



T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAMULA BARAJ HAVZASINDAKİ AKIMA İKLİM
DEĞİŞİKLİĞİNİN ETKİLERİ**

Sezen KAYA
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Gaye AKTÜRK

KIRIKKALE-2025



T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAMULA BARAJ HAVZASINDAKİ AKIMA İKLİM
DEĞİŞİKLİĞİNİN ETKİLERİ**

Sezen KAYA
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Gaye AKTÜRK

KIRIKKALE-2025

Sezen KAYA tarafından hazırlanan “YAMULA BARAJ HAVZASINDAKİ AKIMA İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ETKİLERİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gaye AKTÜRK

İmza.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsamı ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Osman YILDIZ

İmza.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsamı ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Üye: Prof. Dr. Hatice ÇITAKOĞLU

İmza.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erciyes Üniversitesi

Bu tezin, kapsamı ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Tezin Savunma Tarihi: 28/02/2025

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sezen KAYA

28/02/2025

ÖZET

YAMULA BARAJ HAVZASINDAKİ AKIMA İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ETKİLERİ

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gaye AKTÜRK

Şubat 2025, 96 Sayfa

Hem ülkemizi hem de tüm dünyayı giderek daha fazla tehdit eden iklim değişikliği etkileri ve bu etkilere karşı çözümler aranması son yıllarda büyük ölçüde önem kazanmıştır. Bu tez kapsamında Yamula Baraj Havzası'nda gelecek yağışlar, sıcaklıklar ve akımlar üzerinde iklim değişikliğinin etkileri incelenmiştir. İki farklı bölgesel iklim modeline ait (CNRM-CM5/RCA4 ve EC EARTH/RACMO22E) iki senaryo ile sapma düzeltmeleri yapılarak, referans (1980-2005) ve gelecek dönemler (2023-2100) için anomali ve eğilim hesaplamaları belirli periyotlar için gerçekleştirilmiştir. Senaryolardan elde edilen veriler HEC-HMS hidrolojik modelinde kullanılmış, havzada akım projeksiyonları hesaplanarak anomaliler değerlendirilmiştir. Kullanılan RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre sıcaklık projeksiyonlarının artan eğilimde olduğu, yağış projeksiyonlarının eğilimlerinde ise artma ve azalma durumunun dönemsel olarak değişeceği öngörülmüştür. Hidrolojik modellemenin performansı Nash-Sutcliffe model verimlilik katsayısı (NSE) kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre, kalibrasyon aşamasında NSE değerinin 0,49-0,70 aralığında iken validasyon aşamasında ise 0,49-0,69 aralığında olduğu saptanmıştır. Yapılan hidrolojik çalışmalar sonucunda, projekte edilen akımlarda referans döneme göre nispeten artış olacağı öngörülmektedir. Çalışma kapsamında iklim değişikliğinin etkileri göz önünde bulundurularak bir kuraklık analizine yer verilmiştir. Çalışmada, 2023-2100 gelecek dönemi için meteorolojik kuraklıkların zamansal özellikleri, SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) yöntemi kullanılarak 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde analiz edilmiştir. Bu amaçla analizde, en yüksek Z istatistik değerlerini içeren CNRM-CM5/RCA4 modelinin en kötü senaryosu olan RCP8.5 aylık yağış verileri kullanılmıştır. Çalışma alanında, öngörülen meteorolojik kuraklıklara ait özellikler (süre, şiddet ve yoğunluk) 12 aylık periyotta Run teorisi kullanılarak saptanmıştır. Çalışma sonucuna göre, en uzun ve en yoğun süren kuraklık periyotlarının orta vadede (2051-2075), en şiddetli kurak periyodun ise yakın gelecekte (2025-2050) olacağı öngörülmüştür. Ayrıca uzak gelecek (2076-2100) döneminde kuraklık periyotlarının süresi ve şiddetinde zamanla azalma durumu dikkat çekmiştir.

Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, Yamula Baraj Havzası, HEC-HMS, SPI.

ABSTRACT

THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON THE STREAMFLOW IN THE YAMULA DAM BASIN

Kırıkkale University

Institute of Science

Department of Civil Engineering, Master's Thesis

Advisor: Dr. Lecturer Gaye AKTÜRK

February 2025, 96 Pages

The impacts of climate change, which increasingly threaten both our country and the entire world, and the search for solutions to these impacts have gained significant importance in recent years. Within the scope of this thesis, the effects of climate change on future precipitation, temperatures, and flows in the Yamula Dam Basin have been examined. By applying bias corrections to two scenarios from two different regional climate models (CNRM-CM5/RCA4 and EC-EARTH/RACMO22E), anomaly and trend calculations were performed for reference (1980–2005) and future periods (2023–2100) over specific intervals. The data obtained from the scenarios were used in the HEC-HMS hydrological model, and flow projections in the basin were calculated to evaluate anomalies. According to the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios used, temperature projections exhibit an increasing trend, while precipitation projections are expected to show both increases and decreases periodically. The performance of the hydrological modeling was determined using the Nash–Sutcliffe efficiency coefficient (NSE). Accordingly, the NSE value was found to be between 0.49 and 0.70 during the calibration phase, and between 0.49 and 0.69 during the validation phase. As a result of the hydrological studies conducted, it is projected that future flows will relatively increase compared to the reference period. Within the scope of this study, a drought analysis was also included, considering the effects of climate change. The temporal characteristics of meteorological droughts for the future period (2023–2100) were analyzed at 1, 3, 6, 9, and 12-month time scales using the Standardized Precipitation Index (SPI) method. For this purpose, the RCP8.5 monthly precipitation data from the CNRM-CM5/RCA4 model, which contains the highest Z statistic values, were used in the analysis. The characteristics of the projected meteorological droughts (duration, severity, and intensity) in the study area were determined using the Run theory over a 12-month period. According to the study results, the longest and most intense drought periods are expected in the mid-term (2051–2075), while the most severe drought period is anticipated in the near future (2025–2050). Furthermore, in the distant future (2076–2100), a gradual decrease in the duration and severity of drought periods has been observed.

Keywords: Climate Change, Yamula Dam Basin, HEC-HMS, SPI.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimim süresince bana destek olan, bilgi ve tecrübeleriyle yolumu aydınlatan, rehberliğiyle bu tezin oluşmasını sağlayan değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Gaye AKTÜRK'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte çalışmama yön veren, önerileri ve teşvik edici yaklaşımı ile katkısını esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Osman YILDIZ'a teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmam boyunca her zaman desteklerini hissettiğim, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan sevgili Khaja Haroon SEDDIQE'e teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca beni daima destekleyen, sabır ve sevgileriyle yanımda olan sevgili aileme ve nişanlıma sonsuz minnettarlığımı ifade etmek isterim. Onların desteği, bu süreci başarıyla tamamlamamda en büyük güç kaynağım olmuştur.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. Türkiye’de Yapılan Çalışmalar.....	4
2.2. Dünya’da Yapılan Çalışmalar.....	7
2.3. İklim Verileri	9
3. MATERYAL VE ÇALIŞMA ALANI	11
3.1. Çalışma Alanı	11
3.2. Hidro-Meteorolojik Veriler	15
3.3. Projeksiyon Verileri.....	19
3.3.1. İklim Projeksiyon Tanımları.....	19
3.3.2. Küresel İklim Modelleri (GCM’ler).....	22
3.3.2.1. CNRM-CM5	22
3.3.2.2. EC-EARTH	23
3.3.3. Bölgesel İklim Modelleri (RCM’ler)	23
3.3.3.1. RCA4	23
3.3.3.2. RACMO22E.....	24
4. METODOLOJİ	25
4.1. İklim Projeksiyon Verilerinde Sapma Düzeltmesi (Bias Correction).....	26
4.2. Gözlemlenmiş Verilerin Hazırlanması	27
4.3. Referans ve İklim Modellerinin Senaryo Verilerinin Hazırlanması	28
4.4. Mann-Kendall Trend Testi	29
4.5. HEC-HMS Modeli	30
4.5.1. Havza Fiziksel Tanımı.....	30
4.5.2. Meteoroloji Tanımı.....	31
4.5.3. Hidrolojik Simülasyon	32
4.5.4. Kullanılan Yöntemler	32
4.6. Model Kalibrasyonu ve Validasyonu	39
4.6.1. Model Performans Değerlendirilmesi (Amaç Fonksiyonu).....	39
4.7. Kuraklık İndisleri	41
4.7.1. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI)	42
5. ANALİZLER VE HİDROLOJİK MODELLEME	44
5.1. Referans Dönem Projeksiyonlarının Gözlem ile Uyumu.....	44
5.2. Yamula Baraj Havzası İklim Projeksiyon Eğilim Analizleri.....	47
5.3. İklim Verilerinin Anomali Hesaplamaları	51

5.4. HEC-HMS Modelleme Sonuçları	53
5.5. Gelecek Akım Rejimlerinin Projeksiyonları	59
5.5.1. Referans Dönem Akım Projeksiyonlarının Gelecek Dönem ile Kıyası	59
5.5.2. Gelecek Dönem Akım Projeksiyonları ve Ensemble Çalışmaları.....	62
5.5.3. Gelecek Akım Projeksiyonları ve Anomali Hesaplamaları.....	63
5.6. SPI İndeks Sonuçları	64
5.7. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	67
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	81



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
3.1. Çalışma Alanı Arazi Kullanımı	11
3.2. Yamula Barajı Havzası Kullanılan MGİ Özellikleri	16
3.3. Yamula Barajı Havzası AGİ Bilgileri.....	17
3.4. Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP'ler) (http-4)	21
3.5. Kullanılan Bölgesel İklim Modelleri	21
4.1. İklim Verileri ASCII Formatı: Konum Dosyası	28
4.2. İklim verisi ASCII formatı (Yağış ve Sıcaklık Veri Dosyaları).....	28
4.3. Yamula Barajı Havzası Yükseklik Bantları.....	39
4.4. Günlük ve Haftalık Bir Zaman Adımı İçin Değerlendirme Metriklerine Yönelik Performans Derecelendirmeleri	41
4.5. SPI Metoduna Göre İndis Değerleri ve Sınıflandırılması	43
5.1. Yağış Korelasyon Katsayıları	44
5.2. Sıcaklık Korelasyon Katsayıları.....	44
5.3. Referans Döneme Ait Ort. Sıcaklık Eğilimleri (1980-2005)	48
5.4. Referans Döneme Ait Toplam Yağış Eğilimleri (1980-2005).....	48
5.5. Gelecek Dönem ort. Sıcaklıkların Eğilimleri (2023-2100).....	49
5.6. Gelecek Dönem Toplam Yağışların Eğilimleri (2023-2100)	49
5.7. Referans ve Gelecek Dönem Anomali ve Yıllık Ort. Toplam yağış (mm)	51
5.8. Gelecek Dönem Yıllık Ortalama Toplam Yağış Anomali (%)	51
5.9. Referans ve Gelecek Dönem Anomali ve Ortalama Sıcaklık (°C).....	52
5.10. Gelecek Dönem Ortalama Sıcaklık Anomali (%)	52
5.11. HEC-HMS Modelinde Kullanılan Parametre Değerleri	54
5.12. HEC-HMS Modelinde Kullanılan Kar Parametreleri	55
5.13. HEC-HMS Modelleme Performans Sonuçları.....	55
5.14. HEC-HMS Model Sonucu Akım Projeksiyonu Anomali Hesaplamaları	63
5.15. SPI-12 İçin Yapılan Run Analizi Sonuçları.....	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Yamula Barajı Havzası Konum Haritası	12
3.2. Yamula Barajı Havzası Google Earth Pro Görüntüsü	13
3.3. Çalışma Alanının Yükseklik Haritası	13
3.4. Çalışma Alanı Eğim Haritası	14
3.5. Çalışma Alanı Arazi Kullanım Haritası	15
3.6. Yamula Barajı Havzası MGİ ve AGİ Konumları	16
3.7. İstasyonlara Ait Aylık Toplam Yağış Yükseklikleri (mm) (1980-2013).....	17
3.8. İstasyonlara Ait Aylık Ortalama Sıcaklık Miktarları (°C) (1980-2013)	18
3.9. İstasyonlara Ait Aylık Maksimum Sıcaklık Miktarları (°C) (1980-2013).....	18
3.10. İstasyonlara Ait Aylık Minimum Sıcaklık Miktarları (°C) (1980-2013).....	18
3.11. Aylık Ortalama Akım (m ³ /s) (1980-2013)	19
3.12. Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP'ler) (Neil Craik, Waterloo Üniversitesi).....	21
3.13. CNRM-CM5 Modeline Ait Çalışma Şeması.....	22
4.1. HEC-HMS Çalışma Şeması	25
4.2. Sapma (Bias) Düzeltmesi Çalışma Şeması	27
4.3. ASCII Formatında Yağış Verisi	28
4.4. Kanopi ve Yüzey Metotları ile Entegre Açık Sabit Kayıp Yöntemi	33
4.5. Açık Sabit Kayıp Yöntemi Parametreleri.....	33
4.6. Clark Standart Yöntemi Parametreleri	34
4.7. Lineer Rezervuar Taban Akış Yöntemi Parametreleri	35
4.8. Recession Taban Akışı Yöntemi parametreleri	36
4.9. Sıcaklık İndisi Yöntemi Parametreleri	37
4.10. Yükseklik Bandı Özellikleri.....	38
5.1. Aylık Ortalama Sıcaklık - Gözlem ve Referans Dönem Grafiği (Sapma Düzeltmesi Yapılmamış)	45
5.2. Aylık Ortalama Sıcaklık - Gözlem ve Referans Dönem Grafiği (Sapma Düzeltmesi Yapılmış)	45
5.3. Aylık Toplam Yağış - Gözlem ve Referans Dönem Grafiği (Sapma Düzeltmesi Yapılmamış)	46
5.4. Aylık Toplam Yağış - Gözlem ve Referans Dönem Grafiği (Sapma Düzeltmesi Yapılmış)	46
5.5. Aylık Toplam Yağış - Gözlem ve Referans Dönem Eklenik Grafiği (Sapma Düzeltmesi Yapılmamış)	47
5.6. Aylık Toplam Yağış - Gözlem ve Referans Dönem Eklenik Grafiği (Sapma Düzeltmesi Yapılmış)	47
5.7. (a) ve (b) Gözlem Toplam Yağış ve Ort. Sıcaklıkları Eğilim Grafikleri	48
5.8. (a) ve (b) Referans Dönemine Ait Toplam Yağış ve Ort. Sıcaklıkların Eğilim Grafikleri	49
5.9. Gelecek Dönem Ortalama Sıcaklıklar Eğilimleri (2023-2100)	50

5.10. Gelecek Dönem Toplam Yağış Eğilimleri (2023-2100)	50
5.11. Toplam Yağışa Ait Anomali Yüzdeleri	52
5.12. Ortalama Sıcaklıklar Anomali Yüzdeleri.....	53
5.13. Kalibrasyon Lineer Rezervuar Yöntemi Grafiği (17090-Sivas Sıcaklık Verileri)	56
5.14. Validasyon Lineer Rezervuar Yöntemi Grafiği (17090-Sivas Sıcaklık Verileri).....	56
5.15. Kalibrasyon Lineer Rezervuar Yöntemi grafiği (17716-Zara Sıcaklık Verileri)	57
5.16. Validasyon Lineer Rezervuar Yöntemi Grafiği (17716-Zara Sıcaklık Verileri).....	57
5.17. Kalibrasyon Recession Yöntemi Grafiği (17090-Sivas Sıcaklık Verileri)...	58
5.18. Validasyon Recession Yöntemi Grafiği (17090-Sivas Sıcaklık Verileri)	58
5.19. Kalibrasyon Recession Yöntemi Grafiği (17716-Zara Sıcaklık Verileri)....	59
5.20. Validasyon Recession Yöntemi Grafiği (17716-Zara Sıcaklık Verileri).....	59
5.21. CNRM - RCP 4.5 Ort. Referans Dönem ve Gelecek Dönem Grafiği	60
5.22. CNRM - RCP 8.5 Ort. Referans Dönem ve Gelecek Dönem Grafiği	61
5.23. EC-Earth - RCP 4.5 Ort. Referans Dönem ve Gelecek Dönem Grafiği	61
5.25. Akım Serilerinin Referans Dönem ile Karşılaştırılması	62
5.26. RCP 4.5 ve RCP 8.5 Ortalama Akımlar ve Ensemble Grafiği.....	63
5.27. HEC-HMS Modeli Akım Projeksiyonu Anomali Grafiği	64
5.28. SPI'nın Farklı Zaman Ölçeklerinde Zamansal Değişimleri	66

KISALTMALAR DİZİNİ

AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
CMIP	Coupled Model Intercomparison Project - Birleşik Model Karşılaştırma Projesi
CNRM-CM	Centre National de Recherches Météorologiques Circulation Model
CORDEX	Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment - Koordine Edilmiş Bölgesel İklim Ölçeklendirme Denemesi
DSİ	T.C. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EC-Earth	European Community Earth System Model
ESGF	Earth System Grid Federation - Dünya Sistemi Şebeke Federasyonu
GCM	Global Climate Model – Küresel İklim Modeli
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System - Hidrolojik Mühendislik Merkezi - Hidrolojik Modelleme Sistemi
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MGM	T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MGİ	Meteoroloji Gözlem İstasyonu
MK	Mann-Kendall Trend Testi
NSE	Nash - Sutcliffe Efficiency - Nash - Sutcliffe İndeksi
PBIAS	Percent Bias - Yanlılık Yüzdesi
RCM	Regional Climate Model – Bölgesel İklim Modeli
RCP	Representative Concentration Pathways
SPI	Standartlaştırılmış Yağış İndeksi
SYGM	Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
PET	Potansiyel Evapotranspirasyon
WCRP	World Climate Research Programme - Dünya İklim Araştırma Programı
WMO	World Meteorological Organization - Dünya Meteoroloji Örgütü

1. GİRİŞ

Küresel ısınma son birkaç on yılın en önemli araştırma alanlarından biri olmuştur. Atmosfere salınan sera gazlarının ışınımsal zorlaması, özellikle insan kaynaklı CO₂ emisyonları geçen yüzyılda küresel ısınmanın başlıca nedenlerinden olmuştur. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporları iklimin doğal değişkenlik ile açıklanamayacak şekilde değiştiğini belirtmektedir (IPCC 2007). İklim değişikliğinin etkisi altında, dünya genelindeki birçok nehir havzasında hidrolojik süreçlerde ve su bütçesinde önemli değişiklikler meydana gelmektedir (Yılmaz & Imteaz, 2011). İklim değişikliği, dünya genelindeki birçok bölgede sıcaklık artışlarına ve yağış düzenlerindeki değişikliklere yol açmaktadır. Sıcaklık ve yağışlardaki bu değişiklikler, hidrolojik döngünün değişmesine ve akarsu rejimlerinde farklılıklara neden olmaktadır. Küresel ısınmanın bir sonucu olarak, dünya genelinde su buharı konsantrasyonları, buharlaşma, yağış, nem ve rüzgâr hızında değişiklikler gözlemlenmiştir ve bu değişikliklerin önümüzdeki yıllarda artan bir yoğunlukla devam etmesi beklenmektedir (Beldring vd., 2008).

İklim değişikliğinin gelecekteki akış rejimleri ve kuraklıklar üzerindeki etkisini değerlendirmek için, hidrolojik modeller ile kuraklık analizlerinde kullanılmak üzere güvenilir iklim tahminlerine ihtiyaç vardır. Küresel İklim Modelleri (Global Climate Models - GCM), farklı emisyon senaryoları altında güvenilir küresel iklim projeksiyonları üretmek için en yaygın kabul gören araçlardır (De Girolamo vd., 2017; Gebrechorkos vd., 2019). Ancak, GCM'lerin düşük çözünürlüklü olması nedeniyle bölgesel ve/veya havza ölçeğinde ayrıntılı bilgiyi sağlayamayabilirler. GCM'lerdeki bu belirsizliği gidermek amacıyla, Bölgesel İklim Modelleri (Regional Climate Models - RCM) geliştirilmiştir (Tan vd., 2020). Başka bir deyişle, RCM simülasyonlarına dayalı olarak, mekânsal ölçek ve sapmalara göre düzeltilmiş tahminlerle, yağışın yüksek zamansal ve mekânsal çözünürlükte olası değişiklikleri daha ayrıntılı bir şekilde yansıtmak mümkündür (Kuo vd., 2015).

IPCC (2014) 5. Değerlendirme Raporu'nda olası küresel gelecek iklim senaryolarını tahmin etmek için dört adet temsili konsantrasyon senaryosu (RCP - Representative

Concentration Pathways) göz önüne alınmıştır. RCP'ler, sera gazı yoğunluğunun (CO₂, CH₄, N₂O, vb.) seviyesine dayalıdır ve 2100 yılına kadar ışımsal zorlama miktarlarının aralığını temsil eder. Işımsal zorlama, RCP4.5 için 4,5 W/m² ve RCP8.5 için 8,5 W/m² 'dir. RCP8.5 en fazla sera gazı emisyonuna sahipken, RCP4.5 ve RCP6.0 orta seviye senaryolardır ve RCP2.6 sera gazı emisyonu açısından en iyimser senaryodur (IPCC, 2014).

GCM ve RCM, iklim değişikliği senaryoları doğrultusunda oluşturulur. Gelecekteki iklim verileri göz önüne alınan RCP senaryolarına bağlanarak sağlanır. Elde edilen bu senaryolar ile gelecekte iklim değişikliğinin akım rejimlerine ve kuraklığa olan etkileri araştırılabilir. EURO-CORDEX, Avrupa alanına odaklanan, Avrupa için yüksek çözünürlüklü çok modellenli iklim verileri üretmek için RCM'leri kullanan uluslararası ve dinamik bir girişimdir (Jacob vd., 2020). Bu tez çalışmasında iklim değişikliğinin etkilerini havza bazında analiz etmek için iki farklı bölgesel iklim modeli (CNRM-CM5/RCA4, EC-EARTH/RACMO22E) açık kaynaklı CORDEX-EURO11 web sitesinden elde edilmiştir.

Günümüzde, geçmişte gerçekleşen herhangi bir afet durumunu bilgisayar ve programlar sayesinde modellemek mümkün hale gelmiştir ve bu modellemeler ileride meydana gelebilecek olayları veya süreçleri de analiz etmeye imkân tanımaktadır. Havza davranışını yansıtabilmek adına farklı fiziksel ve kavramsal hidrolojik modeller bulunmaktadır. Hidrolojik modelleme ise doğrudan veri sağlanmasına bağlıdır, verilerin sürekliliği ve tutarlılığı yüksek başarılı bir hidrolojik modelleme için gereklidir. Bu tez çalışmasında iklim değişikliğinin akım rejimlerine etkilerini detaylı bir şekilde analiz edebilmek için HEC-HMS (Hydrologic Modelling System) modeli kullanılmıştır. HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modelling System), ABD Ordusu Mühendisler Birliği'nin Hidrolojik Mühendislik Merkezi (USACE) tarafından geliştirilmiş olan hidrolojik bir modeldir. Model, bir havzadaki hidrolojik aşamaları simüle etmek için tasarlanmıştır (USACE, 2016).

İklim değişikliğinin yerel iklim üzerindeki etkisi, aşırı hava olaylarının, örneğin kuraklığın, şiddetini ve meydana gelme sıklığını değiştirebilir (IPCC, 2013). Kuraklık; meteorolojik, hidrolojik, tarımsal ve sosyo-ekonomik olmak üzere dört temel kategoriye ayrılmaktadır (Mishra & Singh, 2010; Wilhite & Glantz, 1985). Her bir tür, kendine has değişkenler veya göstergeler gerektirir (Danandeh Mehr vd., 2020). Meteorolojik kuraklık, belirli bir zaman aralığında ortalama yağış miktarındaki azalma

veya bu döneme ait normal değerlerden sapma şeklinde tanımlanabilir. Uzun sürdüğünde, meteorolojik kuraklık aniden sona erebileceği gibi hızla şiddetlenebilir (SYGM, 2022). Meteorolojik göstergeler, meteorolojik kuraklığın belirlenmesinde başlıca referans olarak kullanılmakta olup, bu kuraklık türünü takip edebilmek için çeşitli indisler geliştirilmiştir. (Mckee vd., 1993). Bu çalışmada da Yamula Baraj Havzası'nda iklim değişikliğinin meteorolojik kuraklıklar üzerindeki etkisinin değerlendirilebilmesi amacıyla SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) yöntemine başvurulmuştur.

Bu tez çalışmasının amacı, Yamula Baraj Havzası'nda iklim değişikliğinin akım rejimlerine etkilerini, HEC-HMS modelini kullanarak analiz etmek, çıkan sonuçları farklı periyotlarda karşılaştırmak ve iklim değişikliğinin meteorolojik kuraklık üzerindeki etkilerinin zamansal gelişimi ile kuraklık özelliklerini (sıklık, şiddet, süre ve yoğunluk) araştırmaktır. Bu amaçla öncelikle havza için elde edilen gözlem verilerinin farklı yönlerden analizleri gerçekleştirilmiştir. Bir sonraki aşamada ise gelecekte iklim değişimine bağlı olarak havzadaki akım projeksiyonları ile meteorolojik kuraklık analizlerini yapabilmek amacıyla EURO-CORDEX üzerinden yağış ve sıcaklığa ait projeksiyon verileri indirilmiştir. Elde edilen bu verilere ise sapma düzeltilmesi (Bias Correction) uygulanarak 2023-2100 periyodu için aralıklı dönemler şeklinde veri analizleri yapılmıştır. Gelecek dönem RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için seçilmiş olan iklim modellerinden elde edilen yağış ve sıcaklık verilerinin trend eğilimleri (Mann-Kendall testi) irdelenmiş, referans dönem ile kıyaslanarak anomali çalışmaları yapılmıştır. Bir sonraki aşamada bu veriler HEC-HMS modelinde, daha önce gözlem verileri ile kalibre edilmiş parametreler doğrultusunda simüle edilip, gelecek akımlar elde edilmiş ve bu akımlar için anomali çalışmaları yapılmıştır. Çalışma alanının gelecek dönem meteorolojik kuraklıklarının değerlendirilmesi, Mann-Kendall Trend Testi sonucunda en yüksek Z istatistik değerlerine sahip CNRM-CM5/RCA4 RCP8.5 verileri kullanılarak SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) yöntemi ile yapılmıştır. Bu tezde yapılan çalışmalar doğrultusunda analizlerin sonuçlarına ve sonuçlara bağlı olarak önerilere yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Türkiye’de Yapılan Çalışmalar

Yılmaz & Imteaz (2011), tarafından yapılan çalışmada, Dağlık Yukarı Fırat Havzası’nda iklim değişikliğinin etkileri incelenmiştir. Çalışmada öncelikle, önemli hidro-meteorolojik verilerin trend analizi sunulmuştur. Ardından mevcut gelecekteki iklim verileri açıklanmış ve daha sonra bu gelecekteki iklim verileri, geçmiş hidro-meteorolojik veriler kullanılarak kalibre edilip doğrulanarak hidrolojik modellerde kullanılmıştır. 2070-2100 dönemi için gelecek akış projeksiyonları elde edildikten sonra göz önüne alınan çalışma alanında ilkbahar ve yaz mevsimlerinde akışta önemli boyutta azalma olacağı ve bu durumun havzada su sektörleri üzerinde önemli etkiler doğuracağı sonucuna varılmıştır.

Bozkurt vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada Doğu Akdeniz-Karadeniz bölgesinde üç GCM’nin (ECHAM5, CCSM3 ve HadCM3) çıktıları, bölgenin iklimini benzetme yeteneklerinin değerlendirilmesi amacıyla 1961-1990 dönemi için bölgesel bir iklim modeli olan RegCM3 kullanılarak küçültülmüştür. Çalışma sonucunda, RegCM3’nin bölgedeki yağışı ve yüzey sıcaklığını, ayrıca üst seviye alanları oldukça iyi bir şekilde benzetme kabiliyeti gösterdiği görülmüştür. Göz önüne alınan GCM'lerin bölgedeki kış mevsimi yağış ve sıcaklığı benzetiminde (simülasyonunda) oldukça başarılı olduğu tespit edilmiştir.

Bozkurt & Sen (2013), yaptıkları çalışmada Fırat-Dicle Havzası’nda gelecekteki iklim değişikliğinin etkilerini araştırmak amacıyla ECHAM5, CCSM3 ve HadCM3’ten elde edilen RCM çıktıları kullanarak farklı emisyonlar altında küçültülmüş senaryoları incelemişlerdir. Çalışmada, tüm senaryo simülasyonlarının sonuçlarına göre, kış yüzey sıcaklığının tüm havzada arttığı ancak artışın dağlık bölgelerde daha fazla olduğu belirlenmiştir. Kış yağışının ise azaldığı ve güney bölgelerinde arttığı şeklindeki eğilimler görülmüştür. Ayrıca havzanın yüksek ve kuzey kesimlerinde azalan kış yağışı konusunda bir uyum gözlemlenmiştir. Tüm simülasyonlardaki projeksiyonlara göre, havza içindeki bölgelerden Türkiye ve Suriye topraklarının iklim değişikliğine en

duyarlı bölgeler olduğu belirlenmiş; bu bölgelerin 2100 yılına kadar yıllık yüzey akışında önemli düşüşler yaşayacağı (%25-55) tahmin edilmiştir.

Selek & Tuncok (2014), iklim değişikliğine uyum sağlamak ve su kaynakları yönetimi politikalarını belirleme temelini oluşturmak için Seyhan Nehri Havzası'nda bir çalışma yürütmüştür. Bu çalışma IPCC emisyon senaryolarına dayalı ECHAM5 modeli ile iklim projeksiyonları kullanılarak yapılmıştır. Buna göre, havzada 2100 yılında su sıkıntısı olmamasına rağmen gelecekte havzanın genelinde önemli su problemlerinin beklendiğini ortaya koymuştur.

Poyraz (2018), tarafından yapılan çalışmada Türkiye'nin Akdeniz İklim Bölgelerinde CORDEX projesi ile 12 farklı iklim modelinden elde edilen yağış verileri kullanılarak bir kuraklık analizi yapılmıştır. En güvenilir modelleri belirlemek için referans dönemi ile gözlem yağış verileri karşılaştırılmıştır. Çalışmada tüm dönem verileri için (1972-2100) Mann-Kendall trend analizi SPI çalışması sonuçlarına ve yıllık yağış değerlerine uygulanmıştır. Bu çalışma sonucunda Muğla ve Batı Antalya için kuraklıkta tüm model sonuçlarının bir artış eğiliminde olduğu, bazı bölgelerde ise sonuç değişkenliğinin model farklılıklarından kaynaklandığı görülmüştür.

Gorguner vd. (2019), tarafından yapılan çalışmada, en önemli ekonomik faaliyeti tarım olan Gediz Havzası'nda yer alan Demirköprü baraj gölüne gelen akımlar üzerinde iklim değişikliği etkileri değerlendirilmiştir. Bu amaçla CMIP5 kapsamında dört farklı iklim modelinden (CCSM4, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES ve MIROC5) elde edilen RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları göz önüne alınmıştır. 2017-2100 yıllarına ait analiz sonuçları ile 1985-2012 yıllarını kapsayan referans dönem sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, 2017-2044 döneminde sekiz farklı iklim projeksiyonuna ait toplu (ensemble) ortalamasının, havza ölçeğindeki sıcaklıklarda belirgin bir artış eğilimi gösterdiği, ancak tarihsel değerlerle karşılaştırıldığında ortalama yıllık sıcaklıklarda beklenen bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Ayrıca farklı projeksiyonlar arasında önemli ölçüde değişkenlik olduğu belirlenmiş olup bunun başlıca nedeninin GCM ve RCP'lerdeki belirsizlik ve değişkenliğe bağlı olduğu değerlendirilmiştir.

Yıldırım vd. (2021), tarafından yapılan çalışmada Mersin ilindeki Alata Nehir Havzası'nın akışları üzerinde iklim değişikliğinin etkisi en kötü senaryo olan RCP8.5 altında değerlendirilmiş ve bu değerlendirmede HYPE hidrolojik modeli

kullanılmıştır. İklim projeksiyonları altında yapılan model sonucunda havzadaki sıcaklıkların incelenen üç farklı gelecek periyodunda (yüzyılın başlangıcı, ortası ve sonu) arttığı ve yağışların azaldığı görülmüştür. Bu durum, 2021-2065 döneminde daha fazla kar erimesine ve yüksek deşarj oluşturmaya neden olmuştur. Öte yandan, yüzyılın sonuna kadar olan süre içinde, havzanın yukarı kesimlerinde artan buharlaşma ve azalan kar kalınlığı nedeniyle deşarjın önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir.

Seddiqe vd. (2023), tarafından yapılan çalışmada Marmara Bölgesi'nde yer alan Ayazma nehir havzasında akış üzerine iklim değişikliğinin etkileri incelenmiştir. CNRM-CM5/RCA4, EC-EARTH/RACMO22E ve NorESM1-M/HIRHAM5'ten elde edilen RCM çıktıları, RCP4.5 ve RCP8.5 emisyon senaryolarıyla kullanılarak HBV-Light hidrolojik modelini çalıştırmak için kullanılmıştır. Ayrıca en kötü senaryo (RCP8.5) için SPEI yöntemi kullanılarak meteorolojik kuraklık değerlendirmesi de yapılmıştır. Çalışmada, 2022-2100 dönemi için kalibre edilmiş ve doğrulanmış hidrolojik model, havzada akışları simüle etmek için kullanılmış ve seçilen iklim modellerinin yüksek yağış tahminleri ürettiği ve yıllık ortalama sıcaklık artışının RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için sırasıyla 1.8°C ve 2.6°C'ye kadar ulaştığı görülmüştür.

