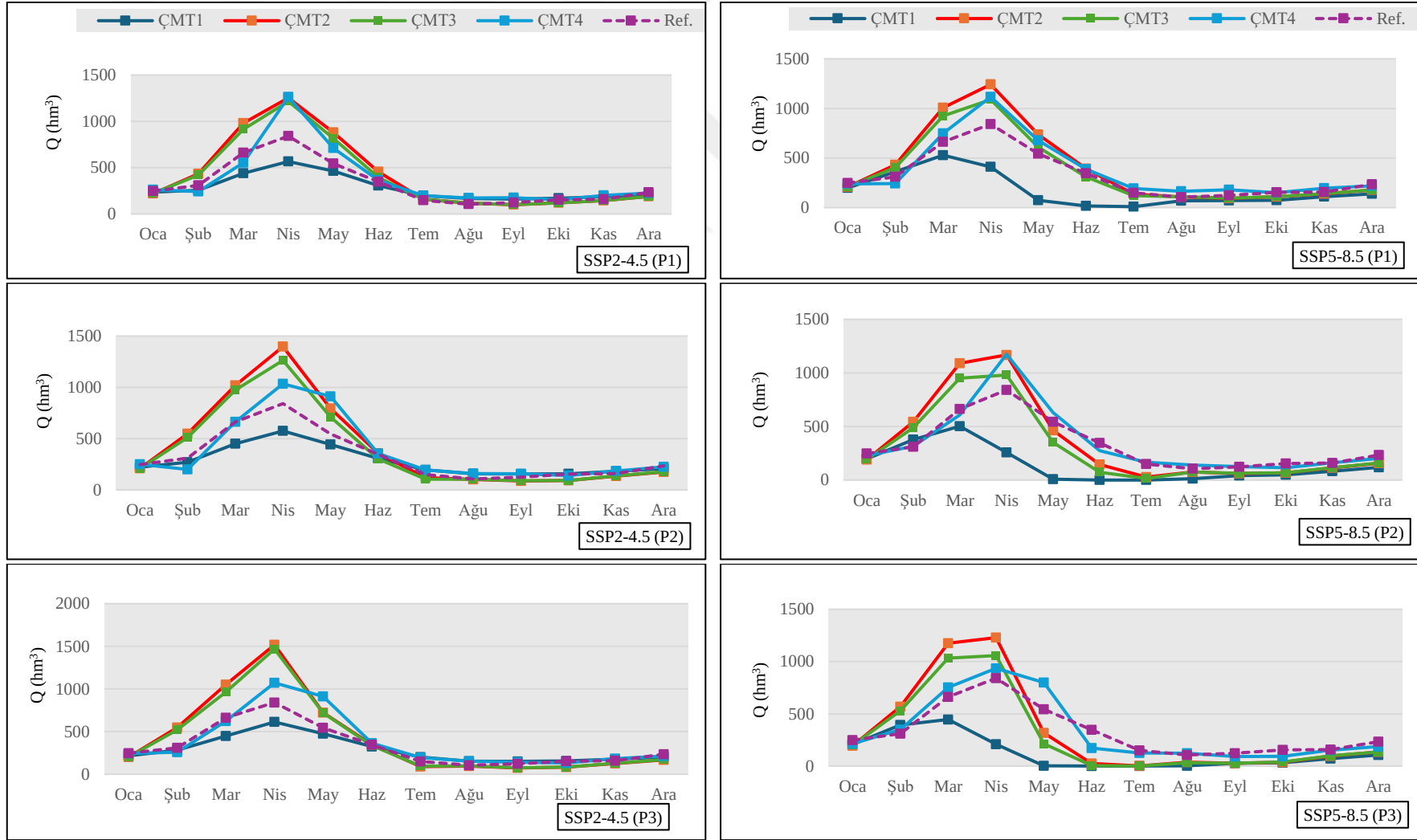
Baraja gelen aylık ortalama akım değerlerinin sıcaklık ve yağış parametrelerine bağlı olarak incelendiği bu çalışmada her ay için iki farklı iklim senaryosu ve dört farklı ÇMT için akım verileri üretilmiştir. Tablo 20'de ileriye dönük üretilmiş aylık baraj giriş akımlarının referans dönemine göre aylık bazda değişimleri (%) verilmektedir. Şekil 34'te SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryosu altında P1, P2 ve P3 dönemi akımlarının aylık dağılımı, Şekil 35'te baraj giriş akımlarının tüm periyotlardaki uzun yıllar ortalama değerleri ve Şekil 36'da ise baraj giriş akımlarının ÇMT'lere göre aylık maksimum değerleri verilmektedir.

Tablo 20. ÇMT'lerin gelecek dönem (P1, P2 ve P3) senaryolarına ait aylık baraj giriş akımlarının referans dönemine (1987-2022) göre değişimleri

| ÇMT  | Senaryo | Periyot/Aylar | Oca    | Şub    | Mar    | Nis    | May    | Haz     | Tem     | Ağu    | Eyl    | Eki    | Kas    | Ara    |
|------|---------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ÇMT1 | SSP2-45 | P1            | -4.23  | -17.07 | -33.59 | -32.65 | -14.53 | -11.63  | 34.23   | 58.76  | 31.43  | 11.70  | 17.77  | -10.30 |
|      |         | P2            | -10.22 | -12.95 | -31.43 | -31.51 | -18.56 | -11.16  | 30.78   | 48.77  | 25.52  | 2.04   | 14.47  | -12.19 |
|      |         | P3            | -12.00 | -8.94  | -32.10 | -27.17 | -12.88 | -6.32   | 36.14   | 44.15  | 22.80  | 0.66   | 12.89  | -14.39 |
|      | SSP5-85 | P1            | -19.25 | 16.88  | -20.16 | -51.10 | -86.33 | -95.18  | -93.56  | -35.09 | -42.49 | -51.68 | -30.56 | -40.45 |
|      |         | P2            | -19.83 | 21.43  | -24.08 | -69.43 | -98.33 | -100.00 | -100.00 | -87.50 | -65.59 | -69.00 | -48.08 | -49.02 |
|      |         | P3            | -16.61 | 26.88  | -32.72 | -75.29 | -99.80 | -100.00 | -100.00 | -97.52 | -78.15 | -79.08 | -55.19 | -54.84 |
| ÇMT2 | SSP2-45 | P1            | -10.35 | 40.42  | 48.08  | 49.07  | 61.84  | 31.44   | 7.58    | 10.34  | -18.41 | -21.59 | -8.25  | -19.36 |
|      |         | P2            | -15.78 | 76.39  | 53.95  | 66.04  | 45.70  | 3.02    | -19.66  | -3.09  | -29.15 | -41.05 | -15.47 | -25.68 |
|      |         | P3            | -18.69 | 76.44  | 58.78  | 80.40  | 32.60  | -0.37   | -40.08  | -9.96  | -40.17 | -46.35 | -20.15 | -28.24 |
|      | SSP5-85 | P1            | -15.05 | 39.46  | 51.98  | 47.57  | 35.32  | 13.41   | -8.24   | 2.76   | -23.77 | -28.12 | -11.43 | -24.45 |
|      |         | P2            | -22.53 | 74.92  | 64.52  | 38.86  | -14.58 | -58.39  | -80.99  | -29.37 | -50.80 | -56.04 | -27.80 | -33.19 |
|      |         | P3            | -21.78 | 83.39  | 77.43  | 46.10  | -41.71 | -93.17  | -99.34  | -65.01 | -79.00 | -76.57 | -39.62 | -42.76 |
| ÇMT3 | SSP2-45 | P1            | -9.89  | 35.27  | 38.12  | 44.52  | 50.40  | 13.56   | 7.71    | 11.87  | -17.04 | -22.16 | -7.33  | -18.85 |
|      |         | P2            | -15.31 | 64.23  | 47.10  | 50.11  | 30.72  | -12.68  | -30.07  | -1.65  | -27.57 | -39.91 | -14.52 | -25.10 |
|      |         | P3            | -18.32 | 67.86  | 45.42  | 74.52  | 32.46  | -3.32   | -35.62  | -8.03  | -38.68 | -45.16 | -19.15 | -27.66 |
|      | SSP5-85 | P1            | -14.55 | 29.85  | 39.39  | 29.44  | 12.10  | -10.86  | -19.12  | 4.26   | -22.43 | -27.56 | -10.47 | -23.89 |
|      |         | P2            | -22.40 | 57.37  | 43.75  | 16.53  | -35.38 | -78.92  | -89.93  | -28.85 | -49.20 | -55.44 | -26.78 | -32.57 |
|      |         | P3            | -19.73 | 70.83  | 56.00  | 25.66  | -60.88 | -98.93  | -99.45  | -70.55 | -77.49 | -75.21 | -38.51 | -42.07 |
| ÇMT4 | SSP2-45 | P1            | 6.43   | -21.61 | -16.22 | 50.09  | 30.53  | 5.34    | 33.07   | 65.01  | 42.42  | -0.08  | 27.14  | -3.21  |
|      |         | P2            | 0.70   | -35.68 | 0.31   | 22.95  | 67.23  | 2.29    | 31.38   | 49.92  | 26.73  | -9.12  | 16.58  | -4.89  |
|      |         | P3            | -2.09  | -16.57 | -5.91  | 27.37  | 67.97  | 4.99    | 30.75   | 43.40  | 13.62  | -14.29 | 16.39  | -8.51  |
|      | SSP5-85 | P1            | -3.17  | -21.67 | 13.11  | 32.72  | 24.65  | 11.60   | 30.17   | 56.84  | 45.68  | -2.02  | 23.06  | -6.19  |
|      |         | P2            | -7.67  | 1.37   | -8.35  | 39.55  | 15.88  | -20.66  | 11.87   | 31.39  | 2.91   | -25.16 | 2.57   | -13.65 |
|      |         | P3            | -13.90 | 12.43  | 13.80  | 11.16  | 46.88  | -50.85  | -16.24  | 14.80  | -26.06 | -39.82 | -3.34  | -20.79 |

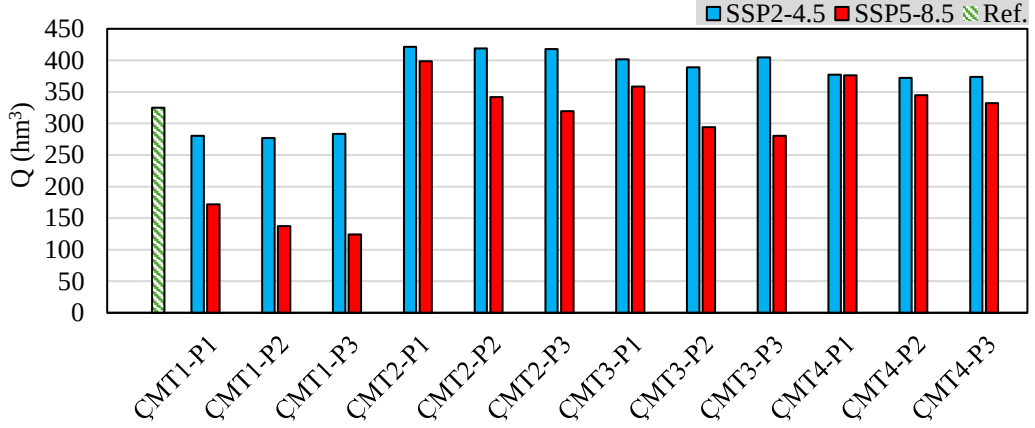
Değişim (%) -90 -80 -70 -60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90

Tablo 20’de ÇMT1’in SSP2-4.5 senaryosu altında her üç dönemde de en yüksek artışın ağustos ayında, en fazla düşüşün ise mart ve nisan aylarında olması beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosu altında ise her üç periyotta en yüksek artışın şubat ayında en fazla düşüşün ise haziran ve temmuz aylarında olması beklenmektedir. Haziran ve temmuz aylarında olması beklenen %100’e yakın düşüşler için baraj havzası alanında akımın olmayacağı sonucunun çıkarılması mümkündür. Bu durumun sıcaklık artışlarından daha çok yağış miktarındaki azalmalar ile ilgili olduğu sonucu önceki başlıklarda bulunan yağış ve sıcaklıklara ait tablo ve grafikler yorumlanarak elde edilebilmektedir. ÇMT2 ve ÇMT3’te SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için baraj giriş akımlarındaki en yüksek artışın şubat, mart, nisan ve mayıs aylarında, en fazla düşüşün ise haziran-ekim ayları aralığında olması beklenmektedir. ÇMT4’te ise SSP2-4.5 senaryosuna göre en yüksek artışın nisan, mayıs ve ağustos aylarında, en fazla düşüşün şubat ayında; SSP5-8.5 senaryosuna göre en yüksek artışın nisan, mayıs ve ağustos aylarında en fazla düşüşün ise şubat, haziran ve ekim aylarında olması beklenmektedir.



Şekil 34. P1, P2 ve P3 dönemi aylık ortalama baraj giriş akım değerleri

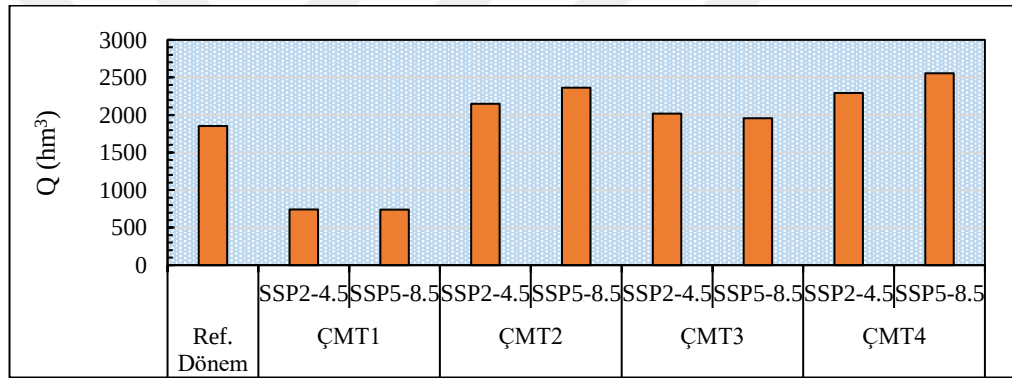
Şekil 34'te SSP2-4.5 senaryosu altında hem referans dönemde hem de tüm ÇMT model çıktılarında tüm gelecek dönemler için, nisan ayındaki aylık ortalama değerlerin diğer aylara göre pik seviyede olacağı öngörülmüştür. SSP5-8.5 senaryosu altında ise P1, P2 ve P3 dönemlerinde ÇMT1 modelinde en yüksek akımın mart ayında, diğer modellerin tamamında ise nisan ayında olabileceği beklenmektedir. SSP2-4.5 senaryosu altında ÇMT1, ÇMT2 ve ÇMT3 için P1, P2 ve P3 dönemlerinde en düşük akımın eylül ayında, ÇMT4 için ise ekim ayında olması beklenmektedir. SSP5-8.5 senaryosu altında ÇMT1'in her üç periyodu için de en düşük akımın temmuz ayında, ÇMT2 ve ÇMT3'ün P1 dönemi için eylül, P2 ve P3 dönemleri için temmuz, ÇMT4'ün P1 ve P2 dönemleri için ekim, P3 dönemi için eylül ayında olması beklenmektedir.



Şekil 35. Baraj giriş akımlarının tüm periyotlardaki uzun yıllar ortalama değerleri

Şekil 35'te ortalama değerler P1 için SSP2-4.5 senaryosu altında ÇMT1'de 280.59 hm³, ÇMT2'de 421.49 hm³, ÇMT3'te 401.66 hm³ ve ÇMT4'te 377.17 hm³ olarak elde edilmiştir. SSP 5-8.5 senaryosu altında ise ÇMT1'de 172.06 hm³, ÇMT2'de 398.72 hm³, ÇMT3'te 358.37 hm³, ÇMT4'te 376.23 hm³ olarak elde edilmiştir. ÇMT1 hariç diğer modellerde SSP2-4.5 senaryosuna göre ortalama baraj giriş akım değerlerinde referans döneme göre artış olması beklenmektedir. P2 döneminde SSP2-4.5 senaryosu altında ÇMT1'de 276.78 hm³, ÇMT2'de 418.31 hm³, ÇMT3'te 389 hm³, ÇMT4'te 372.19 hm³ olarak elde edilmiştir. SSP 5-8.5 senaryosu altında ÇMT1'de 137.3 hm³, ÇMT2'de 341.74 hm³, ÇMT3'te 294.19 hm³ ve ÇMT4'te 344.90 hm³ olarak elde edilmiştir. P3 dönemi için bu değerler SSP2-4.5 senaryosu için ÇMT1'de 283.26 hm³, ÇMT2'de 417.76 hm³, ÇMT3'te 404.84 hm³, ÇMT4'te 373.96 hm³, SSP5-8.5 senaryosu için ÇMT1'de 124.29 hm³,

ÇMT2’de 319.58 hm<sup>3</sup>, ÇMT3’te 280.97 hm<sup>3</sup>, ÇMT4’te 332.17 hm<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir. Baraj giriş ortalama akım değerlerinin uzun yılları kapsayan aylık değerlerinde SSP5-8.5 değerlerinin SSP2-4.5 senaryosuna göre tüm modellerde belirli bir şekilde azalması beklenmektedir. ÇMT1 hariç diğer modellerde iyimser senaryoya göre herhangi bir azalmanın olması beklenmemektedir. P1 dönemi için referans döneme göre ÇMT1 dışında hiçbir modelde baraj giriş akım ortalamalarında azalma olması beklenmezken, P2 dönemi için ÇMT3 modelinin kötümser senaryosunda %9 oranında azalma olacağı beklenmektedir. P3 dönemi için ise ÇMT1 modelinin yanı sıra ÇMT2 ve ÇMT3 modellerinin kötümser senaryoları için de baraj giriş akımlarında azalmalar olması beklenmektedir. Kullanılan iki farklı senaryo bazında kıyaslamak gerekirse, ortalama akım değerlerinin tüm modellerde kötümser senaryodaki değerlerin iyimser senaryoya oranla azalması beklenmektedir.



Şekil 36. Baraj giriş akımlarının ÇMT'lere göre aylık maksimum değerleri

Baraj giriş akımlarının beklenen maksimum değerlerinin de her iki senaryo etkisinde referans dönemine göre ÇMT1 hariç diğer modellerde artış gösterebileceği gözlenmiştir. Bu değerler SSP2-4.5 senaryosu altında ÇMT1’de 741.84 hm<sup>3</sup>, ÇMT2’de 2148.66 hm<sup>3</sup>, ÇMT3’te 2018.07 hm<sup>3</sup>, ÇMT4’te 2292.38 hm<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir. SSP 5-8.5 senaryosu altında ÇMT1’de 739.72 hm<sup>3</sup>, ÇMT2’de 2363.26 hm<sup>3</sup>, ÇMT3’te 1956.42 hm<sup>3</sup> ve ÇMT4’te 2555.12 hm<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir. Aylık baraj giriş akım verilerinin maksimum değerlerindeki artışlar, barajdaki yüksek su akışına bağlı olarak da daha fazla miktarda suyun hidroelektrik enerji üretiminde kullanılabilmesi anlamına gelecektir.

### 3.4. Hidroelektrik Enerji Üretimi Tahmin Modelleri

Bu bölümde ilk olarak, Altınkaya Barajı ve Hidroelektrik Santrali'nde üretilen hidroelektrik enerji üretiminin DL algoritmaları kullanılarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Tahmin modelleri kurulurken girdi parametresi olarak 2013-2023 ortak yıllarını kapsayan yağış, sıcaklık, akım verileri, çıktı olarak ise enerji üretim verileri kullanılmıştır. Gecikme etkileri de girdi parametrelerinin 12 aylık ötelenmiş halleri de göz önünde bulundurularak dikkate alınmıştır. Bu ötelenme sonucunda ileriye dönük elektrik enerjisi üretim verilerinde akım tahmini aşamasında olduğu gibi bir yıllık bir ötelenme olduğundan geleceğe ait veriler üretilirken analizlerde yakın dönem 2027 yılından başlatılmıştır. Dolayısıyla P1 dönemi enerji üretim aşaması için 2027-2054 yılını kapsamaktadır. Yapılan analizler sonucunda en başarılı model belirlenmiş, oluşturulan ve test edilen bu referans modelin yeni girdilerini ise çalışmanın önceki bölümlerinde GDM'lere dayalı olarak üretilen yağış, sıcaklık ve akım verileri oluşturmuştur. Çalışmanın bu aşamasında, baraj havzası için tahmin modellerinin oluşturulması ve ileriye dönük enerji verilerinin üretilmesinin yanı sıra, iklim değişikliğinin aylık bazda yağış, sıcaklık ve akım parametrelerinden sonra üretilen hidroelektrik enerji miktarını da ne yönde etkileyeceği analiz edilmiştir.

Enerji üretim tahmin modellerinde LSTM yönteminin yanı sıra, FFNN ve TPAFFNN-LSTM gibi birden fazla makine öğrenme veya model türünün birleştirilmesiyle oluşan, daha etkili ve güçlü sonuçlar üretmeyi amaçlayan hibrit yöntemler de kullanılmıştır. Bu yöntemlere ait hata değerleri kıyaslanarak en az hata değerine sahip, en başarılı olan model tahmin modeli olarak kullanılmıştır.

#### 3.4.1. Tahmin Modeli Bulguları

Tahmin modelleri kurulmadan önce girdi parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmanın bu aşamasında yağış, sıcaklık ve akım verilerinin 12 aylık gecikmeli etkileri de göz önünde bulundurulduğunda çok geniş bir girdi veri kümesi oluşmuştur. Tahmin modellerindeki bu kalabalık girdi parametre sayısının azaltılması, problem çözümünde daha etkili olan değişkenlerin belirlenmesi, karmaşıklığın azalmasıyla aşırı uyum (overfitting) probleminin önüne geçilmesi gibi sebeplerden ötürü öncelikle LASSO regresyonu uygulanmıştır. LASSO regresyonu aşamasında, L1 düzenlileştirmesi sonucunda bazı değişken katsayıları sıfıra yaklaşmıştır. Tablo 21'de her değişkene ait

katsayılar verilmektedir. Katsayısı sıfıra yakınsayan etkisiz değişkenler, tahmin modellerinden uzaklaştırılarak model daha basit ve anlaşılır hale getirilmiştir.

Tablo 21. Girdi modelinin belirlenmesinde uygulanan LASSO regresyon ile elde edilen değişken katsayıları

| Değişken | Katsayı       | Değişken | Katsayı        | Değişken | Katsayı       |
|----------|---------------|----------|----------------|----------|---------------|
| T        | 0.00          | P        | 0.00           | Q        | 0.00          |
| T-1      | <b>118.10</b> | P-1      | <b>47.16</b>   | Q-1      | 0.00          |
| T-2      | 0.00          | P-2      | 0.00           | Q-2      | <b>14.73</b>  |
| T-3      | 0.00          | P-3      | <b>1.66</b>    | Q-3      | <b>16.13</b>  |
| T-4      | 0.00          | P-4      | <b>161.96</b>  | Q-4      | <b>12.33</b>  |
| T-5      | 0.00          | P-5      | 0.00           | Q-5      | <b>51.51</b>  |
| T-6      | 0.00          | P-6      | 0.00           | Q-6      | <b>30.04</b>  |
| T-7      | 0.00          | P-7      | <b>42.81</b>   | Q-7      | <b>29.85</b>  |
| T-8      | 0.00          | P-8      | <b>97.65</b>   | Q-8      | 0.00          |
| T-9      | 0.00          | P-9      | 0.00           | Q-9      | <b>60.24</b>  |
| T-10     | 0.00          | P-10     | <b>-207.91</b> | Q-10     | <b>10.31</b>  |
| T-11     | <b>305.93</b> | P-11     | <b>-144.44</b> | Q-11     | 0.00          |
| T-12     | 0.00          | P-12     | <b>93.96</b>   | Q-12     | <b>-26.67</b> |

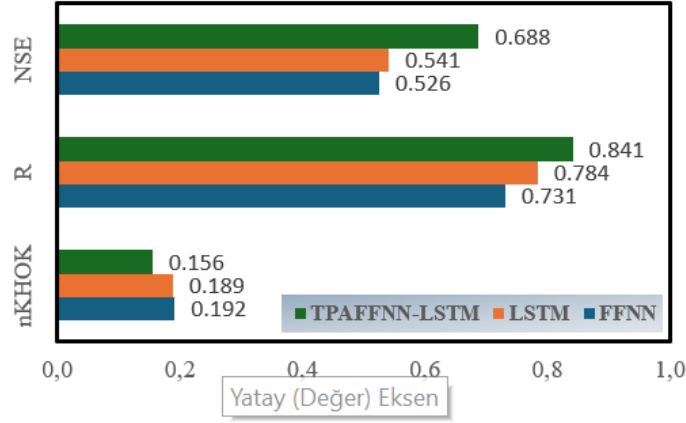
Tablo 21’de gösterilen bulgulara göre tahmin modeli oluşturulurken katsayıları sıfıra indirgenmiş değişkenler model kurulumunda göz önünde bulundurulmamıştır. Analizler yapılmadan önce yalnızca sıcaklık değişkeni ile, daha sonra sıcaklık ve yağış değişkeni ile, son aşamada ise sıcaklık, yağış ve akım değişkeni ile modeller kurulmuştur. Enerji üretimi için kurulan modellerde referans alınan yıllardaki verilerin %75’i eğitim, %25’i test setinde kullanılmıştır. Bu modellere ait girdi parametreleri Tablo 22’de verilmektedir. FFNN, LSTM ve TPAFFNN-LSTM yöntemleri için sırası ile 19 ayrı girdi modeli ile analizler gerçekleştirilmiştir. Her bir yöntemden elde edilen sonuçlara göre en az hata değerine ve en başarılı performans istatistiğine sahip olan modeller belirlenmiştir. Tablo 23’te her bir yöntemin her bir modeli için elde edilmiş performans istatistikleri, Şekil 37’de ise enerji üretim tahmini için elde edilen en başarılı modelin performans istatistikleri verilmektedir.

Tablo 22. Belirlenmiş değişkenler ile girdi modeli kombinasyonlarının oluşturulması

| Model no | Girdi parametreleri                                                                                 |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | T-1                                                                                                 |
| 2        | T-1, T-11                                                                                           |
| 3        | T-1, T-11, P-1                                                                                      |
| 4        | T-1, T-11, P-1, P-3                                                                                 |
| 5        | T-1, T-11, P-1, P-3, P-4                                                                            |
| 6        | T-1, T-11, P-1, P-3, P-4, P-7                                                                       |
| 7        | T-1, T-11, P-1, P-3, P-4, P-7, P-8                                                                  |
| 8        | T-1, T-11, P-1, P-3, P-4, P-7, P-8, P-10                                                            |
| 9        | T-1, T-11, P-1, P-3, P-4, P-7, P-8, P-10, P-11                                                      |
| 10       | T-1, T-11, P-1, P-3, P-4, P-7, P-8, P-10, P-11, P-12                                                |
| 11       | T-1, T-11, P-1, P-3, P-4, P-7, P-8, P-10, P-11, P-12, Q-2                                           |
| 12       | T-1, T-11, P-1, P-3, P-4, P-7, P-8, P-10, P-11, P-12, Q-2, Q-3                                      |
| 13       | T-1, T-11, P-1, P-3, P-4, P-7, P-8, P-10, P-11, P-12, Q-2, Q-3, Q-4                                 |
| 14       | T-1, T-11, P-1, P-3, P-4, P-7, P-8, P-10, P-11, P-12, Q-2, Q-3, Q-4, Q-5                            |
| 15       | T-1, T-11, P-1, P-3, P-4, P-7, P-8, P-10, P-11, P-12, Q-2, Q-3, Q-4, Q-5, Q-6                       |
| 16       | T-1, T-11, P-1, P-3, P-4, P-7, P-8, P-10, P-11, P-12, Q-2, Q-3, Q-4, Q-5, Q-6, Q-7                  |
| 17       | T-1, T-11, P-1, P-3, P-4, P-7, P-8, P-10, P-11, P-12, Q-2, Q-3, Q-4, Q-5, Q-6, Q-7, Q-9             |
| 18       | T-1, T-11, P-1, P-3, P-4, P-7, P-8, P-10, P-11, P-12, Q-2, Q-3, Q-4, Q-5, Q-6, Q-7, Q-9, Q-10       |
| 19       | T-1, T-11, P-1, P-3, P-4, P-7, P-8, P-10, P-11, P-12, Q-2, Q-3, Q-4, Q-5, Q-6, Q-7, Q-9, Q-10, Q-12 |

Tablo 23. Enerji üretimi tahmin modellerinden elde edilen performans istatistikleri

| Model/<br>Yöntem | FFNN        |             |             | LSTM        |             |             | TPAFFNN-LSTM |             |             |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
|                  | nKHOK       | R           | NSE         | nKHOK       | R           | NSE         | nKHOK        | R           | NSE         |
| 1                | 0.25        | 0.72        | 0.20        | 0.25        | 0.72        | 0.21        | 0.23         | 0.69        | 0.29        |
| 2                | 0.24        | 0.76        | 0.25        | 0.22        | 0.72        | 0.35        | 0.27         | 0.50        | 0.05        |
| 3                | 0.26        | 0.65        | 0.14        | 0.23        | 0.72        | 0.30        | 0.29         | 0.55        | -0.14       |
| 4                | 0.24        | 0.63        | 0.28        | 0.22        | 0.74        | 0.35        | 0.39         | 0.38        | -1.01       |
| 5                | 0.23        | 0.67        | 0.30        | 0.23        | 0.69        | 0.29        | 0.45         | -0.06       | -1.68       |
| 6                | 0.23        | 0.65        | 0.29        | 0.25        | 0.60        | 0.19        | 0.23         | 0.64        | 0.34        |
| 7                | 0.25        | 0.63        | 0.22        | 0.24        | 0.62        | 0.27        | 0.21         | 0.65        | 0.40        |
| 8                | 0.25        | 0.57        | 0.22        | 0.26        | 0.45        | 0.13        | 0.18         | 0.79        | 0.56        |
| 9                | 0.33        | 0.49        | -0.37       | 0.26        | 0.51        | 0.14        | 0.25         | 0.52        | 0.17        |
| 10               | 0.25        | 0.54        | 0.22        | 0.26        | 0.52        | 0.12        | 0.22         | 0.64        | 0.35        |
| 11               | 0.25        | 0.49        | 0.23        | 0.24        | 0.64        | 0.28        | 0.21         | 0.64        | 0.41        |
| 12               | 0.27        | 0.51        | 0.06        | 0.24        | 0.61        | 0.27        | 0.20         | 0.72        | 0.48        |
| 13               | 0.26        | 0.68        | 0.16        | 0.23        | 0.63        | 0.32        | 0.18         | 0.77        | 0.57        |
| 14               | 0.21        | 0.73        | 0.45        | 0.22        | 0.68        | 0.38        | 0.18         | 0.76        | 0.57        |
| 15               | <b>0.19</b> | <b>0.73</b> | <b>0.52</b> | 0.22        | 0.72        | 0.39        | 0.18         | 0.75        | 0.55        |
| 16               | 0.28        | 0.63        | -0.04       | 0.20        | 0.72        | 0.48        | 0.17         | 0.83        | 0.60        |
| 17               | 0.30        | 0.70        | -0.19       | <b>0.19</b> | <b>0.78</b> | <b>0.54</b> | 0.18         | 0.78        | 0.58        |
| 18               | 0.29        | 0.66        | -0.13       | 0.19        | 0.77        | 0.51        | <b>0.16</b>  | <b>0.84</b> | <b>0.69</b> |
| 19               | 0.25        | 0.78        | 0.19        | 0.18        | 0.84        | 0.56        | 0.18         | 0.77        | 0.56        |

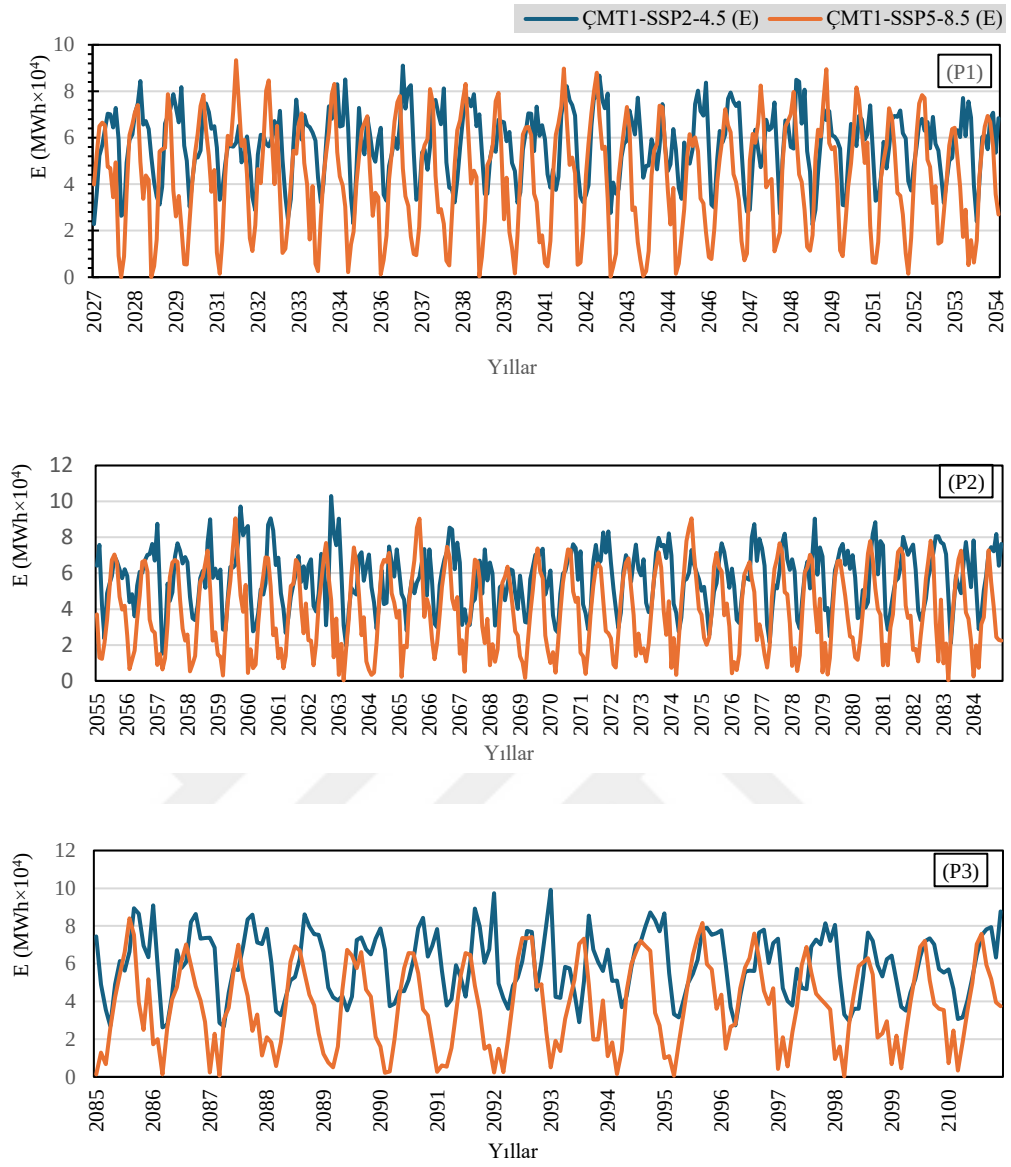


Şekil 37. Enerji üretim tahmini için elde edilen en başarılı modele ait performans istatistikleri