Seddiqe (2023), tarafından yapılan bir çalışmada, iklim değişikliğinin Yukarı Fırat Havzası'ndaki etkileri, bölgesel iklim modelleri altında RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları ile araştırılmıştır. Çalışma alanı dağlık bir bölgede olduğu için, iklim değişikliğinin hem akımlara hem de kar erimelerine olan etkisi bu çalışmada ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmada dört bölgesel iklim modelinin (CNRM-CM5/RCA4, EC-EARTH/RACMO22E, HadGEM/HIRHAM5 ve NorESM1-M/HIRHAM5) iki senaryosu kullanılarak, referans (1970-2005) ve gelecek dönem (2020-2100) için eğilim ve anomali çalışmaları 20'şer yıllık periyotlar halinde yapılmıştır. HEC-HMS ve HBV-Light hidrolojik modelleri kullanılarak havzada akım ile kar erime projeksiyonları hesaplanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarında sıcaklıkların artan, yağışların ise bazı dönemlerde artan, bazı dönemlerde azalan bir eğilim izlediği görülmüştür. Bu çalışmada hidrolojik çalışmalar sonucu akımlarda genel olarak bir artış gözlenmiştir.

2.2. Dünya’da Yapılan Çalışmalar

Legesse Gebre (2015), tarafından yapılan çalışmada Yukarı Mavi Nil Nehri Havzası’nda iklim değişikliğinin etkileri IPCC’nin 5. Değerlendirme Raporu’na (AR5) dayalı emisyon senaryoları kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada sapma düzeltmesi yapılmış beş GCM’nin, RCP 4.5 ve RCP 8.5 emisyon senaryolarınının 50 km x 50 km çözünürlüklü çıktıları kullanılmış ve gelecek projeksiyon dönemi, 2030’lar (2035-2064) ve 2070’ler (2071-2100) olarak iki aralığa bölünmüştür. HEC-HMS sistemi akarsu akışı simülasyonu için kalibre edilip doğrulanmıştır ve sonucunda beş GCM projeksiyonu da maksimum ve minimum sıcaklıklarda artışların olduğunu göstermiştir. Çalışma sonucunda RCP8.5 emisyonundaki değişim büyüklüğünün RCP4.5 senaryosuna göre daha fazla olduğu ve bununla birlikte akışın gelecekte artmasının beklendiği görülmüştür.

Deb vd. (2018), tarafından yapılan çalışma, Tayland’da gelecekteki iklimin hidroloji üzerindeki potansiyel etkilerini mevsimsel ölçekte ele almaya çalışmıştır. Ülke genelinde toplam dokuz Hidrolojik Tepki Birimi (HRUs), benzer arazi kullanımı ve toprak özelliklerine dayalı olarak belirlenmiş ve iklim değişikliği altında su kaynaklarının değerlendirilmesi için HEC-HMS modeline başvurulmuştur. SRES A2 ve B2 senaryolarının gelecekteki yağış verileri, yaygın olarak kullanılan beş Küresel İklim Modelinden (GCM) elde edilmiştir. Çalışmada senaryo ve dönem fark etmeksizin referans döneme (1991-2000) göre kurak mevsim için simülasyonlar, su kaynaklarının $-17,43$ ila $54,74\%$ arasında değişmesinin beklendiğini gösterirken, yağışlı mevsim için projeksiyonun $-7,47$ ila $48,29\%$ arasında değişmesi beklenmiştir. Çalışmanın sonucunda HRU’ların ve ulusal düzeydeki akışın artacağına dikkat çekilmiştir.

Bai vd. (2019), tarafından yapılan çalışmada, iklim değişikliğinin taşkın olayları üzerindeki etkisini değerlendirmek için HEC-HMS modelleme sistemi ve CMIP5’(Birleşik Model Karşılaştırma Projesi Faz 5) birleştiren bir çerçeve önerilmiştir. Önerilen yaklaşım, Nippersink Creek havzasına uygulanmış olup, düşük, orta ve yüksek emisyon senaryoları için 10, 25, 50 ve 100 yıllık yağışların tarihsel gözlemlerden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmaya göre yüksek emisyon senaryosu, gelecekte artan sel risklerine neden olmaktadır. Bu çalışma, HEC-

HMS ve CMIP5'i birleştiren çerçevenin iklim değişikliğinin sel olayları üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanımının kolay ve verimli olduğunu göstermiştir.

Habibu vd. (2020), tarafından yapılan çalışma, HEC-HMS modelini en yaygın uygulanan Toprak Su Değerlendirme Aracı (ArcSWAT) modeli ile karşılaştırmış ve bu modelleri Malezya'nın Bernam Havzası'nda 2010-2039, 2040-2069 ve 2070-2099 periyotlarında ve referans dönemde (1976-2005), on GCM'nin üç RCP senaryosu (RCP 4.5, 6.0 ve 8.5) altında iklim değişikliğinin akarsu debisi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanmıştır. Yapılan çalışmaya göre her iki modelin de tatmin edici bir performans gösterdiği sonucuna varılmış ancak HEC-HMS'in, kalibrasyon ve validasyon dönemlerinde ArcSWAT'a göre daha iyi performans sergilediği görülmüştür. Ayrıca akışta, gelecek dönemlerde kurak mevsimde RCP8.5 senaryosu için yüzyılın sonlarında beklenenden daha yüksek bir oranda azalma eğilimi görülmüştür. Yağışlı mevsimde ise, tüm gelecek dönemlerde akışta azalma olmasına rağmen RCP4.5 senaryosuna göre ise artış beklenmiştir (%0.36).

Hoan vd. (2020), tarafından yapılan çalışmada Srepok Nehri Havzası'nda iklim değişikliği etkisi altında akarsu debisi projeksiyonlarındaki belirsizlik araştırılmıştır. Çalışmada emisyon senaryoları (RCP2.6, RCP4.5 ve RCP8.5), Küresel İklim Modelleri (GCMs) (CanESM2, CNMR-CM5 ve HadGEM2-AO), istatistiksel ölçek küçültme yöntemleri (delta değişim yöntemi, nicelik haritalama ve SDSM) ve hidrolojik modeller (ANN, HEC-HMS ve SWAT) ile ilişkili belirsizlikler incelenmiştir. Çalışma sonucunda, akış projeksiyonlarının en büyük belirsizlik sebebinin GCM simülasyonları olduğu görülmüş ve bununla birlikte istatistiksel ölçekleme yöntemleri, hidrolojik modeller ve emisyon senaryolarının da etkili olduğu ortaya çıkmıştır.

Bekele vd. (2021), tarafından yapılan bir çalışmada, Arjo-Didessa havzasının üstünde bulunan Mavi Nil havzasındaki iklim değişikliğinin akarsu akışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada RCP4.5 ve RCP8.5 için dört iklim modelinin çıktıları kullanılmıştır. Akarsu akış simülasyonu, çalışma alanı için kalibre edilmiş ve doğrulanmış olan HEC-HMS yağış-akış modeli kullanılarak yapılmıştır. 1971-2000 tarihleri arasındaki referans dönem için, tüm iklim modellerinin yağış miktarını gözlemlenen miktardan önemli ölçüde az tahmin ettiği görülmüştür ve bu nedenle, iklim verileri model için girdi olarak kullanılmadan önce bu verilerde sapma düzeltilmesi yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, havzadaki iklim değişikliği etkisinin

mevsimsel olduğu ve projekte edilen değişikliklerin büyüklüklerinin RCP8.5 altında RCP4.5'ten daha belirgin olduğu görülmüştür.

Singh Jasrotia vd. (2021), tarafından yapılan çalışmada Jhelum Havzası, Batı Himalayaları için 2020-2100 yılları arası 20'şer yıllık dönemler halinde, maksimum ve minimum sıcaklık, potansiyel evapotranspirasyon (PET) ve yağış değişiklikleri, RCP4.5 ve RCP8.5 kullanılarak incelenmiş ve ayrıca gözlemlenmiş veriler (1991-2016) ile karşılaştırılmıştır. Bu iklim değişikliği projeksiyonlarının Jhelum havzasının hidrolojisi üzerindeki etkisi, Değişken İnfiltrasyon Kapasitesi (VIC) modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Gelecek yıllar arasındaki karşılaştırmalar, her iki RCP altında yağışta 2020'den 2080'e kadar bir artış eğilimi gösterirken, 2080-2100 döneminde hafif bir azalma olduğunu ortaya koymuştur. Sıcaklık ve akış, RCP8.5 altında RCP4.5'ten daha yüksek değerler göstermiştir. Bu çalışmayla, Jhelum Havzası'nın akışı üzerinde yağış projeksiyonlarının güçlü bir etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır.

Nooni vd. (2022), tarafından yapılan çalışmada Afrika kıtası için Coupled Model Intercomparison Project 6. Fazı (CMIP6), CNRM-CM6 modeli temel alınarak, dört farklı ortak sosyo-ekonomik yol (SSP): SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 ve SSP5-8.5 ile üç zaman dilimi (yakın gelecek: 2020–2039, yüzyıl ortası: 2050–2069 ve yüzyıl sonu: 2080–2099) için gelecekteki kuraklık olaylarındaki değişiklikler incelenmiştir. Analiz, tarihsel bir referans döneme (1995–2014) göre yapılmıştır. Çalışmada kendinden kalibreli Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (scPDSI) kullanılarak yıllar arası kuraklıklar değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda senaryolar arasında, SSP3-7.0 ve SSP5-8.5 senaryoları, kuraklık özelliklerinde daha büyük bir artış eğilimi projekte ederken, SSP1-2.6 ve SSP2-4.5 senaryolarının ise daha sınırlı bir artış öngördüğü belirlenmiştir.

2.3. İklim Verileri

WCRP (World Climate Research Programme - Dünya İklim Araştırma Programı), 1980 yılında Uluslararası Bilim Konseyi (International Science Council - ISC) ve Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (World Meteorological Organization - WMO) ortak sponsorluğunda kurulmuştur (WCRP, 2022). WCRP, son 40 yılda iklim biliminin ilerlemesine çok büyük katkılarda bulunmuştur ve bu katkılardan biri olan Birleşik

Model Karşılaştırma Projesi (Coupled Model Intercomparison Project – CMIP) çalışmalarında öne çıkmaktadır.

Birleşik Model Karşılaştırma Projesi (CMIP), iklimdeki geçmiş, şimdiki ve gelecekteki değişiklikleri daha iyi anlamak için tasarlanmış uluslararası bir iklim modelleme projesidir. Bu çoklu model yaklaşımı, iklim modellerinin değerlendirilmesine yardımcı olur, model simülasyonlarında iyileştirmelere yol açar ve geçmiş, şimdiki ve gelecekteki iklimlerin daha iyi anlaşılmasını sağlar ([http-1](http://1)).

CMIP, ilk iki aşamasında 18 GCM'nin iki farklı konfigürasyonda çalıştırılmasını içermiştir. Bu, sürekli koşullar altında bir "kontrol çalışması" ve atmosferik karbondioksitin 80 yıl boyunca yılda %1 arttığı "kararsız çalışma"dır. Son yirmi yılda iklim bilimi anlayışına duyulan ihtiyaç sürekli olarak artmış ve CMIP'in hedefleri ve görev alanı da aynı şekilde ilerlemiştir. 2005-2006'da CMIP3, şu anda katılan 25 model ve önerilen 12 farklı deney ile projenin veri çıktılarını önemli ölçüde genişletmiştir. CMIP3 çok modelli veri seti ve ilgili belgeler IPCC AR4'te (2007) değerlendirilmiştir. Otuz beş deneyini tanımlayan CMIP5, 2008 yılında (WGCM Working Group on Coupled Modelling - Birleşik Modelleme Çalışma Grubu) tarafından onaylanmıştır. CMIP5'te gelecekteki iklim değişikliği sorunu yakın vadeli ve uzun vadeli zaman ölçeklerine ayrılmıştır. 2019'da yayınlanmaya başlayan CMIP6 53 modelleme merkezinden ve 134 modelden oluşmaktadır. CMIP6'nın bilimsel analizlerine, 2022'de yayınlanan IPCC 6. Değerlendirme Raporunda (AR6) kapsamlı bir şekilde yer verilmiştir. Şu anda ise dikkatler CMIP7'nin planlamasına toplanmıştır. CMIP7'nin farklı yönlerinin tasarımını denetlemek için bir dizi görev ekibi kurulmuştur.

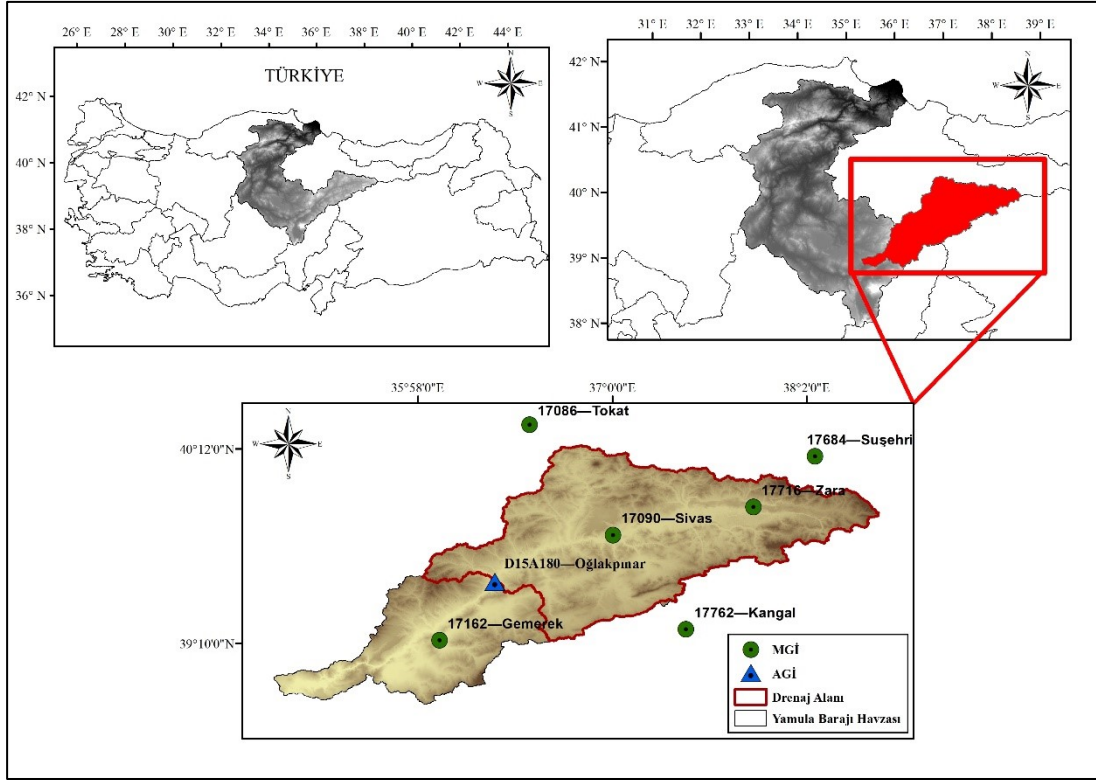
3. MATERYAL VE ÇALIŞMA ALANI

3.1. Çalışma Alanı

Yamula Baraj Havzası, Türkiye'nin en önemli su kaynaklarından biri olan Kızılırmak Nehri'nin membasında, Yukarı Kızılırmak bölgesinde yer almaktadır. Havza, Kızılırmak Havzası'nın bir alt havzasıdır ve 15.581 km²'lik bir drenaj alanına sahiptir. Bu çalışmada kullanılan D15A180 Oğlakpınar Akım Gözlem İstasyonu'nun drenaj alanı yaklaşık 11.185,62 km² olup, bu büyüklük Yamula Baraj havza alanının yaklaşık %72'sine karşılık gelmektedir (Şekil 3.1). Havza yüksek bir topografyaya sahip olup çalışma alanının rakımı 1192 m ile 2986 m arasında değişmekte ve ortalama yüksekliği 2080 m'dir. Havza, yarı kurak iklim bölgesinde yer almakta olup, büyük bir kısmında soğuk kışlar ve sıcak yazlarla tipik kuru iklim hakimdir. Yıllık ortalama sıcaklık yaklaşık 9,08 °C ve yıllık yağış yüksekliği 452,78 mm'dir. Havzada, denize uzaklık ve rakımın etkisiyle genellikle konvektif ve cephe yağış sistemleri gözlemlenir (Yıldız, 2009). Yıllık yağış yüksekliği 295 ile 595 mm arasında değişmektedir. Toplam yağışın yaklaşık %65-70'i ilkbahar ve kış aylarında meydana gelirken, en az yağış yaz aylarında gerçekleşir. Yıllık akış ise 297 ile 595 m³/s arasında değişir. Havzanın yaklaşık %44'ünü tarım alanları oluşturur (Tablo 3.1). Yamula Baraj Havzası'nda, coğrafi konumu, topografik özellikleri ve iklim koşullarına bağlı olarak tarım sektörü önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca bölgedeki tarımsal üretimde buğday, arpa, çavdar, ayçiçeği tohumu, patates ve şeker pancarı en büyük paya sahip ürünlerdir. Havzanın konum haritası Şekil 3.1. üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Çalışma Alanı Arazi Kullanımı

Alan (km ²)	Alan (%)	Arazi Kullanımı
96,92	0,87	Yerleşim Alanları
4889,38	43,81	Tarım Alanları
4730,38	42,39	Mera ve Çayırlar
1178,07	10,56	Orman Alanları
1,77	0,02	Kumullar
169,39	1,52	Çıplak Kayalıklar
19,05	0,17	Bataklıklar
74,45	0,67	Akarsu ve Göller



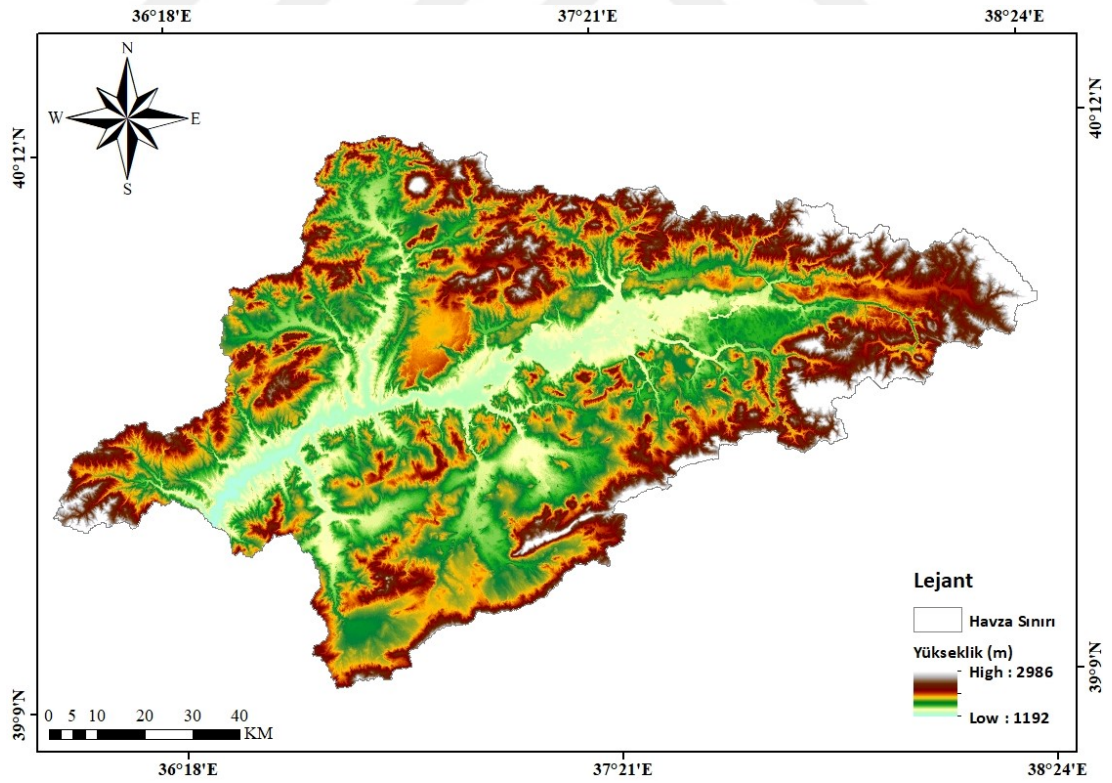
Şekil 3.1. Yamula Barajı Havzası Konum Haritası

Yamula Barajı Havzası'nın arazi yükseklik dağılımını daha iyi görmek amacıyla Google Earth Pro ile havzanın SHP dosyası programa aktarılmış ve 3D bir harita elde edilmiştir (Şekil 3.2).



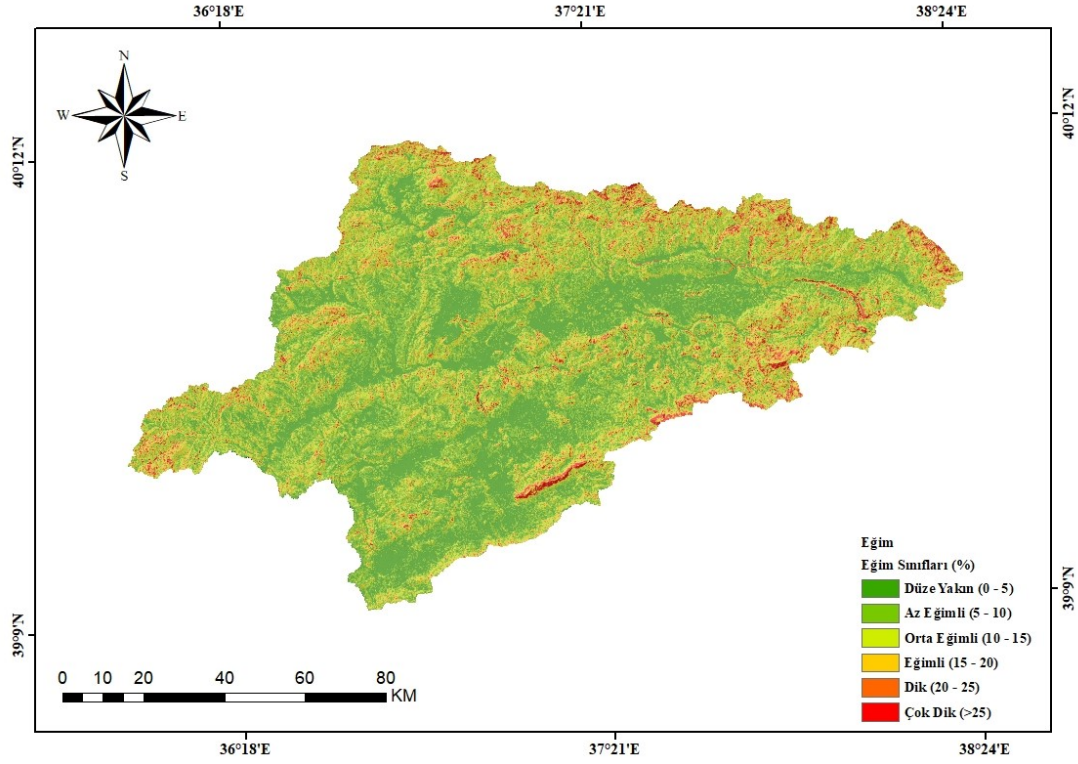
Şekil 3.2. Yamula Barajı Havzası Google Earth Pro Görüntüsü

Çalışma alanının yükseklik haritası, ArcMap programı kullanılarak dijital yükseklik ile çıkartılmış ve Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



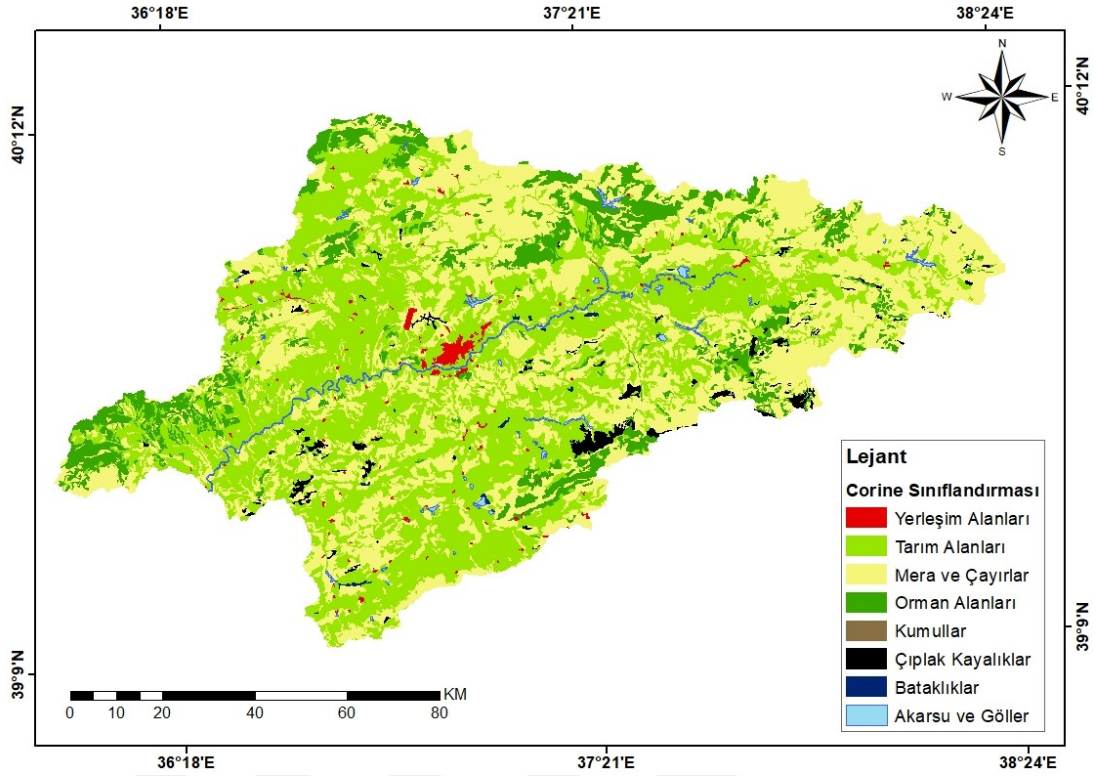
Şekil 3.3. Çalışma Alanının Yükseklik Haritası

Eğim sınıflandırma analizlerinde çalışma alanının düşük eğime sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 3.4. Çalışma Alanı Eğim Haritası

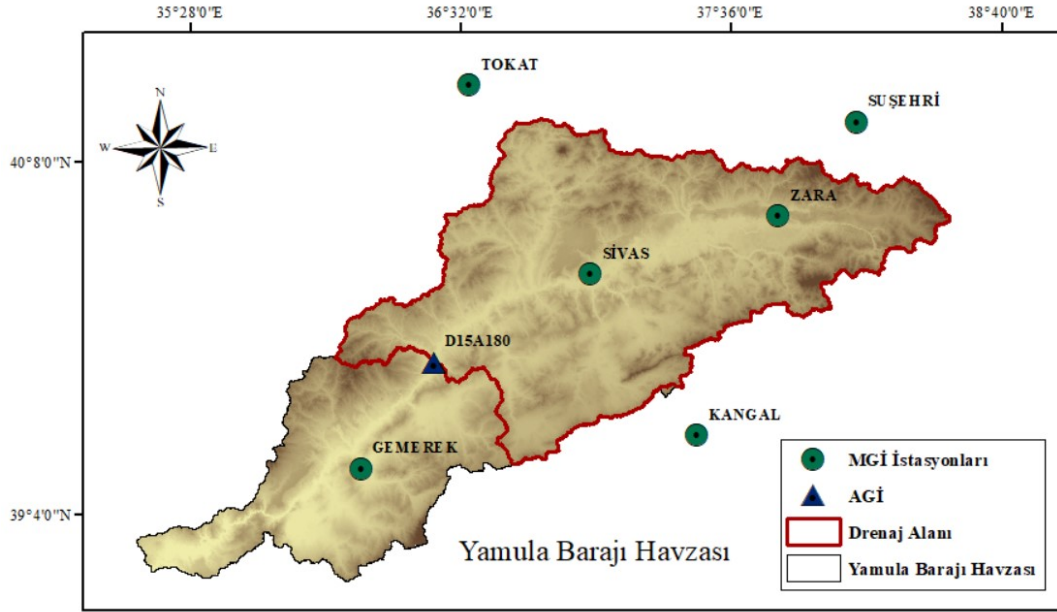
Çalışma alanının arazi kullanımı analizlerine göre havzanın çoğunluğu tarım arazileri, mera ve çayırlardan oluşmaktadır. Ayrıca havzanın %1,52 olarak çıplak kayalıklara, %0,87 yerleşim alanlarına ve %0,67 su alanlarına sahip olduğu hesaplanmıştır. Havzanın Corine haritası Şekil 3.5'te gösterilmiş ve Tablo 3.1'de detayı ile sunulmuştur.



Şekil 3.5. Çalışma Alanı Arazi Kullanım Haritası

3.2. Hidro-Meteorolojik Veriler

Hidro-meteorolojik veriler, farklı kaynaklardan ve kurumlardan temin edilen, ölçüm aletleriyle elde edilen ve sıcaklık, yağış, akım değerleri, rüzgâr hızı, bağıl nem gibi değerleri içeren fiziksel değişkenlerden oluşan verilerdir. Yapılan çalışmaların güvenilir olması açısından kullanılacak verilerin doğru ve güncel olması önemlidir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve Devlet Su İşleri (DSİ) Türkiye'nin farklı bölgelerinden uzun yıllara ait veri setlerini toplayarak farklı çalışmalarda kullanılmak üzere veri tabanları oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasında Yamula Baraj Havzası'nın içinde ve dışında kalan Meteoroloji Gözlem İstasyonları (MGİ) incelenip, çalışmada kullanılmaya uygun geçmiş ve günlük veriye sahip istasyonlar seçilmiştir. Çalışmada kullanılan MGİ'lere ait veriler MGM sitesinden (<http-2>) alınmıştır ve bu istasyonlar Şekil 3.6'da gösterilmiştir. 1980-2013 veri aralığına sahip istasyonlara ait bilgiler Tablo 3.2'de sunulmuştur.



Şekil 3.6. Yamula Barajı Havzası MGİ ve AGİ Konumları

Tablo 3.2. Yamula Barajı Havzası kullanılan MGİ Özellikleri

İstasyon No	İstasyon Adı	İl Adı	Yükseklik (m)	Enlem	Boylam
17086	Tokat	Tokat	611	40.3312	36.5577
17090	Sivas	Sivas	1294	39.7437	37.0020
17162	Gemerek	Sivas	1182	39.1850	36.0805
17684	Suşehri	Sivas	1164	40.1623	38.0752
17716	Zara	Sivas	1338	39.8928	37.7473
17762	Kangal	Sivas	1521	39.2428	37.3890

Çalışmada kullanılan istasyonlarda bulunan eksik verilerin tamamlanabilmesi için diğer istasyonlarla korelasyon çalışması yapılmış ve eksik veriler en yüksek korelasyon uyumu yakalanan istasyon üzerinden tamamlanmıştır. Yağış verileri için Tablo 3.2’de sunulan tüm istasyonlar kullanılırken sıcaklık (ortalama, maksimum, minimum) için yalnızca Sivas (17090) ve Zara (17716) istasyonlarına ait veriler kullanılmıştır.

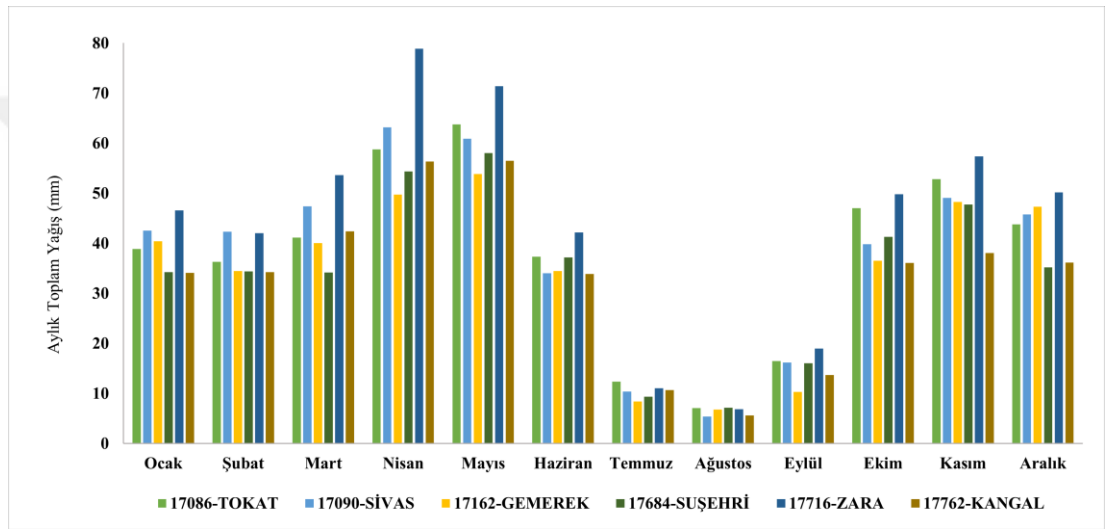
Tablo 3.2’de sunulan istasyon verilerinin Thiessen ağırlıkları, HEC-HMS modelinde kullanılmak üzere ArcGIS programı yardımıyla elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında 1980-2013 veri aralığına sahip D15A180-Oğlakpınar AGİ’sinin günlük verileri kullanılmıştır. AGİ’ye ait konum bilgisi Şekil 3.6’da ve Tablo 3.3’te gösterilmiştir.