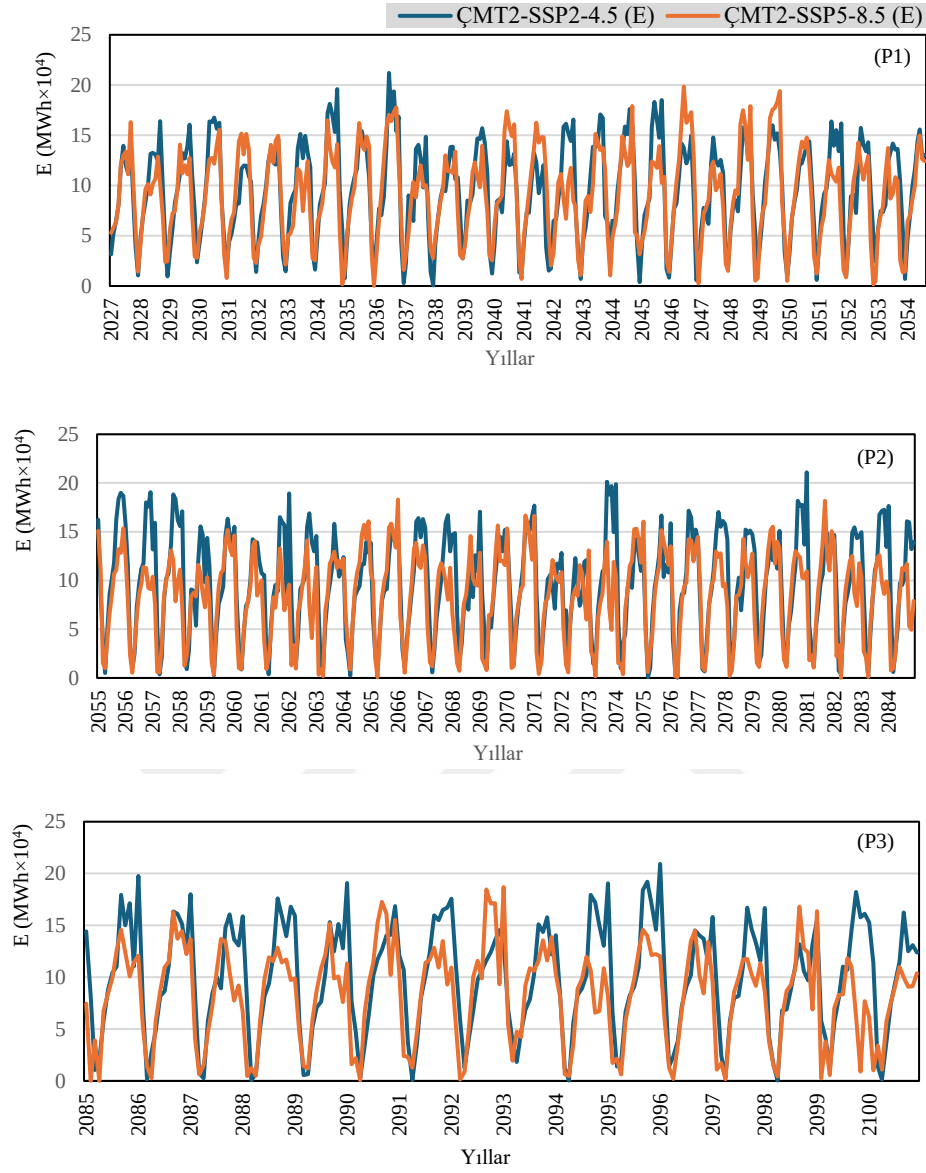
Tablo 23’te tüm yöntemlerden ve tüm modellerden elde edilen en başarılı modele karar verilirken NSE indeksi en yüksek, nKHOK değerinin ise en düşük olmasına dikkat edilmiştir. Şekil 36’da FFNN yöntemiyle elde edilen en başarılı modelde R, NSE ve nKHOK değerleri sırasıyla 0.73, 0.52 ve 0.19 olarak hesap edilmiştir. Bu değerler LSTM yöntemi için sırasıyla 0.78, 0.50 ve 0.19; TPAFFNN-LSTM yöntemiyle 0.84, 0.69 ve 0.16 olarak hesap edilmiştir. NSE indeksi ile modelin tahmin edebilme başarısını değerlendirdiğimizde FFNN ve LSTM yöntemi ile elde edilen 0.52 ve 0.54 değerleri ‘yeterli’ ( $0.50 < NSE < 0.65$ ) olarak adlandırılan aralıkta kalır iken TPAFFNN-LSTM yöntemi ile elde edilen 0.69 değeri ‘iyi’ ( $0.65 < NSE < 0.75$ ) olarak adlandırılan aralıkta olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak enerji tahmini için en başarılı modelin TPAFFNN-LSTM yöntemi ile 18.sırada oluşturulan model olduğuna karar verilmiştir. İleriye dönük enerji üretim verilerinin üretilmesinde en iyi performans gösteren bu model kullanılmıştır.

### 3.4.2. İleriye Dönük Enerji Üretim Verilerinin Tahmini

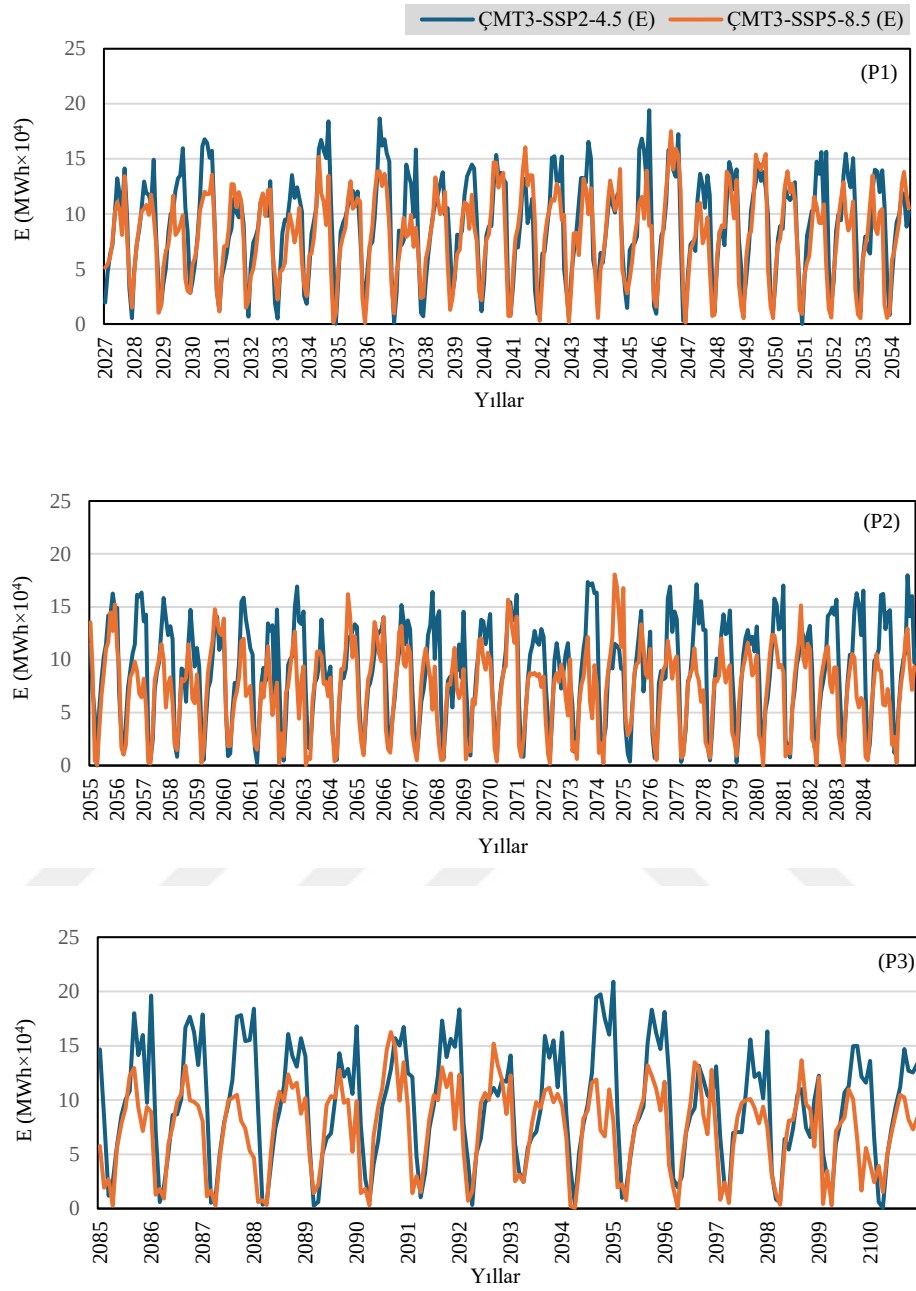
TPAFFNN-LSTM yöntemi ile kurulan tahmin modeli ile yağış, sıcaklık ve akım verilerinde olduğu üzere üç ayrı gelecek periyot (P1, P2 ve P3) ve her bir ÇMT için gelecek dönem verileri üretilmiştir. Elektrik enerjisi üretim verilerinin tahmin modeli sonucunda ÇMT1, ÇMT2, ÇMT3 ve ÇMT4’e ait gelecek dönem için aylık üretilen elektrik enerjisi üretim verileri sırasıyla Şekil 38-Şekil 41’de verilmektedir.



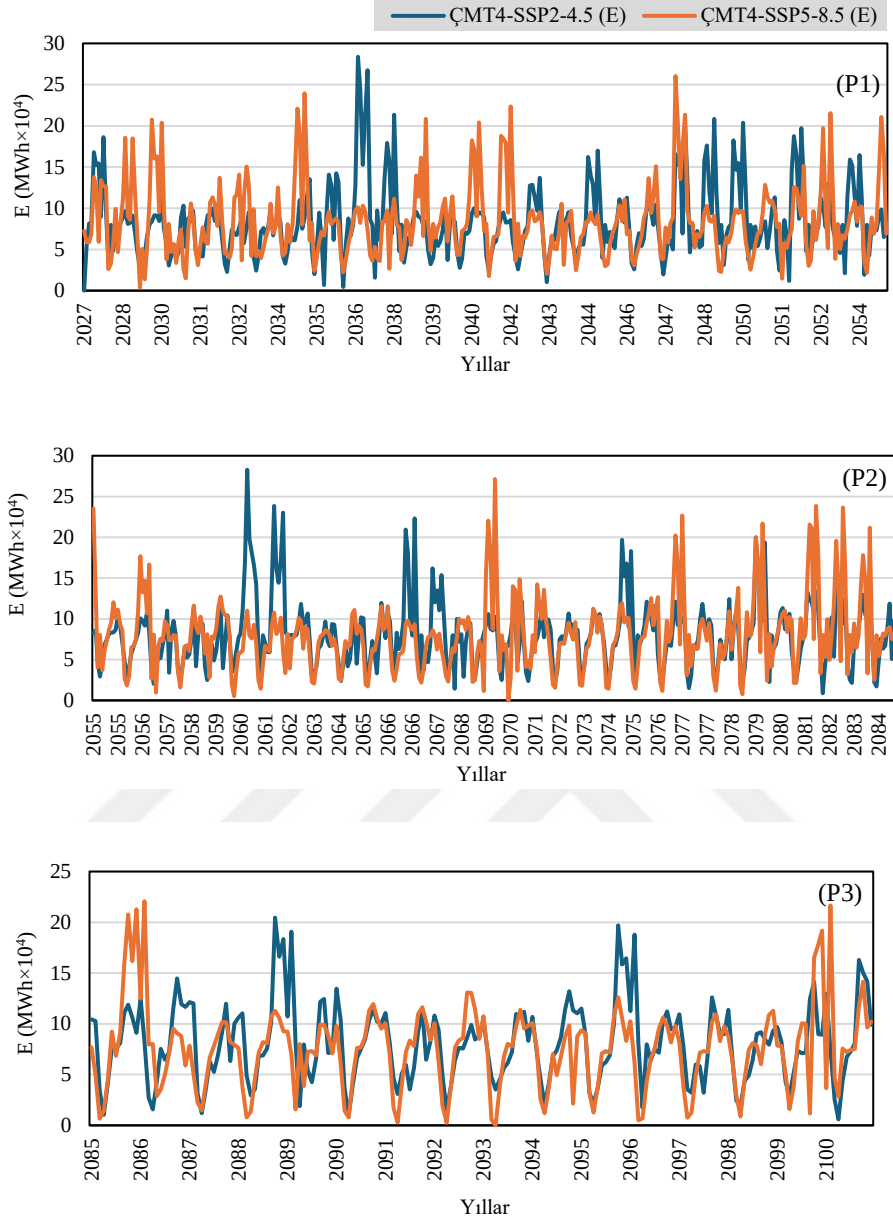
Şekil 38. ÇMT1'in senaryoları için üretilmiş gelecek döneme ait (P1, P2 ve P3) aylık toplam elektrik enerjisi üretim değerleri



Şekil 39. ÇMT2'nin senaryoları için üretilmiş gelecek döneme ait (P1, P2 ve P3) aylık toplam elektrik enerjisi üretim değerleri



Şekil 40. ÇMT3'ün senaryoları için üretilmiş gelecek döneme ait (P1, P2 ve P3) aylık toplam elektrik enerjisi üretim değerleri



Şekil 41. ÇMT4'ün senaryoları için üretilmiş gelecek döneme ait (P1, P2 ve P3) aylık toplam elektrik enerjisi üretim değerleri

ÇMT1 ile elde edilen bulgular irdelendiğinde, tüm dönemler için ortalama akım değerlerinin genelinde SSP5-8.5 senaryosunda SSP2-4.5 senaryosuna kıyasla daha fazla azalma olacağı beklenmektedir. P1 dönemine ait aylık ortalama değerlerin SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryosuna göre, maksimum değerinin sırasıyla 91061 ve 93370 MWh olduğu görülmektedir. P2 döneminde bu değerler 102987 ve 90582 MWh; P3 döneminde ise 99155 ve 81606 MWh'tır. ÇMT2 ile elde edilen sonuçlara göre P1 döneminde SSP2-4.5 senaryosuna göre 212039 MWh; SSP5-8.5 senaryosuna göre ise 198492 MWh'tır. P2

dönemi için bu değerler 211012 ve 183044 MWh; P3 dönemi için ise 209249 ve 186975 MWh'tır. ÇMT3 ile elde edilen sonuçlara göre, P1 döneminde SSP2-4.5 senaryosuna göre 194171 MWh, SSP5-8.5 senaryosuna göre ise 159438 MWh'tır. P2 dönemi için bu değerler SSP2-4.5 senaryosuna göre 179834 MWh, SSP5-8.5 senaryosuna göre ise 180546 MWh'tır. P3 dönemi için ise 209026 ve 149173 MWh'tır. ÇMT4 için ise bu değerler P1 dönemi için 283707 ve 260407 MWh, P2 dönemi için 282821 ve 271339 MWh; P3 dönemi için 204628 ve 220710 MWh'tır.