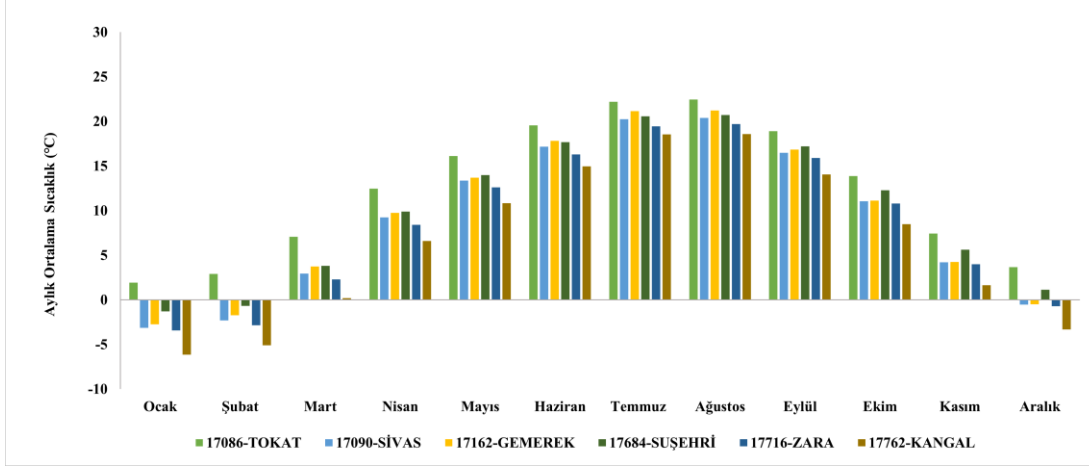
Tablo 3.3. Yamula Barajı Havzası AGİ Bilgileri

AGİ No	AGİ Adı	Nehir Adı	Enlem	Boylam
D15A180	Oğlakpınar	Kızılırmak	39,4936	36,3755

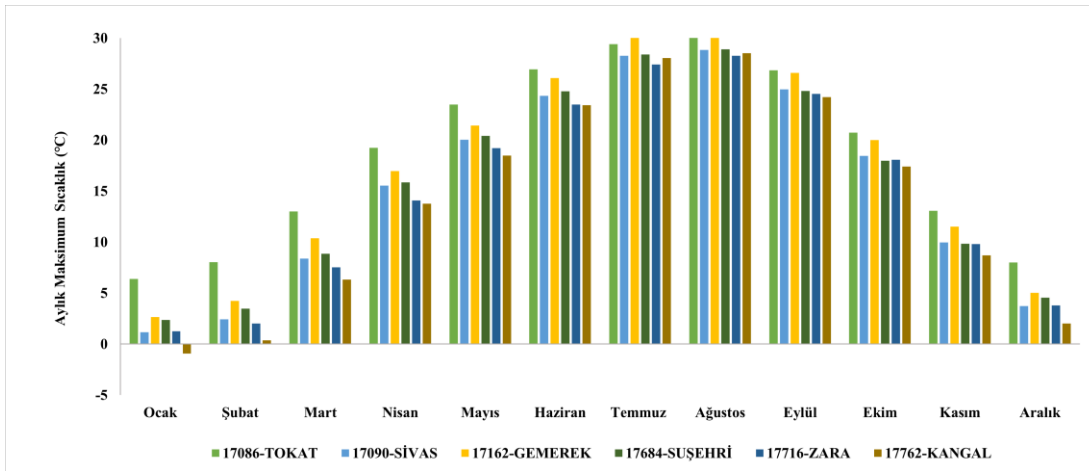
Yamula Barajı Havzası'nın ortalama aylık toplam yağış değerleri Şekil 3.7'de grafik olarak gösterilmiştir. Bu değerler çalışmada kullanılan istasyonlara ait olup aynı şekilde çalışma alanının, aylık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri de sırasıyla Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 üzerinde verilmiştir. Ayrıca, modelleme çalışmalarında kullanılan gözlem akım verilerinin aylık ortalamaları da Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



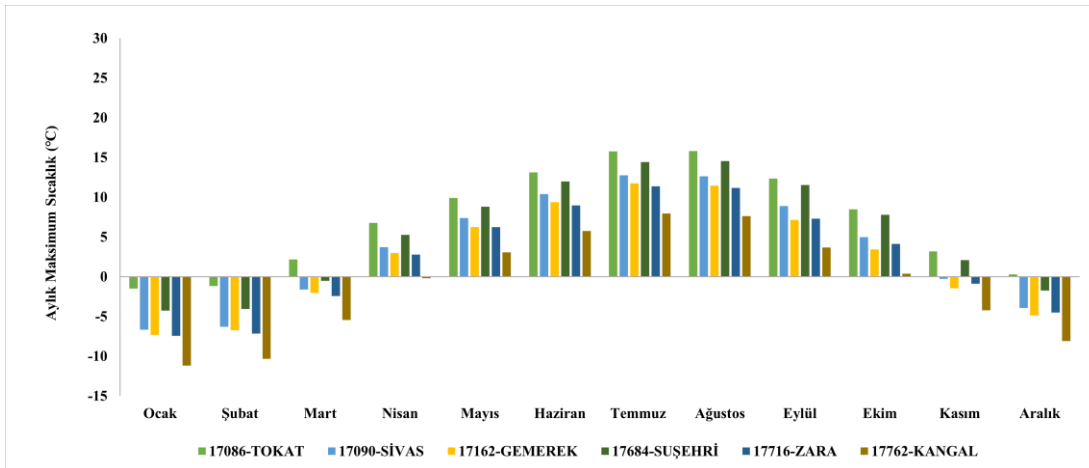
Şekil 3.7. İstasyonlara Ait Aylık Toplam Yağış Yükseklikleri (mm) (1980-2013)



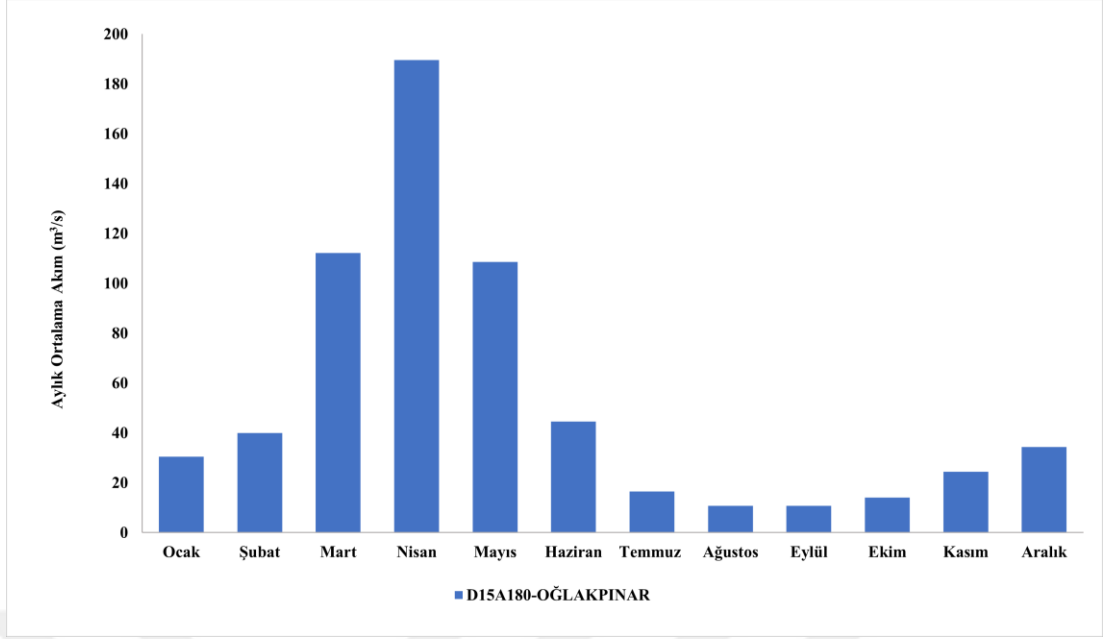
Şekil 3.8. İstasyonlara Ait Aylık Ortalama Sıcaklık Miktarları (°C) (1980-2013)



Şekil 3.9. İstasyonlara Ait Aylık Maksimum Sıcaklık Miktarları (°C) (1980-2013)



Şekil 3.10. İstasyonlara Ait Aylık Minimum Sıcaklık Miktarları (°C) (1980-2013)



Şekil 3.11. Aylık Ortalama Akım (m³/s) (1980-2013)

3.3. Projeksiyon Verileri

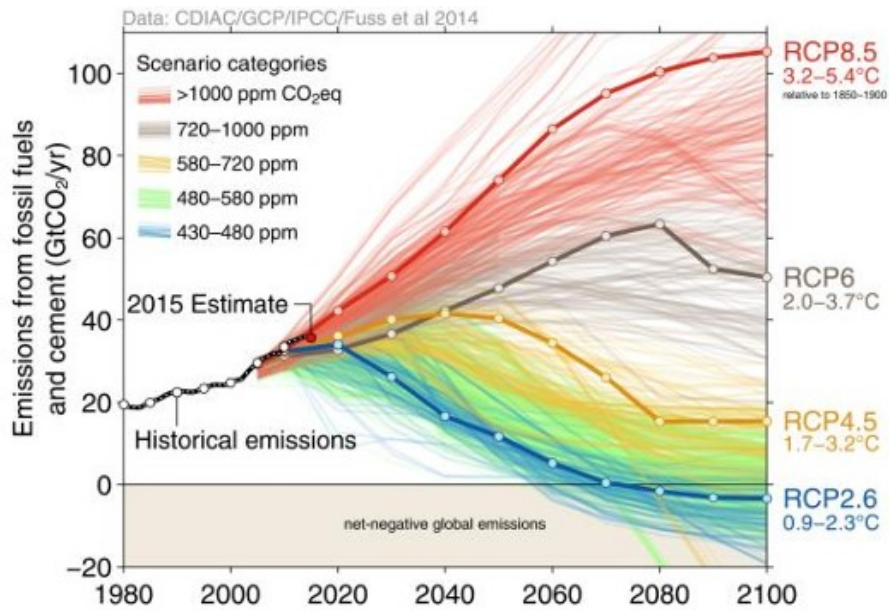
3.3.1. İklim Projeksiyon Tanımları

Hidrolojik rejimlerin gelecekteki iklim koşulları altında daha fazla değişime maruz kalacağına bilinmesiyle beraber sürekli değişme eğiliminde olduğu da bilinen bir gerçektir (M. I. Brunner vd., 2019). Bu sebeple, gelecekteki akış değişikliklerinin sayısal büyüklüğünün belirlenmesi, su kaynakları yönetimi uygulamalarının iyileştirilmesine yardımcı olacağı için hayati öneme sahiptir (L. Brunner et al., 2020). Gelecek akış rejimlerinin iklim koşulları altında ne derece etkilendiğini görebilmek ve hidrolojik modellerde kullanmak amacıyla güvenli iklimsel tahminlere gerek duyulur. Gelecekteki iklim koşullarını tahmin etmek için en yaygın kullanılan araçlar ise GCM'ler (Küresel İklim Modelleri) ve RCM'lerdir (Bölgesel İklim Modelleri) (De Girolamo vd., 2017). Bu modeller, atmosfer, okyanus ve biyosfer arasındaki karmaşık etkileşimleri simüle etmek üzere geliştirilmiştir. Gelecekte sera gazı konsantrasyonlarının nasıl değişeceğine dair varsayımlar altında, GCM'ler iklimin gelecekteki gelişimini tahmin etmek için kullanılabilir. Ancak GCM'lerin düşük yatay çözünürlüğü genellikle daha küçük ölçekte kullanılan modellerde çıktılarının doğrudan kullanılmasını ciddi anlamda zorlaştırmaktadır (Yang vd., 2010). GCM'lerin belirsizliğini gidermek amacıyla da Bölgesel İklim Modelleri (Regional Climate Models - RCM'ler) kullanılmaktadır (Lee vd., 2019). Belirli kaynaklardan ulaşılan

iklim modelleri (GCM'ler) düşük çözünürlükte olduğu için bu modelleri kullanışlı hale getirmek amacıyla bazı ölçeklendirme yöntemleri kullanılabilir. GCM ölçeği ile etki ölçeği arasındaki büyük uyumsuzluğun giderilmesi amacıyla en yaygın kullanılan yaklaşım ölçek küçültme (downscaling) yöntemidir (Yang vd., 2010). "Downscaling (ölçek küçültme)" terimi, ayrıntılı bölgesel ve yerel atmosfer verilerine ulaşmak için ya ince mekansal ölçekli sayısal atmosfer modellerinin (dinamik ölçeklendirme) ya da istatistiksel ilişkilerin (istatistiksel ölçeklendirme) kullanımını ifade eder (Castro vd., 2005). İstatistiksel ölçek küçültme, daha büyük ölçekli atmosferik değişkenler ile günlük yağış ve/veya sıcaklık gibi yerel ölçümler arasındaki ilişkileri kullanmaktadır (Wilby & Fowler, 2010). Bu tez çalışmasında EURO-CORDEX (http-3) verilerinden faydalanılmıştır. CORDEX girişimini meydana getiren Bölgesel İklimin Ölçek Küçülmesi Çalışma Grubu (Task Force for Regional Climate Downscaling - TFRCD), Dünya İklim Araştırma Programı (World Climate Research Programme-WCRP) tarafından 2009 yılında kurulmuştur. CORDEX girişiminin asıl amacı, koordineli bir model değerlendirme kapsamı, bir iklim projeksiyon çerçevesi ve iklim değişikliği etkisi, uyum ve hafifletme çalışmalarında iklim simülasyonlarının kullanıcılarına bir arayüz sunmaktır (Giorgi vd., 2009). EURO-CORDEX, CORDEX girişiminin Avrupa kısmıdır ve CMIP5'ten birden fazla küresel iklim modeli tarafından zorlanan çoklu ölçek küçültme modellerine dayalı iklim simülasyonları üretmektedir. EURO-CORDEX, 27 K – 72 K, 24 22 B – 45 D bölgesini kapsar ve EUR-11: 0,11 derece ve EUR-44: 0,44 derece uzamsal çözünürlüğe sahiptir. (EURO-CORDEX, 2022). EURO-CORDEX simülasyonları, CMIP5 uzun vadeli deneylerinden 2100 yılına kadar olan küresel iklim senaryolarını göz önünde bulundurmaktadır. Bu senaryolar, sera gazı emisyonlarının etkisiyle ortaya çıkan radyasyon zorlamasının nasıl değişeceğini göstermektedir. Bu RCP'ler Tablo 3.4 ve Şekil 3.12 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP'ler) (http-4)

RCPs	Işınımsal Zorlama Değeri	Değere Ulaşma Zamanı	Işınımsal Zorlama Değişimi	Toplam Konsantrasyon (CO ₂ eşdeğer)	Emisyonlar (KYOTO protokolü sera gazları)
RCP 8.5	> 8.5 W/m ²	2100'de	Yükselme	~1370 ppm	2100'e kadar sürekli artış
RCP 6.0	~ 6.0 W/m ²	2100 sonrası	Hedefi geçmeden stabilizasyon	~ 850 ppm	Yüzyılın son çeyreğinde düşüş
RCP 4.5	~ 4.5 W/m ²	2100 öncesi	Hedefi geçmeden stabilizasyon	~ 650 ppm	Yüzyılın ortalarından itibaren düşüş
RCP 2.6	~ 3.0 W/m ²	2100 öncesi	3.0 W/m ² 'e ulaşmadan zirve ve düşüş	~ 490 ppm	Yüzyılın ilk çeyreğinde düşüş



Şekil 3.12. Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP'ler) (Neil Craik, Waterloo Üniversitesi)

Bu tez çalışmasında ESGF (Earth System Grid Federation - Dünya Sistemi Şebeke Federasyonu) tarafından yayımlanan EURO-CORDEX günlük verileri, EUR-11, (12,5 km) iyi çözünürlüğe sahip bölgesel iklim modelleri (RCM'ler) indirilmiştir ve bu modeller Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

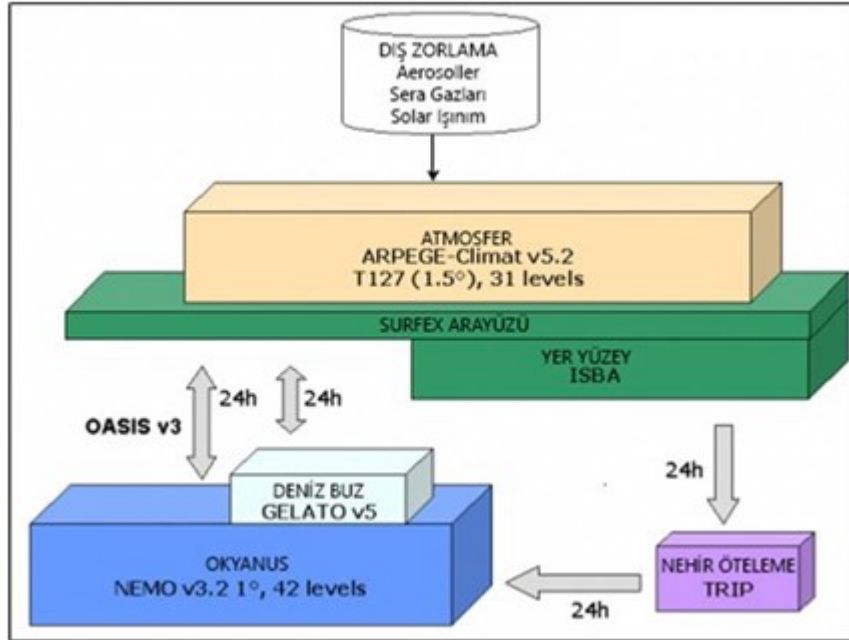
Tablo 3.5. Kullanılan Bölgesel İklim Modelleri

Domain	GCM (Küresel İklim Modeli)	RCM (Bölgesel İklim Modeli)	Referans Dönem	RCP 4.5	RCP 8.5
EUR-11	CNRM-CM5	RCA4	1970-2005	2006-2100	2006-2100
EUR-11	EC-EARTH	RACMO22E	1950-2005	2006-2100	2006-2100

3.3.2. Küresel İklim Modelleri (GCM'ler)

3.3.2.1. CNRM-CM5

CNRM-CM, (CNRM - Centre National de Recherches Météorologiques – Fransa Ulusal Meteorolojik Araştırma Merkezi) bir Dünya sistem modelidir ve iklim simülasyonlarını çalıştırmak amacıyla oluşturulmuştur. CERFACS'ta (Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée - Avrupa Araştırma ve İleri Eğitim Merkezi - Fransa) geliştirilmiş ve bağımsız bir şekilde tasarlanmıştır. CNRM-CM OASIS yazılımıyla birleştirilmiş ve Şekil 3.13 üzerindeki şemada da gösterildiği gibi birkaç mevcut modelden oluşmaktadır (CNRM, 2014). CNRM CM5, CNRM-GAME ve CERFACS tarafından ortaklaşa geliştirilip kullanılmaktadır (CNRM, 2014).



Şekil 3.13. CNRM-CM5 Modeline Ait Çalışma Şeması

CNRM-CM5 modeli aylar, yüzyıllar arasında değişen zaman periyotlarında hem mevcuttaki iklimi hem de değişkenliği modelleyebilmektedir. Ayrıca CNRM-CM5 IPCC değerlendirme raporunun temel aldığı Birleşik Modeller Arası Karşılaştırma Projesi (Coupled Model Intercomparison Project - CMIP) kapsamında deneyler yapılırken de kullanılmıştır (CNRM, 2014). CNRM-GAME CMIP5 veri portalı, bu uluslararası proje kapsamında CNRM-CM5 tarafından oluşturulan model çıktısının giriş noktasıdır. CNRM-CM5, iklim sistemi kavrayışımızın geliştirilmesi, 1850 yılından bu yana referans döneminin simüle edilmesi, sera gazı senaryolarına bağlı

olarak gelecekteki iklimin ve paleo-iklimlerin simüle edilmesi ve mevsimsel tahminlerin yapılabilmesi için geliştirilmiş temel bir araçtır (CNRM, 2014).

3.3.2.2. EC-EARTH

EC-Earth, ulusal meteoroloji hizmetleri ve araştırma enstitülerinden oluşan bir Avrupa konsorsiyumu tarafından geliştirilen bir Dünya sistemi modelidir. EC-Earth, Dünya Sistem Modeli'nin geliştirilmesi için iş birliği yapmak üzere 12 Avrupa ülkesinden 30 araştırma enstitüsünü bir araya getirmiştir. EC-Earth konsorsiyumu, Coupled Model Intercomparison Project'e (CMIP) katkıda bulunan bir topluluktur. EC-Earth ayrıca çeşitli ulusal ve uluslararası projede bir araştırma aracı olarak kullanılmaktadır (EC-Earth, 2022). EC-Earth'in asıl amacı, güvenilir iklim bilgisi üretmek ve dış zorlamadan kaynaklı uzun süreli değişiklikler hakkında bilimsel bilgiyi iletirmek için ECMWF (European Centre of Medium Range Weather Forecast - Avrupa Orta Menzilli Hava Durumu Merkezi)'nin mevsimsel tahmin sistemine dayalı bir ESM geliştirmek ve uygulamaktadır (EC-Earth, 2022). Model sistem, klasik iklim modeli (atmosfer, toprak, okyanus, deniz buzu) ve Dünya Sistemi konfigürasyonları (atmosferik kimya ve aerosoller, okyanus biyo jeokimyası, dinamik bitki örtüsü ve bir Grönland buz tabakası ekleme) dahil olmak üzere çeşitli parametrelerin bir araya getirilmesinde kullanılabilir (EC-Earth, 2022). Model, farklı konfigürasyon ve çözünürlükteki iklim değişikliği projeksiyonları, tahminleri ve süreç çalışmaları için kullanılmaktadır (EC-Earth, 2022).

3.3.3. Bölgesel İklim Modelleri (RCM'ler)

3.3.3.1. RCA4

SMHI'nin (İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü - Swedish Meteorological and Hydrological Institute) bir parçası olan Rossby Merkezi, gelişmiş iklim modellemeleri yapmaktadır (SMHI, 2014). RCA4, Rossby Merkezi Bölgesel Atmosferik İklim Modeli'nin (RCA4) dördüncü versiyonudur. RCA3'ten bu yana RCA hem fiziksel hem de teknik değişikliklere uğramıştır. RCA4, CORDEX için CMIP5 simülasyonlarının küçültülmesinde kullanılan versiyondur. RCA artık herhangi bir geliştirmeden geçmemekte ve Rossby Merkezi'ndeki mevcut bölgesel iklim modeli HARMONIE-Climat (HCLIM)'dir (SMHI, 2014).

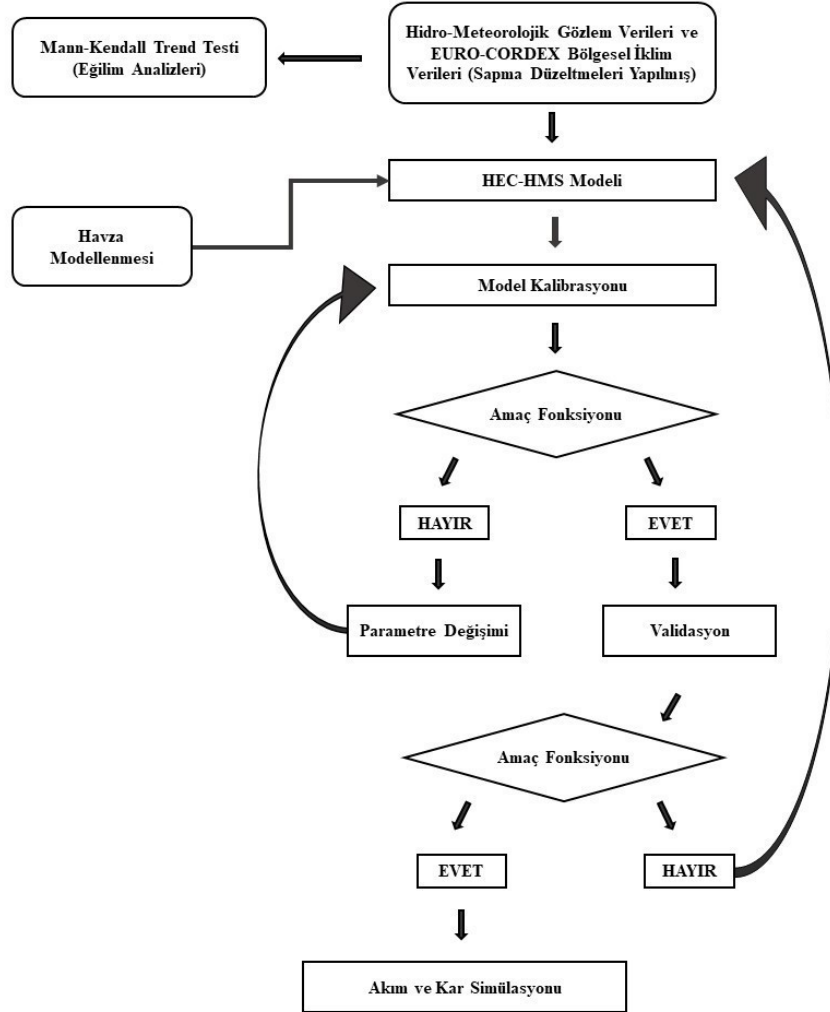
3.3.3.2. RACMO22E

KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut - Hollanda Kraliyet Meteoroloji Enstitüsü), 2005'ten beri bölgesel iklim modeli RACMO'nun farklı versiyonlarını geliştirmekte ve farklı projelerde uygulamaktadır. Bu çalışmalar esnasında güncellemeler ile farklı versiyonlar üretilmiştir. Örneğin RACMO2.1 versiyonu RACMO2 döngüsünün güncellenmiş hali olarak sunulmuştur. RACMO2.2 olarak anılan gelecek sürüm değiştirilmeden tutulmuştur (Van Meijgaard vd., 2008). KNMI-RACMO22E RCM, ICHEC-EC-EARTH GCM ile zorlanmıştır ve EURO CORDEX projesindeki model projeksiyon çalışmalarından biridir.



4. METODOLOJİ

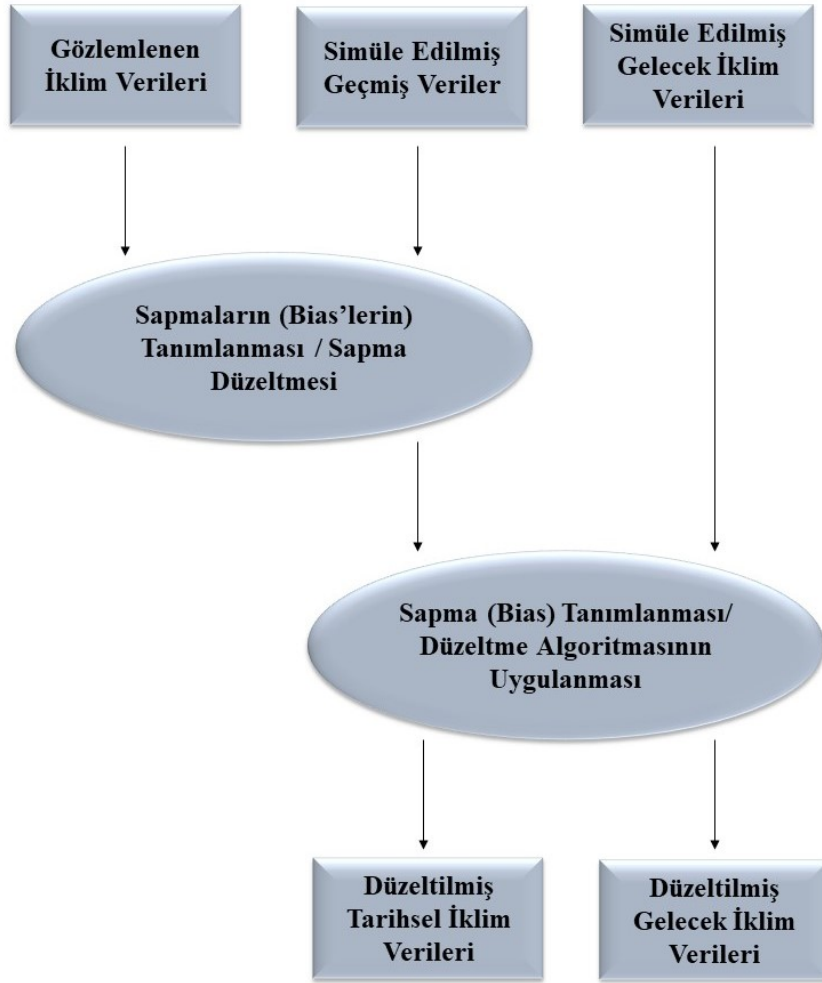
Bu tez çalışmasında hidrolojik model olarak, akım ve kar simülasyonlarını başarılı bir şekilde simüle edebilen HEC-HMS modeli seçilmiştir. Hidrolojik model aşamasında kullanılacak veri temini ArcGIS programı ile CBS ortamında havza Sayısal Yükseklik Modelinden (SYM) Akım Gözlem İstasyonuna (AGİ) göre drenaj alanı çıkarılarak ve Meteoroloji Gözlem İstasyonlarına (MGİ) göre elde edilmiştir. HEC-HMS modelinin çalışma prensibi Şekil 4.1 ile gösterilen şemada özetlenmiştir.



Şekil 4.1. HEC-HMS Çalışma Şeması

4.1. İklim Projeksiyon Verilerinde Sapma Düzeltmesi (Bias Correction)

Hidrolojik iklim değişikliği etki çalışmalarında bölgesel iklim modeli (RCM) simülasyonlarının artan kullanımına rağmen, uygulamaları önemli yanlılık riski nedeniyle zordur (Teutschbein & Seibert, 2012). Etki modelleri genellikle yüksek çözünürlüklü ve tarafsız girdi verilerine ihtiyaç duyar ancak küresel ve bölgesel iklim modelleri genellikle istenenden düşük çözünürlükte ve yanlıdır (Maraun, 2016). Bu nedenle, iklim modeli verilerini kullanan birçok kişi, belirli bir türde sapma düzeltmesi ve ölçeklendirme uygular (Maraun, 2016). Sapma (Bias) düzeltmesi aşamaları, gözlemlenen ve simüle edilen iklim değişkenleri arasındaki uyumsuzluğu gidermek için kullanılır ve sonucunda sapma düzeltmesi yapılmış ve simüle edilen iklim verileri tarafından yönlendirilen hidrolojik simülasyonlar, gözlemlenen iklim verileri kullanılarak yapılan simülasyonlarla uygun bir düzeyde eşleşir. Bu çalışmada iklim verilerindeki yanlılığı gidermek amacıyla CMhyd (Climate Model data for hydrologic modeling - Hidrolojik modelleme için İklim Modeli verileri) aracı kullanılmıştır. CMhyd, küresel ve bölgesel iklim modellerinden elde edilen verileri ayıklamak ve sapmayı düzeltmek için kullanılabilen bir araçtır (Rathjens vd., 2016). Bir topluluk yaklaşımının uygulanması, yani çeşitli iklim modelleri ve ölçek küçültme yöntemleri tarafından sağlanan sapma (Bias) düzeltmeli verilerin kullanılması şiddetle tavsiye edilmektedir (Teutschbein & Seibert, 2010, 2012). CMhyd, iklim modeli çıktılarının alınması ve sapma düzeltmelerinin gerçekleştirilmesi için girdi olarak verilen havza istasyonlarının konumlarını temsili konumlar olarak kabul edip bu konumlara göre iklim projeksiyon verilerini bir algoritma kullanarak sağlayan bir araçtır. Sapma düzeltmesinin işleyiş şeması Şekil 4.2’de basitçe gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Sapma (Bias) Düzeltmesi Çalışma Şeması (CMhyd, 2016)

4.2. Gözlemlenmiş Verilerin Hazırlanması

CMhyd, gözlemlenen veriler için ASCII formatını kullanır. Ölçüm noktalarına ait veriler, her bir ölçüm noktası için ayrı dosyalarda saklanır ve tüm bu dosyalar bir lokasyon dosyasında listelenir. Yağış ve sıcaklık için ayrı lokasyon dosyalarına ihtiyaç vardır. Lokasyon dosyalarındaki NAME alanları, ilgili veri dosyalarına işaret ederken, LAT (enlem) ve LON (boylam) alanları ölçüm noktalarının konumunu belirtir. Veri girdi dosyalarında ilk satır verinin başlangıç tarihini belirtirken, sonraki satırlar her bir güne ait veriyi gösterir. Veri eksiklikleri verisiz bir değer (örneğin -99.9 veya -99.0) kullanılarak giderilmelidir (Rathjens vd., 2016). Yağış girdi dosyası, günlük toplam yağış miktarını (mm) içerirken; sıcaklık girdi dosyası, günlük maksimum ve minimum sıcaklıkları (°C) barındıran iki kolon içerir. Veri dosyalarının isimleri, lokasyon dosyasındaki “NAME” alanında belirtilen isimlerle aynı olmalıdır. Tüm dosyaların

oluşturulmasını, erişilmesini ve paylaşılmasını mümkün kılan, kendi içeriğini tanımlayabilen ve platformdan bağımsız bir veri formatıdır (unidata, 2022). Her dosya, bir dizi veri değişkeni, boyut ve özellik barındırır (Rathjens vd., 2016). CMhyd, netCDF dosyasının meta bilgilerini kullanarak ölçüm noktalarının konumlarına denk gelen iklim modeli grid hücrelerini belirler. Daha sonra, yağış verilerini milimetreye (mm) ve sıcaklık verilerini santigrat dereceye (°C) dönüştürür. Son olarak, ilgili grid hücrelerinin zaman serilerini netCDF dosyalarından okuyarak çıkarır. Bu işlemler, gözlemlenen veya senaryo bazlı iklim verilerinin hidrolojik modelleme çalışmalarında kullanılabilir hale getirilmesini sağlar (Rathjens vd., 2016). Bu tez kapsamında, ESGF platformundan elde edilen tüm bölgesel modellere, CMhyd aracı kullanılarak sapma düzeltmesi uygulanmıştır.