### **3.4.3. İklim Değişikliği Etkisinin Enerji Üretim Verileri Üzerindeki Değişimlerinin İrdelenmesi**

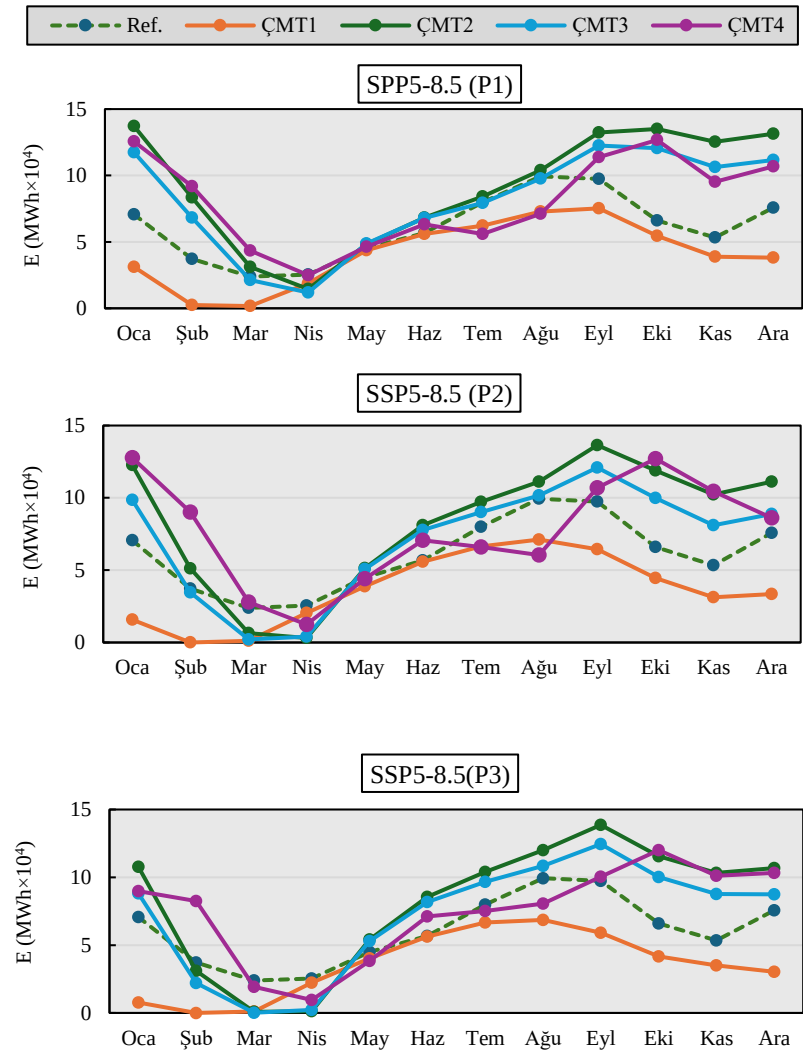
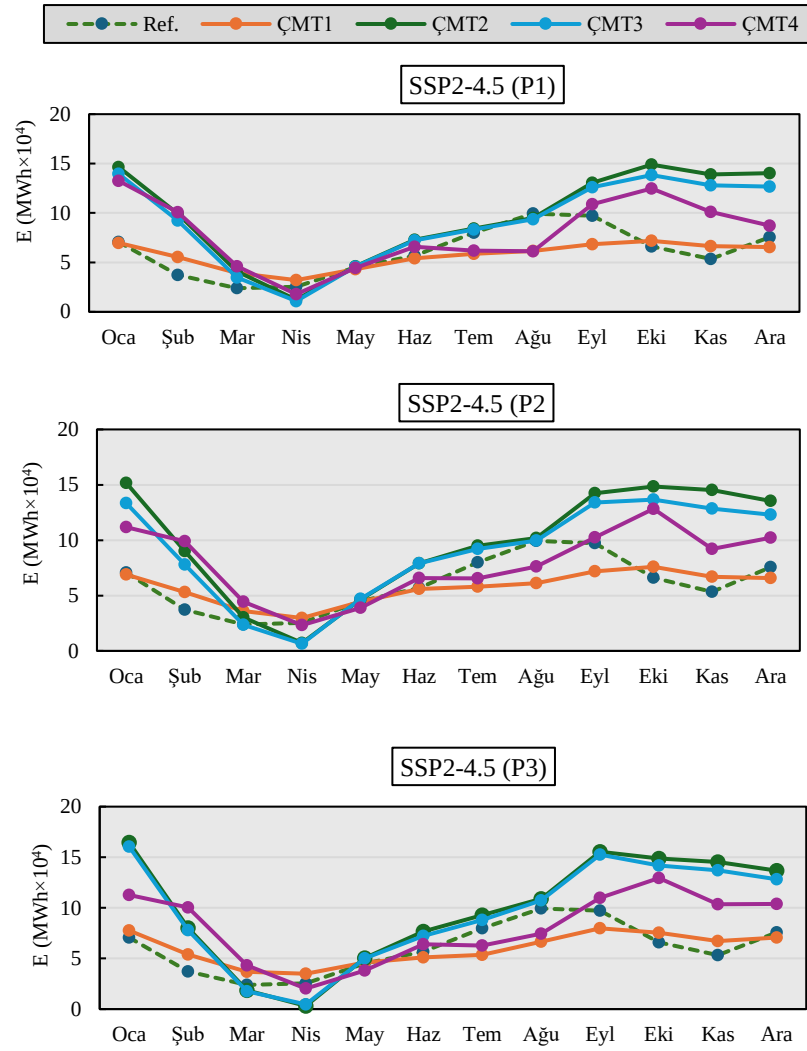
Sıcaklık, yağış ve akım parametrelerine bağlı olarak değişim gösteren hidroelektrik enerjisi üretim verileri GDM'ler ile üretilen ÇMT'ler etkisinde, iki farklı iklim senaryosu altında üretilmiştir. Tablo 24'te gelecek dönem bazında üretilen bu değerlerin referans alınan döneme göre değişimleri verilmektedir. Şekil 42'de ise tüm ÇMT'ler için SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına ait P1, P2 ve P3 ve referans dönemine ait aylık ortalama elektrik enerjisi üretim değerleri kıyaslamalı olarak sunulmaktadır. Şekil 43'te ÇMT'lerin SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına göre tahmin modelleri sonucu üretilen aylık değerlerin yıllık toplama dönüştürülmesi ile oluşturulan zaman serisi grafikleri verilmektedir. Şekil 44'te ise uzun yıllık toplam enerji verilerinin referans döneme göre yüzde olarak değişimi verilmektedir.

Tablo 24. ÇMT’lerin gelecek dönem (P1, P2 ve P3) senaryolarına ait aylık üretilen elektrik enerjisi değerlerinin referans dönemine (2013-2023) göre değişimleri (%)

| ÇMT  | Senaryo  | Periyot | Oca    | Şub    | Mar    | Nis    | May    | Haz    | Tem    | Ağu    | Eyl    | Eki    | Kas    | Ara    |
|------|----------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ÇMT1 | SSP2-4.5 | P1      | -1.27  | 49.31  | 64.58  | 26.35  | -3.88  | -9.29  | -28.81 | -40    | -32.74 | 2.41   | 16.06  | -20.27 |
|      |          | P2      | -2.59  | 42.4   | 50.84  | 16.97  | -1.53  | -6.14  | -29.42 | -40.29 | -29.34 | 8.25   | 16.48  | -19.93 |
|      |          | P3      | 9.98   | 45.04  | 53.97  | 37.56  | 2.4    | -14.23 | -34.77 | -34.99 | -21.64 | 7.58   | 17.05  | -14.09 |
|      | SSP5-8.5 | P1      | -55.97 | -93.61 | -92.87 | -26.26 | -2.88  | -6.16  | -24.44 | -28.88 | -26.12 | -22.33 | -32.23 | -53.52 |
|      |          | P2      | -77.61 | -97.78 | -95.02 | -19.93 | -13.72 | -6.43  | -19.26 | -30.54 | -36.73 | -36.48 | -45.53 | -59.22 |
|      |          | P3      | -89.01 | -99.89 | -95.46 | -12.26 | -10.74 | -5.57  | -18.86 | -33.06 | -41.87 | -40.68 | -38.8  | -63.07 |
| ÇMT2 | SSP2-4.5 | P1      | 107    | 166.76 | 70.46  | -51.78 | 2.11   | 22.21  | 2.43   | -7.35  | 28.2   | 112.33 | 142.11 | 70.43  |
|      |          | P2      | 114.56 | 142.25 | 26.89  | -71.7  | 2.96   | 32.61  | 15.51  | -0.42  | 39.82  | 111.5  | 153.28 | 64.81  |
|      |          | P3      | 132.75 | 115.73 | -22.12 | -87.5  | 11.9   | 28.49  | 12.84  | 6.23   | 52.71  | 112.27 | 153.23 | 66.26  |
|      | SSP5-8.5 | P1      | 94     | 124.36 | 30.17  | -42.82 | 7.08   | 14.37  | 2.35   | 1.36   | 29.87  | 92.45  | 118.54 | 59.82  |
|      |          | P2      | 73.48  | 37.44  | -73.08 | -87.85 | 14.07  | 35.81  | 18.19  | 8.55   | 33.95  | 69.59  | 78.21  | 35.09  |
|      |          | P3      | 52.38  | -16.9  | -96.62 | -94.5  | 20.44  | 43.13  | 26.26  | 17.23  | 36.15  | 64.72  | 80.04  | 29.96  |
| ÇMT3 | SSP2-4.5 | P1      | 97.41  | 147.88 | 44.84  | -57.08 | 1.93   | 21.39  | 1.29   | -8.6   | 23.94  | 97.27  | 122.87 | 53.95  |
|      |          | P2      | 88.89  | 109.26 | -0.83  | -74.61 | 4.44   | 32.62  | 11.99  | -2.92  | 31.47  | 94.78  | 123.61 | 49.4   |
|      |          | P3      | 127    | 109.89 | -26.75 | -81.54 | 11.35  | 21.07  | 7.01   | 4.82   | 49.75  | 102.31 | 138.89 | 55.8   |
|      | SSP5-8.5 | P1      | 66.02  | 83.13  | -11.27 | -53.27 | 8.1    | 13.74  | -3.51  | -4.67  | 20.32  | 71.8   | 85.08  | 35.76  |
|      |          | P2      | 39.19  | -6.93  | -91.1  | -84.11 | 12.95  | 30.32  | 9.49   | -0.78  | 18.75  | 42.28  | 41.12  | 7.98   |
|      |          | P3      | 24.69  | -40.4  | -99.45 | -91.07 | 17.52  | 37.12  | 17.51  | 5.91   | 22.23  | 42.8   | 52.92  | 6.39   |
| ÇMT4 | SSP2-4.5 | P1      | 87.45  | 170.64 | 93.22  | -29.82 | -1.56  | 10.4   | -24.69 | -40.12 | 7.09   | 77.87  | 76.1   | 6.01   |
|      |          | P2      | 57.84  | 165.8  | 85.28  | -8.45  | -13.34 | 10.36  | -20.53 | -25.72 | 0.58   | 83     | 60.56  | 24.09  |
|      |          | P3      | 59.57  | 170.14 | 80.27  | -20.16 | -15.59 | 7.19   | -23.88 | -27.18 | 7.83   | 84.62  | 80.48  | 26.2   |
|      | SSP5-8.5 | P1      | 77.58  | 146.67 | 82.05  | -1.83  | 2.94   | 5.91   | -31.94 | -30.58 | 11.68  | 80.67  | 65.91  | 29.82  |
|      |          | P2      | 80.59  | 142.37 | 17.04  | -51.05 | -2     | 18.21  | -19.8  | -41.01 | 5.09   | 81.21  | 82.13  | 4.75   |
|      |          | P3      | 27     | 121.65 | -19.43 | -62.35 | -14.57 | 19.36  | -8.62  | -21.26 | -1.37  | 71.15  | 76.19  | 25.46  |

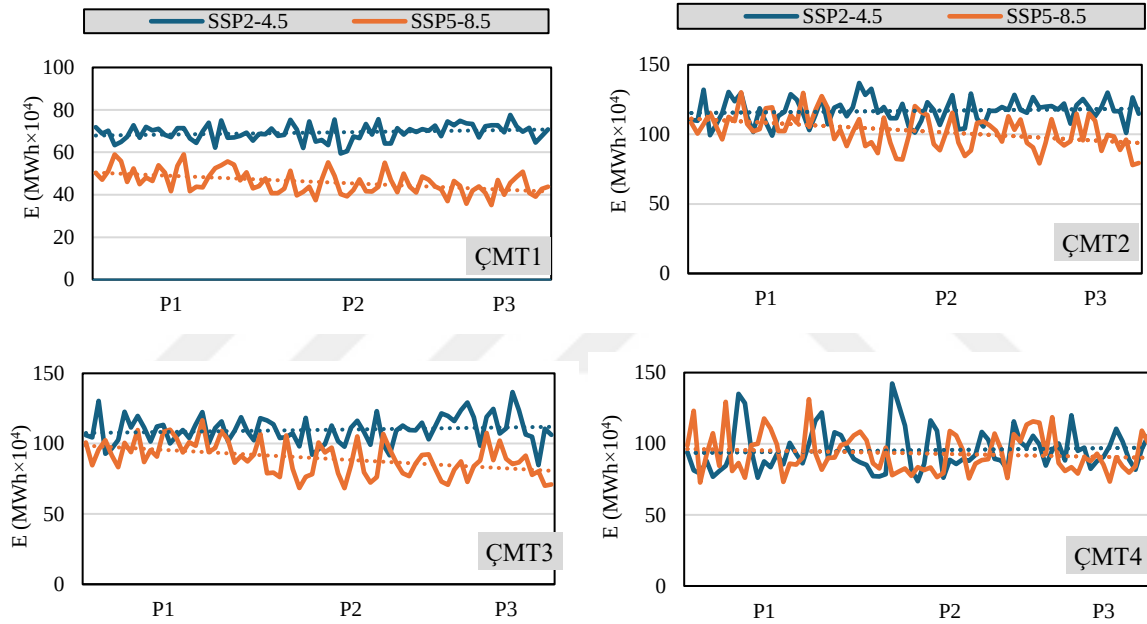


Tablo 24’te ÇMT1’in SSP2-4.5 senaryosu altında her üç periyotta üretilen enerji miktarının referans döneme göre yüzde olarak değişiminin en düşük olduğu aylar mayıs-eylül ile ve aralık ve ocak aylarıdır. SSP5-8.5 senaryosuna göre ise tüm aylarda azalmaların görülebilme olasılığının yanı sıra ocak, şubat ve mart aylarında bu değişimlerin daha yüksek olabileceği gözlenmiştir. ÇMT2, ÇMT3 ve ÇMT4’ün her iki senaryo ve her üç periyodunda da üretilen elektrik enerjisindeki artışların ocak, şubat, ekim, kasım ve aralık aylarında en yüksek olması beklenmektedir. Azalma yönündeki değişimlerin ise en yüksek olduğu ayların mart ve nisan aylarını takiben temmuz ve ağustos aylarında görülmesi beklenmektedir. Tüm ÇMT’ler beraber değerlendirildiğinde ÇMT1 haricinde diğer topluluk modellerinde enerji üretiminde beklenen azalış ve artışların çoğunlukla aynı aylarda ve aynı dönemlerde olması beklenmektedir. ÇMT1, ÇMT2 ve ÇMT3 modellerine göre şubat, mart ve nisan aylarında enerji üretiminde referans döneme kıyasla kötümser senaryo etkisinde %90'lara varabilen azalışların olabileceği görülmektedir. ÇMT4 için ise bu değer %60'lara kadar çıkabilmektedir. Ocak-şubat ve ekim-kasım aylarında gerçekleşmesi beklenen artışların iyimser senaryoda kötümser senaryoya göre daha fazla olması beklenmektedir. Genel eğilimin hidroelektrik üretiminde kış aylarında artış yaşanması beklenirken ilkbahar ve yaz aylarında azalmaların yaşanabileceği yönünde olduğu görülmektedir.



Şekil 42. SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına ait P1, P2 ve P3 dönemi için aylık ortalama elektrik enerjisi üretim değerleri

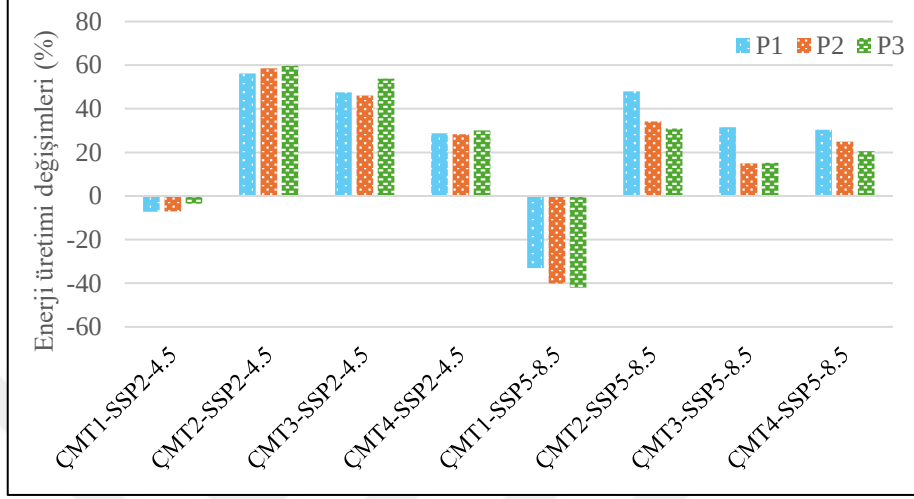
Şekil 42’de SSP2-4.5 senaryosu altında hem referans dönem hem de tüm ÇMT model çıktılarından P1, P2 ve P3 dönemi için şubat, mart ve nisan aylarında aylık üretilen ortalama enerji değerlerinin en düşük olduğu gözlenmiştir. SSP2-4.5 senaryosu için P1 ve P2 için ÇMT1’de ekim ayında, P3 için eylül ayında, SSP5-8.5 senaryosu için P1 döneminde eylül ayında, P2 ve P3 dönemlerinde ağustos ayında enerji üretiminin maksimum seviyede olması beklenmektedir. ÇMT2 ve ÇMT3’e ait SSP2-4.5 senaryosunda P1 ve P2 için ekim ayında, P3 için eylül ayında, SSP5-8.5 senaryosunda P1 için ekim, P2 ve P3 için eylül ayında üretimin maksimum olması beklenmektedir. ÇMT4’e göre ise her iki senaryo ve her üç periyot için de maksimum üretimin ekim ayında olması beklenmektedir.