4.4. Mann-Kendall Trend Testi

Bu çalışma kapsamında, uzun dönemli yağış ve sıcaklık verilerindeki değişiklikleri saptamak amacıyla Mann-Kendall (MK) Trend testi kullanılmıştır. Parametrik olmayan Mann-Kendall testi (Mann, 1945; Kendall, 1975), bir zaman serisinde eğilimleri belirlemek amacıyla en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Mann-Kendall testi için denklem 4.1 ve 4.2 ile elde edilen S istatistiği kullanılır:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (4.1)$$

$$\text{sign}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{eğer } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{eğer } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{eğer } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (4.2)$$

Bu yöntemde, x_i ve x_j , analiz edilen değişkenin sıralı değerlerini ifade eder; n ise veri serisinin uzunluğunu belirtir. S istatistiği genellikle normal dağılım gösterir ve ortalaması sıfırdır. S 'nin pozitif olması, veri serisinde artan bir eğilimi; sıfır olması, eğilim bulunmadığını; negatif olması ise azalan bir eğilimi ifade eder. Yokluk hipotezi (H_0), veri serisinde herhangi bir trendin bulunmadığını ileri sürer. Denklem 4.3 ile hesaplanan S 'nin varyans değeri, asimptotik olarak normal bir dağılım sergiler (Hamed, 2008).

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (4.3)$$

Bir zaman serisindeki eğilimin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı, Z istatistiği kullanılarak belirlenir. Pozitif bir Z değeri artan bir trendi, negatif bir Z değeri ise

azalan bir trendi ifade eder. Z istatistiği normal dağılıma sahiptir. Belirli bir anlamlılık düzeyi (α) için, Z istatistiğinin mutlak değeri ($Z_{1-\alpha/2}$) değerinden büyükse, yokluk hipotezi (H_0) reddedilir ve eğilim olduğu sonucuna varılır. Aksi takdirde H_0 kabul edilir ve eğilim olmadığı sonucuna varılır. Bu noktada, $Z_{1-\alpha/2}$ değeri standart normal dağılım tablolarından elde edilir.

4.5. HEC-HMS Modeli

HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System), ABD Ordusu Mühendisler Birliği tarafından geliştirilmiş ve Hidrolojik Mühendislik Merkezi (HEC), araştırma ve geliştirme programının bir ürünü olarak ortaya konulmuştur. Bu yazılım hem doğal hem de kontrol edilen yağış-akış süreçlerini ve kanal güzergahlarını simüle edebilmektedir. HEC-HMS, eski bir yazılım olan Taşkın Hidrograf Paketi HEC-1'in (USACE, 1998) ve onun çeşitli özel varyantlarının yerini almıştır (HEC-HMS, 2022). Program, dentritik su havzası sistemlerinde yağış-akış süreçlerini modellemek amacıyla üretilmiştir ve büyük ölçekli nehir havzalarından küçük kentsel ya da doğal havzalara kadar farklı coğrafi alanlarda uygulanabilir. Örneğin, taşkın hidrolojisi, su temini, kentsel drenaj sistemleri, akış tahmini, şehirleşmenin hidrolojik etkileri ve rezervuar tasarımı gibi çeşitli mühendislik sorunlarını çözmek için kullanılabilir. Üretilen hidrograflar, su mevcudiyet analizi, taşkın hasarının azaltılması ve sistem operasyon planlamaları gibi çalışmalar için doğrudan veya başka yazılımlarla birlikte entegre olarak kullanılmaktadır (HEC-HMS, 2022). HEC-HMS, kullanıcıya tam entegre bir çalışma ortamı sunar; veri tabanı yönetimi, veri girişi araçları, hesaplama motoru ve raporlama araçlarını içerir. Grafikselle kullanıcı arayüzü, yazılımın farklı bölümleri arasında kolay bir geçiş sağlar. Akış simülasyonlarında meteorolojik süreçler, yağış kaybı, doğrudan akış, nehir güzergahı, taban akışı ve rezervuar gibi bileşenler için yerleşik algoritmalar kullanılmaktadır (Cunderlik vd., 2004).

4.5.1. Havza Fiziksel Tanımı

Bir havzanın fiziksel özellikleri, Havza Modeli (Basin Model) adı verilen bir sistemle tanımlanır. Bu model, hidrolojik süreçlerin bir ağ yapısı içinde modellenmesini sağlar. Simülasyonda kullanılan temel bileşenler şunlardır: Alt Havza (Subbasin), Erişim (Reach), Bağlantı Noktası (Junction), Rezervuar (Reservoir), Yön Değiştirme

(Diversion), Kaynak (Source) ve Çıkış (Sink). Hesaplama işlemleri, sistemin yukarı kısımlarından başlayarak aşağı yönlü bir sıra izler (HEC-HMS, 2022).

Sızma kayıplarını modellemek için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Olay bazlı (Event) modelleme seçenekleri arasında Başlangıç ve Sabit (Initial Constant), SCS Eğri Numarası (SCS Curve Number), Üstel (Exponential), Green-Ampt ve Smith-Parlange yöntemleri yer alır. Sürekli (Continuous) simülasyon için ise Tek Katmanlı Sapma Sabiti (Deficit Constant), Katmanlı (Layered) Green-Ampt ve Toprak Nemi Hesaplama (Soil Moisture Accounting) yöntemleri bulunmaktadır. Toprak Nemi Hesaplama yöntemi, karmaşık sızma ve buharlaşma süreçlerinin sürekli olarak modellenmesine imkân tanır. Ayrıca, Deficit Constant, Green-Ampt, SCS Curve Number ve Soil Moisture Accounting yöntemleri için ızgara tabanlı yaklaşımlar da bulunmaktadır (HEC-HMS, 2022).

HEC-HMS'te artık yağışı yüzey akışına dönüştürmek için sekiz farklı yöntem bulunmaktadır. Birim hidrograf yöntemleri arasında Clark, Snyder ve SCS teknikleri yer alır. Bunun yanı sıra, kullanıcı tarafından tanımlanabilen birim hidrograf (User-specified Unit Hydrograph) veya S grafiği kullanılabilir. ModClark yöntemi, Clark yönteminin geliştirilmiş bir versiyonu olup, ızgara tabanlı meteorolojik verilerle çalışabilen doğrusal ve yarı-dağıtılmış bir birim hidrograf yöntemidir. Bununla birlikte, birden fazla düzlem ve kanal içeren Kinematik Dalga (Kinematic Wave) yöntemi de seçenekler arasında bulunmaktadır (HEC-HMS, 2022).

HEC-HMS modelinde, alt havza çıkışına taban akışının katkılarını da yansıtmak adına beş farklı yöntem bulunmaktadır. Çekilme (Recession) yöntemi, tek bir olaydan veya birden fazla ardışık olaydan sonra üstel bir şekilde azalan bir taban akışı sağlar. Sabit Aylık (Constant Monthly) yöntemi, sürekli simülasyonlar için uygun bir seçenektir. Lineer Rezervuar yöntemi, sızan yağışı kanala yönlendirerek kütleyi korur. Doğrusal Olmayan Boussinesq yöntemi ise, Çekilme yöntemine benzer bir cevap verir, ancak burada kullanılan parametreler, havzanın ölçülebilir özelliklerinden tahmin edilebilir (HEC-HMS, 2022).

4.5.2. Meteoroloji Tanımı

Meteorolojik veri analizi, Meteorolojik Model tarafından yapılır ve bu analiz, Kısa Dalga Radyasyonu, Uzun Dalga Radyasyonu, Yağış, Sıcaklık, Rüzgâr Hızı, Çiy Noktası, Evapotranspirasyon ve Kar Erimesi gibi unsurları içerir. Ancak, tüm

simülasyonlar için bu bileşenlerin hepsi zorunlu değildir. Basit olay simülasyonları yalnızca yağış verilerini kullanırken, sürekli simülasyonlar için ek olarak diğer meteorolojik değişkenler ve evapotranspirasyon verileri de gerekli olabilir. Genellikle, kar erimesi yalnızca soğuk iklimlerdeki su havzalarında simülasyon gerçekleştirirken önemlidir (HEC-HMS, 2022).

Yağış için kullanılan yöntemler arasında Kullanıcı Tanımlı Hiyetograf, İstasyon Ağırlıkları, Ters Mesafe ve Izgaralı Yağış yer almaktadır. Kar yığınının birikimini ve erimesini takip etmek amacıyla kar erimesi de dahil edilebilir. Mevcut atmosferik koşullar ve kar yığınındaki geçmiş durumlara dayalı olarak erime oranını dinamik bir şekilde hesaplayan bir Sıcaklık İndeksi (Temperature Index) yöntemi bulunmaktadır. Bir alt havza, Yükseklik Bantları (Elevation Bands) veya Izgara Hücreleri (Grid Cells) kullanılarak ifade edilebilir (HEC-HMS, 2022).

4.5.3. Hidrolojik Simülasyon

Bir simülasyonun süre aralığı, Kontrol Tanımlama (Control Specification) tarafından belirlenir ve takip edilir. Kontrol Tanımlama, bir Başlangıç Tarihi ve Saati (Starting Date and Time), Bitiş Tarihi ve Saati (Ending Date and Time) ile bir Zaman Aralığını (Time Interval) içerir. Bir Havza Modeli, Meteorolojik Model ve Kontrol Tanımlamaları birleştirilerek bir Simülasyon Çalışması üretilir.

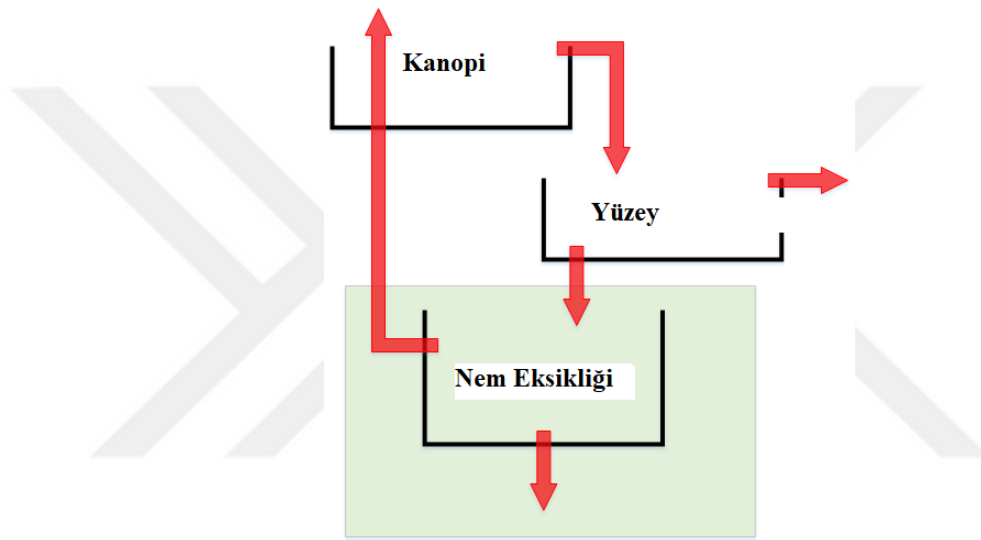
4.5.4. Kullanılan Yöntemler

Bu tez kapsamında, sürekli bir modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Sürekli model, günlük zaman aşamaları kullanılarak uzun süreli olayları modelleyebilmek amacıyla tasarlanmıştır. HEC-HMS modellemesi sırasında, kayıp yöntemi olarak Sapma ve Sabit (Deficit and Constant), transfer yöntemi olarak Clark Birim Hidrografi ve taban akışı yöntemi olarak Lineer Rezervuar ile Çekilme (Recession) yöntemleri seçilerek model çalıştırılmıştır. Bu yöntemler, Yamula Barajı Havzası için modelin parametre aralıklarını, havzanın nitelikleri ve toplanan veriler doğrultusunda saptamak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

- **Kayıp Yöntemi - Sapma ve Sabit (Loss Method - Deficit and Constant):**

Sapma Sabit Kayıp Yöntemi, toprak nemindeki sürekli değişimleri dikkate almak amacıyla tek bir toprak katmanı kullanır. Bu yöntemin uygulanması, sürekli simülasyonların yapılabilmesine olanak tanır. Meteorolojik Modelde hesaplanan

potansiyel evapotranspirasyona tepki olarak, topraktan su çekimi sağlayacak bir Kanopi Yöntemi ile kullanılması gerekmektedir. Kanopi, toprak suyunu tükettiği için toprak tabakası yağış olayları arasında kurur. Eğer bir kanopi yöntemi seçilmemişse, toprak suyunun çıkarımı gerçekleşmeyecektir. Ayrıca, kara yüzeyinde suyun tutulmasını sağlayacak bir yüzey yöntemi ile de entegre edilebilir. Bu durumda, yüzeydeki su, toprak katmanına sızar. Sızma hızı, toprak tabakasının suyu kabul etme kapasitesine bağlı olarak belirlenir. Sapma Sabit Kayıp Yöntemi ve aynı anda hem Kanopi hem de Yüzey Metodu kullanıldığında, sistem Şekil 4.4'te gösterildiği gibi kavramsal olarak modellenmiş olur (HEC-HMS, 2022).



Şekil 4.4. Kanopi ve Yüzey Metotları ile Entegre Açık Sabit Kayıp Yöntemi

Bu yönteme ait parametreler Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

Components		Compute	Results
Subbasin		Canopy	Surface
Loss		Transform	Baseflow
Options			
Element Name: Subbasin-1			
* Initial Deficit (MM)	2		
* Maximum Deficit (MM)	15		
* Constant Rate (MM/HR)	0.37		
* Impervious (%)	4.3		

Şekil 4.5. Açık Sabit Kayıp Yöntemi Parametreleri

Başlangıç açık (Initial Deficit, mm/gün), yöntemin başlama koşulunu gösterir. Bu yöntem, simülasyonun başlangıcında, toprak katmanını maksimum depolama

kapasitesine kadar doldurmak için gereken su miktarını ifade eder. Maksimum Açık (Maximum Deficit, mm/gün) ise toprak tabakasının tutabileceği toplam su miktarını belirten, etkin derinlik olarak tanımlanır. Sabit Hız (Constant Rate, mm/gün), toprak katmanının doygun hale geldiğinde sızmayı ve sızma oranlarını ifade etmektedir. Havzanın geçirimsiz alan yüzdesi, doğrudan bağlantılı geçirimsiz alan (Impervious, %) ile belirtilebilmektedir. Geçirimsiz bölgede herhangi bir kayıp hesaplaması yapılmaz; bu alanın içindeki tüm yağışlar, aşırı yağış olarak kabul edilir ve yüzeyde depolanma ile doğrudan akışa tabi olur (HEC-HMS, 2022).

- **Transfer Yöntemi Clark Birim Hidrografı (Clark Unit Hydrograph):**

Clark Birim Hidrografı, yapay bir birim hidrograf yöntemidir. Bu yöntem, geçmişte gözlemlenmiş hidrografların analiz edilerek bir birim hidrograf oluşturulmasını gerektirmez. Bunun yerine, bir yağış olayının neden olduğu öteleme hidrografını oluşturmak amacıyla zaman ve alan arasındaki ilişkiyi gösteren bir eğri kullanılır. Elde edilen öteleme hidrografı, alt havza boyunca depolama azaltma etkilerini hesaplamak için doğrusal bir rezervuar modeli ile yönlendirilir. Standart yöntemine ait parametreler Şekil 4.6'da gösterilmiştir

Component	Value
Basin Name	Yamula
Element Name	Subbasin-1
Method	Standard
* Time of Concentration (HR)	24
* Storage Coefficient (HR)	270
Time-Area Method	Default

Şekil 4.6. Clark Standart Yöntemi Parametreleri

Yağışlardan sonra havzanın akışa ne kadar sürede yanıt verdiğini anlamak, uygulamalı hidrolojinin temel konularından biridir (Allnutt vd., 2020). Gecikme süresi (t_L – Lag Time) ile konsantrasyon süresi (t_C – Time of Concentration), bir akarsu havzasının yüzeysel akışı tetikleyen yağışlara ne derece hızlı yanıt verdiğini gösteren iki önemli ölçüttür (Mckenroe vd., 2016).

- **Taban Akışı - Lineer Rezervuar Yöntemi:**

Lineer Rezervuar (Linear Reservoir) taban akış yöntemi, bir fırtına durumu sonrasında taban akışının azalmasını simüle etmek için doğrusal bir rezervuar modeline dayanır. Bu yöntem, havzadaki kütleyi koruyan tek taban akışı metodu olarak öne çıkar. Kayıp yöntemiyle hesaplanan sızma veya perkolasyon, bu doğrusal rezervuarlara giriş olarak bağlanır. Model, bir, iki ya da üç rezervuar kullanılarak çalıştırılabilir. Akışın rezervuarlar arasında nasıl bölüneceğini belirlemek için bölme fraksiyonları kullanılır. Rezervuarlara giden akışı hesaplamak için giriş akışı ilgili bölme fraksiyonu ile çarpılarak hesaplanır.

SCS Eğri Numarası, Üstel, Başlangıç ve Sabit, Green ve Ampt ile Smith-Parlange gibi kayıp yöntemleriyle hesaplanan tüm kayıplar, Lineer Rezervuar taban akışına yönlendirilir. Bununla birlikte, Toprak Nemi Hesabı (Soil Moisture Accounting), Katmanlı Green ve Ampt ile Sapma ve Sabit yöntemlerindeki yalnızca doymuş koşullar sırasında oluşan sızma kayıpları da Lineer Rezervuara aktarılır (HEC-HMS, 2022).

Rezervuar sayısı, yani yeraltı suyu katmanlarının adedi, belirtilmelidir ve bu sayı en az bir, en fazla üç olabilir. Başlangıç koşullarını tanımlamak için iki yöntem sunulmaktadır: Alan Başına Başlangıç Boşaltma (Initial Discharge Per Area) ve Başlangıç Boşaltma (Initial Discharge) (HEC-HMS, 2022).

Parameter	Value
Basin Name	Yamula
Element Name	Subbasin-1
Reservoirs	2
Initial Type	Discharge
*GW 1 Initial (M3/S)	21
*GW 2 Initial (M3/S)	25
*GW 1 Fraction	0.52
*GW 1 Coefficient (HR)	860
*GW 1 Steps	1
*GW 2 Fraction	0.017
*GW 2 Coefficient (HR)	1000
*GW 2 Steps	1

Şekil 4.7. Lineer Rezervuar Taban Akış Yöntemi Parametreleri

Fraksiyon (Fraction), kayıp yöntemleriyle elde edilen suyun yeraltı suyu katmanları arasında nasıl paylaştırıldığını ifade eder. Her bir fraksiyon değeri sıfır ile bir arasında olmalı ve bir değerine eşit olabilir. Eğer fraksiyonların toplamı tam olarak bir ise,

akifer yeniden şarj olmaz. Ancak, fraksiyonların toplamı birden küçükse, geriye kalan sızıntı miktarı akiferin şarjına yönlendirilir (HEC-HMS, 2022).

Yeraltı Suyu Depolama Katsayısı (Groundwater Storage Coefficient), her bir yeraltı suyu katmanına özgü bir zaman sabiti olup, doğrusal rezervuar katsayısını temsil eder. Saat birimiyle ifade edilir ve bir alt havza içerisindeki yeraltı akışının tepki süresi hakkında bilgi sağlar (HEC-HMS, 2022).

Adım Sayısı (Number of Steps), rezervuar aracılığıyla yönlendirme işlemi alt bölümlere ayırmak için kullanılan bir parametredir ve yönlendirme sırasında gerçekleşen azaltma miktarını etkiler. Tek bir yönlendirme adımı tercih edildiğinde en az azaltma sağlanır. Ancak, adım sayısı arttıkça taban akışın azalması da artar (HEC-HMS, 2022)

- **Taban Akışı – Recession (Çekilme) Yöntemi:**

Çekilme (Recession) taban akış metodu, bir olay sonrası kanal akışının üstel bir şekilde azalmasını temel alarak havzalardaki yaygın karakteristik davranışı takriben modellemeyi amaçlayan bir yöntemdir. Bu yöntem ilk etapta olay bazlı simülasyonlar için geliştirilmiş olmakla birlikte, her fırtına sonrasında kendiliğinden sıfırlanabildiği için sürekli simülasyonlarda da kullanılabilir. Ancak, alt havzadaki kütleyi koruma özelliği bulunmamaktadır (HEC-HMS, 2022). Şekil 4.8’de bu yöntemde kullanılan parametreler görülmektedir.

Component	Value
Basin Name	Yamula
Element Name	Subbasin-1
Initial Type	Discharge
*Initial Discharge (M3/S)	12
*Recession Constant	0.99
Threshold Type	Ratio To Peak
*Ratio	0.329

Şekil 4.8. Recession Taban Akışı Yöntemi Parametreleri

Çekilme Sabiti (Recession Constant), fırtına olayları arasındaki taban akışının ne hızla azaldığını ifade eder. Bu kavram, mevcut zamandaki taban akışının, bir gün öncesindeki akışa oranı olarak tanımlanır (HEC-HMS, 2022).

Bir fırtına olayı esnasında taban akışının sıfırlanma şekli, Pik Oran (Ratio to Peak) ile Akış Eşiği (Threshold Flow) olmak üzere iki farklı yöntemle belirlenebilir. Pik Oran yönteminde, pikle akış oranı miktarı belirlenmelidir. Taban akışı, akış miktarının pike bölünmesi ile ifade edilen değere gerilediğinde sıfırlanır. Diyelim ki, 0,2'lik bir oran belirlenirse, akış olayı pik değer %20'sine düştüğünde taban akışı sıfırlanır. Eşik Akışı metodu ile önceki fırtına olayındaki pik akışından bağımsız bir şekilde, hidrografın uzaklaşan kolu belirli bir akış miktarına düştüğünde taban akışını her zaman sıfırlanır (HEC-HMS, 2022).

- **Kar Modeli ve Yöntemi (Sıcaklık İndisi – Temperature Index):**

Sıcaklık İndisi Yöntemi, kar yığınının modellemek amacıyla derece-gün yaklaşımının bir genişlemesidir. Derece-günü belirlemede tipik bir yöntem, donma noktasının üstündeki her bir derece için sabit bir kar erimesi miktarını kabul etmektir. Ancak, kar yığınının iç koşulları ve atmosferik şartlar değiştikçe, erime katsayısı da farklılık gösterir. Her alt havzanın, en az bir yükseklik bandına sahip olması gerekmektedir ve bu sayı on adede kadar çıkabilir. Her yükseklik bandı için ayrı parametre setleri kullanılır. Sıcaklık İndisi yöntemi parametreleri Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

Parameter	Value
Met Name	Met 1
Element Name	Subbasin-1
*Lapse Rate (DEG C/1000 M)	-2.93
Index (MM)	12.43
*PX Temperature (C)	0
*Base Temperature (C)	1.85
ATI Coefficient	0.90
Wet Melt Method	Constant Value
*Wet Meltrate (MM/DEG C-DAY)	3.8
Rain Rate Limit (MM/DAY)	3.9
Dry Melt Method	Constant Value
*Dry Meltrate (MM/DegC-DAY)	2.9
Cold Limit (MM/DAY)	4.35
ATI-Coldrate Function	--None--
Coldrate Coefficient	0.81
Water Capacity (%)	3
Groundmelt Method	Constant Value
Groundmelt (MM/DAY)	0

Şekil 4.9. Sıcaklık İndisi Yöntemi Parametreleri

Bu metotta, isteğe bağlı bir yağış indisi kullanılabilir. Yağış indisinin uygulanabilmesi için hem alt havzanın tamamı hem de her bir yükseklik bandı için belirtilmesi gerekmektedir. Alt havza indisi ile bir yükseklik bandındaki indisin oranı,

her bir yükseklik bandı için yağış miktarını ayarlamak amacıyla kullanılır. İndis kullanımı, yağışın orografik eğilimlerini düzeltmek için tercih edilen bir yoldur (HEC-HMS, 2022).

PX Sıcaklığı (temperature), yağmur ya da kar olarak meydana gelen yağışları belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Eğer hava sıcaklığı belirlenen sıcaklığın altında kalıyorsa tüm yağışlar kar olarak kabul edilir ve hava sıcaklığı bu değer üzerine tekabül ediyorsa tüm yağışlar yağmur olarak kabul edilir. Taban Sıcaklığı (Base Temperature) ile hava sıcaklığı arasında bulunan fark, kar erimesinin tayin edilmesinde kullanılan sıcaklık indisini belirler. Erime hızı bu farkla çarpılarak kar erimesi miktarı tahmin edilir. Eğer hava sıcaklığı taban sıcaklığından daha azsa, erime miktarı sıfır kabul edilir ve taban sıcaklığı genellikle 0°C olarak kabul edilir. Islak Erime Hızı (Wet Meltrate), yağışların yağmur şeklinde düştüğü ve yağış hızının yağmur hızı sınırını aştığı durumlarda kullanılır ve kar yığınının üzerine yağmur yağdığına, karın erime oranını gösterir. Yağmur Hızı Sınırı (Rain Rate Limit), kuru eriyik ve ıslak eriyik durumu arasında ayırır. Islak erime hızı, yağmur hızı sınırını aşan durumlarda erime hızı olarak uygulanır. Eğer yağmur hızı bu sınırın altındaysa, erime hızı yağış yokmuş gibi hesap yapılır. Her alt havza bir veya birden fazla yükseklik bandına ayrılır ve her bandın kendine ait parametre verileri bulunur. Büyük yükseklik farklarına sahip alt havzalar için birden fazla yükseklik bandı kullanmalıdır (HEC-HMS, 2022). Bir sıcaklık indisini yükseklik bandı için belirlenen parametreler, Şekil 4.10'da gösterilmektedir.

Components	Compute	Results
Temperature Index	Band 1	
Met Name: Met 1		
Element Name: Subbasin-1		
Band Name: Band 1		
*Percent (%)	37.5	
*Elevation (M)	1387.62	
Index (MM)	12	
*Initial SWE (MM)	0	
*Initial Cold Content (MM)	0	
*Initial Liquid Water (MM)	0	
*Initial Cold Content ATI (C)	0	
*Initial Melt ATI (DEGC-DAY)	0	

Şekil 4.10. Yükseklik Bandı Özellikleri

Bu çalışma kapsamında sıcaklık indisi yöntemi kullanılırken 6 yükseklik bandı tercih edilmiştir. Yükseklik alan yüzdeleri ArcGIS programı yardımıyla hesaplanmış ve Tablo 4.3'te sıralanmıştır.

Tablo 4.3. Yamula Barajı Havzası Yükseklik Bantları

Bant No	Yükseklik (m)	Yüzde (%)
1	1387,6	37,5
2	1611,5	46,8
3	1897,2	12,75
4	2196,9	2,35
5	2498,9	0,53
6	2757,9	0,07

4.6. Model Kalibrasyonu ve Validasyonu

Kalibrasyon, modelin parametrelerinin mantıklı sınırlar içinde ayarlanarak simüle edilen sonuçların gözlemlenen verilere yeterince yaklaşmasını sağlama işlemidir (Zeckoski, 2015). Validasyon ise, kalibre edilen modelin, herhangi bir ek parametre ayarlamasına ihtiyaç duymadan, bir dizi gözlemi yeniden üretebilmesi veya gelecekteki durumları öngörebilmesini doğrulama sürecidir (C. Zheng vd., 2012). HEC-HMS, en uygun parametre değerlerini belirlemek amacıyla bir sistem sunar. Bu sistem veya algoritma, amaç fonksiyonu adıyla da bilinen bir indisin en iyi değerini sağlayan parametreleri arar (USACE, 2000). Ancak, HEC-HMS tarafından sunulan iki otomatik kalibrasyon metodu, daha çok sürekli bir modelde kar erime modülü uygulandığında ya faydasız kalmakta ya da uygulanması oldukça zaman alıcı ve karmaşık olmaktadır (Dariane vd., 2016, 2020). Bu tez çalışmasında, HEC-HMS modeli oluşturulduktan sonra parametrelerin ayarlanması için modelin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Modelde, kalibrasyon sürecinde 1980-1997 yıllarına ait, doğrulama sürecinde ise 1998-2013 yıllarına ait veri setleri kullanılmıştır. HEC-HMS modelinin kalibrasyon ve doğrulama süreçlerinde, Lineer Rezervuar (Linear Reservoir) ve Çekilme (Recession) taban akış yöntemleri için iki ayrı çalışma yapılmıştır.

4.6.1. Model Performans Değerlendirilmesi (Amaç Fonksiyonu)

HEC-HMS modelinin performansı, Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı (NSE), Yüzde Sapma (Pbias - Percent Bias) ve Belirleme Katsayısı (R^2 - Coefficient of Determination) kullanılarak analiz edilmiştir.

- **Nash-Sutcliffe Model Verimlilik Katsayısı (NSE):**

Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı (NSE), ölçülen veri varyansına kıyasla artık varyansın göreceli büyüklüğünü belirleyen normalleştirilmiş bir istatistiksel ölçüttür (Nash & Sutcliffe, 1970). NSE, Denklem 4.4'te gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^g - Q_i^m)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^g - \bar{Q}^g)^2} \quad (4.4)$$

Burada:

Q_i^g , değerlendirilmekte olan bileşen için i . değeri,

Q_i^m , aynı bileşen için simüle edilen değeri,

\bar{Q}^g , değerlendirilmekte olan bileşen için gözlemlenen verilerin ortalamasını,

n , toplam gözlem sayısını ifade etmektedir.

NSE, $-\infty$ ile 1.0 (1 dahil) arasında değer alır ve $NSE = 1$ en iyi sonucu temsil eder. Değerin 0.0 ile 1.0 arasında olması genellikle kabul edilebilir bir performansı işaret ederken, 0.0'ın altındaki değerler, simüle edilen modelin ortalama gözlemlenen değerden daha kötü bir tahmin sağlayarak yetersiz performans gösterdiğini ifade eder.

NSE, hidrolojik modellerin doğruluk ve performansını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir metriktir. ASCE (1993) ve Legates ve McCabe (1999) tarafından önerilmiş ve geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Ayrıca, Servat ve Dezetter (1991) tarafından yapılan araştırmalar, NSE'nin bir hidrografın genel uyumunu değerlendiren en iyi amaç fonksiyonu olduğunu ifade etmiştir. Dolayısıyla bu tez çalışmasında HEC-HMS modelinin doğruluk ve güvenilirlik analizleri NSE metriği kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

- **Yüzde Sapması (PBIAS- Percent Bias):**

PBIAS (Yüzde Sapma), simüle edilen verilerin gözlemlenen değerlere kıyasla daha büyük veya daha küçük olma eğilimini ölçen bir metriktir (Gupta vd., 1999). PBIAS'ın ideal değeri 0.0 olup, düşük büyüklükteki PBIAS değerleri modelin simülasyonunun yüksek doğruluğunu işaret eder. Pozitif PBIAS değerleri, modelin eksik tahmin etme eğilimini (sapmasını) gösterirken, negatif PBIAS değerleri ise modelin fazla tahmin etme eğiliminde olduğunu ifade eder (Gupta vd., 1999). PBIAS, Denklem 4.5 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^g - Q_i^m) * 100}{\sum_{i=1}^n (Q_i^g)} \right] \quad (4.5)$$

Denklemden PBIAS, değerlendirilmeye alınan verilerin yüzde cinsinden sapma miktarını tanımlar. Bu metrik, modelin yetersiz performansını açıkça ortaya koyabilme özelliğine sahiptir (Gupta vd., 1999).

Akarsu akışına yönelik PBIAS değerleri, farklı otomatik kalibrasyon yöntemleri arasında kıyaslandığında, kuru yıllarda yağışlı yıllara göre daha büyük farklılıklar sergileme eğilimindedir (Gupta vd., 1999).

- **Belirleme Katsayısı - R² (Coefficient of Determination):**

Belirleme katsayısı R², modelin ölçülen verilere ait değişimi ne kadar açıklayabildiğini ifade eden bir metriktir. R² değeri 0 ile 1 arasında değişir; daha yüksek değerler, modelin daha az hata ile sonuçlandığını gösterir. Genellikle, R² değerinin 0,5'ten büyük olması, kabul edilebilir performans olarak değerlendirilir (Santhi vd., 2001; Van Liew vd., 2003). Belirleme katsayısının hesaplanmasına ilişkin formül, Denklem 4.6'da sunulmuştur.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_i^g - Q_i^m)(Q_i^m - \bar{Q}^m)]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^g - \bar{Q}^g)^2 \sum_{i=1}^n (Q_i^m - \bar{Q}^m)^2} \quad (4.6)$$

Nash-Sutcliffe Model Verimlilik Katsayısı (NSE) amaç fonksiyonu için >0,4, PBIAS amaç fonksiyonu için ±20 ile ±30 arasında ve R² amaç fonksiyonu >0,4 değerleri, kabul edilebilir performans seviyeleri olmaktadır. Akım model performansının değerlendirilmesi Tablo 4.4'te sunulmuştur (Moriasi vd., 2007).