Şekil 43. ÇMT’lerin SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına göre uzun yılları kapsayan yıllık toplam enerji üretim verilerine ait zaman serisi grafikleri

Şekil 43’te SSP2-4.5 senaryosuna göre ÇMT1 modelindeki tahmin edilen ileriye dönük üretilmiş verilerin yüzyıl sonuna kadar olan değişiminin az da olsa artış yönlü olduğu gözlenmiştir. Bu zaman serisindeki minimum değer 594597 MWh, maximum değer ise 776117 MWh’tir. SSP5-8.5 senaryosuna göre bu eğim anlamlı derecede azalan yönde olup zaman serisindeki minimum ve maksimum değerler sırasıyla 351327 ve 589722 MWh’tir. ÇMT2’deki SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarındaki minimum ve maksimum değerler sırasıyla 990678 ile 1369044 MWh ve 779372 ile 1301661 MWh’tir. ÇMT3’teki SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarındaki minimum ve maksimum değerler sırasıyla 847456 ile

1366583 MWh ve 683654 ile 1165998 MWh'tir. ÇMT4'teki SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarındaki minimum ve maksimum değerler sırasıyla 736520 ile 1423178 MWh ve 727238 MWh ile 1313036MWh'tir.



Şekil 44. Enerji üretim verilerinin referans döneme göre değişimleri (%)

Enerji üretim verilerinin ileriye dönük üretilmiş uzun yılları kapsayan yıllık toplam değerlerin ortalamasının, referans alınan dönemdeki yıllık toplam değerlerin ortalamasına göre değişimine göre ÇMT1 haricinde diğer tüm modellerde artışlar olacağı sonucuna varılmıştır. P1, P2 ve P3 periyotları için bu değişim iyimser senaryoda ÇMT1 için -%7, -7 ve -3; ÇMT2 için %56, 58 ve 59; ÇMT3 için %47, 46 ve 53; ÇMT4 için %28, 28 ve 30 olarak elde edilmiştir. Kötümser senaryoda ise bu değişimler ÇMT1 için -%33, -40 ve -41; ÇMT2 için %47, 34 ve 30; ÇMT3 için %31, 14 ve 15; ÇMT4 için %30, 24 ve 20'dir.

### 3.5. Sıcaklık, Yağış, Baraj Giriş Akımları ve Enerji Üretimine Ait Eğilim Analizi Bulguları

Çalışma kapsamında kullanılan sıcaklık, yağış, baraj giriş akımları ve enerji üretimine ait uzun yılları kapsayan verilerin Mann-Kendall eğilim analizi bulguları Tablo 25'te verilmektedir.

Tablo 25. Tüm parametrelerin uzun yılları kapsayan eğilim analizi bulguları

| Parametre | Senaryo  | Model | Kendall's tau | p değeri          | Sen Eğimi | Eğilim |
|-----------|----------|-------|---------------|-------------------|-----------|--------|
| T         | SSP2-4.5 | ÇMT1  | 0.066         | <b>0.003</b>      | 0.000     | ↑      |
|           |          | ÇMT2  | 0.079         | <b>0.000</b>      | 0.002     | ↑      |
|           |          | ÇMT3  | 0.079         | <b>0.000</b>      | 0.002     | ↑      |
|           |          | ÇMT4  | 0.075         | <b>0.001</b>      | 0.002     | ↑      |
|           | SSP5-8.5 | ÇMT1  | 0.131         | <b>&lt;0.0001</b> | 0.004     | ↑      |
|           |          | ÇMT2  | 0.129         | <b>&lt;0.0001</b> | 0.005     | ↑      |
|           |          | ÇMT3  | 0.129         | <b>&lt;0.0001</b> | 0.005     | ↑      |
|           |          | ÇMT4  | 0.129         | <b>&lt;0.0001</b> | 0.004     | ↑      |
| P         | SSP2-4.5 | ÇMT1  | -0.005        | 0.831             | 0.000     | -      |
|           |          | ÇMT2  | -0.008        | 0.709             | -0.001    | -      |
|           |          | ÇMT3  | -0.003        | 0.909             | 0.000     | -      |
|           |          | ÇMT4  | -0.002        | 0.928             | 0.000     | -      |
|           | SSP5-8.5 | ÇMT1  | -0.071        | <b>0.001</b>      | -0.003    | ↓      |
|           |          | ÇMT2  | -0.058        | <b>0.009</b>      | -0.008    | ↓      |
|           |          | ÇMT3  | -0.068        | <b>0.002</b>      | -0.008    | ↓      |
|           |          | ÇMT4  | -0.078        | <b>0.000</b>      | -0.005    | ↓      |
| Q         | SSP2-4.5 | ÇMT1  | -0.043        | <b>0.054</b>      | -0.016    | ↓      |
|           |          | ÇMT2  | -0.073        | <b>0.001</b>      | -0.049    | ↓      |
|           |          | ÇMT3  | -0.072        | <b>0.001</b>      | -0.046    | ↓      |
|           |          | ÇMT4  | -0.037        | <b>0.093</b>      | -0.023    | ↓      |
|           | SSP5-8.5 | ÇMT1  | -0.130        | <b>&lt;0.0001</b> | -0.056    | ↓      |
|           |          | ÇMT2  | -0.183        | <b>&lt;0.0001</b> | -0.150    | ↓      |
|           |          | ÇMT3  | -0.189        | <b>&lt;0.0001</b> | -0.150    | ↓      |
|           |          | ÇMT4  | 0.130         | <b>&lt;0.0001</b> | -0.083    | ↓      |
| E         | SSP2-4.5 | ÇMT1  | 0.034         | 0.130             | 3.369     | -      |
|           |          | ÇMT2  | 0.022         | 0.331             | 6.812     | -      |
|           |          | ÇMT3  | 0.023         | 0.306             | 6.978     | -      |
|           |          | ÇMT4  | 0.034         | 0.128             | 7.562     | -      |
|           | SSP5-8.5 | ÇMT1  | -0.059        | <b>0.008</b>      | -9.546    | ↓      |
|           |          | ÇMT2  | -0.047        | <b>0.038</b>      | -13.310   | ↓      |
|           |          | ÇMT3  | -0.058        | <b>0.010</b>      | -14.346   | ↓      |
|           |          | ÇMT4  | -0.043        | 0.054             | -0.016    | -      |

∴ Eğilim oluşmamıştır.

↑: Artan yönlü eğilim oluşmuştur.

↓: Azalan yönlü eğilim oluşmuştur.

Eğilim analizi sonucu üretilen p değeri eğilimin varlığını, iki yönlü p değeri ise test edilen hipotezin alternatiflere karşı anlamlı olup olmadığını kontrol etmektedir. Bu istatistik, serinin eğilim açısından hem pozitif hem de negatif yönde anlamlı farklılıklar gösterip göstermediğini değerlendirmektedir. Bu değer, belirlenen alfa anlamlılık seviyesi (0.05) ile karşılaştırılır. Örneğin,  $p < 0.05$  ise, ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu kabul edilmektedir. Tablo 25'e göre uzun yılları kapsayan genel bir değerlendirme yapıldığında P

değerinin tüm modeller için 0.05'ten küçük olması ve Sen Eğimi'nin pozitif değerleri almasının sonucu olarak elde edilen eğilime göre, sıcaklık parametresi için tüm ÇMT'ler ve her iki senaryo için de 2025-2100 yılları aralığında artış olabileceği gözlenmiştir. P değerinin  $<0.0001$  olarak ifade edildiği kısımlarda ise bu eğilimlerin çok daha anlamlı olabileceği sonucuna varılmaktadır. Yağış parametresi için ise iyimser senaryo etkisinde anlamlı bir değişim olmayacağı, kötümser senaryoya göre ise tüm modeller için azalış eğilimi olduğu belirlenmiştir. Baraj giriş akımlarında hem iyimser hem de kötümser senaryoya göre 2100 yılı sonuna kadar azalma eğilimi olacağı beklenmektedir. Üretilen hidroelektrik enerji değerlerinde ise iyimser senaryo etkisinde anlamlı bir değişim beklenmemesine karşın kötümser senaryo etkisinde modellerin çoğu için azalma eğilimlerinin görülmesi beklenmektedir.

### 3.6. Genel Değerlendirme

Yapılan çalışmanın önceki bölümlerinde yağış ve sıcaklık parametreleri için farklı ölçek indirgeme modelleri incelenmiştir. ERA5 yeniden analiz veri seti ile oluşturulan modellerden çıkarılan sonuç, YSA tabanlı modellerin genellikle KRA-DF, KRA-ÜF ve KRA-KF gibi regresyon tabanlı modellerden daha başarılı olduğunu göstermektedir. Bu farklılık, tahmin ediciler/tahmin edilenler ve aralarındaki ilişkilerde doğrusal olmayan bir bileşenin varlığıyla ilişkilidir (Hernanz vd. 2022). Ek olarak tüm ölçek indirgeme modellerinde sıcaklık parametresinin yağış parametresine kıyasla daha yüksek doğruluk gösterdiği tespit edilmiştir. Wilby vd. (2002), yağışın karmaşık bir değişken olduğunu ve doğal heterojenliğinin doğru simülasyon için zorluklar oluşturduğunu ileri sürmüştür. Ayrıca bazı çalışmalarda sıcaklık için açıklanan varyans yüzdesinin muhtemelen %70'i aşacağı da ifade edilmiştir. Yağışlarda ise bu değer %40'ın altında olabilmektedir (Mahmood & Babel, 2013; Nacar vd. 2022).

Çalışma kapsamında baraj havzası için hazırlanan grafik ve tablolar dikkate alındığında, beklenen en yüksek sıcaklık artışına sahip GDM'nin CNRM-CM6.1-HR olduğu sonucuna varılmıştır. Referans döneminden ve çalışma alanından elde edilen gözlem verilerine dayalı olarak yapılan değerlendirme, MRI-ESM2-0'ın tekil GDM'ler arasından en başarılı model olduğunu ortaya çıkarmıştır. Özellikle Türkiye sınırları içerisinde CMIP6 veri seti kullanılarak yapılan iklim çalışmalarının sayısı sınırlı olmakla birlikte, MRI-ESM2-0 modeli farklı çalışma alanlarındaki araştırmalar için de başarılı bulunmuştur (Bagcaci 2021;

Oruç 2022). Çalışmada kullanılan altı model arasından ACCESS-CM2 modelinin bu çalışma alanı için her iki parametre açısından da en az başarılı model olduğu sonucuna varılmıştır.

Oluşturulan ÇMT modelleri GDM'lerin belirsizliklerini ve zayıf yönlerini ortadan kaldırmaktadır. Yağış parametresi için ÇMT'lerin en başarılı model olarak kabul edilen MRI-ESM2-0 modelinden ve diğer tekli modellerden daha iyi performans göstermesi bu sonucu desteklemektedir (Nourani vd. 2019; Ahmed vd. 2020; Şeker & Gümüş, 2022). YSA yöntemini temel alan ÇMT1 modeli hata değerlerini diğer modellerden daha düşük olarak elde etmesi gerekçesiyle genel olarak daha doğru sonuçlar vermiş olsa da iyimser senaryoda maksimum ve minimum değerleri tahmin etmede yetersiz kalmıştır. YSA, öğrenme aşamasında hata değerlerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma alanı için oluşturulmuş ÇMT'ler kapsamlı şekilde değerlendirilirken hata değerlerinin yanı sıra modelin genelleme yeteneğinin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışmada YSA temelli ÇMT1 modelinde yağış parametresine ilişkin hata değerlerinin diğer modellere göre anlamlı derecede düşük olduğu görülmüştür. Ancak aylık değişimler incelendiğinde bu modelin tekil GDM etkilerini doğrudan yansıtan ÇMT2 ve ÇMT3 modellerinden farklı sonuçlar verdiği dikkat çekmektedir. Örneğin, çalışmadaki tüm tekil ve toplu modellerdeki genel eğilim, yaz sıcaklıklarında bir artış olduğunu, yağışların ise kışın arttığını ve yazın azaldığını göstermektedir. Ancak ÇMT1 modeli incelendiğinde, model sonuçlarının yıllık ortalamalarının diğer modellerle uyumlu olduğu ancak aylık değerlerde benzer bir sonuca varılamadığı görülmüştür. Kısacası istatistiksel ölçek küçültme yöntemi olarak her yönüyle başarılı olan YSA algoritması, aylık ve mevsimlik değerlendirme açısından ÇMT'lerin tam olarak geliştirilmesi konusunda çok uygun değildir (Ahmed vd. 2020; Yılmaz vd. 2024). Doğrusal olmayan ve karmaşık ilişkileri modelleme yeteneği ile bilinen ÇDURE algoritması da ÇMT4 modeli olarak bu çalışmaya dahil edilmiştir. ÇMT4 modelinin sonuçları değerlendirildiğinde, ÇMT2 ve ÇMT3'e kıyasla daha düşük hata değeri ve üstün tahmin performansı sağlamasına rağmen ÇMT1 kadar başarılı olamamıştır. Ortalama alınarak oluşturulan ÇMT2 ve özellikle korelasyon katsayılarının ağırlıklandırılarak oluşturulan ÇMT3 modellerinin, havzanın iklim değişikliğine karşı duyarlılığını daha iyi temsil ettiği ve açıklayabildiği gözlenmiştir.

SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarının uzun yıllık ortalamaları değerlendirildiğinde SSP5-8.5 senaryosundaki değişikliklerin daha geniş aralıkta değişkenlik gösterdiği ve daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca SSP2-4.5 senaryo çıktıları ile SSP5-8.5 senaryo çıktıları arasında her dönemde sıcaklık ve yağış açısından önemli bir fark olduğunu

söylemek mümkündür. Kötümser senaryoda ise daha fazla su stresi yaşanabileceği ve sıcaklık artışlarına bağlı olarak daha fazla kuraklık yaşanabileceği sonucuna varılabilmektedir. Bu farklılığın önemi de daha önceden yapılmış olan birçok çalışmada vurgulanmıştır (Bagcaci 2021; Gümüş vd. 2023).

Seçilen baraj alanı için ölçek indirgeme modelleri veya iklim verilerinin en güncel arşivini kapsayan CMIP6 veri setleri kullanılarak, baraj giriş akımlarının ve elektrik enerjisi üretim verilerinin tahmin modelleri kurularak değerlendirildiği daha önceden yapılmış herhangi bir iklim projeksiyon çalışmasına rastlanmaması sebebiyle başka çalışmalarla yapılacak olan karşılaştırma birebir objektif olmayacaktır. Bu nedenle, az sayıda olmasına rağmen havza ve ülke düzeyinde yapılan çalışmalardan çıkarımlar yapılarak bulgular desteklenmiştir. Örneğin, CMIP5 veri setinde bulunan üç farklı GDM kullanılarak 2016 yılında tüm Kızılırmak Havzası'nda sıcaklık ve yağış parametrelerinin kullanıldığı bir çalışmada, 5,8 °C'ye varan potansiyel artışların yaşanmasının muhtemel olabileceği vurgulanmıştır (URL-6, 2024). Yağış parametresi için, yıllık toplam değerlerde önemli bir artış veya azalış görülmezken, yaşanabilecek en yüksek düşüşlerin yüzyılın sonunda görülebileceği vurgulanmıştır. Kullanılan senaryolar ve GDM'ler bu çalışmaya göre farklı ve önceki versiyonlar olsa da genel eğilimin bu çalışmadakiyle aynı yönde olduğu görülmüştür. Çalışma alanının ülke düzeyinde Türkiye olarak seçildiği bir başka çalışmada uygulanan iklim projeksiyonları dikkate alındığında, 21. yüzyılın sonuna doğru yağış azalmalarında referans döneme bağlı olarak yaklaşık %20 ile %40 arasında bir değişim olacağı öngörülmüştür. Bunun yanı sıra Karadeniz Bölgesi'nde kış yağışlarındaki artışın önemli boyutlarda olabileceği vurgulanmıştır (Yavaslı & Erhat, 2023). Bu çalışmada da bu duruma paralel olarak MIROC6 modelleri hariç tüm tekil modellerde kış yağışlarında belirli artışların meydana gelebileceği sonucuna varılmıştır.