Tablo 4.4. Günlük ve Haftalık Bir Zaman Adımı İçin Değerlendirme Metriklerine Yönelik Performans Derecelendirmeleri (Moriasi vd., 2007)

Performans Değerlendirmesi	R ²	NSE	PBIAS
Çok iyi	0,65 < R ² ≤ 1	0,65 < NSE ≤ 1	PBIAS < ±15
İyi	0,55 < R ² ≤ 0,65	0,55 < NSE ≤ 0,65	±15 < PBIAS < ±20
Orta	0,40 < R ² ≤ 0,55	0,40 < NSE ≤ 0,55	±20 < PBIAS < ±30
Yetersiz	R ² ≤ 0,40	NSE ≤ 0,40	PBIAS ≥ ±30

4.7. Kuraklık İndisleri

Kuraklık, dünyada yaşayan tüm canlı varlıkların yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan su miktarının belirli bir zaman içerisinde ortalamanın altına düşmesi sonucu yaşanan su kıtlığını ifade eder (Duvan vd., 2021). İklim değişikliği ve kuraklık günümüzde tüm dünyayı ve ülkemizi etkileyen önemli doğal afetlerden biri haline

gelmiştir. Yarı kurak bir iklime sahip olan ülkemizde, kuraklığın izlenilmesi, etki alanının ve şiddetinin araştırılması ve bu afete yönelik stratejiler geliştirilmesi yüksek önem arz etmektedir. Bu çalışma içerisinde en yüksek Z değerine sahip CNRM-CM5/RCA4 modeli RCP8.5 emisyon senaryosunun aylık yağış verileri ile Yamula Baraj Havzası drenaj alanını kapsayan bir kuraklık çalışması yapılmıştır. Kuraklık araştırılması doğrultusunda dünyada ve ülkemizde de yaygın olarak kullanılan SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) indisine başvurulmuştur.

4.7.1. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI)

Bu indeks, farklı bölgelerin iklimlerindeki kuraklığı izlemek ve tanımlamak amacıyla Mckee ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir (Mckee vd., 1993). Yöntemin uygulamasında tek gerekli değişken yağış değeridir ve kolayca hesaplanabilen SPI ile bir bölgedeki sulak ve kurak olaylar belirlenebilir (Sırdaş, 2002). Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) dünya genelinde kullanılmasını önerdiği indekslerden biri olan SPI, belirli dönemlerdeki yağış eksikliklerini hesaplayarak, yağıştaki azalmayı farklı zaman aralıklarında takip etme imkânı sunmaktadır. Bu yöntem aynı zamanda yağış azalmasının yeraltı suyu, su depolama havzaları, toprak nemi, kar örtüsü ve akarsu gibi hidrolojik sistemler üzerindeki etkilerinin tespit edilmesine olanak tanımaktadır (Sırdaş, 2002). İndisin hesaplanma yöntemi aşağıdaki gibidir:

Thom (1958), Gama dağılımının yağış verilerini en iyi şekilde temsil eden dağılım türü olduğunu belirtmiştir. Gama dağılımına ait olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}; \quad x, \alpha, \beta > 0 \text{ için} \quad (4.7)$$

Burada x yağış toplamı, $\Gamma(\alpha)$ Gama fonksiyonu ve sırasıyla α ve β şekil ve ölçek parametrelerini ifade etmektedir. Optimum α ve β parametrelerinin tahmininde maksimum olasılık yöntemi kullanılır (Guttman, 1999; Yuan vd., 2008; Liu vd., 2012; Bacanlı & Kargı, 2019).

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (4.8)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{a} \quad (4.9)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \sum \frac{\ln(x)}{n} \quad (4.10)$$

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (4.11)$$

$t=x/\beta$ olduğunda, bu eşitlik eksik gamma fonksiyonunu oluşturur (Sırdaş, 2002).

$$G(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (4.12)$$

Gamma fonksiyonu $x=0$ değeri için tanımsızdır fakat yağış sıfır değerleri de içerebilir. Bu sebeple toplam olasılık dağılımı aşağıdaki gibi uygulanabilir (Sırdaş, 2002).

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (4.13)$$

Burada “q”, sıfırın gerçekleşme olasılığını ifade eder ve eğer “m” yağış zaman serisindeki sıfır değerlerinin sayısını temsil ediyorsa, “q=m/n” şeklinde hesaplanır. Kümülatif olasılık H(x), standartlaştırılmış normal dağılıma dönüştürülür. Bu işlem sonucunda, ortalaması sıfır (0) ve varyansı bir (1) olan SPI değerini temsil eden standart normal rastgele değişken Z elde edilir. Kümülatif olasılık, Z olarak adlandırılan standart normal rastgele değişkene aşağıdaki gibi dönüştürülebilir (Sırdaş, 2002; Yacoub & Tayfur, 2020; Abramowitz & Stegun, 1965).

$$SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(H(x))^2} \right)} \quad 0 < H(x) < 0.5 \quad (4.14)$$

$$SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(1-H(x))^2} \right)} \quad 0.5 < H(x) < 1 \quad (4.15)$$

Burada sabitler, $c_0=2.515517$, $c_1=0.802853$, $c_2=0.010328$, $d_1=1.432788$, $d_2=0.189269$ ve $d_3=0.001308$ şeklindedir.

Tablo 4.5. SPI Metoduna Göre İndis Değerleri ve Sınıflandırılması

Sınıflandırma	SPI
Aşırı Nemli	≥ 2
Çok Nemli	1.5 ~ 1.99
Orta Nemli	1 ~ 1.49
Normale Yakın	-0.99 ~ 0.99
Orta Kurak	-1 ~ 1.49
Şiddetli Kurak	-1.5 ~ -1.99
Aşırı Kurak	≤ -2

5. ANALİZLER VE HİDROLOJİK MODELLEME

5.1. Referans Dönem Projeksiyonlarının Gözlem ile Uyumu

Çalışmada ilk etapta, kullanılan yağış ve sıcaklık verileri için gözlem verileri (1980-2005) ile iklim modellerinin referans dönem verilerinin (1980-2005) uyumu incelenmiştir. Sıcaklık ve yağışlar için referans dönem ve gözlem verilerinin uyum korelasyon sonuçları Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de gösterilmiştir. Yağış verilerine sapma düzeltilmesi yapılmadan önce korelasyon katsayıları 0,23 ~ 0,44 arasındayken, sapma düzeltilmesi yapıldıktan sonra bu değerler 0,30 ~ 0,52’ye kadar çıkmıştır. Sıcaklık verilerine sapma düzeltilmesi yapılmadan önce korelasyon katsayıları 0,93 ~ 0,94 arasındayken, sapma düzeltilmesi yapıldıktan sonra bu değerler 0,94 ~ 0,95’e kadar çıkmıştır.

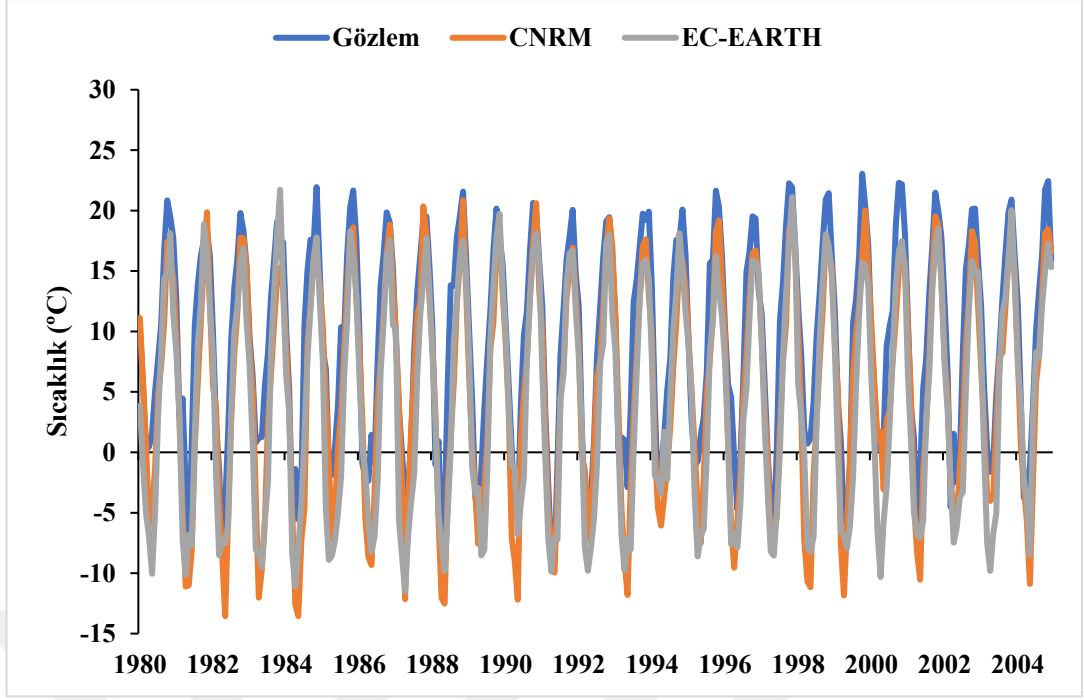
Tablo 5.1. Yağış Korelasyon Katsayıları

	Gözlem	CNRM	EC-EARTH
Gözlem	1,00		
CNRM	0,52	1,00	
EC-EARTH	0,35	0,30	1,00

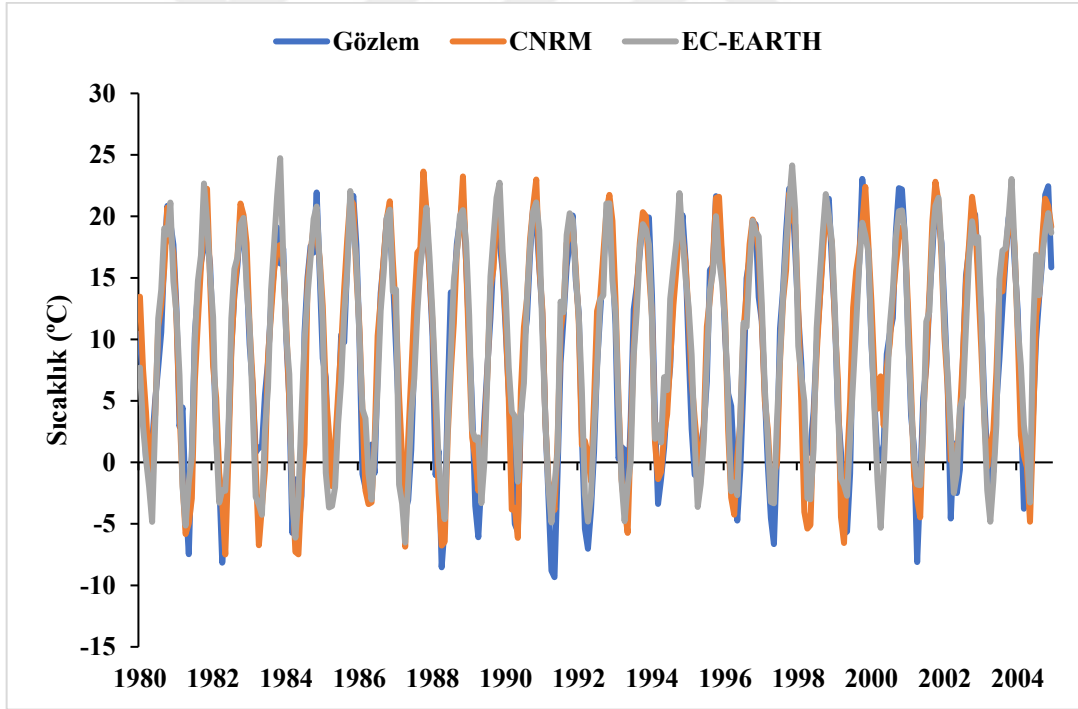
Tablo 5.2. Sıcaklık Korelasyon Katsayıları

	Gözlem	CNRM	EC-EARTH
Gözlem	1,00		
CNRM	0,95	1,00	
EC-EARTH	0,94	0,94	1,00

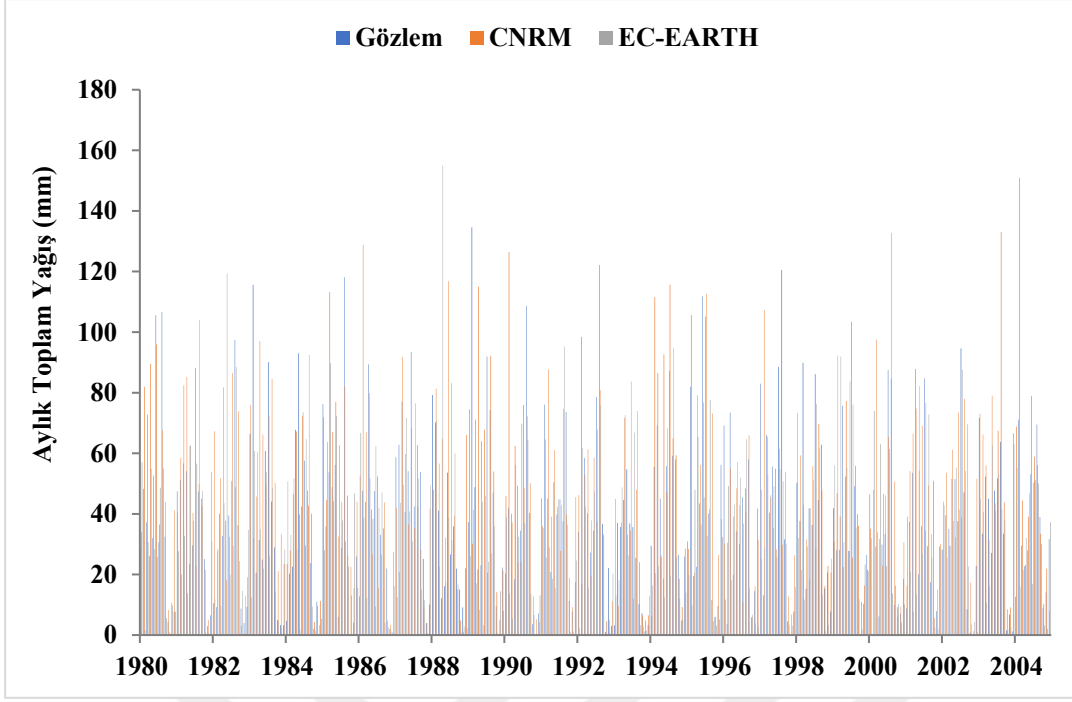
Yukarıda verilen tablolarda görüldüğü gibi CNRM ve EC-EARTH modellerinin gözlem ile uyumu birbirine yakındır. İklim verilerinin sapma düzeltilmesi öncesi ve sonrasına ait grafikler aşağıdaki şekiller üzerinde gösterilmiştir.



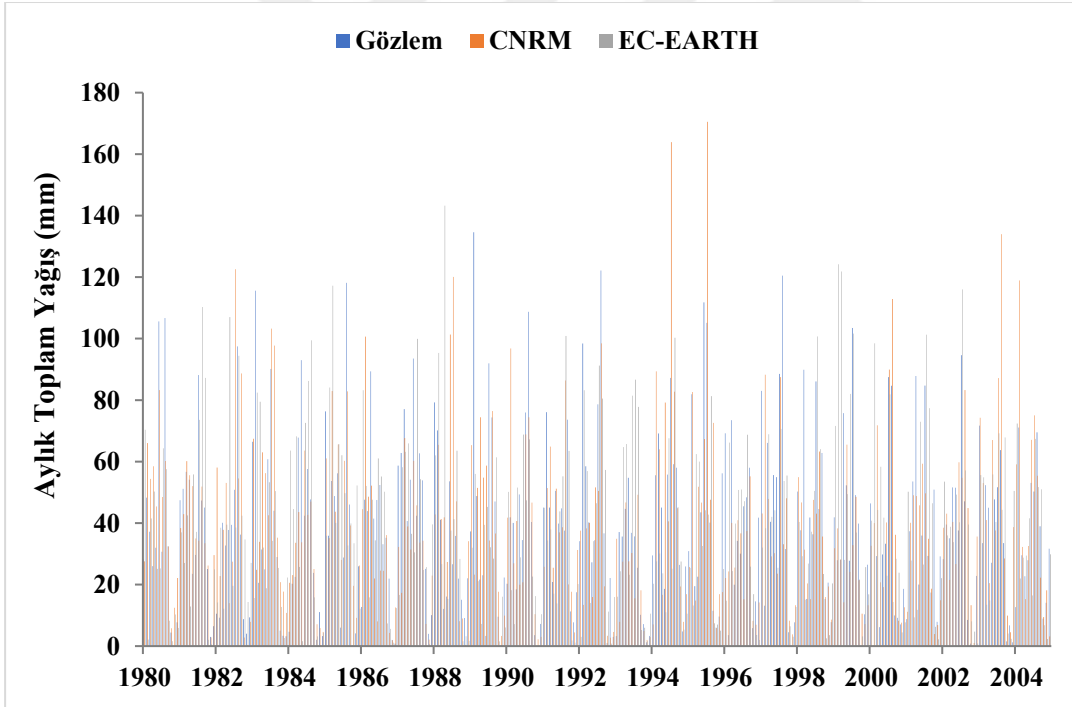
Şekil 5.1. Aylık Ortalama Sıcaklık - Gözlem ve Referans Dönem Grafiği (Sapma Düzeltmesi Yapılmamış)



Şekil 5.2. Aylık Ortalama Sıcaklık - Gözlem ve Referans Dönem Grafiği (Sapma Düzeltmesi Yapılmış)

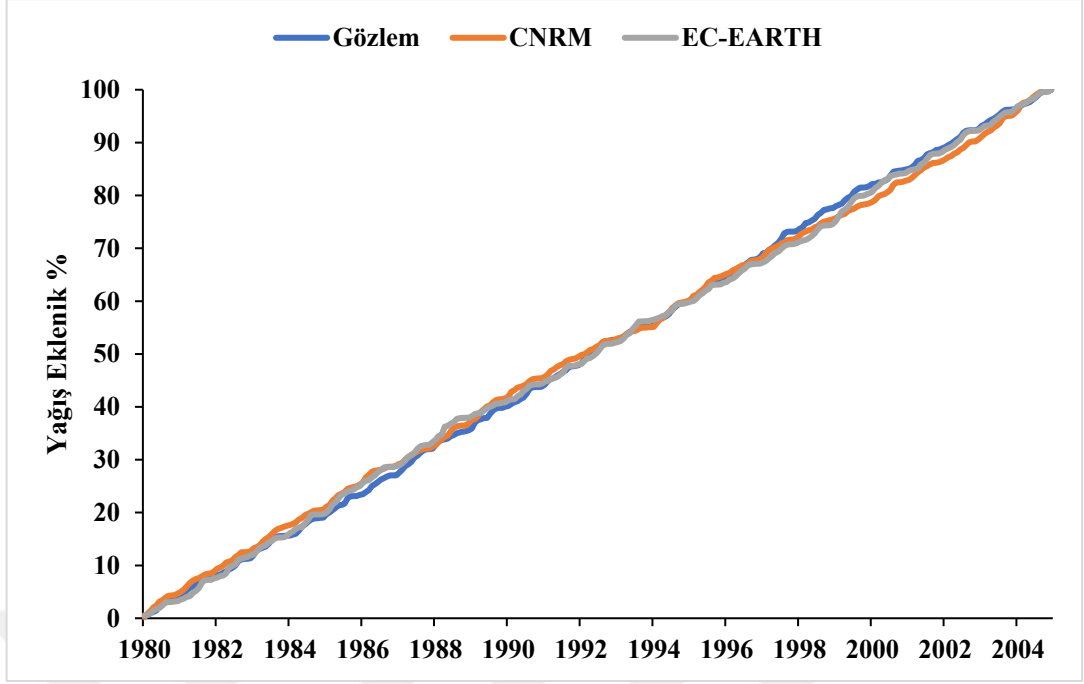


Şekil 5.3. Aylık Toplam Yağış - Gözlem ve Referans Dönem Grafiği (Sapma Düzeltmesi Yapılmamış)

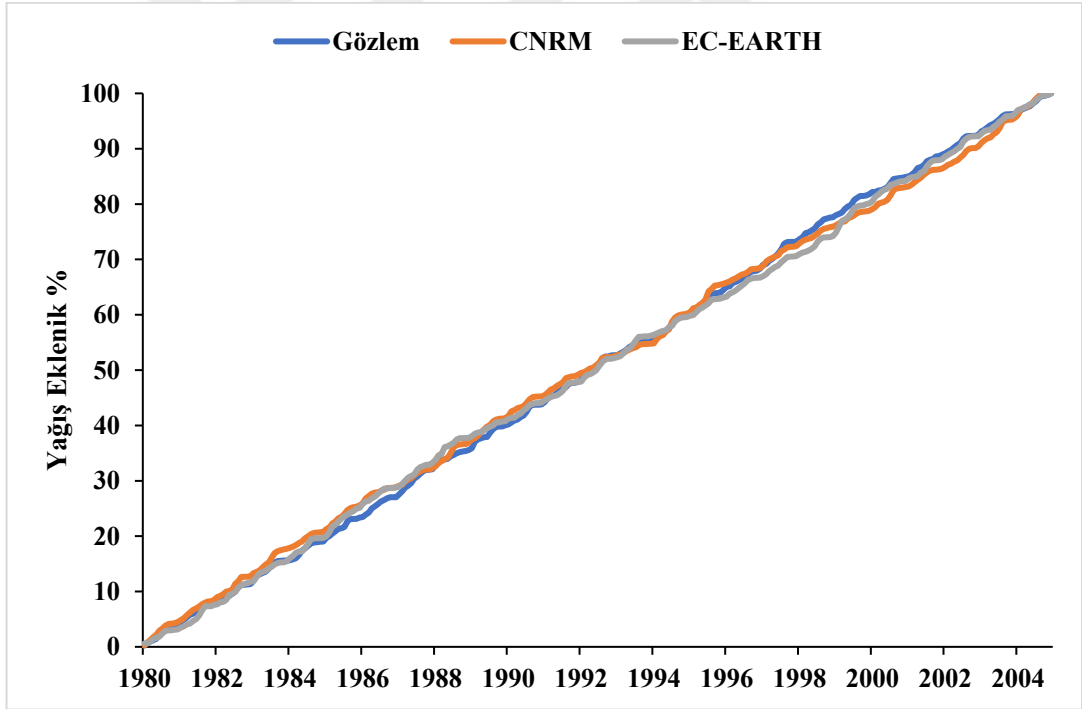


Şekil 5.4. Aylık Toplam Yağış - Gözlem ve Referans Dönem Grafiği (Sapma Düzeltmesi Yapılmış)

Şekil 5.5'te eklenik olarak hesaplanan yağış verilerinin gerçek gözlem verileriyle uyumu ve Şekil 5.6'da sapma düzeltme çalışmalarının sonucunda oluşan iyileştirme sunulmaktadır.



Şekil 5.5. Aylık Toplam Yağış - Gözlem ve Referans Dönem Eklenik Grafiği (Sapma Düzeltmesi Yapılmamış)

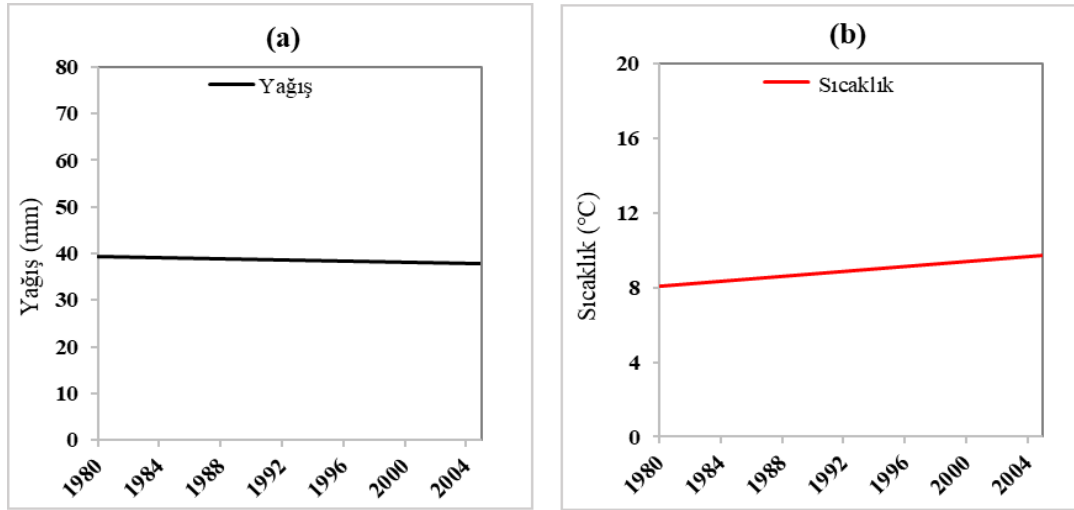


Şekil 5.6. Aylık Toplam Yağış - Gözlem ve Referans Dönem Eklenik Grafiği (Sapma Düzeltmesi Yapılmış)

5.2. Yamula Baraj Havzası İklim Projeksiyon Eğilim Analizleri

Bu çalışma kapsamında projeksiyon verilerinin eğilimleri Mann-Kendall testi ile RStudio programı ortamında analiz edilmiştir. Çalışmada gözlem, referans ve gelecek

dönemlerine ait aylık ortalama sıcaklıkların ve aylık toplam yağışların eğilimleri tespit edilmiştir. Analizler sonucu elde edilen Z'nin pozitif değeri yukarı eğilimi gösterirken negatif değeri aşağı eğilimi gösterir. Yapılan çalışmada eğilimler istatistiksel olarak $p=0,05$ anlamlılık düzeyinde analiz edilmiştir. Z'nin mutlak değeri 1,96'dan büyük ise eğilim yok sıfır hipotezi reddedilir, kritik Z değerleri %95 iki kuyruklu güven aralığında olduğunu ifade etmektedir. Gözlem verilerinin eğilim analizleri sonucunda sıcaklık verilerinde artan eğilim görülürken, yağış verilerinde azalan eğilim görülmüştür. Referans döneme (1980-2005) ait aylık ortalama sıcaklıklar ve aylık toplam yağış analiz sonuçları CNRM ve EC-Earth iklim modelleri için Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'te verilmiştir ve bu sonuçlara ait grafikler ise Şekil 5.8 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.7. (a) ve (b) Gözlem Toplam Yağış ve Ort. Sıcaklıkları eğilim grafikleri

Tablo 5.3. Referans Döneme Ait Ort. Sıcaklık Eğilimleri (1980-2005)

Model	RCP4.5 / RCP 8.5			
	Z Değeri	P Değeri	Anlamlılık	Eğilim Yönü
CNRM-CM5	2,41	0,02	Anlamlı	Artan
EC-EARTH	1,99	0,05	Anlamlı	Artan

Not: D: Değil

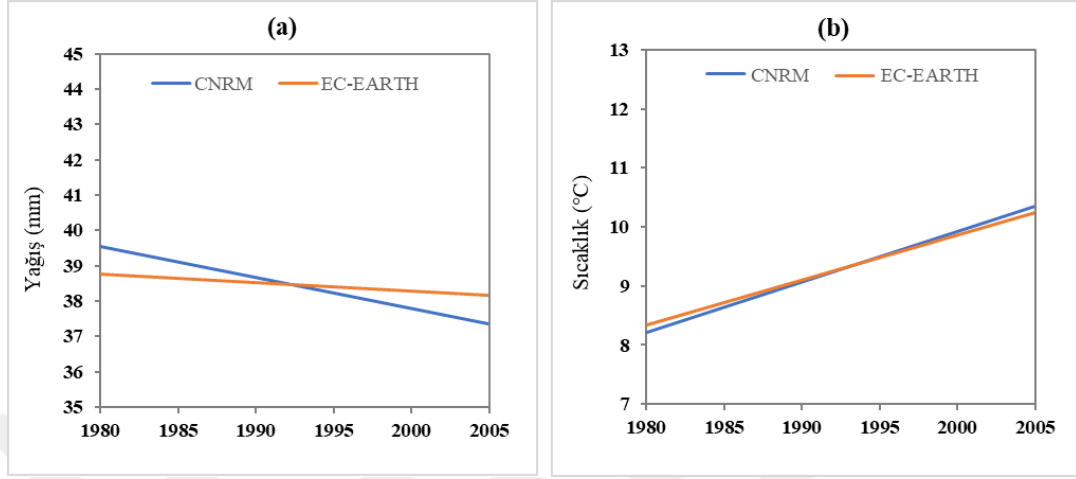
Tablo 5.4. Referans Döneme Ait Toplam Yağış Eğilimleri (1980-2005)

Model	RCP4.5 / RCP 8.5			
	Z Değeri	P Değeri	Anlamlılık	Eğilim Yönü
CNRM-CM5	-0,21	0,83	Anlamlı D.	Azalan
EC-EARTH	0,00	1,00	Anlamlı D.	Artan

Not: D: Değil

Mann-Kendall analizleri sonucunda referans döneme ait ortalama sıcaklıklarda istatistiksel olarak anlamlı olmayan bir artış görülmüştür. Toplam yağışlarda ise EC-

EARTH modeli sonuçlarda istatistiksel açıdan anlamlı olmayan bir artış göstermiştir. Burada RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları aynı referans dönemine sahip olduğundan sonuçlar her iki senaryo için aynı değerleri göstermektedir.



Şekil 5.8. (a) ve (b) Referans Dönemine Ait Toplam Yağış ve Ort. Sıcaklıkların Eğilim Grafikleri

Gelecek dönem (2023-2100) ortalama sıcaklıklar ve toplam yağışların tüm senaryolara ait eğilimleri Tablo 5.5 ve Tablo 5.6 ile sunulmuştur.