Baraj giriş akım tahmin modellerinin yağış ve sıcaklığa bağlı olarak ÇDURE yöntemi ile oluşturulan sonuçlarına göre tüm ÇMT'lerin etkisinde iklim değişikliği etkisi değerlendirilmiştir. Baraj giriş akımlarının ileriye dönük tahmin verileri, iklim değişikliğinin sıcaklık ve yağış üzerine olan etkisinden türetilmiştir. Elde edilen bulgulara göre aylık ve mevsimlik olarak genel bir değerlendirme yapıldığında, ortalama akımların mart ve nisan olmak üzere ilkbahar aylarında maksimum seviyede olması bahar geldiğinde ısınan havanın etkisiyle kış aylarında birikmiş olan karların erimesi ve eriyen karların sıvı hale gelip akarsu havzalarına ulaşması ile açıklanabilir. Baraj havzası için her iki senaryo etkisinde üretilmiş gelecek dönem aylık ortalama sıcaklık değerlerinde olması beklenen artışlar da bu çıkarımı

desteklemektedir. ÇMT1 modeli haricinde yağışlarda artışların olması beklenen aylar olan ocak-mayıs aralığında akışlarda da artışların görülmesinin beklenmesi sonucu çıkarılabilmektedir. Aynı zaman dilimi içerisinde sıcaklıklarda düşük miktarda artışların beklenmesine rağmen baraj giriş akımlarında da artışların beklenmesi, baraj yüzeyindeki buharlaşmanın akışa geçen kar erimesinden daha az önemli olabileceği anlamına gelebilmektedir. Sıcaklık artışlarının ve yağıştaki azalma miktarının en fazla olması beklenen haziran-temmuz-ağustos aylarında baraj giriş akımlarının da en az seviyede olmasının beklenmesi, sonuçların birbirini tamamlar nitelikte olduğunu göstermektedir. Baraj giriş akımlarının pik değerlerini gösteren nisan-mayıs aylarında ÇMT1 dışında diğer tüm modellerde her iki senaryo için de referans döneme göre anlamlı derecede artışların görülmesi beklenmektedir. Aylık ortalama baraj giriş akımlarında üç ayrı periyot için değerlendirme yapıldığında, iyimser senaryo etkisinde referans döneme göre hesaplanan değişikliklerde anlamlı bir azalma beklenmemesine karşın kötümser senaryodaki değişimlerin azalma yönünde olabileceği tahmin edilmiş ve yüzyıl sonuna kadar olan uzun dönem için (2025-2100) yapılan değerlendirmede ise her iki senaryo için de eğilim analizinde anlamlı azalmaların ortaya çıktığı gözlenmiştir. Bu durumun kötümser senaryoya göre yağışlarda azalma ve sıcaklıklarda artma etkisinin derecesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

İklim değişikliği etkisi altında incelenen yağış, sıcaklık ve akım parametrelerine bağlı olarak kurulan hidroelektrik enerji üretim tahmin modellerinden elde edilen bulgular, enerji üretiminin yılın farklı aylarında tekdüze olmayan bir eğilime sahip olduğunu göstermiştir. Referans alınan 2013-2023 dönemine göre elektrik enerjisi üretim verilerinde, gelecek döneme ait üç ayrı periyotta da ÇMT1 modeli hariç ekim, kasım, aralık, ocak ve şubat aylarında en fazla artışların olması öngörülmürken, azalış değerlerinin gözleneceği ayların ise mart ve nisan olacağı öngörülmektedir. Yıllık toplam değerlerin uzun yıllar ortalaması dikkate alındığında ÇMT1 modeli hariç diğer üç dönem için referans alınan döneme kıyasla elektrik enerjisi üretim değerlerinde artışların olması beklenmektedir. Tahmin modeli sonucunda üretilen uzun yılları kapsayan enerji üretim verileri değerlendirildiğinde SSP2-4.5 senaryosuna göre önemli bir artış veya azalma eğiliminin olmayacağı beklenmektedir. Ancak SSP5-8.5 senaryosunda enerji üretim değerlerinde yüzyıl sonuna doğru azalma eğiliminin olması beklenmektedir. Kötümser senaryoda daha belirgin olan bu eğilim nedeniyle hidroelektrik enerji üretiminin değişimi, iklim değişikliğine karşı duyarlıdır sonucuna varılabilmektedir (Zhong vd. 2020).

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Türkiye'nin kuzeyinde yer alan ve hidroelektrik enerji üretimi açısından kayda değer bir önem taşıyan Altinkaya Baraj Havzası'nda, küresel iklim değişikliğinin gelecekteki sıcaklık ve yağış eğilimleri üzerindeki potansiyel etkiler ve bu parametrelere bağlı olarak oluşturulan tahmin modelleri ile baraj giriş akımlarında ve hidroelektrik enerji üretiminde gelecekte olması beklenen değişimler incelenmiştir.

İklim değişikliğinin bölgesel etkilerinin belirlenmesinde en sık kullanılan yöntemlerden biri küresel ölçekli GDM çıktılarının bölgesel ölçeğe indirgenmesini içermektedir. Bu amaçla en güncel iklim projeksiyon arşivi CMIP6 bünyesinde bulunan altı farklı GDM'den elde edilen çıktılar seçilmiştir. Bu modeller arasında CNRM-CM6-1, GFDL-ESM4, MRI-ESM2-0, CNRM-CM6-1-HR, MIROC6 ve ACCESS-CM2 bulunmaktadır. Seçilen GDM'lerin ölçeği küresel ölçekten bölgesel ölçeğe indirgenmiş, tarihsel dönem bir referans senaryoyla, gelecek dönem ise iyimser (SSP2-4.5) ve kötümser senaryolarla (SSP5-8.5) temsil edilmiştir. Ölçek indirgeme teknikleri olarak KRA ve YSA yöntemleri kullanılmıştır. Bu modellerde girdi verisi olarak ERA5 yeniden analiz veri seti kullanılmış olup, çıktı verileri ise baraj havzasını en iyi temsil ettiği düşünülen ve en az otuz yıllık gözlem verilerine sahip istasyonlardan alınan 1980-2014 dönemine ait yağış ve sıcaklık verilerinden oluşmaktadır. Her istasyonun kontrol alanı Thiessen poligonları kullanılarak belirlenmiştir. Model çıktıları çeşitli istatistikler kullanılarak karşılaştırılmış ve en iyi sonuçları veren ölçek indirgeme modeli kullanılarak referans ve gelecek dönem GDM verileri oluşturulmuştur. Daha sonra bu veriler yanlışlık düzeltmesine tabi tutularak üç ayrı dönem olarak incelenmiştir. Referans dönemi senaryo çıktılarına göre tekil GDM'lerin performans sıralamaları belirlenmiştir. Kullanılan altı tekil GDM'nin farklı yöntemlerle birleştirilmesiyle dört topluluk modeli (ÇMT1, ÇMT2, ÇMT3 ve ÇMT4) oluşturulmuştur. Çalışmanın sonraki aşamalarında ise iklim etkisi altında ÇMT'lerden üretilmiş yağış ve sıcaklık verilerinden ÇDURE yöntemi kullanılarak baraj giriş akımları için tahmin modelleri oluşturulmuştur. İleriye dönük akım verileri üretildikten sonra, 2013-2023 yıllarını kapsayan referans dönemine ait akım, sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak TPAFFNN-LSTM yöntemiyle geleceğe yönelik enerji üretim tahmin modeli oluşturulmuştur. Tahmin modeli bulgularına dayanarak tüm ÇMT'lerin etkisinde geleceğe yönelik hidroelektrik enerji üretim

değerleri değerlendirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bulgular ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Yeniden analiz verileri kullanılarak kurulan ölçek indirgeme modellerinden elde edilen bulgulara göre, sıcaklık değişkeninin yağış değişkenine göre daha yüksek doğruluğa sahip olduğu gözlenmiştir. Sıcaklık parametresi için NSE indeksi 0.98 ile ‘çok iyi’ aralığında olarak değerlendirilirken, yağış parametresi için bu değer 0.57 ile ‘yeterli’ olarak elde edilmiştir.
- KRA ve YSA yöntemlerinin ölçek indirgeme modelleri sürecinde kullanılmasında YSA ile oluşturulan modellerde, KRA ile oluşturulanlara kıyasla daha düşük hata değerleri elde edilmiştir.
- Altinkaya Baraj Havzası için tekil GDM’ler arasından hem yağış hem de sıcaklık parametresi için MRI-ESM2-0 modeli en yüksek, ACCESS-CM2 modeli ise en düşük performansı göstermiştir.
- GDM ile oluşturulan topluluk modellerinin, sıcaklık parametresi için çoğunun yağış parametresi için ise tümünün tekil modellere göre daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Tekil GDM’lerin ve yaklaşık tüm topluluk modellerinin yüzyıl sonlarına doğru sıcaklıkta artan eğilim, yağışta ise yalnızca kötümser senaryo için azalan bir eğilim göstermesi beklenmektedir. Ancak ÇMT1 ve ÇMT4 modellerinde, ÇMT2 ve ÇMT3 modellerine kıyasla aylık ve mevsimlik düzeyde farklılıklar görülmektedir.
- Oluşturulan ÇMT modelleri arasından YSA tabanlı ÇMT1 uzun yıllık ortalamalar bazında en düşük hata değerine sahip olmasına rağmen, ÇMT1’in GDM’leri aylık ve mevsimlik olarak iyi temsil edemediği ve maksimum ve minimum değerleri yansıtmada konusunda yetersiz kaldığı görülmüştür. YSA yönteminin ölçek indirgeme modeli olarak her yönüyle uygun olmasına karşın topluluk modeli oluşturma konusunda her yönüyle başarı sağlayamadığı sonucuna varılmıştır. Aylık ve mevsimlik bazda yapılacak olan değerlendirmeler için GDM’ler etkisinde baraj havzasını en iyi temsil eden modelin korelasyon katsayılarının ağırlıklandırılmasıyla oluşturulan ÇMT3 olduğu görülmüştür.
- Baraj havzasında projeksiyon dönemi boyunca GDM’lerin gelecek verileri incelendiğinde, sıcaklık verilerindeki artışın iyimser senaryoda yaklaşık 0-3 °C, kötümser senaryoda ise yaklaşık 4-7 °C olması beklenmektedir. Bulgular, yağış verileri için iyimser senaryo altında artışlar ve azalışlar olmasını öngörürken,

kötümser senaryo altında iyimser senaryoya kıyasla yağış eksikliğinin daha baskın olacağına işaret etmektedir. Aylık ve mevsimlik bazda yapılan değerlendirmelere göre yağış verilerinde yaz aylarında belirgin şekilde düşüşlerin, sonbahar ve kış aylarında ise artışların yaşanmasının muhtemel olabileceği sonucu ortaya çıkmıştır. Yağıştaki yüzde değişimleri her bir tekil model ve ÇMT için artış ve azalış yönlü farklılıklar gösterse de kötümser senaryoya göre uzun yıllar toplam yağış değerlerinde %15'lere varan azalmaların olabileceği öngörülmektedir.

- Baraj giriş akım tahmin modellerindeki girdi kombinasyonları arasından en iyi model 'geriye doğru eleme' yöntemi ile oluşturulmuş M2 modeli olmuştur.
- ÇDURE yöntemi ile oluşturulan baraj giriş akım tahmin modeli performansının 'iyi' olarak adlandırılan aralıkta olduğu saptanmıştır.
- Havzanın topografyası, toprak tipi ve bitki örtüsü gibi arazi ile ilgili etmenlerin yanı sıra buharlaşma, hidrolojik gecikme, iklimik faktörler, baraj işletim kurallarının da etkisinden dolayı yağış ve sıcaklıkta olması beklenen değişikliklerin çoğu zaman olsa da her zaman akım ve enerji üretimi ile eş zamanlı olarak paralel etkiyi göstermediği gözlenmiştir.
- Yağış, sıcaklık ve akım verilerinin girdi olarak kullanıldığı elektrik enerjisi üretim tahmin modellerinin FFNN, LSTM ve TPAFFNN-LSTM gibi yöntemler ile yeterli düzeyde başarı ile tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu yöntemler arasından karmaşık tahmin modellerindeki zorlu süreçlerin üstesinden gelmek için tasarlanmış yenilikçi bir hibrit DL yaklaşımı olan TPAFFNN-LSTM yönteminin başarısı diğer yöntemlere kıyasla daha yüksektir.
- Enerji üretiminde referans dönemde maksimum değerlerin ağustos-eylül aylarında olduğu gözlemlenirken ileriye dönük tahmin edilen değerlerde pik seviyelerin eylül-ekim aylarına doğru kayması beklenmektedir. Referans dönemde mart-nisan aylarında görülen minimum değerlerin 2085 yılı sonrasını temsil eden P3 dönemi ve özellikle kötümser senaryo için daha da düşeceği beklenmektedir.
- İleriye dönük üretilen verilerde baraj giriş akımlarının maksimum olduğu ilkbahar aylarında elektrik enerjisi üretim değerlerinin minimum olduğu gözlenmiştir. Enerji üretiminde arz-talep yönetimi esas alındığından bu dönemde enerji üretimi minimum seviyede tutulabilmektedir. Bu durumun barajlarda soğuk havalarda ısınma amaçlı yüksek talep ve sıcak havalarda soğutma amaçlı su seviyelerinin düşük olma riski nedeniyle, suyun etkin yönetimi için yüksek akımların

depolanması amacıyla kullanılabileceği, baraj işletme politikaları ve enerji üretim stratejileri ile ilgili olabileceği düşünülmektedir.

- İklim etkisinin daha şiddetli hissedildiği kötümser senaryoya bağlı olarak ileriye dönük üretilen baraj giriş akımı aylık ortalama değerlerinin iyimser senaryoya göre belirlenen kısa periyotlar aralığında %10-30 oranında azalabileceği, uzun yılları kapsayan periyotta ise yüzyıl sonuna kadar %22 oranında azalabileceği öngörülmektedir. Aynı koşullarda elektrik üretim değerlerinde ise belirlenen kısa periyotlar için bu azalmanın %11-25, tüm yılları kapsayan uzun periyot için ise %19 olması beklenmektedir.
- 2100 yılına kadar olan, uzun yılları kapsayan periyot göz önünde bulundurulduğunda, yıllık toplam değerlerin eğilim analizi bulgularına dayalı olarak, sıcaklık değerlerinde hem iyimser hem de kötümser senaryolar için artış eğilimi, baraj giriş akım değerlerinde hem iyimser hem de kötümser senaryolar için azalış eğilimi, yağış ve elektrik üretim değerlerinin ise yalnızca kötümser senaryo etkisinde azalış eğilimi olması beklenmektedir.

## 5. ÖNERİLER

Çalışma kapsamında, Altinkaya Baraj Havzası için iklim değişikliği etkisinin yağış, sıcaklık, akım ve hidroelektrik enerji üretimi üzerindeki değişimleri incelenmiştir. Bu çalışmanın bulgu ve sonuçlarına dayanarak, gelecekteki çalışmalara katkı sağlaması amacıyla çalışma ile ilgili öneriler aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır.

- Modellemeye dayalı uygulanan çalışmalarda başarıyı arttıran en önemli etken verilerin sık aralıklarla, düzenli ve eksiksiz temin edilebilmesidir. Çalışmada yağış, sıcaklık, akım, enerji üretimi gibi çeşitli veriler farklı kurumlar tarafından temin edilmiştir. Bu parametrelerin doğru bir şekilde modellenebilecek kadar yeterli uzunluğa sahip olması ve bazı parametrelerin ortak yılları kapsamı, çalışma alanının uygunluğu da göz önünde bulundurularak karar verilmesi gereken zaman alıcı ve en zor süreçlerden biridir. Dolayısıyla iklim değişikliği etkisinin farklı parametreler üzerindeki etkisinin incelenmesi konulu çalışmalarda, çalışma alanı seçimi için ayrıntılı bir ön analiz yapılması önerilmektedir.
- Baraj havzasına ölçek indirgeme modelleri uygulanırken literatürde sıklıkla sıcaklık ve yağış parametrelerinin kullanıldığı gözlenmiş olsa da bu aşamada nem, jeopotansiyel yükseklik vb. gibi farklı atmosferik değişkenler (tahminleyiciler) de kullanılarak modeldeki bağımsız değişken sayısının artırılması mümkündür.
- Çalışma kapsamında daha önceden yapılmış farklı çalışmalar dikkate alınarak seçilmiş CMIP6 arşivinde bulunan altı farklı GDM kullanılmıştır. Baraj havzasını temsil ettiği düşünülen farklı GDM'lere ait çıktılar kullanılarak bu modellerdeki veri setlerinin de etkisinin incelenmesi mümkündür.
- Baraj giriş akımı tahmin modelleri oluşturulurken makine öğrenme tekniklerinin yerine HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System), VIC (Variable Infiltration Capacity) ve SWAT (Soil and Water Assessment Tool) gibi fiziksel modeller de kullanılabilir.
- Elektrik enerjisi üretim tahmin modelleri oluşturulurken farklı makine öğrenme tekniklerinden veya hibrit DL algoritmalarından faydalanılabilir.
- Çalışma kapsamında iklim değişikliğinin gelecekteki hidroelektrik enerji üretimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yine iklim değişikliği etkisi altında müstakbel

nüfusa bağılı olarak elektrik enerjisi talebine yönelik çalışmaların yanı sıra arz ve talep arasındaki dengenin incelendiğı farklı çalışmaların da yapılması mümkündür.

- Modellemeye dayalı olarak üretilmiş olan yağış, sıcaklık, akım ve elektrik enerjisi üretim verilerine ait farklı eğilim analizleri uygulanabilir ve kıyaslanabilir. Bu analizlerin yanı sıra baraj havzası için kuraklık analizleri de yapılabilir.
- Su kaynakları yönetimi, planlaması ve sürdürülebilir kullanımı için su bütçesi modeli oluşturulabilir.



## 6. KAYNAKLAR

- Abu-Ali, H., Nabok, A., & Smith, T. J. (2019). Electrochemical inhibition bacterial sensor array for detection of water pollutants: artificial neural network (ANN) approach. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 411, 7659-7668.
- Adnan, R. M., Liang, Z., Parmar, K. S., Soni, K., & Kisi, O. (2021). Modeling monthly streamflow in mountainous basin by MARS, GMDH-NN and DENFIS using hydroclimatic data. *Neural Computing and Applications*, 33, 2653-2671.
- Ahmad, S., & Simonovic, S. P. (2005). An artificial neural network model for generating hydrograph from hydro-meteorological parameters. *Journal of Hydrology*, 315(1-4), 236-251.
- Ahmed K, Sachindra DA, Shahid S, Iqbal Z, Nawaz N, Khan N (2020). Multi-model ensemble predictions of precipitation and temperature using machine learning algorithms. *Atmospheric Research*, 236, 104806.
- Aksoy, F. (2023). *İklim değişikliğinin sosyoekonomik etkilerinin modellenmesini geliştirmek için bir çerçeve*. Bursa Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Bursa.
- Alrayess, H. M., & Keskin, A. Ü. (2021). Forecasting the hydroelectric power generation of GCMs using machine learning techniques and deep learning (Almus Dam, Turkey). *Geofizika*, 38(1), 1-14.
- Alemu, Z. A., & Dioha, M. O. (2020). Climate change and trend analysis of temperature: the case of Addis Ababa, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 9, 1-15.
- Alrayess, H., Gharbia, S., Beden, N., & Keskin, A. U. (2018). Using machine learning techniques and deep learning in forecasting the hydroelectric power generation in almus dam, turkey. *5th International Symposium on Dam Safety*, s. 635-647. İstanbul.
- Anandhi, A., Srinivas, V. V., Nanjundiah, R. S., & Nagesh Kumar, D. (2008). Downscaling precipitation to river basin in India for IPCC SRES scenarios using support vector machine. *International Journal of Climatology*, 28(3), 401-420.
- Antonopoulos, I., Robu, V., Couraud, B., Kirli, D., Norbu, S., Kiprakis, A., ... & Wattam, S. (2020). Artificial intelligence and machine learning approaches to energy demand-side response: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, 109899.
- Aziz, R., Yucel, I., & Yozgatligil, C. (2020). Nonstationarity impacts on frequency analysis of yearly and seasonal extreme temperature in Turkey. *Atmospheric Research*, 238, 104875.

- Babur, M., Babel, M. S., Shrestha, S., Kawasaki, A., & Tripathi, N. K. (2016). Assessment of climate change impact on reservoir inflows using multi climate-models under RCPs—The case of Mangla Dam in Pakistan. *Water*, 8(9), 389.
- Baghanam, A. H., Eslahi, M., Sheikhabaei, A., & Seifi, A. J. (2020). Assessing the impact of climate change over the northwest of Iran: an overview of statistical downscaling methods. *Theoretical and Applied Climatology*, 141(3), 1135-1150.
- Bagcaci, S. Ç., Yucel, I., Duzenli, E., & Yilmaz, M. T. (2021). Intercomparison of the expected change in the temperature and the precipitation retrieved from CMIP6 and CMIP5 climate projections: A Mediterranean hot spot case, Turkey. *Atmospheric Research*, 256, 105576.
- Baki, O.T., Aras, E., Akdemir, U. O., & Yilmaz, B. (2019). Biochemical oxygen demand prediction in wastewater treatment plant by using different regression analysis models. *Desalination and Water Treatment*, 157, 79-89.
- Beyene, T., Lettenmaier, D. P., & Kabat, P. (2010). Hydrologic impacts of climate change on the Nile River Basin: implications of the 2007 IPCC scenarios. *Climatic Change*, 100(3), 433-461.
- Bhattarai, U., Devkota, L. P., Marahatta, S., Shrestha, D., & Maraseni, T. (2022). How will hydro-energy generation of the Nepalese Himalaya vary in the future? A climate change perspective. *Environmental Research*, 214, 113746.
- Bulut, M. (2021). Covid-19 Sürecinin Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 18-28.
- Bulut, M. (2021). Hydroelectric generation forecasting with long short term memory (LSTM) based deep learning model for Turkey. *arXiv preprint arXiv:2109.09013*.
- Cai, X., Ye, F., & Gholinia, F. (2020). Application of artificial neural network and Soil and Water Assessment Tools in evaluating power generation of small hydropower stations. *Energy Reports*, 6, 2106-2118.
- Cannon, A. J., Sobie, S. R., & Murdock, T. Q. (2015). Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: how well do methods preserve changes in quantiles and extremes? *Journal of Climate*, 28(17), 6938-6959.
- Chang, K. L., Schultz, M. G., Koren, G., & Selke, N. (2023). Guidance note on best statistical practices for TOAR analyses. *arXiv preprint arXiv:2304.14236*.
- Chen, J., Brissette, F. P., Chaumont, D., & Braun, M. (2013). Finding appropriate bias correction methods in downscaling precipitation for hydrologic impact studies over North America. *Water Resources Research*, 49(7), 4187-4205.
- 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.

- Chen, H., Sun, J., Lin, W., & Xu, H. (2020). Comparison of CMIP6 and CMIP5 models in simulating climate extremes. *Science Bulletin*, 65(17), 1415-1418.
- Chernet HH, Alfredsen K, Midttømme GH (2014). Safety of hydropower dams in a changing climate. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3):569–582.
- Chilkoti, V., Boliseti, T., & Balachandar, R. (2017). Climate change impact assessment on hydropower generation using multi-model climate ensemble. *Renewable Energy*, 109, 510-517.
- Cliff, O. M., Novelli, L., Fulcher, B. D., Shine, J. M., & Lizier, J. T. (2021). Assessing the significance of directed and multivariate measures of linear dependence between time series. *Physical Review Research*, 3(1), 013145.
- Crane, R. G., & Hewitson, B. C. (1998). Doubled CO<sub>2</sub> precipitation changes for the Susquehanna Basin: Down-scaling from the Genesis general circulation model. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 18(1), 65-76.
- Dabanlı, İ. (2017). *Türkiye’de iklim değişikliğinin yağış-sıcaklığa etkisi ve kuraklık analizi: Akarçay örneği*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi, İstanbul.
- Dai, A., Rasmussen, R. M., Ikeda, K., & Liu, C. (2020). A new approach to construct representative future forcing data for dynamic downscaling. *Climate Dynamics*, 55, 315-323.
- Demirbaş, M., & Aydın, R. (2020). 21. Yüzyılın en büyük tehdidi: küresel iklim değişikliği. *Ecological Life Sciences*, 15(4), 163-179.
- Demircan, M., Gürkan, H., Eskioğlu, O., ARABACI, H., & Coşkun, M. (2017). Climate change projections for Turkey: three models and two scenarios. *Turkish Journal of Water Science and Management*, 1(1), 22-43.
- Dey, A., Sahoo, D. P., Kumar, R., & Remesan, R. (2022). A multimodel ensemble machine learning approach for CMIP6 climate model projections in an Indian River basin. *International Journal of Climatology*, 42(16), 9215-9236.
- Dmitrieva, K. (2015). *Forecasting of a hydropower plant energy production*, Østfold Üniversite Koleji, Yüksek Lisans Tezi, Norveç.
- Douglas, E. M., Vogel, R. M., & Kroll, C. N. (2000). Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. *Journal of Hydrology*, 240(1-2), 90-105.
- Elias, K., & Miegel, K. (2018). Assessment of the impact of climate change on future hydropower production from Koka Reservoir under two representative concentration pathways (RCP) emission scenarios. *International Journal of Energy and Water Resources*, 2, 49-62.

- Feng, Y., Zhou, J., Mo, L., Yuan, Z., Zhang, P., Wu, J., ... & Wang, Y. (2018). Long-term hydropower generation of cascade reservoirs under future climate changes in Jinsha River in Southwest China. *Water*, 10(2), 235.
- Fistikoglu, O., & Okkan, U. (2011). Statistical downscaling of monthly precipitation using NCEP/NCAR reanalysis data for Tahtali River Basin in Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(2), 157-164.
- Friedman, J. H. (1991). Multivariate adaptive regression splines. *The Annals of Statistics*, 19(1), 1-67.
- Fujihara, Y., Tanaka, K., Watanabe, T., Nagano, T., & Kojiri, T. (2008). Assessing the impacts of climate change on the water resources of the Seyhan River Basin in Turkey: Use of dynamically downscaled data for hydrologic simulations. *Journal of Hydrology*, 353(1-2), 33-48.
- Ganguli, P., & Ganguly, A. R. (2016). Space-time trends in US meteorological droughts. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 8, 235-259.
- Goyal, M. K., & Ojha, C. S. P. (2012). Downscaling of surface temperature for lake catchment in an arid region in India using linear multiple regression and neural networks. *International Journal of Climatology*, 32(4), 552-566.
- Gurney, K. R., Kılıç, Ş., Seto, K. C., Lwasa, S., Moran, D., Riahi, K., ... & Luqman, M. (2022). Greenhouse gas emissions from global cities under SSP/RCP scenarios, 1990 to 2100. *Global Environmental Change*, 73, 102478.
- Gütschow, J., Jeffery, M. L., Günther, A., & Meinshausen, M. (2021). Country-resolved combined emission and socio-economic pathways based on the Representative Concentration Pathway (RCP) and Shared Socio-Economic Pathway (SSP) scenarios. *Earth System Science Data*, 13(3), 1005-1040.
- Haider, S., Masood, M. U., Rashid, M., Alshehri, F., Pande, C. B., Katipoğlu, O. M., & Costache, R. (2023). Simulation of the potential impacts of projected climate and land use change on runoff under CMIP6 scenarios. *Water*, 15(19), 3421.
- 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*, 19(9), 05014009.
- Hanoon, M. S., Ahmed, A. N., Razzaq, A., Oudah, A. Y., Alkhayyat, A., Huang, Y. F., & El-Shafie, A. (2023). Prediction of hydropower generation via machine learning algorithms at three Gorges Dam, China. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(4), 101919.
- Hasson, S., Böhner, J., & Lucarini, V. (2017). Prevailing climatic trends and runoff response from Hindukush–Karakoram–Himalaya, upper Indus Basin. *Earth System Dynamics*, 6(2), 337-355.

- He, M., Chen, Y., Sun, H., & Liu, J. (2023). Projected Changes in Precipitation Based on the CMIP6 Optimal Multi-Model Ensemble in the Pearl River Basin, China. *Remote Sensing*, 15(18), 4608.
- Hernanz, A., García-Valero, J. A., Domínguez, M., Ramos-Calzado, P., Pastor-Saavedra, M. A., & Rodríguez-Camino, E. (2022). Evaluation of statistical downscaling methods for climate change projections over Spain: present conditions with perfect predictors. *International Journal of Climatology*, 42, 762-776.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... & Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999-2049.
- IEA, (2012). Medium-Term Renewable Energy Market Report, Uluslararası Enerji Ajansı.
- Iliadis, L. S., & Maris, F. (2007). An artificial neural network model for mountainous water-resources management: the case of Cyprus mountainous watersheds. *Environmental Modelling & Software*, 22(7), 1066-1072.
- IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, et al.]*. Cambridge, United Kingdom.
- Isinkaralar, O., Isinkaralar, K., Sevik, H., & Küçük, Ö. (2024). Spatial modeling the climate change risk of river basins via climate classification: a scenario-based prediction approach for Türkiye. *Natural Hazards*, 120(1), 511-528.
- Islam, A., Ahuja, L. R., Garcia, L. A., Ma, L., & Saseendran, A. S. (2012). Modeling the effect of elevated CO<sub>2</sub> and climate change on reference evapotranspiration in the semi-arid Central Great Plains. *Transactions of the ASABE*, 55(6), 2135-2146.
- Jakimavičius, D., Adžgauskas, G., Šarausienė, D., & Kriaučiūnienė, J. (2020). Climate change impact on hydropower resources in gauged and ungauged Lithuanian river catchments. *Water*, 12(11), 3265.
- Javed, U., Fraz, M. M., Mahmood, I., Shahzad, M., & Arif, O. (2020). Forecasting of electricity generation for hydro power plants. *17th International Conference on Smart Communities: Improving Quality of Life Using ICT, IoT and AI (HONET)*, s. 32-36
- Jiang D, Hu D, Tian Z,& Lang X (2020). Differences between CMIP6 and CMIP5 models in simulating climate over China and the east Asian monsoon. *Advances in Atmospheric Sciences*, 37, 1102–1118.
- Kara, F., Yucel, I., & Akyurek, Z. (2016). Climate change impacts on extreme precipitation of water supply area in Istanbul: use of ensemble climate modelling and geo-statistical downscaling. *Hydrological Sciences Journal*, 61(14), 2481-2495.
- Kendall, M., G., (1975). Rank Correlation Methods, Charless Griffin, London.

- Kırdemir, U., & Okkan, U. (2019). Farklı yanlılık düzeltme yöntemlerinin istatistiksel ölçeğe indirgenmiş yağış projeksiyonlarına uygulanması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 868-881.
- Kisi, O., & Parmar, K. S. (2016). Application of least square support vector machine and multivariate adaptive regression spline models in long term prediction of river water pollution. *Journal of Hydrology*, 534, 104-112.
- Kohonen, T. (1988). An introduction to neural computing. *Neural Networks*, 1(1), 3-16.
- Konapala, G., Mishra, A. K., Wada, Y., & Mann, M. E. (2020). Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation. *Nature Communications*, 11(1), 3044.
- Kratzert, F., Klotz, D., Brenner, C., Schulz, K., & Herrnegger, M. (2018). Rainfall–runoff modelling using long short-term memory (LSTM) networks. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11), 6005-6022.
- Kumar, S., Narjary, B., Vivekanand, Islam, A., Yadav, R. K., & Kamra, S. K. (2022). Modeling climate change impact on groundwater and adaptation strategies for its sustainable management in the Karnal district of Northwest India. *Climatic Change*, 173(1), 3.
- Kwon, S., Lee, S., & Na, O. (2017). Tuning parameter selection for the adaptive Lasso in the autoregressive model. *Journal of the Korean Statistical Society*, 46(2), 285-297.
- Landis, D. A., Gratton, C., Jackson, R. D., Gross, K. L., Duncan, D. S., Liang, C., ... & Werling, B. P. (2018). Biomass and biofuel crop effects on biodiversity and ecosystem services in the North Central US. *Biomass and Bioenergy*, 114, 18-29.
- Lee, D., Kim, H., Jung, I., & Yoon, J. (2020). Monthly reservoir inflow forecasting for dry period using teleconnection indices: a statistical ensemble approach. *Applied Sciences*, 10(10), 3470.
- Liu, L., Gu, H., Xie, J., & Xu, Y. P. (2021). How well do the ERA-Interim, ERA-5, GLDAS 2.1 and NCEP-R2 reanalysis datasets represent daily air temperature over the Tibetan Plateau? *International Journal of Climatology*, 41(2), 1484-1505.
- Madsen, H., Lawrence, D., Lang, M., Martinkova, M., & Kjeldsen, T. R. (2014). Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe. *Journal of Hydrology*, 519, 3634-3650.
- Mahmood, R., & Babel, M. S. (2013). Evaluation of SDSM developed by annual and monthly sub-models for downscaling temperature and precipitation in the Jhelum basin, Pakistan and India. *Theoretical and Applied Climatology*, 113, 27-44.
- Mann, H. B., (1945). Non-parametric Tests against Trend. *The Econometric Society*, 13, 3, 245-259.
- Mallick, J., Talukdar, S., Alsubih, M., Salam, R., Ahmed, M., Kahla, N. B., & Shamimuzzaman, M. (2021). Analysing the trend of rainfall in Asir region of Saudi

Arabia using the family of Mann-Kendall tests, innovative trend analysis, and detrended fluctuation analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 143, 823-841.

Marugán AP, Márquez FPG, Perez JMP, Ruiz-Hernández D (2018). A survey of artificial neural network in wind energy systems. *Applied Energy*, 228, 1822–1836.

Michalak, K., & Kwasnicka, H. (2010). Correlation based feature selection method. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 2(5), 319-332.

Minville, M., Brissette, F., Krau, S., & Leconte, R. (2009). Adaptation to climate change in the management of a Canadian water-resources system exploited for hydropower. *Water Resources Management*, 23, 2965-2986.

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. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.

Nacar, S. (2020). *İklim Değişikliğinin Doğu Karadeniz Havzası Sıcaklık ve Yağış Parametreleri Üzerindeki Olası Etkilerinin İncelenmesi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.

Nacar, S., Kankal, M., & Okkan, U. (2019). Statistical downscaling of monthly mean air temperature using NCEP/NCAR re-analysis data: a case study for the Eastern Black Sea Basin. In *3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies*. s. 681-689. Bayburt.

Nacar, S., Kankal, M., & Okkan, U. (2022). Evaluation of the suitability of NCEP/NCAR, ERA-Interim and, ERA5 reanalysis data sets for statistical downscaling in the Eastern Black Sea Basin, Turkey. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 134(2), 39.

Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282-290.

Nourani, V., Paknezhad, N. J., Sharghi, E., & Khosravi, A. (2019). Estimation of prediction interval in ANN-based multi-GCMs downscaling of hydro-climatologic parameters. *Journal of Hydrology*, 579, 124226.