Tablo 5.5. Gelecek Dönem Ort. Sıcaklıkların Eğilimleri (2023-2100)

Sıcaklık	RCP4.5				RCP8.5				
	Model	Z Değeri	P Değeri	Anlamlılık	Eğilim Yönü	Z Değeri	P Değeri	Anlamlılık	Eğilim Yönü
CNRM-CM5		5,48	0,00	Anlamlı	Artan	8,75	0,00	Anlamlı	Artan
EC-EARTH		4,78	0,00	Anlamlı	Artan	8,44	0,00	Anlamlı	Artan

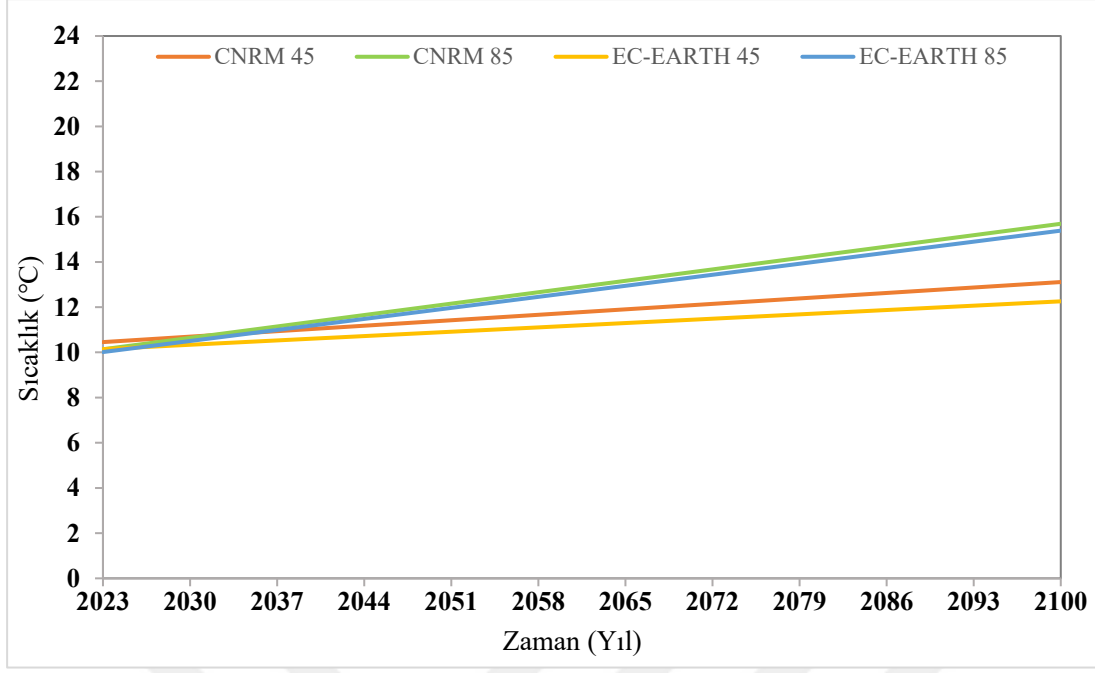
Not: D: Değil

Tablo 5.6. Gelecek Dönem Toplam Yağışların Eğilimleri (2023-2100)

Yağış	RCP4.5				RCP8.5				
	Model	Z Değeri	P Değeri	Anlamlılık	Eğilim Yönü	Z Değeri	P Değeri	Anlamlılık	Eğilim Yönü
CNRM-CM5		0,83	0,41	Anlamlı D.	Artan	2,14	0,03	Anlamlı	Artan
EC-EARTH		1,03	0,30	Anlamlı D.	Artan	0,30	0,76	Anlamlı D.	Artan

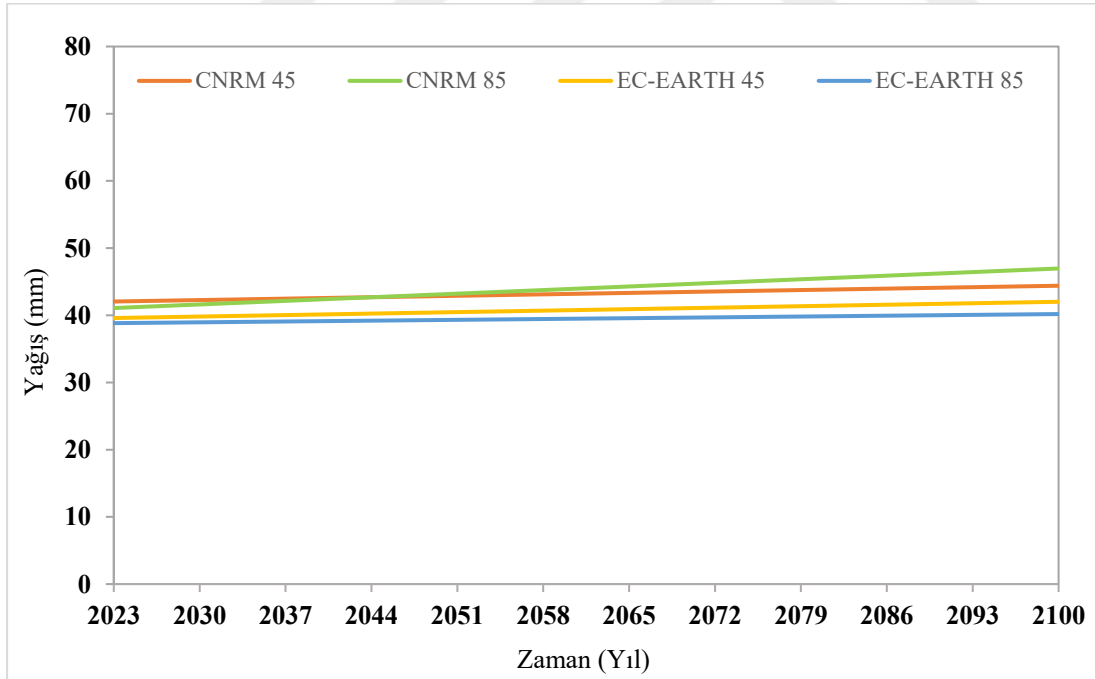
Not: D: Değil

Mann-Kendall test sonuçları, gelecek dönem ortalama sıcaklıklarında CNRM ve EC-EARTH modellerinde her iki senaryo için de istatistiksel olarak anlamlı olan bir artış eğilimi göstermiştir. Toplam yağışlar için ise, CNRM RCP 8.5 senaryosu hariç diğer model senaryolarında istatistiksel olarak anlamlı olmayan eğilimler tespit edilmiştir. Test sonuçları, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 üzerinde grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Gelecek Dönem Ortalama Sıcaklıklar Eğilimleri (2023-2100)

Gelecek dönem ortalama sıcaklık eğilimlerinde Şekil 5.9’da da görüldüğü üzere RCP 8.5 senaryolarında oluşan eğilimlerin daha fazla olması dikkat çekmiştir.



Şekil 5.10. Gelecek Dönem Toplam Yağış Eğilimleri (2023-2100)

Gelecek dönem toplam yağışların eğilimlerinde, Şekil 5.10’da da görüldüğü üzere eğilimler modeller ve senaryolar arasında genellikle paraleldir.

5.3. İklim Verilerinin Anomali Hesaplamaları

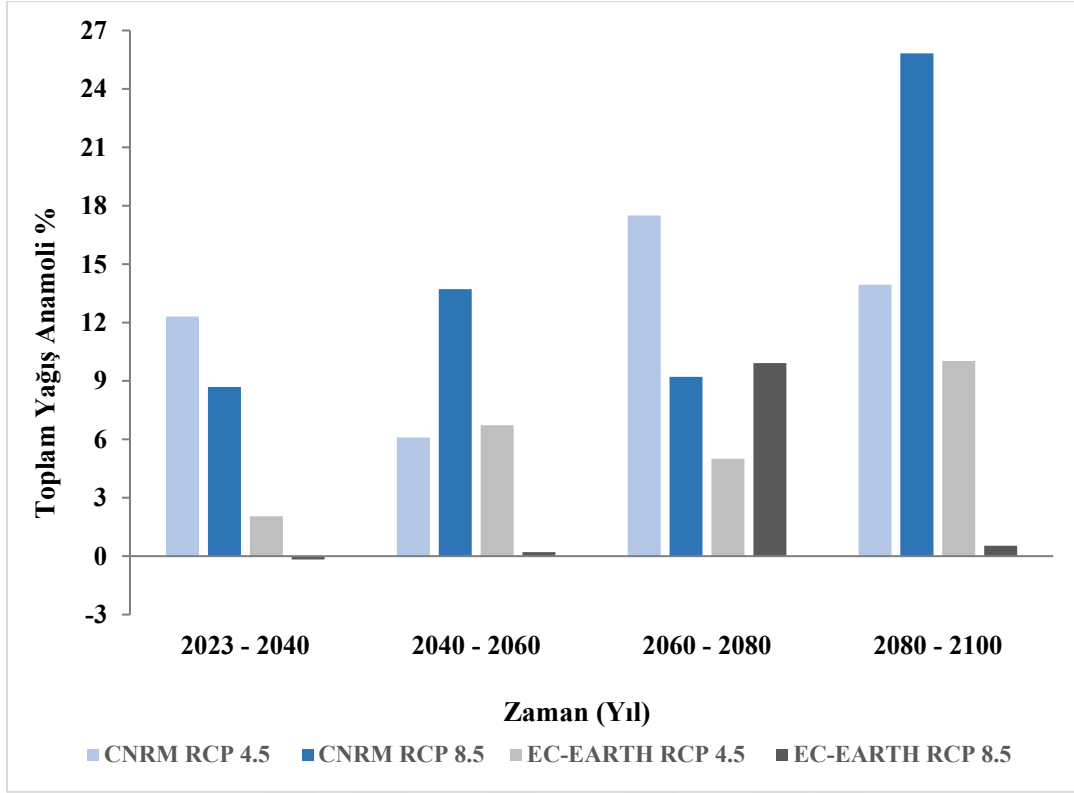
İklim verileri için referans dönem ile gelecek dönemler için belirli periyotlar aralığında bir anomali çalışması yapılmıştır. Tablo 5.7’de yıllık ortalama yağışlar ve anomali değerleri, Tablo 5.8’de ise farklı periyotlarda projeksiyon yağışlarının yüzde anomali değerleri sunulmuştur. Çalışmalar sonucundan CNRM’nin EC-EARTH modeline göre yıllık ortalama yağış anomali yüzdelerinin genellikle daha yüksek olduğu görülmüştür. Sunulan anomali tablolarında kırmızı renk ile belirtilen değerler farklı dönemlerde yüzdeler azalışları ifade etmektedir. Yağışa ait anomali yüzdeleri grafiksel olarak Şekil 5.11’de gösterilmiştir.

Tablo 5.7. Referans ve Gelecek Dönem Anomali ve Yıllık Ort. Toplam Yağış (mm)

İklim Modeli	Senaryo	Referans Dönem (mm)	Gelecek Dönem Anomali (mm)							
			2023-2040		2040-2060		2060-2080		2080-2100	
			Yağış Değeri	Anomali	Yağış Değeri	Anomali	Yağış Değeri	Anomali	Yağış Değeri	Anomali
CNRM-CM5	RCP 45	461,27	518,05	56,78	489,39	28,13	541,97	80,70	525,61	64,34
	RCP 85		501,35	40,08	524,53	63,26	503,73	42,47	580,39	119,12
EC-EARTH	RCP 45	461,56	471,02	9,45	492,63	31,06	484,66	23,10	507,81	46,25
	RCP 85		460,77	-0,80	462,51	0,94	507,32	45,76	464,04	2,48

Tablo 5.8. Gelecek Dönem Yıllık Ortalama Toplam Yağış Anomali (%)

İklim Modeli	Senaryo	Referans Dönem (mm)	Gelecek Dönem Anomali %				
			1980 - 2005	2023 - 2040	2040 - 2060	2060 - 2080	2080 - 2100
CNRM-CM5	RCP 45	461,27		12,31	6,10	17,50	13,95
	RCP 85			8,69	13,71	9,21	25,83
EC-EARTH	RCP 45	461,56		2,05	6,73	5,00	10,02
	RCP 85			-0,17	0,20	9,91	0,54



Şekil 5.11. Toplam Yağışa Ait Anomali Yüzdeleri

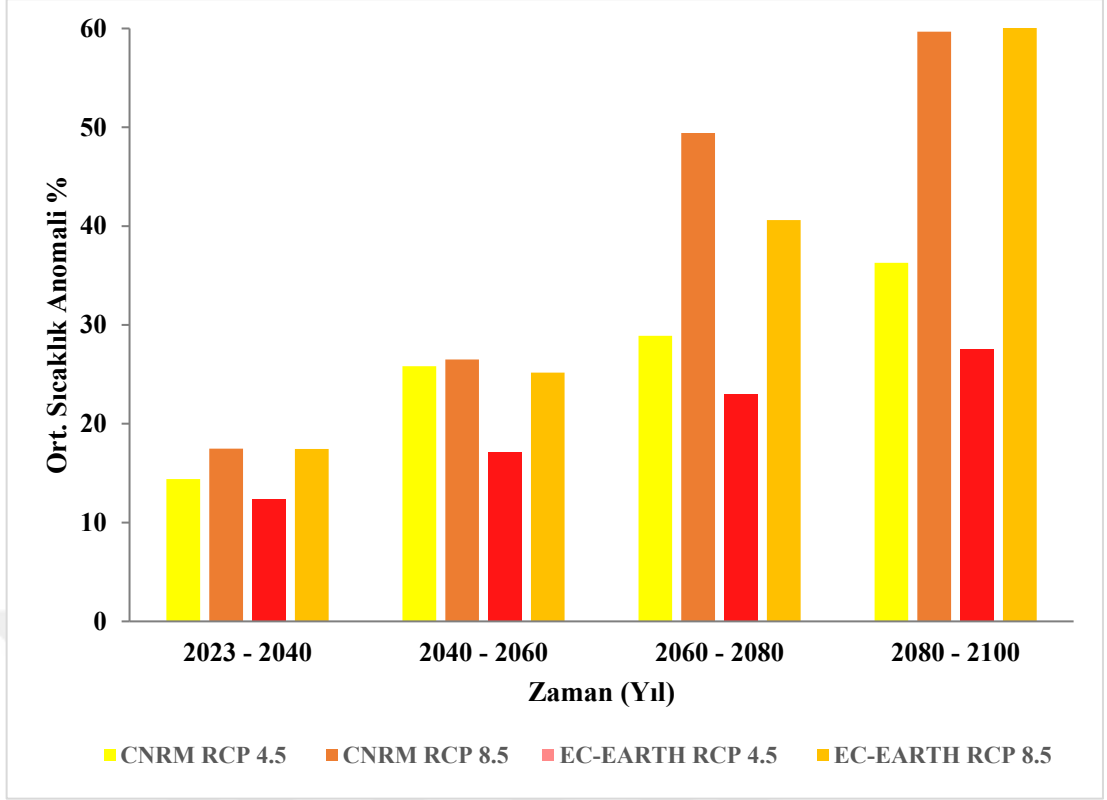
Ortalama sıcaklıklara ait anomaliler ve yüzdeleri Tablo 5.9 ve Tablo 5.10’da gösterilmiştir. Her iki senaryo için de gelecek dönemlerde ortalama sıcaklık anomali yüzdelerinde artış söz konusudur. Anomali yüzdeleri grafiksel olarak Şekil 5.12’de sunulmuştur.

Tablo 5.9. Referans ve Gelecek Dönem Anomali ve Ortalama Sıcaklık (°C)

İklim Modeli	Senaryo	Referans Dönem (°C)	Gelecek Dönem Anomali (°C)							
			2023-2040		2040-2060		2060-2080		2080-2100	
			Sıcaklık Değeri	Anomali	Sıcaklık Değeri	Anomali	Sıcaklık Değeri	Anomali	Sıcaklık Değeri	Anomali
CNRM-CM5	RCP 45	9,30	10,64	1,34	11,70	2,40	11,99	2,69	12,67	3,37
	RCP 85		10,92	1,63	11,76	2,46	13,89	4,60	14,85	5,55
EC-EARTH	RCP 45	9,31	10,47	1,15	10,91	1,60	11,46	2,15	11,88	2,57
	RCP 85		10,94	1,63	11,66	2,34	13,10	3,78	14,91	5,60

Tablo 5.10. Gelecek Dönem Ortalama Sıcaklık Anomali (%)

İklim Modeli	Senaryo	Referans Dönem (°C)	Gelecek Dönem Anomali %			
		1980 - 2005	2023 - 2040	2040 - 2060	2060 - 2080	2080 - 2100
CNRM-CM5	RCP 45	9,30	14,40	25,82	28,89	36,29
	RCP 85		17,49	26,50	49,42	59,67
EC-EARTH	RCP 45	9,31	12,39	17,14	23,03	27,59
	RCP 85		17,45	25,18	40,61	60,11



Şekil 5.12. Ortalama Sıcaklıklar Anomali Yüzdeleri

Anomali çalışmaları sonucunda farklı senaryolara ait sıcaklık dönemlerinde artış gözlemlenirken, yağış anomali çalışmalarında ise farklı dönemlerde yağış artışı ve azalışı gözlemlenmiştir.

5.4. HEC-HMS Modelleme Sonuçları

HEC-HMS modelinde ilk önce Sapma ve Sabit (Deficit and Constant), Clark Birim Hidrografi (Unit Hydrograph) ve Lineer Rezervuar (Linear Reservoir) yöntemleri sırasıyla kayıplar, transfer ve taban akışı için tayin edilmiştir. Modellemede ilk başta 17090-Sivas istasyonunun sıcaklık verileri daha sonra aynı yöntemler ile 17716-Zara istasyonunun sıcaklık verileri kullanılarak model çalıştırılmıştır. Bu sıcaklık verileri kullanılarak 1980 – 1997 yılları arasında kalibrasyon ve sonrasında elde edilen parametrelerle 1997 – 2013 yılları arasında bir validasyon çalışması yapılmıştır. Sonraki aşamada ise taban akışı yöntemi olarak çekilme (Recession) yöntemi seçilerek her iki sıcaklık istasyonuna ait veriler ile model tekrar çalıştırılmıştır. HEC-HMS modelinde kullanılan parametreler ve sayısal değerleri Tablo 5.11’de gösterilmiştir. Ayrıca kullanılan kar modellemesine ait parametreler de Tablo 5.12’de gösterilmiştir.

Modelleme sonucunda elde edilmiş amaç fonksiyonlarının değerleri ise Tablo 5.13'te sunulmuştur.

Tablo 5.11. HEC-HMS Modelinde Kullanılan Parametre Değerleri

Parametre	Açıklama	Kalibrasyon Değeri	Birim
Initial Storage	Başlangıç Depolama	0	%
Max Storage	Maksimum Depolama	13	mm
Intial Deficit	Kayıp Yöntemi (Loss) – Sapma ve Sabit Başlangıç Sapma	8	mm
Maximum Deficit	Kayıp Yöntemi (Loss) – Sapma ve Sabit Maksimum Sapma	10	mm
Constant Rate	Kayıp Yöntemi (Loss) – Sapma ve Sabit Sabit Oran	0,37	mm/saat
Impervious	Kayıp Yöntemi (Loss) – Sapma ve Sabit Geçirmezlik	2,7	%
Time of Concentraion	Transform Yöntemi – Toplanma zamanı	24	saat
Storage Cofficient	Transform Yöntemi – Depolama Katsayısı	300	saat
Reservoirs	Baz Akım Yöntemi – Rezervuar Sayısı	2	-
Initial Type	Baz Akım Yöntemi – Başlangıç Tipi Deşarj	-	-
GW 1 Initial	Baz Akım Yöntemi – Yeraltı Suyu Başlangıcı 1	20	m ³ /s
GW 2 Initial	Baz Akım Yöntemi – Yeraltı Suyu Başlangıcı 2	20	m ³ /s
GW 1 Fraction	Baz Akım Yöntemi – Yeraltı Suyu Kesri	0,29	-
GW 1 Coefficient	Baz Akım Yöntemi – Yeraltı Suyu Katsayısı	430	saat
GW 1 Steps	Baz Akım Yöntemi – Yeraltı Adım Sayısı	1	-
GW 2 Fraction	Baz Akım Yöntemi – Yeraltı Suyu Kesri	0,03	-
GW 2 Coefficient	Baz Akım Yöntemi – Yeraltı Suyu Katsayısı	1.000	saat
GW 2 Steps	Baz Akım Yöntemi – Yeraltı Adım Sayısı	1	-

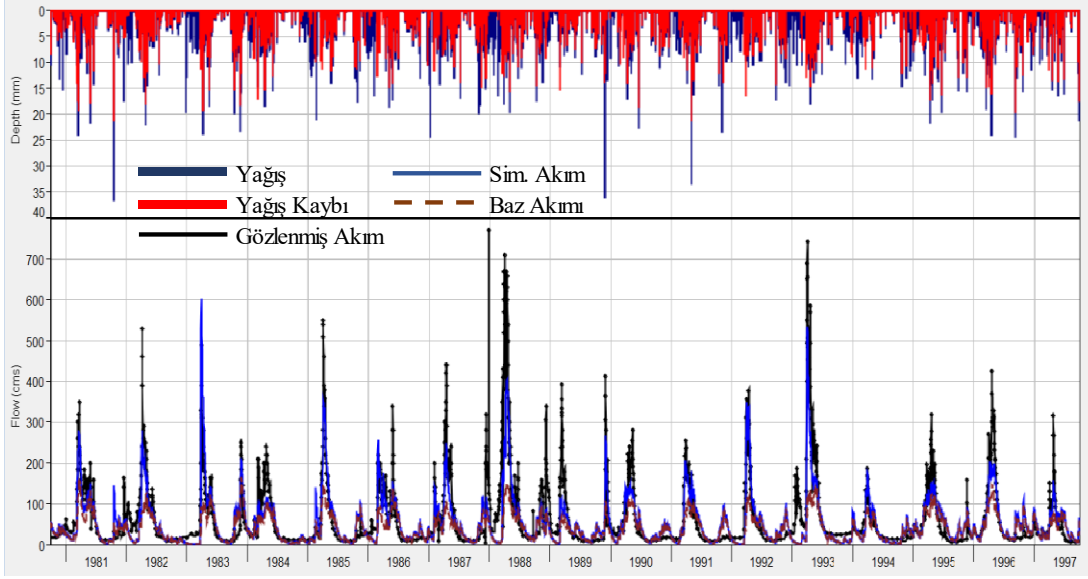
Tablo 5.12. HEC-HMS Modelinde Kullanılan Kar Parametreleri

Parametre	Açıklama	Kalibrasyon Değeri	Birim
Lapse Rate Index	Yükseklik arttıkça atmosferik sıcaklığın azalma hızı İndeksleme, yağıştaki orografik eğilimleri ayarlanmanın bir yöntemidir.	-7	°C/1000 m
PX Temperature	PX Sıcaklığı, yağmur veya kar olarak düşen yağışları ayırt etmek için kullanılır.	10.7	mm
Base Temperature	Taban Sıcaklığı ile Hava Sıcaklığı arasındaki fark, kar erimesinin hesaplanmasında kullanılan Sıcaklık İndeksini tanımlar.	0.78	°C
ATI Coefficient	Antecedent Temperature Index - Önceki Sıcaklık İndeksi (ATI) Katsayısı, mevcut sıcaklık indeksinden bir sıcaklık indeksi hesaplamak için kullanılır.	1	°C
Wet Meltrate	Islak Eriyik - Kar yığının üzerine yağmur yağdığı anda kar yığının erime oranını temsil eder.	0,98	-
Rain Rate Limit	Yağmur Oranı Limiti, kuru eriyik ve ıslak eriyik arasında ayırım yapar	5	mm/derece c-gün
Dry Meltrate	Kuru Eriyik - Kar yığının üzerine yağmur yağdığı anda kar yığının erime oranını temsil eder.	4,2	mm/gün
Cold Limit	Soğukluk Limit, yüksek yağış oranları sırasında kar yığının maruz kaldığı hızlı sıcaklık değişimlerini açıklar.	5	mm/derece c-gün
Coldrate Coefficient	Soğukluk Oranı Katsayısı	3,7	mm/gün
Water Capacity	Su kapasitesi - Sızma veya akma için toprak yüzeyinde sıvı su bulunmadan önce kar paketinde birikmesi gereken erimiş su miktarını belirtir.	0,67	-
Groundmelt	Kar kütlesi sadece kısmen donmuş veya tamamen donmamış zeminde erime miktarı	3	%
		0	mm/gün

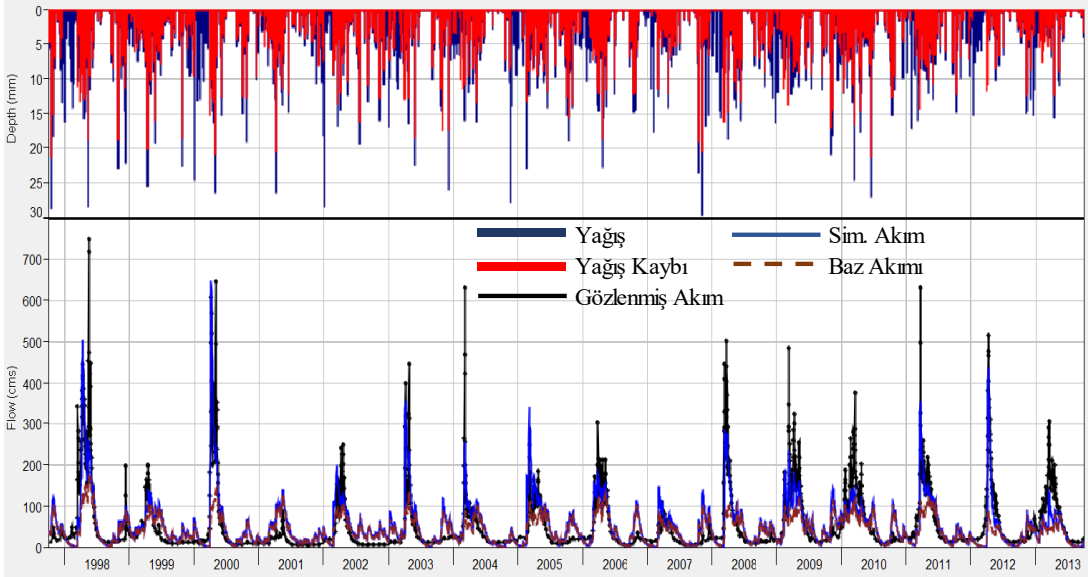
Tablo 5.13. HEC-HMS Modelleme Performans Sonuçları

Değerlendirme İstatistiği	Lineer Rezervuar Kal (17090)	Lineer Rezervuar Val (17090)	Lineer Rezervuar Kal (17716)	Lineer Rezervuar Val (17716)	Recession Kal (17090)	Recession Val (17090)	Recession Kal (17716)	Recession Val (17716)
NSE	0,70	0,69	0,69	0,69	0,52	0,56	0,49	0,49
PBIAS %	-6,65	14,73	-6,76	14,56	-0,29	15,47	-6,31	16,08
R ²	0,71	0,70	0,69	0,70	0,53	0,58	0,50	0,51

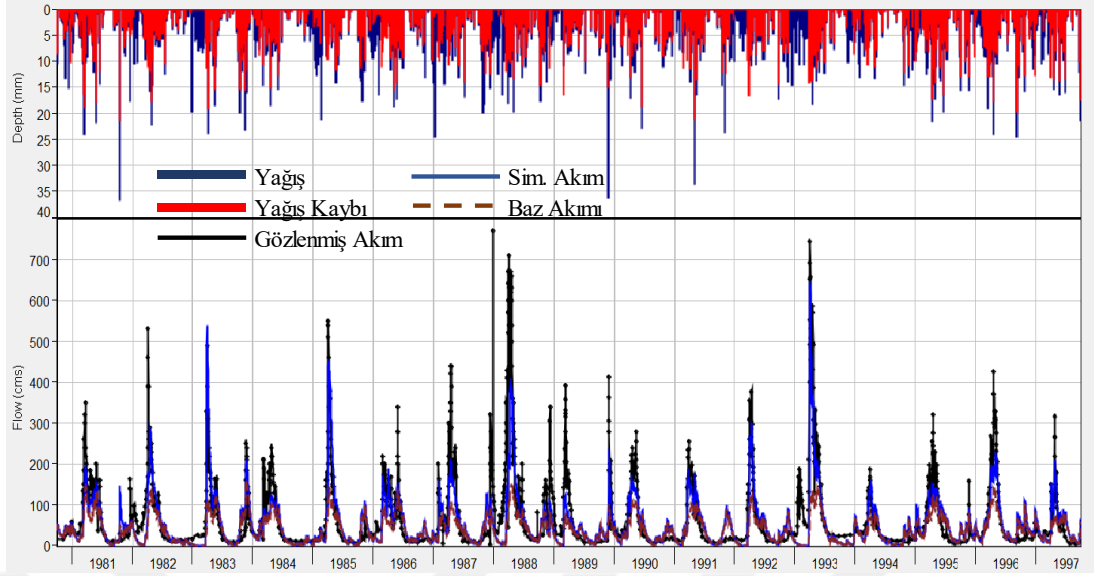
Kalibrasyon çalışmalarında en iyi NSE, PBIAS% ve R² sonuçlarını Lineer Rezervuar yöntemi ve 17090-Sivas istasyonunun sıcaklık değerleri vermiştir. Sonraki çalışmalarda bu sonuçlar kullanılmıştır. HEC-HMS modeli ile yapılmış olan kalibrasyon ve validasyona ait grafikler Şekil 5.13 - Şekil 5.20 üzerinde gösterilmiştir.



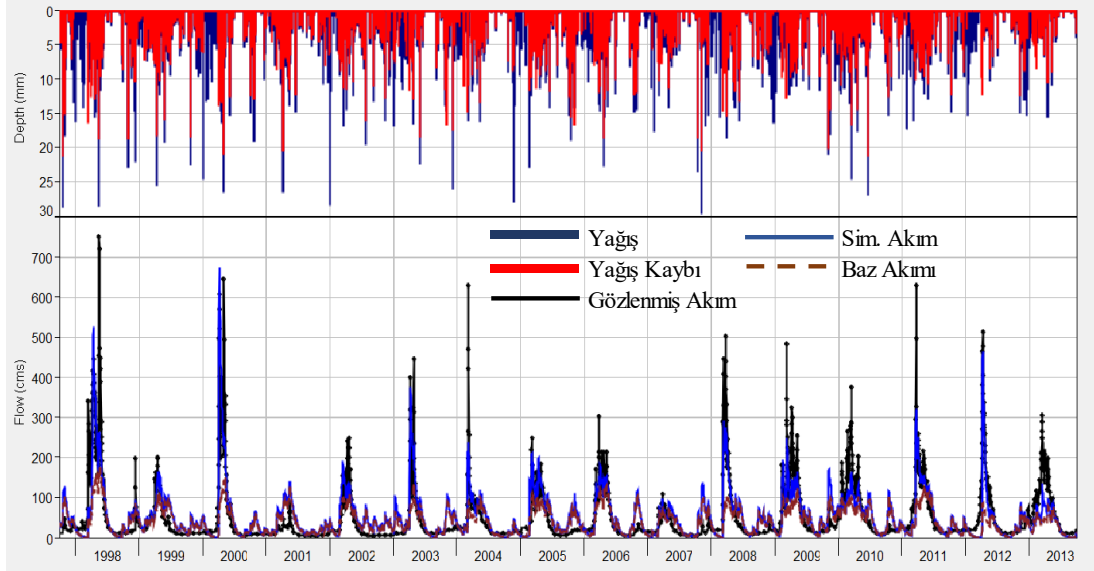
Şekil 5.13. Kalibrasyon Lineer Rezervuar Yöntemi Grafiği (17090-Sivas Sıcaklık Verileri)



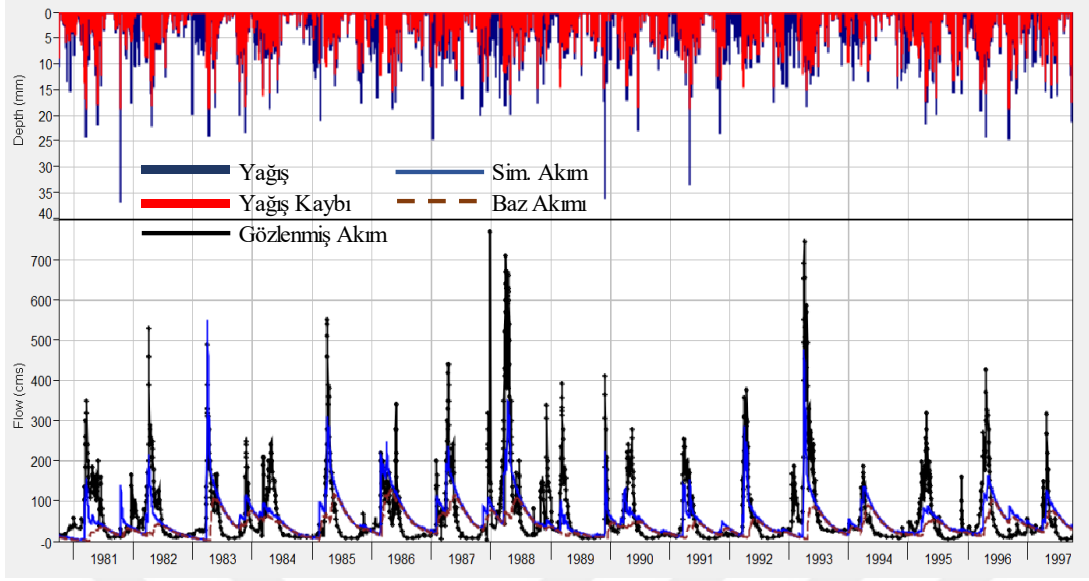
Şekil 5.14. Validasyon Lineer Rezervuar Yöntemi Grafiği (17090-Sivas Sıcaklık Verileri)



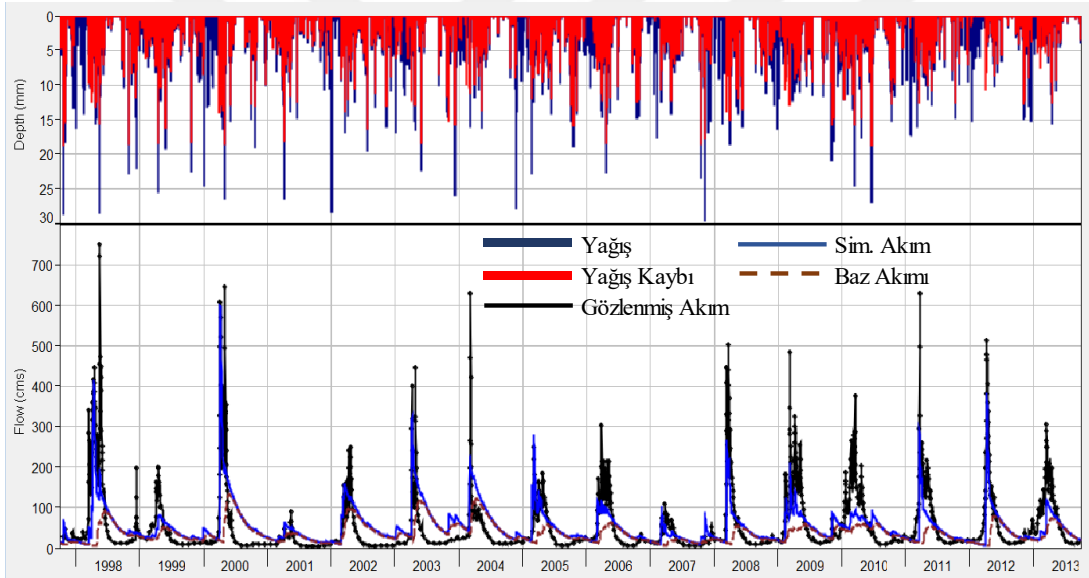
Şekil 5.15. Kalibrasyon Lineer Rezervuar Yöntemi Grafiği (17716-Zara Sıcaklık Verileri)



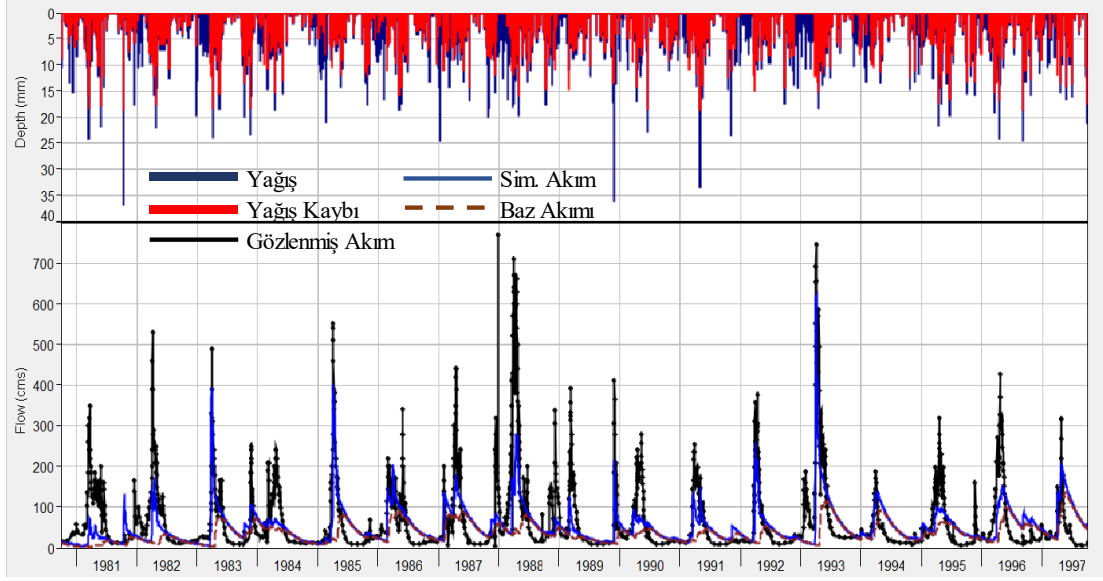
Şekil 5.16. Validasyon Lineer Rezervuar Yöntemi Grafiği (17716-Zara Sıcaklık Verileri)



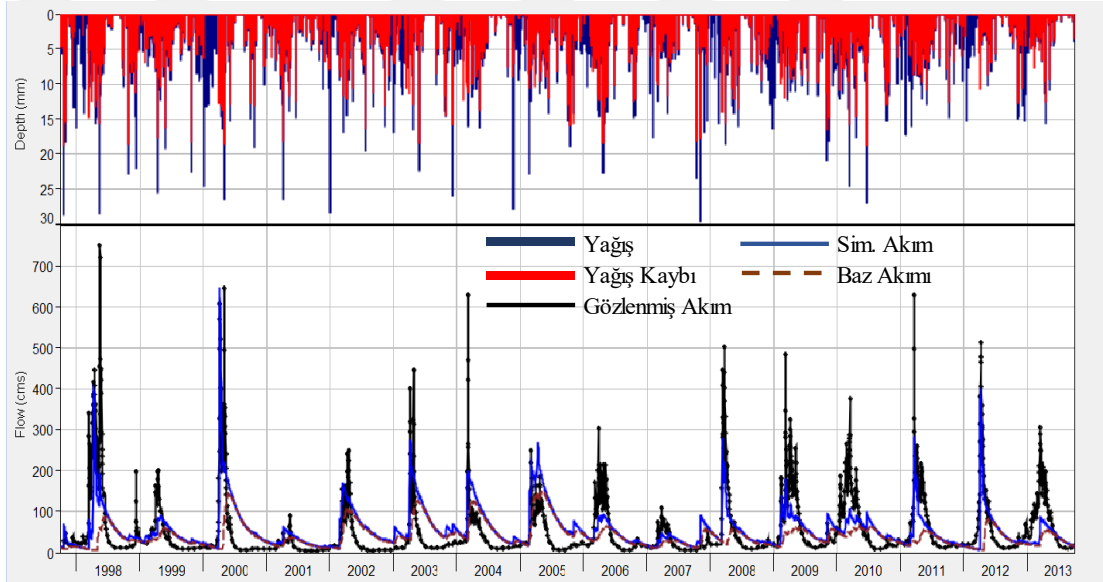
Şekil 5.17. Kalibrasyon Recesson Yöntemi Grafiği (17090-Sivas Sıcaklık Verileri)



Şekil 5.18. Validasyon Recesson Yöntemi Grafiği (17090-Sivas Sıcaklık Verileri)



Şekil 5.19. Kalibrasyon Recesson Yöntemi Grafiği (17716-Zara Sıcaklık Verileri)



Şekil 5.20. Validasyon Recesson Yöntemi Grafiği (17716-Zara Sıcaklık Verileri)

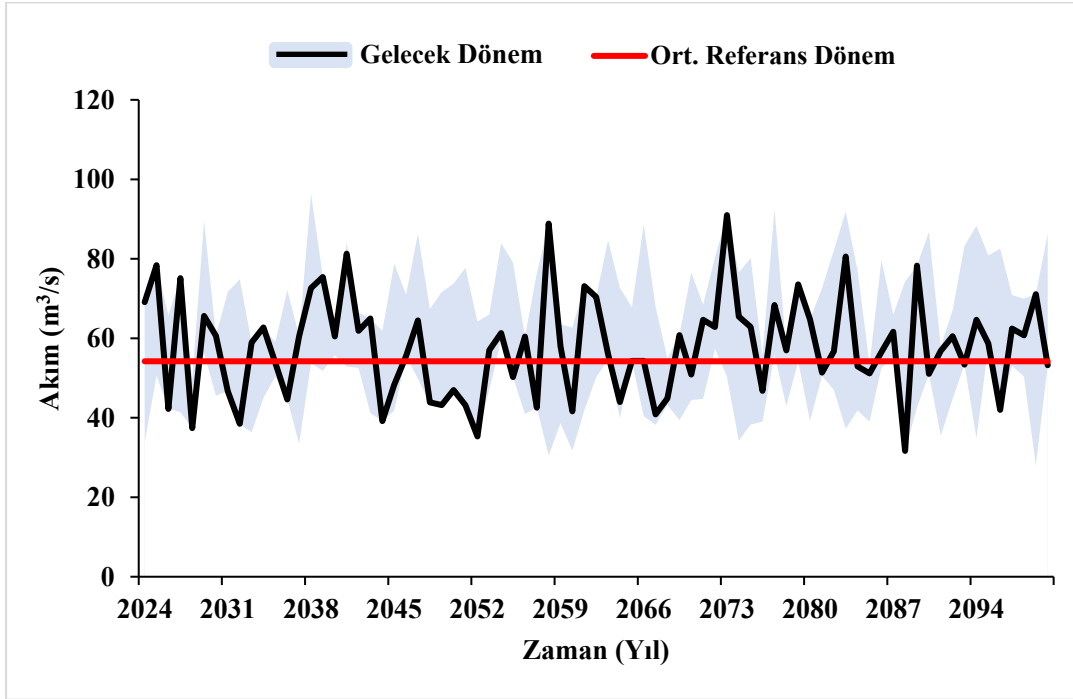
5.5. Gelecek Akım Rejimlerinin Projeksiyonları

Yamula Baraj Havzası'nda gelecek akım rejimlerinin analizleri için CNRM ve EC-Earth iklim modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları dikkate alınmıştır.

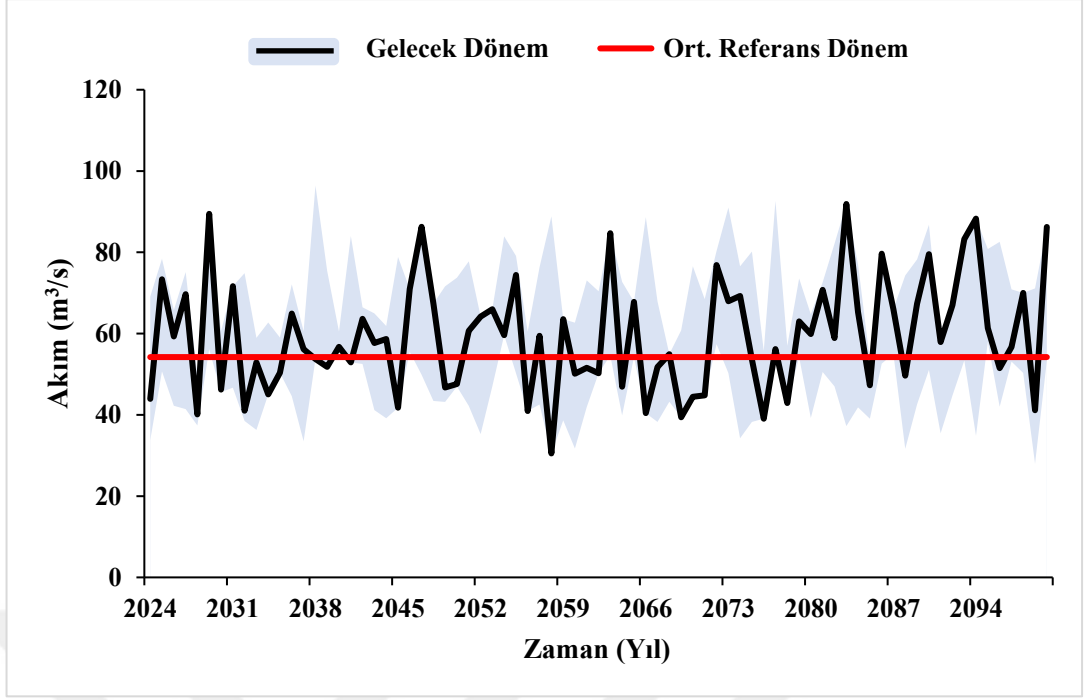
5.5.1. Referans Dönem Akım Projeksiyonlarının Gelecek Dönem ile Kıyası

1980-2005 yıllarını kapsayan referans döneme ait iklim modellerinin yağış ve sıcaklık verileri, daha önce kalibre edilmiş hidrolojik model parametreleriyle modele girilmiş ve ortalama akım değerleri hesaplanmıştır. Aynı parametreler, 2023-2100 yıllarını kapsayan tüm gelecek senaryolarında da kullanılmış ve elde edilen sonuçlar referans

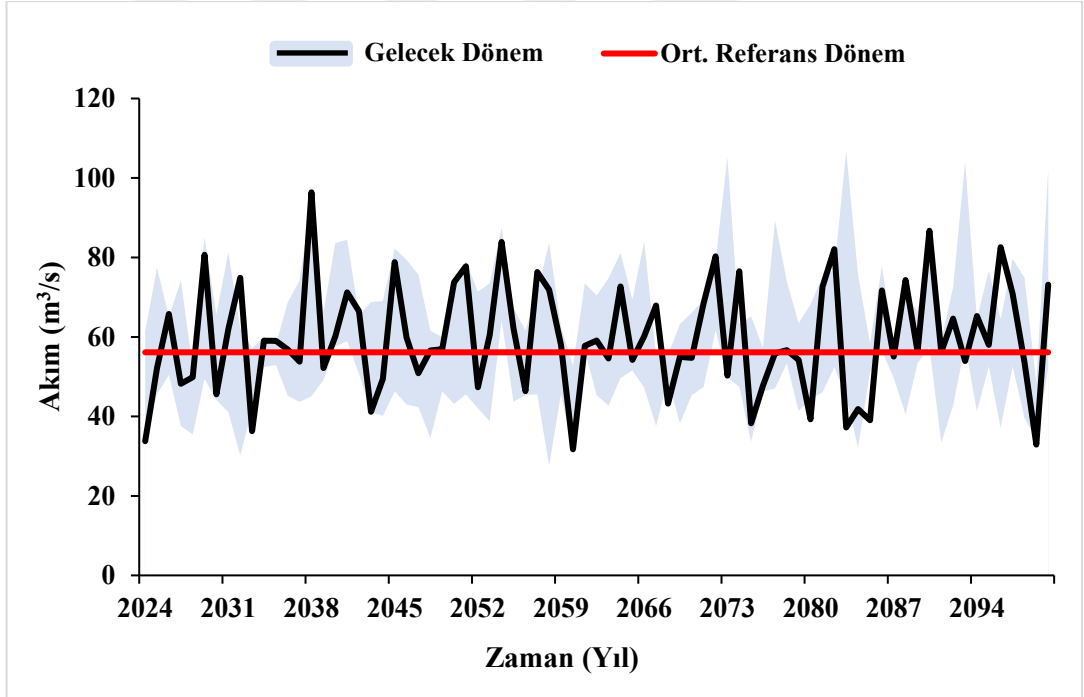
dönemle Şekil 5.21 - Şekil 5.24'te gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır. Bu analizde açık mavi renkli bulut grafikler, gelecek döneme ait tüm senaryolar için akım projeksiyonlarının maksimum ve minimum sınırlarını görselleştirmek amacıyla kullanılmıştır. Bu grafikler, analiz edilen iklim modellerinden elde edilen projeksiyonların ortalama referans dönem akımlarıyla karşılaştırmalı olarak sunulmasını sağlamıştır.



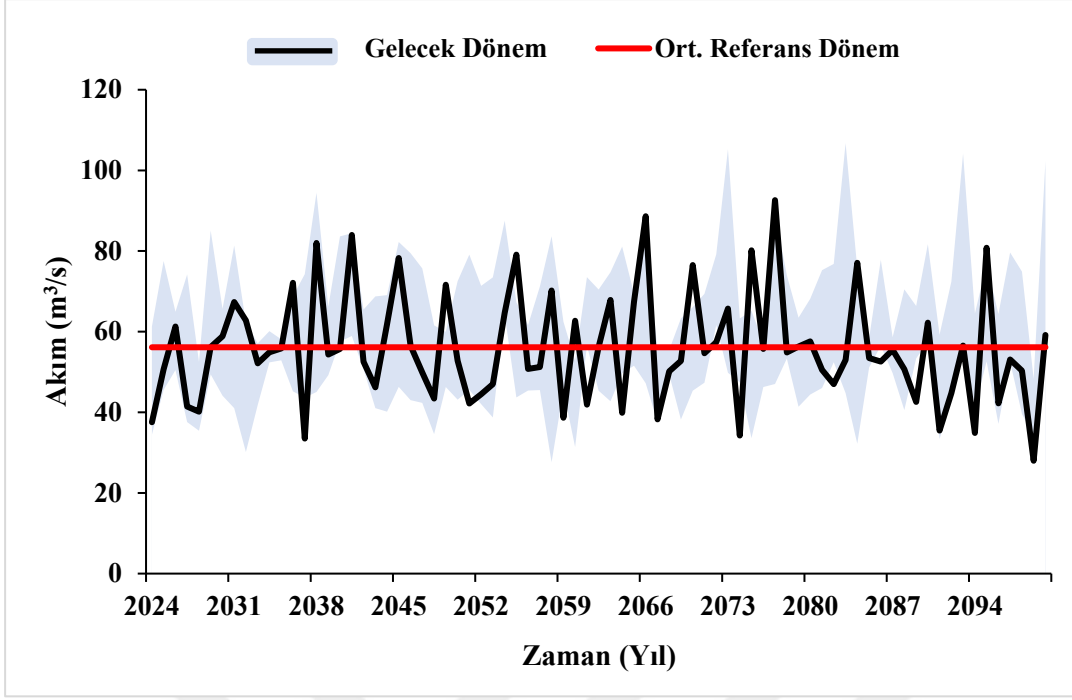
Şekil 5.21. CNRM - RCP 4.5 Ort. Referans Dönem ve Gelecek Dönem Grafiği



Şekil 5.22. CNRM - RCP 8.5 Ort. Referans Dönem ve Gelecek Dönem Grafiği



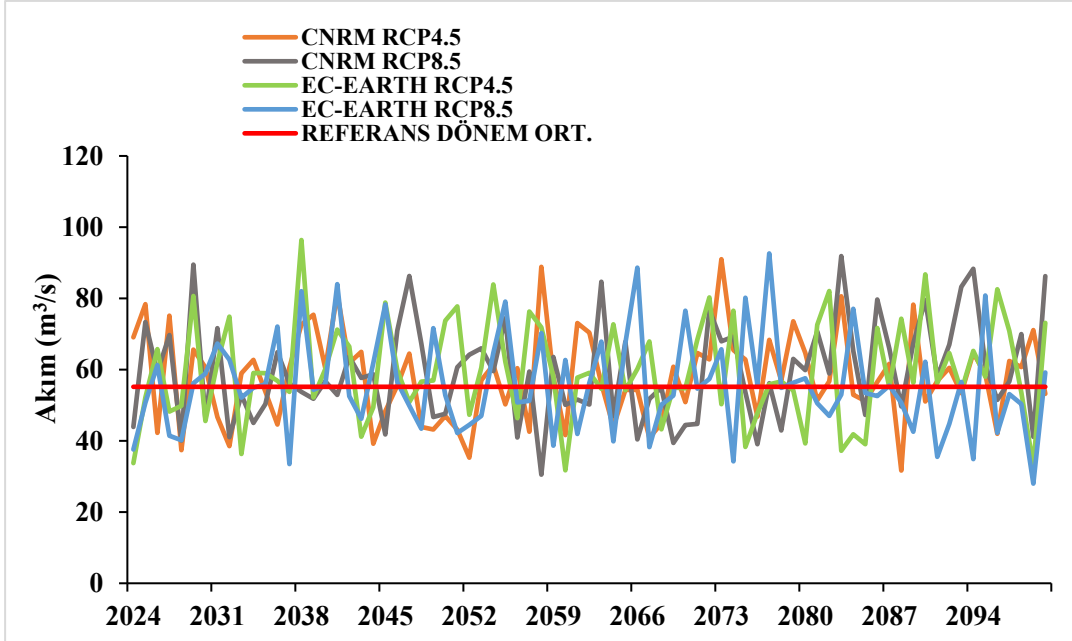
Şekil 5.23. EC-Earth - RCP 4.5 Ort. Referans Dönem ve Gelecek Dönem Grafiği



Şekil 5.24. EC-Earth - RCP 8.5 Ort. Referans Dönem ve Gelecek Dönem Grafiği

5.5.2. Gelecek Dönem Akım Projeksiyonları ve Ensemble Çalışmaları

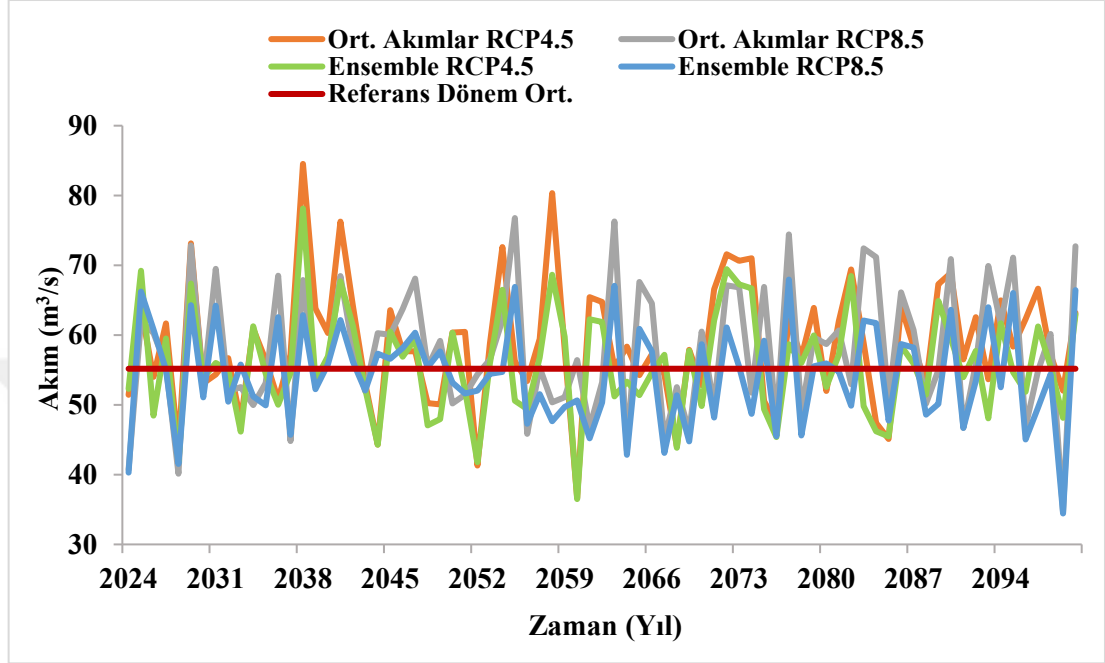
Şekil 5.25'te referans dönemi ortalama akımlar ile bütün senaryoların model sonuçları karşılaştırılmıştır. Grafikte de görüldüğü gibi EC-Earth senaryoları CNRM modeline göre daha fazla artış göstermiştir.



Şekil 5.25. Akım Serilerinin Referans Dönem ile Karşılaştırılması

Gelecek dönem modelleme çalışmalarında, tüm senaryoların yağış ve sıcaklık serilerinden bir grup (ensemble) oluşturulmuştur. Bu veri seti, hidrolojik modele

girilerek RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için gelecek dönem akımları hesaplanmıştır. Ayrıca daha önce elde edilen gelecek dönem senaryolarına ait akımların ortalaması (Ort. Akımlar) alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu iki denemenin sonuçlarına ait grafikler, Şekil 5.26'de sunulmuştur.



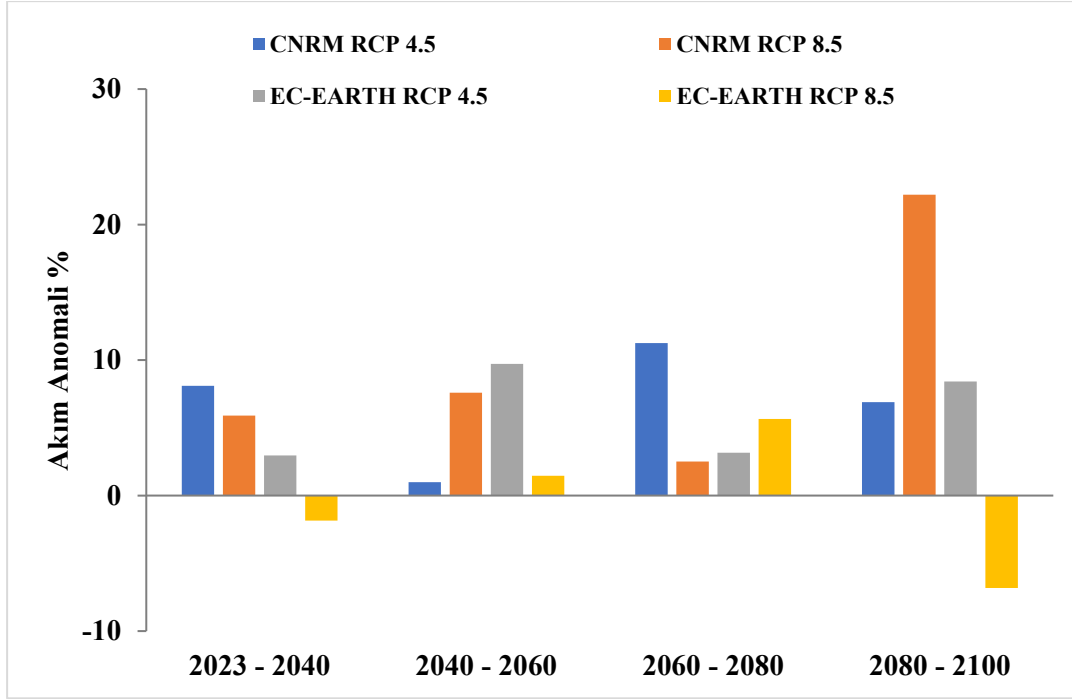
Şekil 5.26. RCP 4.5 ve RCP 8.5 Ortalama Akımlar ve Ensemble Grafiği

5.5.3. Gelecek Akım Projeksiyonları ve Anomali Hesaplamaları

HEC-HMS hidrolojik modeli kullanılarak yaklaşık 20 yıllık periyotlarla modeller çalıştırılmış ve bu modellerden elde edilmiş projeksiyon akımları referans döneme ait akımlarla kıyaslanarak bir anomali analizi yapılmıştır. Akımlara ilişkin anomali hesabı Tablo 5.14'te verilmiş olup, bu çalışmalara ait grafik ise Şekil 5.27'de sunulmuştur.

Tablo 5.14. HEC-HMS Model Sonucu Akım Projeksiyonu Anomali Hesaplamaları

İklim Modeli	Senaryo	Gözlem Kal. (m ³ /s) 1980 - 1997	Referans Dönem (m ³ /s) 1980 - 2005	Gelecek Dönem Anomali %			
				2023 - 2040	2040 - 2060	2060 - 2080	2080 - 2100
CNRM-CM5	RCP 45	54,43	54,21	8,10	0,98	11,25	6,89
	RCP 85			5,90	7,59	2,51	22,21
EC-EARTH	RCP 45	54,43	56,13	2,96	9,71	3,17	8,42
	RCP 85			-1,85	1,46	5,66	-6,82



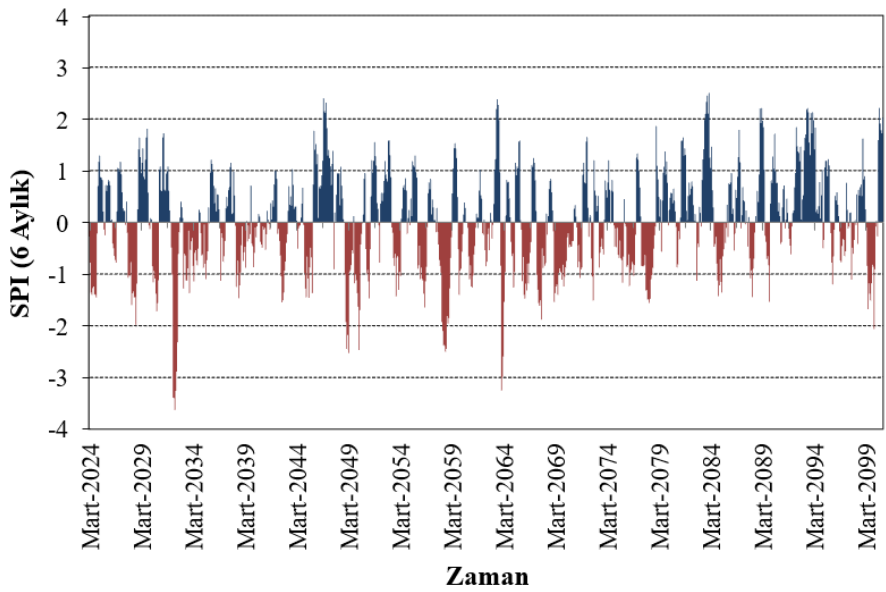
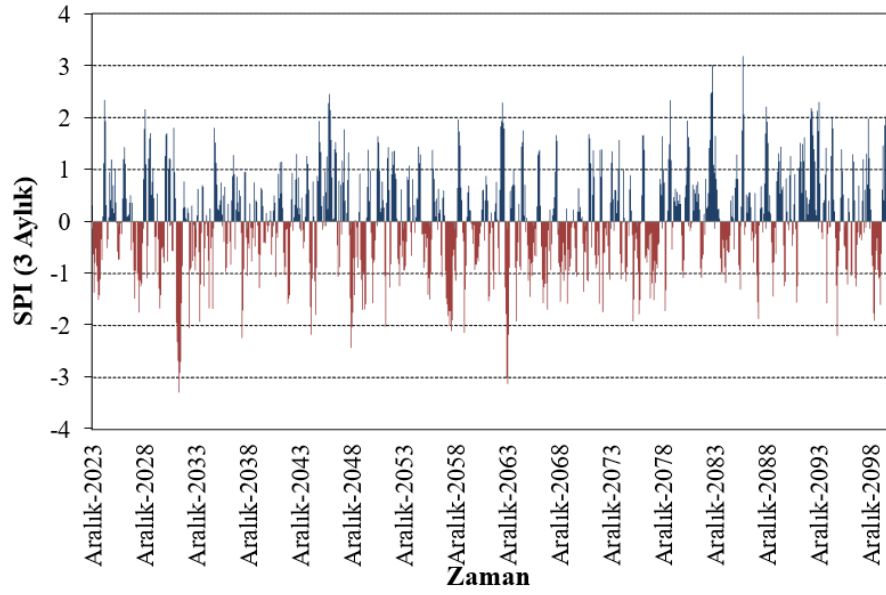
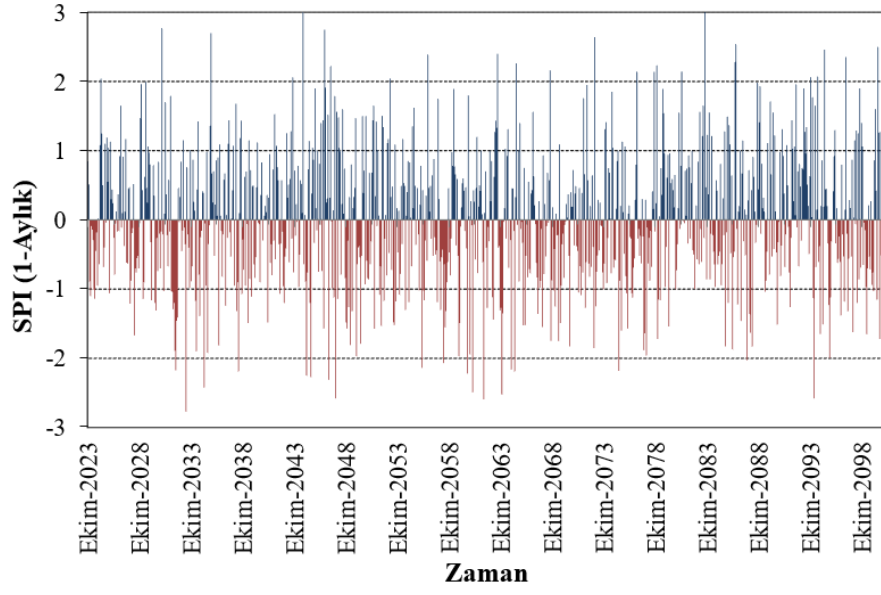
Şekil 5.27. HEC-HMS Modeli Akım Projeksiyonu Anomali Grafiği

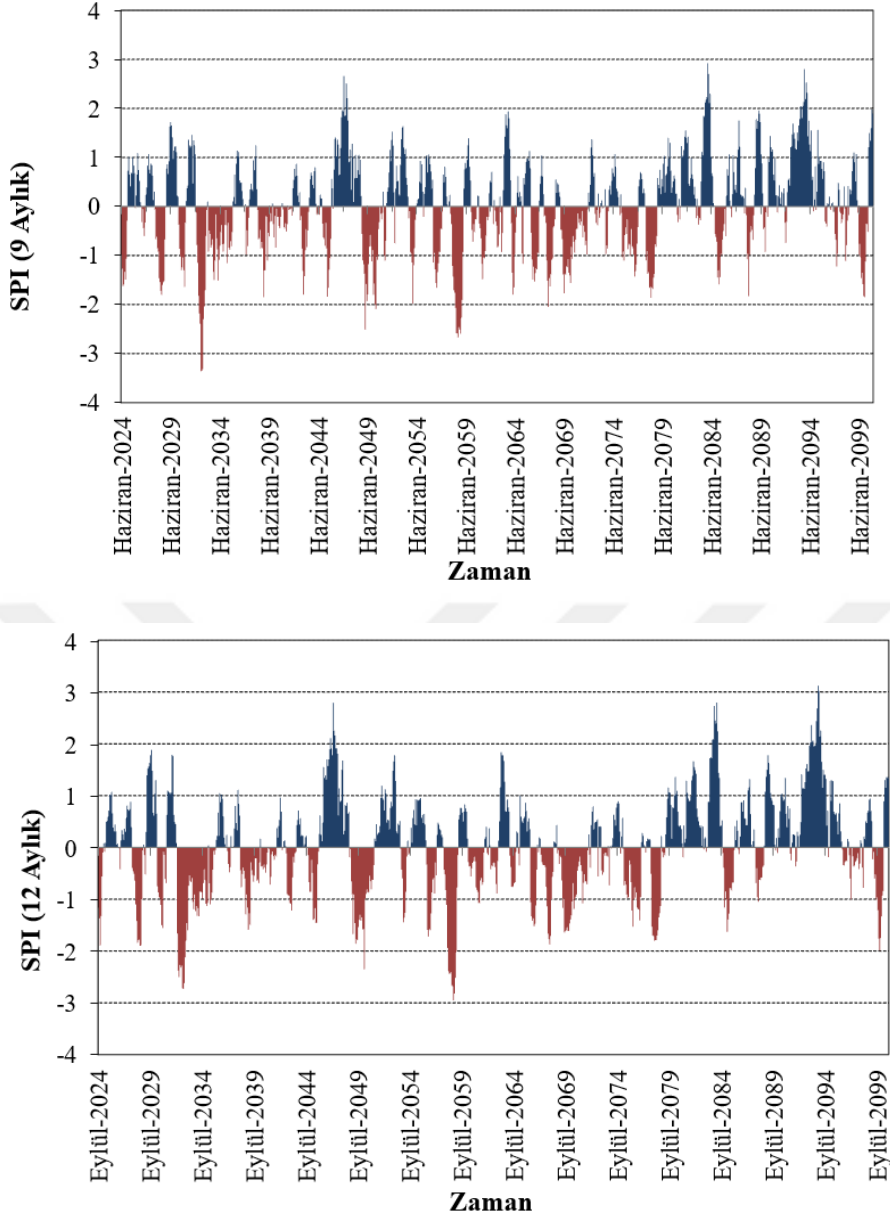
Bu çalışma sonucunda, akım miktarlarının yaklaşık 20 yıllık gelecek periyotlarında CNRM-CM5 modeli için her iki senaryoda da artacağı, EC-Earth modelinde ise RCP 8.5 senaryosunda, 2023-2040 ile 2080-2100 periyotlarında azalacağı öngörülmüştür.