Okkan, U. (2013). *İklim Değişikliğinin Akarsu Akışları Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.

Okkan, U., Fistikoglu, O., Ersoy, Z. B., & Noori, A. T. (2023). Investigating adaptive hedging policies for reservoir operation under climate change impacts. *Journal of Hydrology*, 619, 129286.

Okkan, U., & Kirdemir, U. (2018). Investigation of the behavior of an agricultural-operated dam reservoir under RCP scenarios of AR5-IPCC. *Water Resources Management*, 32, 2847-2866.

- Okkan, U., & Fistikoglu, O. (2012). Downscaling of precipitation to Tahtali watershed in Turkey for climate change scenarios. In *10th International Congress on Advances in Civil Engineering*, Ankara, Turkey.
- Okkan, U., & Inan, G. (2015). Statistical downscaling of monthly reservoir inflows for Kemer watershed in Turkey: Use of machine learning methods, multiple GCMs and emission scenarios. *International Journal of Climatology*, 35(11), 3274-3295.
- Okkan, U., & Karakan, E. (2016). İklim değişikliğinin ikizcetepeler barajı akımlarına etkilerinin modellenmesi: 2015-2030 projeksiyonu. *Teknik Dergi*, 27(2), 7379-7401.
- Oruc, S. (2022). Performance of bias corrected monthly CMIP6 climate projections with different reference period data in Turkey. *Acta Geophysica*, 70(2), 777-789.
- Oyeyemi, G. M., Ogunjobi, E. O., & Folorunsho, A. I. (2015). On performance of shrinkage methods—a Monte Carlo Study. *International Journal of Statistics and Applications*, 5(2), 72-76.
- Öztemel, E. (2006). *Yapay Sinir Ağları*, İstanbul, Papatya Yayıncılık.
- Parsaie, A., Haghiabi, A. H., Saneie, M., & Torabi, H. (2016). Prediction of energy dissipation on the stepped spillway using the multivariate adaptive regression splines. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 22(3), 281-292.
- Parsaie, A., & Haghiabi, A. H. (2017). Improving modelling of discharge coefficient of triangular labyrinth lateral weirs using SVM, GMDH and MARS techniques. *Irrigation and drainage*, 66(4), 636-654.
- Paul, A., & Das, P. (2014). Flood prediction model using artificial neural network. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, 3(7), 473-478.
- Pazheri, F. R., Othman, M. F., & Malik, N. H. (2014). A review on global renewable electricity scenario. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 835-845.
- Pir, H., Ceribasi, G., & Ceyhunlu, A. I. (2024). The effect of climate change on energy generated at hydroelectric power plants: A case of Sakarya river basin in Turkey. *Renewable Energy*, 223, 120077.
- Qin, P., Xu, H., Liu, M., Liu, L., Xiao, C., Mallakpour, I., ... & Sorooshian, S. (2022). Projected impacts of climate change on major dams in the Upper Yangtze River Basin. *Climatic Change*, 170(1), 8.
- Ramesh, K., & Anitha, R. (2014). MARSpline model for lead seven-day maximum and minimum air temperature prediction in Chennai, India. *Journal of Earth System Science*, 123, 665-672.
- Rocha, J., Carvalho-Santos, C., Diogo, P., Beça, P., Keizer, J. J., & Nunes, J. P. (2020). Impacts of climate change on reservoir water availability, quality and irrigation needs in a water scarce Mediterranean region (southern Portugal). *Science of the Total Environment*, 736, 139477.

- Saha, P. P., Zeleke, K., & Hafeez, M. (2014). Streamflow modeling in a fluctuant climate using SWAT: Yass River catchment in south eastern Australia. *Environmental Earth Sciences*, 71, 5241-5254.
- Sahoo, B. B., Jha, R., Singh, A., & Kumar, D. (2019). Long short-term memory (LSTM) recurrent neural network for low-flow hydrological time series forecasting. *Acta Geophysica*, 67(5), 1471-1481.
- Sam, M. G., Nwaogazie, I. L., & Ikebude, C. (2022). Climate change and trend analysis of 24-hourly annual maximum series using Mann-Kendall and Sen slope methods for rainfall IDF modeling. *International Journal of Environment and Climate Change*, 12(3), 44-60.
- Sen, P.K., (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau, *Journal of American Statistical Association*, 39, 1379-1389.
- Seker, M., & Gumus, V. (2022). Projection of temperature and precipitation in the Mediterranean region through multi-model ensemble from CMIP6. *Atmospheric Research*, 280, 106440.
- Selek, B., Demirel Yazici, D., Aksu, H., & Özdemir, A. D. (2016). Seyhan Dam, Turkey, and climate change adaptation strategies. *Increasing Resilience to Climate Variability and Change: The Roles of Infrastructure and Governance in the Context of Adaptation*, 205-231.
- Sever, G. (2021). *İstatistiksel daraltıcı yöntemlerden ridge regresyon, lasso regresyon ve elastik net regresyonun tahminleme ve sınıflandırma performanslarının karşılaştırılması*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Sharafi, M., Talebi, H., Samadianfard, S., & Prasad, R. (2023). A novel method for estimating daily evapotranspiration based on one, two, and three-day meteorological records using the long short-term memory model combined with feedforward neural networks. *Earth Science Informatics*, 16(4), 4077-4095.
- Sharafi, M., Rezaverdinejad, V., Behmanesh, J., & Samadianfard, S. (2024). Development of long short-term memory along with differential optimization and neural networks for coagulant dosage prediction in water treatment plant. *Journal of Water Process Engineering*, 65, 105784.
- Sharma, K. V., Khandelwal, S., & Kaul, N. (2020). Downscaling of coarse resolution land surface temperature through vegetation indices based regression models. In *Applications of Geomatics in Civil Engineering: Select Proceedings of ICGCE 2018* (pp. 625-636). Springer Singapore.
- Sharma, P., & Mutreja, U. (2013). Analysis of satellite images using artificial neural network. *International Journal of Soft Computing and Engineering*, 2, 276-278.
- Shih, S. Y., Sun, F. K., & Lee, H. Y. (2019). Temporal pattern attention for multivariate time series forecasting. *Machine Learning*, 108, 1421-1441.

- Shrestha, S., Khatiwada, M., Babel, M. S., & Parajuli, K. (2014). Impact of climate change on river flow and hydropower production in Kulekhani hydropower project of Nepal. *Environmental Processes*, 1, 231-250.
- Song, X., Liu, Y., Xue, L., Wang, J., Zhang, J., Wang, J., ... & Cheng, Z. (2020). Time-series well performance prediction based on long short-term memory (LSTM) neural network model. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 186, 106682.
- Su, B., Huang, J., Gemmer, M., Jian, D., Tao, H., Jiang, T., & Zhao, C. (2016). Statistical downscaling of CMIP5 multi-model ensemble for projected changes of climate in the Indus River Basin. *Atmospheric Research*, 178, 138-149.
- Şan, (2024). *İklim Değişikliğinin Su Güvenliğine Etkisi: Susurluk Havzası Örneği*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Şan, M., Akçay, F., Linh, N. T. T., Kankal, M., & Pham, Q. B. (2021). Innovative and polygonal trend analyses applications for rainfall data in Vietnam. *Theoretical and Applied Climatology*, 144, 809-822.
- Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*, 10(1), 13768.
- Taylor, K. E. (2005, Ağustos 21) Taylor diagram primer. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=339c44e9e8e064c9f689d763f3352429380b0a94> adresinden alınmıştır.
- Tayyeh, H. K., & Mohammed, R. (2024). Vulnerability and resilience of hydropower generation under climate change scenarios: Haditha dam reservoir case study. *Applied Energy*, 366, 123308.
- Teutschbein, C., & Seibert, J. (2012). Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology*, 456, 12-29.
- Tibshirani, R. (1996). Regression shrinkage and selection via the lasso. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 56(1), 267-266.
- Tofiq, F. A., & Güven, A. (2015). Potential changes in inflow design flood under future climate projections for Darbandikhan Dam. *Journal of Hydrology*, 528, 45-51.
- Turkes, M. (2020). Climate and Drought in Turkey. N. B. Harmancioglu & D. Altinbilek (Ed.), *Water Resources of Turkey* içinde (ss. 85-125).
- Turkes, M., Turp, M. T., An, N., Ozturk, T., & Kurnaz, M. L. (2020). Impacts of Climate Change on Precipitation Climatology and Variability in Turkey. N. B. Harmancioglu & D. Altinbilek (Ed.), *Water Resources of Turkey* içinde (ss. 467-491).
- URL-1. (2024, Ağustos). COP15 Drought in Numbers, restoration for readiness and resilience: <https://www.unccd.int/sites/default/files/202205/Drought%20in%20Numbers.pdf> adresinden alınmıştır.

- URL-2. (2024, Ağustos). International Energy Outlook: [https://www.eia.gov/pressroom/presentations/howard\\_09192011.pdf](https://www.eia.gov/pressroom/presentations/howard_09192011.pdf) adresinden alınmıştır.
- URL-3. (2024, Ağustos 21). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> adresinden alınmıştır.
- URL-4. (2024, Ağustos 21). Kızılırmak Havzası Kuraklık Yönetim Planı, Cilt:1 Havza Genel Tanıtımı Kuraklık Analizleri: [https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Finin%20su%20kaynaklar%C4%B1na%20etkisi/Iklim\\_Nihai%20Rapor\\_YoneticiOzeti.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Finin%20su%20kaynaklar%C4%B1na%20etkisi/Iklim_Nihai%20Rapor_YoneticiOzeti.pdf) adresinden alınmıştır.
- URL-5. (2024, Ağustos 21). Deniz haber ajansı: <https://www.denizhaber.net/altinkaya-barajinda-sular-cekildi-kayiklar-karada-kaldi-haber-98743.htm> adresinden alınmıştır.
- URL-6. (2024, Ağustos 21). İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi, Proje Sonuç Raporu. Ek 17 – Kızılırmak Havzası: [https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Finin%20su%20kaynaklar%C4%B1na%20etkisi/Iklim\\_Nihai%20Rapor\\_YoneticiOzeti.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Finin%20su%20kaynaklar%C4%B1na%20etkisi/Iklim_Nihai%20Rapor_YoneticiOzeti.pdf) adresinden alınmıştır.
- Valverde, M. C., Araujo, E., & Velho, H. C. (2014). Neural network and fuzzy logic statistical downscaling of atmospheric circulation-type specific weather pattern for rainfall forecasting. *Applied Soft Computing*, 22, 681-694.
- Von Storch, H. & Navarra, A. (1995). *Analysis of Climate Variability*. New York: Springer.
- Wang, F., Tian, D., Lowe, L., Kalin, L., & Lehrter, J. (2021). Deep learning for daily precipitation and temperature downscaling. *Water Resources Research*, 57(4), e2020WR029308.
- Wang, Y., Li, H., Sun, B., Chen, H., Li, H., & Luo, Y. (2020). Drought impacts on hydropower capacity over the Yangtze River basin and their future projections under 1.5/2 C warming scenarios. *Frontiers in Earth Science*, 8, 578132.
- Wang, Y., Xu, H. M., Li, Y. H., Liu, L. L., Hu, Z. H., Xiao, C., & Yang, T. T. (2022). Climate change impacts on runoff in the Fujiang River Basin based on CMIP6 and SWAT Model. *Water*, 14(22), 3614.
- Weekaew, J., Ditthakit, P., Pham, Q. B., Kittiphattanabawon, N., & Linh, N. T. T. (2022). Comparative study of coupling models of feature selection methods and machine learning techniques for predicting monthly reservoir inflow. *Water*, 14(24), 4029.
- Wilby, R. L., & Harris, I. (2006). A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, 42(2), W02419.
- Wilby, R. L., Dawson, C. W., & Barrow, E. M. (2002). SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 17(2), 145-157.
- World Meteorological Organization (WMO)., (2021). Drought report calls for new management approach.

- Yalcin, E. (2024). A CMIP6 multi-model ensemble-based analysis of potential climate change impacts on irrigation water demand and supply using SWAT and CROPWAT models: a case study of Akmesse Dam, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(1), 679-699.
- Yavaşlı, D. D., & Erhat, E. (2023). Climate model projections of aridity patterns in Türkiye: A comprehensive analysis using CMIP6 models and three aridity indices. *International Journal of Climatology*, 43(13), 6207-6224.
- Yerlikaya, F., Weber, G. W., Taylan, P., Batmaz, I., & Köksal, G. (2008). MARS Algoritmasında Tikhonov Düzenlemesi ve çok Amaçlı Optimizasyon Kullanımı. In *the Proceedings of Operational Research and Industrial Engineering Annual Conference*, Istanbul, Turkey.
- Yılmaz, C. (2014). Altınkaya Barajı'nın Vezirköprü'ye Etkileri (Samsun). *Vezirköprü Araştırmaları*, 1(1), 137-158.
- Yılmaz, B. (2016). *Çoruh Nehri Havzasında Taşınan Askıda Katı Madde Yükünün Farklı Yapay Zeka Teknikleri İle Modellenmesi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Yılmaz, B., Aras, E., Nacar, S., & Kankal, M. (2018). Estimating suspended sediment load with multivariate adaptive regression spline, teaching-learning based optimization, and artificial bee colony models. *Science of the Total Environment*, 639, 826-840.
- Yılmaz, B., Aras, E., & Nacar, S. (2024). A CMIP6-ensemble-based evaluation of precipitation and temperature projections. *Theoretical and Applied Climatology*, 155, 7377-7401.
- Yin, Z., Feng, Q., Wen, X., Deo, R. C., Yang, L., Si, J., & He, Z. (2016). Design and evaluation of SVR, MARS and M5Tree models for 1, 2 and 3-day lead time forecasting of river flow data in a semiarid mountainous catchment. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32, 2457-2476.
- Yu, D., & Ghadimi, N. (2019). Reliability constraint stochastic UC by considering the correlation of random variables with Copula theory. *IET Renewable Power Generation*, 13(14), 2587-2593.
- Yu, P. S., Yang, T. C., Kuo, C. M., Chou, J. C., & Tseng, H. W. (2014). Climate change impacts on reservoir inflows and subsequent hydroelectric power generation for cascaded hydropower plants. *Hydrological Sciences Journal*, 59(6), 1196-1212.
- Yu, Y. S., Zou, S., & Whittemore, D. (1993). Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *Journal of Hydrology*, 150(1), 61-60.
- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., & Cavadias, G. (2002). The Influence of Autocorrelation on the Ability to Detect Trend in Hydrological Series. *Hydrological Processes*, 16, 1607-1629.

- Zakeri, I. F., Adolph, A. L., Puyau, M. R., Vohra, F. A., & Butte, N. F. (2010). Multivariate adaptive regression splines models for the prediction of energy expenditure in children and adolescents. *Journal of Applied Physiology*, 108(1), 128-136.
- Zamani, Y., Hashemi Monfared, S. A., Azhdari Moghaddam, M., & Hamidianpour, M. (2020). A comparison of CMIP6 and CMIP5 projections for precipitation to observational data: the case of Northeastern Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 142, 1613-1623.
- Zhang, W., & Goh, A. T. (2016). Multivariate adaptive regression splines and neural network models for prediction of pile drivability. *Geoscience Frontiers*, 7(1), 45-52.
- Zhong, W., Guo, J., Chen, L., Zhou, J., Zhang, J., & Wang, D. (2020). Future hydropower generation prediction of large-scale reservoirs in the upper Yangtze River basin under climate change. *Journal of Hydrology*, 588, 125013.
- Zhou Y., & Leung, H (2007). Predicting object-oriented software maintainability using multivariate adaptive regression splines. *Journal of Systems and Software*, 80(8),1349-1361.

## ÖZGEÇMİŞ

İlkokulu Zonguldak Yayla İlköğretim Okulu'nda, ortaokulu Zonguldak Fener İlköğretim Okulu'nda ve liseyi Trabzon Kanuni Anadolu Lisesi'nde okudu. 2009 yılında lisans eğitimine başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2013 yılında mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik anabilim dalında başladığı yüksek lisans eğitimini 2016 yılında tamamladı. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora programına başladı. 2014 yılında araştırma görevlisi olarak göreve başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Of Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde halen bu görevine devam etmektedir. Yabancı dil olarak İngilizce bilmekte olup, evli ve iki çocuk annesidir.

### Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen SCIE yayın ve bildiriler:

- Yılmaz, B., Aras, E., & Nacar, S. (2024). A CMIP6-ensemble-based evaluation of precipitation and temperature projections. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-25. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-024-05066-7>
- Yılmaz, B., Aras, E., & Nacar, S. (2023) Evaluation of the impact of climate change on monthly mean temperature at the dam basin scale. *3rd International Civil Engineering and Architecture Conference (ICEARC'23) Bildiriler Kitabı* s. 573–582.
- Yılmaz, B., Aras, E., & Nacar, S. (2023) ERA5 Re-analiz Verilerinin İstatistiksel Ölçek İndirgeme Yöntemi ile Aylık Ortalama Sıcaklık Değerlerine İndirgenmesi: Altinkaya Barajı Örneği. *HİDRO'2023: Ulusal Hidrojeoloji ve Su Kaynakları Sempozyumu. Bildiriler Kitabı* s. 21–28. Trabzon.