5.6. SPI İndeks Sonuçları

Çalışmada, 2023-2100 gelecek dönemi için meteorolojik kuraklıkların zamansal özellikleri, SPI yöntemi kullanılarak 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde analiz edilmiştir. Bu çalışmanın temel hedefi, meteorolojik kuraklık olaylarının farklı zaman ölçeklerinde nasıl ilerlediğini takip etmek ve karakteristik özelliklerini (kuraklık sıklığı, süresi, şiddeti ve yoğunluğu) belirleyebilmektir. Bu amaçla analizde en yüksek Z istatistik değerlerini veren CNRM-CM5/RCA4 modeli RCP8.5 senaryosunun aylık yağış projeksiyon değerleri kullanılmıştır.

Şekil 5.28'de, farklı zaman ölçeklerinde hesaplanan kurak ve yağışlı dönemlerin zamansal değişimleri sunulmaktadır. SPI değerlerine göre, zaman ölçeği arttıkça kuraklık eğilimi daha net ortaya çıkmış, kurak dönemlerin sıklığında azalma görülürken, kuraklık sürelerinde ise nispeten bir artış tespit edilmiştir.





Şekil 5.28. SPI'nın Farklı Zaman Ölçeklerinde Zamansal Değişimleri

Çalışma alanında, 2023–2100 yılları arasına ilişkin öngörülen kuraklık dönemlerinin süresi, şiddeti ve yoğunluğu gibi meteorolojik kuraklık özellikleri, 12 aylık zaman ölçeğinde Run teorisi kullanılarak saptanmış; yapılan analizlere göre toplamda 20 farklı kuraklık periyodu belirlenmiştir. Bölgedeki meteorolojik kuraklık periyotlarına ilişkin özet nitelikler Tablo 5.15'te gösterilmiştir. 12 aylık zaman ölçeğinde gerçekleştirilen SPI analizleri, en uzun kuraklık süresinin Nisan 2067'den Ekim 2071'e kadar, 55 ay olduğunu ortaya koymuştur. Bu kurak dönemin, 42.38 şiddette ve 0.77 yoğunlukta olduğu saptanmıştır. Ayrıca, öngörülen diğer en uzun kuraklık periyodunun Nisan 2032'den Aralık 2035'e kadar toplam 45 ay olduğu tespit edilmiştir. Bu periyot, süre bakımından ikincil konumda olmasına rağmen, 53.92

şiddeti ve 1.20 yoğunluğu ile en şiddetli ve diğer döneme göre daha yoğun bir kuraklık periyodu olarak öne çıkmaktadır. En yoğun kuraklık dönemin Aralık 2057'den Nisan 2059'a kadar 1,83 yoğunluk ile 17 ay süreceği; en şiddetli kurak periyodun ise Nisan 2032 ile Aralık 2035 arasında 45 ay süreceği öngörülmüştür. Çalışma sonucuna göre, en uzun ve en yoğun süren kuraklık periyotlarının orta vadede (2051–2075), en şiddetli kurak periyodun ise yakın gelecekte (2025–2050) olacağı öngörülmüştür. Ek olarak, Tablo 5.15'te görüldüğü üzere, uzak gelecek (2076–2100) döneminde kuraklık periyotlarının süresi ve şiddetinde zamanla azalma durumu dikkat çekmektedir.

Tablo 5.15. SPI-12 İçin Yapılan Run Analizi Sonuçları

SPI-12					
No	Başlangıç	Bitiş	M	D (Ay)	I
1	2024/9	2025/2	6.40	6	1.07
2	2027/12	2028/12	14.79	13	1.14
3	2030/5	2031/3	9.25	11	0.84
4	2032/4	2035/12	53.92	45	1.20
5	2038/5	2040/3	16.00	23	0.70
6	2042/10	2043/9	7.49	12	0.62
7	2044/11	2045/11	10.54	13	0.81
8	2048/11	2051/3	31.78	29	1.10
9	2053/10	2054/5	6.17	8	0.77
10	2056/4	2057/3	11.89	12	0.99
11	2057/12	2059/4	31.06	17	1.83
12	2060/4	2061/10	10.30	19	0.54
13	2066/4	2066/11	9.72	8	1.22
14	2067/4	2071/10	42.38	55	0.77
15	2075/3	2076/11	18.51	21	0.88
16	2077/11	2078/10	17.88	12	1.49
17	2084/10	2085/11	11.63	14	0.83
18	2087/12	2088/9	6.24	10	0.62
19	2096/12	2097/2	1.76	3	0.59
20	2099/3	2100/3	3.1	3	1.03

Not: D: Kuraklık Süresi; M: Kuraklık Şiddeti; I_d: Kuraklık Yoğunluğu.

5.7. Sonuçların Değerlendirilmesi

Yapılan çalışmada ilk olarak referans (1980-2005) ve gelecek (2023-2100) dönemlere ait günlük toplam yağışlar ile günlük ortalama sıcaklık projeksiyon değerleri EURO-CORDEX sayfası üzerinden elde edilmiştir. Elde edilen veriler çözünürlük açısından yetersiz olduğundan ve analizler boyunca daha ayrıntılı ve doğru sonuçlar verecek veri gereksiniminden dolayı yüksek çözünürlüklü RCM verilerinden yararlanılmıştır.

Çalışmada 12,5 km çözünürlüğe sahip CNRM-CM5/RCA4 ve EC-EARTH/RACMO22E verileri kullanılmıştır. Ham verilerdeki sapmaları gidermek için çalışmada kullanılan MGM istasyonlarından elde edilen gözlenmiş günlük toplam yağış verileri ile günlük maksimum ve minimum sıcaklık değerleri kullanılarak CMhyd yazılımı aracılığıyla verilere sapma düzeltilmesi uygulanmıştır. Sapma düzeltilmesi işlemi sonrasında gözlem ve referans dönem verileri arasındaki uyum araştırılmıştır. Veriler arasında yağış için korelasyon 0,23'ten 0,52'ye, sıcaklık içinse korelasyon 0,93'ten 0,95'e yükselmiştir. Daha sonra RStudio programı aracılığıyla Mann-Kendall trend analizi yapılarak verilerin referans ve gelecek dönemleri için eğilimleri analiz edilmiştir. Eğilim analizleri sonucunda her iki iklim senaryosu için de referans dönemi ve gelecek dönem ortalama sıcaklık değerlerinde anlamlı düzeyde artan bir eğilim gözlenmiştir. Analiz sonucunda CNRM-CM5/RCA4 ve EC-EARTH/RACMO22E modellerinin birbirine yakın sonuçlar gösterdiği ve her iki modelde de kötümser senaryo RCP8.5'ta daha yüksek eğilimler olduğu görülmüştür. Referans döneme ait toplam yağışların eğilim analizinde CNRM-CM5/RCA4 modeli için azalan yönde bir eğilim tespit edilirken, EC-EARTH/RACMO22E modelinde ise artan bir eğilim görülmüştür. Gelecek dönem toplam yağışlarının eğilim analizinde ise her iki model ve senaryoda artan bir eğilim tespit edilmiştir. Çalışma içerisinde referans dönem ve gelecek dönem iklim projeksiyon verileri karşılaştırılmıştır. Referans dönemde (1980-2005) CNRM ve EC-EARTH yıllık ortalama sıcaklıkları sırasıyla 9,30°C ve 9,31°C vermiştir. Gelecek dönem (2023-2100) anomali çalışmaları yapılmış ve analizler sonucunda incelenen dönemlerde RCP 4.5 için 1,15-3,37 °C ve RCP 8.5 için 1,63-5,60 °C'ye kadar bir anomali ile sıcaklıklarda artış görülmüştür. Yıllık ortalama toplam yağış için yapılan analizlerde ise referans dönemde yağış miktarı 461 mm civarındayken gelecek dönemde EC-Earth RCP8.5 senaryosu, 2023-2040 döneminde negatif bir anomali ile azalış tespit edilmiştir. Diğer senaryolarda ve dönemlerde pozitif anomali ile yağışlarda bir artış öngörülmüştür.

SYGM tarafından 2016'da yapılan İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Nihai Raporu'nda, tüm Türkiye kapsamında, Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin 5. Değerlendirme Raporu'nun CMIP5 arşivinden seçilen üç GCM'nin çıktıkları ve RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları ile RegCM4.3 bölgesel iklim modeli ile çalışmalar yapılmıştır. Kızılırmak Havzası özelinde yapılan çalışmalara bakıldığında, kullanılan üç modele göre de projeksiyon döneminde (2015-2100) artan bir trendde sıcaklık artışları olacağı öngörülmüştür. Çalışmada kullanılan CNRM-CM5.1 modeli, RCP4.5

senaryosunda projeksiyon dönemi süresince 0,5°C ile 2,5°C; RCP8.5 senaryosunda ise 0,8°C ile 4,3°C sıcaklık artışları öngörmüştür. Çalışmada tüm model sonuçları (CNRM-CM5.1, MPI-ESM-MR, HadGEM2-ES) bir arada değerlendirildiğinde projeksiyon dönemi boyunca havzada beklenen sıcaklık artışlarının 0,4°C ile 5,8°C arasında olacağı sonucuna varılmıştır. Çalışmada, havzada beklenen yağış anomali değerlerine bakıldığında ise HadGEM2-ES modelinde her iki senaryo için de belirgin bir artış veya azalış görülmemiştir. MPI-ESM-MR modelinin RCP4.5 senaryosunda, on yıllık periyotların çoğunda yağışların referans döneme (1971-2000) göre artması beklenirken, RCP8.5 senaryosunda özellikle 2050 yılından sonra azalış dikkat çekmiştir. CNRM-CM5.1 model sonuçları ise RCP4.5 senaryosunda havzada projeksiyon dönemi süresince yağış artış ve azalışlarını öngörürken, RCP8.5 senaryosunda ise yağış eksikliğinin daha belirgin olacağını işaret etmiştir. Tüm model sonuçları dikkate alındığında Kızılırmak Havzası'nın genelinde yağış azalmaları beklenmesine rağmen bazı dönemlerde yağış artışları da öngörülmüştür (SYGM, 2016). Yamula Baraj Havzası'nı kapsayan bu çalışma sonuçları, Kızılırmak Havzası'nın tamamını kapsayan sonuçları içeren Nihai Rapor ile karşılaştırıldığında, projeksiyon dönemlerinde sıcaklık anomali artış değerlerinin uyumlu olduğu görülmüştür. Projeksiyon dönemi boyunca yağış anomali sonuçlarına bakıldığında ise bu çalışmada kullanılan CNRM-CM5/RCA4 ve EC-EARTH/RACMO22E modellerinin her ki senaryosunda da belirlenen periyotlarda genellikle bir artış görülürken, Nihai Rapor sonuçlarında farklı modellerde genellikle yağış azalmaları beklenmesine rağmen bazı dönemlerde yağışlarda artış da beklenmektedir.

Havzada akım rejimlerinin analiz edilmesi amacıyla HEC-HMS modelinde çalışmalar yapılmıştır. Hidrolojik modelleme sırasında iki farklı baz akım yöntemi (Lineer Rezervuar ve Çekilme) yöntemi ve sıcaklık verileri için iki istasyon (17090-Sivas ve 17719-Zara) kullanılmıştır. Bu şekilde yapılan modellemede kalibrasyon döneminde (1980-1997) NSE değerleri 0,49-0,70 aralığında, validasyon döneminde ise (1997-2013) 0,49-0,69 aralığında çıkmıştır. Model performans kriterlerine göre simülasyon sonuçları tatmin edici olmakla beraber özellikle Lineer Rezervuar baz akım yöntemi ile 17090-Sivas istasyonu daha iyi sonuçlar vermiştir.

Kalibrasyon çalışmasından elde edilen parametrelerle iklim modellerinin referans ve gelecek dönemleri için akım simülasyonları sonuçlarına ulaşılmıştır. İklim modellerinin referans dönemlerinde ortalama yıllık akım değerleri yaklaşık 55 m³/s olarak hesaplanmıştır. Çalışmada HEC-HMS modelinin akım projeksiyonları yaklaşık 20'şer

yıllık periyotlar halinde hesaplanmıştır. Bu model sonuçlarına göre gelecek dönem akım projeksiyonlarında artış beklenmekte olup yalnızca EC-Earth modelinin RCP8.5 senaryosunda, 2023-2040 ve 2080-2100 dönemlerinde akım rejimlerinde bir azalış görülmüştür. Tüm iklim modellerinden RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları kapsamında elde edilen ortalama yağış ve sıcaklık verileri hidrolojik modele girdi olarak verilmiş, bu verilerden elde edilen akım rejimi ile her bir iklim modelinin ayrı ayrı girdi olarak kullanıldığı modelleme sonuçlarından elde edilen akımların ortalamaları benzer sonuçlar göstermiştir. Sonuç olarak Kızılırmak Havzası'nın bir alt havzası olan Yamula Baraj Havzası'nda, 2080-2100 yıllarında akım projeksiyonlarında beklenen anomali % -6,82~22,21 aralığında bulunmuştur. SYGM tarafından 2016'da yapılan İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Nihai Raporu'na bakıldığında ise sonuçlar, Kızılırmak Nehri'nin mansabında referans dönemine göre tüm bölgesel iklim modellerinde akımlarda azalmaların beklendiğini ortaya koymuştur (SYGM, 2016). Çalışmada, Türkiye sınırları içinde kalan Kızılırmak Havzası (82.182 km²) baz alınarak havza için analizler gerçekleştirilmiş ve mansabı da kapsayan daha geniş bir bölge değerlendirildiği için referans döneme göre projekte edilen akımlarda azalma öngörülmüştür. Bu çalışmada ise seçilen Yamula Baraj Havzası memba bir havzadır ve alan olarak (11.185,62 km²) diğer çalışmalara göre nispeten küçüktür. Bu çalışmada projekte edilen akımlar referans döneme göre nispeten yüksek çıkmıştır.

Havzada meteorolojik kuraklık olaylarının farklı zaman ölçeklerinde nasıl ilerlediğini takip etmek amacıyla, 2023-2100 gelecek dönemi için meteorolojik kuraklıkların zamansal özellikleri, SPI ve yöntemi kullanılarak 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde analiz edilmiştir. Bu amaçla analizde en yüksek Z istatistik değerlerini veren CNRM-CM5/RCA4 modeli RCP8.5 senaryosunun aylık yağış projeksiyon değerleri kullanılmıştır. Yapılan Run analizine göre toplamda 20 farklı kuraklık periyodu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, en uzun ve en yoğun süren kuraklık periyotlarının orta vadede (2051–2075), en şiddetli kurak periyodun ise yakın gelecekte (2025–2050) olacağı öngörülmüştür. Ek olarak, uzak gelecek (2076–2100) döneminde kuraklık periyotlarının süresi ve şiddetinde zamanla azalma durumu dikkat çekmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Yamula Barajı Havzasının D15A180-Oğlakpınar AGİ'sine ait drenaj havzasında, iklim değişikliğinin akım rejimlerine ve kuraklığa etkisi araştırılmıştır. Bu araştırma amacıyla çalışma alanına ait gözlem verileri ile bölgesel gelecek iklim verileri temin edilip, hidrolojik modelleme çalışmalarından yararlanılmıştır.

Çalışmada amaçlandığı üzere, bir memba havzasında iklim değişikliğinin etkileri araştırılmıştır. Etki değerlendirmesi kapsamında ilk önce yağış ve sıcaklık projeksiyonlarının durumu için trend ve anomali çalışmaları yürütülmüştür. Ardından, gelecek iklim projeksiyon senaryolarının havza akımları üzerindeki etkileri de 2023-2100 yıllarını kapsayan yaklaşık 20 yıllık periyotlar halinde incelenmiştir. Sonuçlar referans dönem ile (1980-2005) karşılaştırılarak anomalilere ulaşılmış ve muhtemel senaryolar sunulmuştur. Ayrıca bir ensemble çalışması da yapılarak sonuçlarına yer verilmiştir.

Seçilmiş olan iklim modelleri hem GCM hem de RCM yönünden sınırlıdır. Verinin boyutu, edinilmesi ve analiz süreçlerinin uzunluğu ile tez çalışmasının süreci birlikte değerlendirilerek sınırlı sayıda iklim modeli seçilmiştir. Seçilmiş olan iki iklim modeli CNRM ve EC-Earth sonuçlarının birbirine yakınlığı ve sınırlı sayıda iklim modelinin kullanılmış olması nedeniyle, havzada daha kapsamlı bir değerlendirme yapabilmek için iklim modeli sayısı artırılarak bir çalışma gerçekleştirilebilir.

Çalışmada, Yamula Barajı Havzasını temsilen, baraj etkisinde olmayan D15A180-Oğlakpınar Akım Gözlem İstasyonu'nun (AGİ) drenaj alanı seçilmiştir. Bu AGİ'ye ait 1980-2013 dönemine ilişkin veriler referans olarak alınmış ve Meteoroloji Gözlem İstasyonlarında (MGİ) da aynı zaman aralığı kullanılmıştır. İklim projeksiyon verilerinin sapma düzeltilmesinin yapılma aşamasında da aynı zaman aralığı kullanılmış fakat kullanılan gözlemlenmiş veri aralığının sınırlı olması, yanlışlık düzeltilmesi üzerinde etkili olabilmektedir. Yanlılık düzeltilmesinde kullanılan Delta Değişim Düzeltilmesi, Doğrusal Ölçeklendirme, Varyans Ölçeklendirme, yağış ve sıcaklığın dağılım haritalama yöntemlerinden en yüksek sonucu gösteren Doğrusal

Ölçeklendirme (Linear Scaling) yöntemi tercih edilmiştir. Özellikle yağış projeksiyonlarının referans döneminin gözlem verileriyle uyumunu artırmak için farklı ve daha iyi sonuçlar verebilecek sapma düzeltmesi yöntemlerinin incelenmesi ve geliştirilmesi yararlı olabilir.

Çalışma alanı için HEC-HMS hidrolojik modeli kullanılmış ve model tatmin edici performans göstermiştir. Ayrıca modelde düşük akımların modellenmesi için alternatif yöntemler denemiştir. Modelde yapılan simülasyonlar sonucunda düşük bir baz akımı görülmüştür. Bu düşük baz akımının daha derin bir biçimde incelenebilmesi amacıyla HEC-HMS modelinde başka taban akışı metotları da denenebilir. Çalışma için uygulanmış olan kavramsal modelin yanı sıra daha güvenilir sonuçlar elde edebilmek için bir fiziksel modelin de kullanılması daha yararlı olacaktır.

Çalışmada modelleme aşamasında buharlaşma durumları için bir senaryo analizine yer verilmemiştir. İlerleyen çalışmalarda bu durumun göz önünde bulundurulması ve çalışmalarda bu konuya yer verilmesi önemli bir fayda sağlayacaktır. Yapılan çoğu çalışmada olduğu gibi bu tez çalışmasında da iklim değişikliği etkisiyle gelecek sıcaklıklarında artış olacağı sonucuna varılmıştır. Yağış rejimlerinde ise değişiklikler olacağı öngörülmektedir.

Çalışma içerisinde havzada meteorolojik kuraklık olaylarının farklı zaman ölçeklerinde nasıl ilerlediğini takip etmek amacıyla SPI indeksi kullanılarak bir kuraklık analizi gerçekleştirilmiştir. Projekte edilen dönem için farklı kuraklık periyotları ve bunlara bağlı zamansal özellikler tespit edilmiştir. SPI indeksi her ne kadar hesaplanma yönünden basit ve sıkça kullanılan bir yöntem olsa da yalnızca yağış değerlerine bağlı kalması açısından yeterli değildir. Bu sebeple devam edecek çalışmalarda farklı meteorolojik değişkenleri de hesaba katan indislerin kullanılmasında fayda vardır.

KAYNAKLAR

Abramowitz, M., & Stegun, I. A. (1965). *Abramowitz, M., & Stegun, I.A. (1965). Handbook of mathematical formulas, graphs and mathematical tables. Dover Publications Inc, New York.*

Allnut, C. E., Gericke, O. J., & Pietersen, J. P. J. (2020). Estimation of time parameter proportionality ratios in large catchments: Case study of the Modder-Riet River Catchment, South Africa. *Journal of Flood Risk Management*, 13(3). <https://doi.org/10.1111/jfr3.12628>

ASCE. (1993). *Criteria for evaluation of watershed models, ASCE task committee on definition of criteria for evaluation of watershed models of the watershed management, irrigation, and drainage division. Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. (1993).

BACANLI, Ü. G., & KARGI, P. G. (2019). Uzun ve Kısa Süreli Periyotlarda Kuraklık Analizi: Bursa Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1), 166-174. <https://doi.org/10.21324/dacd.429391>

Bai, Y., Zhang, Z., & Zhao, W. (2019). Assessing the Impact of Climate Change on Flood Events Using HEC-HMS and CMIP5. *Water, Air, and Soil Pollution*, 230(6). <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4159-0>

Bekele, W. T., Haile, A. T., & Rientjes, T. (2021). Impact of climate change on the streamflow of the arjo-didessa catchment under rcp scenarios. *Journal of Water and Climate Change*, 12(6), 2325-2337. <https://doi.org/10.2166/wcc.2021.307>

Bozkurt, D., & Sen, O. L. (2013). Climate change impacts in the Euphrates-Tigris Basin based on different model and scenario simulations. *Journal of Hydrology*, 480, 149-161. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.021>

Bozkurt, D., Turuncoglu, U., Sen, O. L., Onol, B., & Dalfes, H. N. (2012). Downscaled simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3 global models for the eastern Mediterranean-Black Sea region: Evaluation of the reference period. *Climate Dynamics*, 39(1-2), 207-225. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1187-x>

Brunner, L., Pendergrass, A. G., Lehner, F., Merrifield, A. L., Lorenz, R., & Knutti, R. (2020). Reduced global warming from CMIP6 projections when weighting models by performance and independence. *Earth System Dynamics*, 11(4), 995-1012. <https://doi.org/10.5194/esd-11-995-2020>

Brunner, M. I., Farinotti, D., Zekollari, H., Huss, M., & Zappa, M. (2019). Future shifts in extreme flow regimes in Alpine regions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(11), 4471-4489. <https://doi.org/10.5194/hess-23-4471-2019>

C. Santhi, J. G. Arnold, J. R. Williams, L. M. Hauck, & W. A. Dugas. (2001). APPLICATION OF A WATERSHED MODEL TO EVALUATE MANAGEMENT EFFECTS ON POINT AND NONPOINT SOURCE POLLUTION. *Transactions of the ASAE*, 44(6). <https://doi.org/10.13031/2013.7041>

C. Zheng, M. C. Hill, G. Cao, & R. Ma. (2012). MT3DMS: Model Use, Calibration, and Validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1549-1559. <https://doi.org/10.13031/2013.42263>

Castro, C. L., Pielke, R. A., & Leoncini, G. (2005). Dynamical downscaling: Assessment of value retained and added using the Regional Atmospheric Modeling System (RAMS). *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 110(5), 1-21. <https://doi.org/10.1029/2004JD004721>

Climate change 2014: synthesis report: longer report. (2015). [Intergovernmental Panel on Climate Change].

CNRM. (2014). *Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) Centre Européen de Recherche et Formation Avancée en Calcul Scientifique (CERFACS)*. (t.y.).

Cunderlik, J. M., Simonovic, S. P., Mcbean, G., Burn, D. H., Mortsch, L., Sharif, M., Goldt, R., & Helsten, M. (2004). *Calibration, verification, and sensitivity analysis of the HEC-HMS hydrologic model CFCAS project: Assessment of Water Resources Risk and Vulnerability to Changing Climatic Conditions Prepared by Upper Thames River Conservation Authority*.

D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, & T. L. Veith. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>

Danandeh Mehr, A., Sorman, A. U., Kahya, E., & Hesami Afshar, M. (2020). Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 65(2), 254-268. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1691218>

Dariane, A. B., Bagheri, R., Karami, F., & Javadiazadeh, M. M. (2020). Developing heuristic multi-criteria auto calibration method for continuous HEC-HMS in snow-affected catchment. *International Journal of River Basin Management*, 18(1), 69-80. <https://doi.org/10.1080/15715124.2019.1576696>

Dariane, A. B., Javadiazadeh, M. M., & James, L. D. (2016). Developing an Efficient Auto-Calibration Algorithm for HEC-HMS Program. *Water Resources Management*, 30(6), 1923-1937. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1260-7>

De Girolamo, A. M., Bouraoui, F., Buffagni, A., Pappagallo, G., & Lo Porto, A. (2017). Hydrology under climate change in a temporary river system: Potential impact on water balance and flow regime. *River Research and Applications*, 33(7), 1219-1232. <https://doi.org/10.1002/rra.3165>

Deb, P., Babel, M. S., & Denis, A. F. (2018). Multi-GCMs approach for assessing climate change impact on water resources in Thailand. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(2), 825-839. <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0428-y>

EC-Earth. (2022). *European community Earth-System Model*. (t.y.).

EURO-CORDEX. (2022). *EURO-Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment for the Euro-Mediterranean area*. (t.y.).

Giorgi, F., Jones, C., & Asrar, G. R. (2009). Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. İçinde *WMO Bulletin* (C. 58, Sayı 3). <http://wcrp.ipsl>.

Gorguner, M., Kavvas, M. L., & Ishida, K. (2019). Assessing the impacts of future climate change on the hydroclimatology of the Gediz Basin in Turkey by using dynamically downscaled CMIP5 projections. *Science of the Total Environment*, 648, 481-499. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.167>

Gupta, H. V., Sorooshian, S., & Yapo, P. O. (1999). Status of Automatic Calibration for Hydrologic Models: Comparison with Multilevel Expert Calibration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(2), 135-143. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(1999\)4:2\(135\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1999)4:2(135))

Guttman, N. B. (1999). Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(2), 311-322. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x>

Habibu, I., Rowshon, M. K., & Lai, S. H. (2020). *Performance of HEC-HMS and ArcSWAT Models for Assessing Climate Change Impacts on Streamflow at Bernam River Basin in Malaysia: Modeling Optimum Fertilizer Use and Drainage Water Reuse from 2D Water Flow and Solute Transport in Rice Production System View project*. <https://www.researchgate.net/publication/344326211>

Hamed, K. H. (2008). Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*, 349(3-4), 350-363. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.009>

HEC-HMS. (2022). *Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System*. (2022).

Hoan, N. X., Khoi, D. N., & Nhi, P. T. T. (2020). Uncertainty assessment of streamflow projection under the impact of climate change in the Lower Mekong Basin: a case study of the Srepok River Basin, Vietnam. *Water and Environment Journal*, 34(1), 131-142. <https://doi.org/10.1111/wej.12447>

Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual CPD-74A. (t.y.).

IPCC. (2013). *IPCC, 2013. Climate change 2013: the physical science basis. In: Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge UK: Cambridge University Press.*

Jacob, D., Teichmann, C., Sobolowski, S., Katragkou, E., Anders, I., Belda, M., Benestad, R., Boberg, F., Buonomo, E., Cardoso, R. M., Casanueva, A., Christensen, O. B., Christensen, J. H., Coppola, E., De Cruz, L., Davin, E. L., Dobler, A., Domínguez, M., Fealy, R., ... Wulfmeyer, V. (2020). Regional climate downscaling over Europe: perspectives from the EURO-CORDEX community. *Regional Environmental Change*, 20(2). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01606-9>

Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods. İçinde Rank correlation methods.* Griffin, London. .

Kuo, C. C., Gan, T. Y., & Gizaw, M. (2015). Potential impact of climate change on intensity duration frequency curves of central Alberta. *Climatic Change*, 130(2), 115-129. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1347-9>

Kuraklıgın, M., Ve, Z., İklim, A. Ö., Etkisi, D., Örneği, S. H., Duvan, A., Aktürk, G., & Yildiz, O. (2021). *Effect of Climate Change on Spatiotemporal Characteristics of Meteorological Drought in Sakarya Basin , TURKEY Article history* (C. 3, Sayı 2).

Lee, M., Im, E., & Bae, D. (2019). Impact of the spatial variability of daily precipitation on hydrological projections: A comparison of GCM- and RCM-driven cases in the Han River basin, Korea. *Hydrological Processes*, 33(16), 2240-2257. <https://doi.org/10.1002/hyp.13469>

Legates, D. R., & McCabe, G. J. (1999). Evaluating the use of “goodness-of-fit” Measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*, 35(1), 233-241. <https://doi.org/10.1029/1998WR900018>

Legesse Gebre, S. (2015). Hydrological Response to Climate Change of the Upper Blue Nile River Basin: Based on IPCC Fifth Assessment Report (AR5). *Journal of Climatology & Weather Forecasting*, 03(01). <https://doi.org/10.4172/2332-2594.1000121>

Lisans Khaja Haroon SEDDIQE, Y. (t.y.). *YUKARI FIRAT HAVZASI'NDA DEĞİŞEN İKLİM KOŞULLARI ALTINDA AKIMLARIN TAHMİNİ İÇİN HİDROLOJİK MODELLEME Eskişehir 2023.*

Liu, L., Hong, Y., Hocker, J. E., Shafer, M. A., Carter, L. M., Gourley, J. J., Bednarczyk, C. N., Yong, B., & Adhikari, P. (2012). Analyzing projected changes and trends of temperature and precipitation in the southern USA from 16 downscaled global climate models. *Theoretical and Applied Climatology*, 109(3-4), 345-360. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0567-9>

M. W. Van Liew, J. G. Arnold, & J. D. Garbrecht. (2003). HYDROLOGIC SIMULATION ON AGRICULTURAL WATERSHEDS: CHOOSING BETWEEN TWO MODELS. *Transactions of the ASAE*, 46(6), 1539-1551. <https://doi.org/10.13031/2013.15643>

Mann, H. B. (1945). *Nonparametric Tests Against Trend* (C. 13, Sayı 3). <https://www.jstor.org/stable/1907187>

- Maraun, D. (2016). Bias Correcting Climate Change Simulations - a Critical Review. İçinde *Current Climate Change Reports* (C. 2, Sayı 4, ss. 211-220). Springer. <https://doi.org/10.1007/s40641-016-0050-x>
- Mcenroe, B. M., Asce, F., Young, B., Ricardo, P. E., & Gamarra Zapata, A. (2016). *Estimation of Watershed Lag Times and Times of Concentration for the Kansas City Area*. www.ntis.gov.
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). THE RELATIONSHIP OF DROUGHT FREQUENCY AND DURATION TO TIME SCALES. İçinde *Eighth Conference on Applied Climatology*.
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2), 202-216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- 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. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Nooni, I. K., Hagan, D. F. T., Ullah, W., Lu, J., Li, S., Prempeh, N. A., Gnitou, G. T., & Sian, K. T. C. L. K. (2022). Projections of Drought Characteristics Based on the CNRM-CM6 Model over Africa. *Agriculture (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/agriculture12040495>
- Poyraz, A. Y. (2018). *DROUGHT ANALYSIS USING CORDEX SIMULATIONS OVER THE MEDITERRANEAN CLIMATE REGIONS OF TURKEY A THESIS SUBMITTED TO THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES OF MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY*.
- Rathjens, H., Bieger, K., Srinivasan, R., Chaubey, I., & Arnold, J. G. (2016). *CMhyd User Manual Documentation for preparing simulated climate change data for hydrologic impact studies*. <https://riverbankcomputing.com/software/pyqt/intro>
- Rebecca W. Zeckoski, M. D. S. D. N. M. J. R. F. G. W. F. (2015). Hydrologic and Water Quality Terminology as Applied to Modeling. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1619-1635. <https://doi.org/10.13031/trans.58.10713>
- Reicheldewer, F. W., Caskey, J. E., & Thom, H. C. S. (t.y.). *WEATHER BUREAU MONTHLY WEATHER REVIEW A NOTE O N THE GAMMA DISTRIBUTION*.
- Seddiqe, K. H., Sediqi, R., Yildiz, O., Akturk, G., Kostecki, J., & Gortych, M. (2023). Effects of Climate Change on Streamflow in the Ayazma River Basin in the Marmara Region of Turkey. *Water (Switzerland)*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/w15040763>
- Selek, B., & Tuncok, I. K. (2014). Effects of climate change on surface water management of Seyhan basin, Turkey. *Environmental and Ecological Statistics*, 21(3), 391-409. <https://doi.org/10.1007/s10651-013-0260-5>
- SERVAT, E., & DEZETTER, A. (1991). Selection of calibration objective fonctions in the context of rainfall-runoff modelling in a Sudanese savannah area. *Hydrological Sciences Journal*, 36(4), 307-330. <https://doi.org/10.1080/02626669109492517>

Sırdaş, S. (2002). *Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.* (t.y.).

Singh Jasrotia, A., Baru, D., Kour, R., Ahmad, S., & Kour, K. (2021). Hydrological modeling to simulate stream flow under changing climate conditions in Jhelum catchment, western Himalaya. *Journal of Hydrology*, 593. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125887>

SMHI. (2014). *The Swedish Meteorological and Hydrological Institute* . (t.y.).

SMHI. (2014). *The Swedish Meteorological and Hydrological Institute* . (2014).

SYGM. (2016). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi- Proje Nihai Raporu. Ankara: SYGM.* (2016).

SYGM. (2022). *Kuraklık Yönetimi.* (2022).

Teutschbein, C., & Seibert, J. (2010). Regional climate models for hydrological impact studies at the catchment scale: A review of recent modeling strategies. *Çinde Geography Compass* (C. 4, Sayı 7, ss. 834-860). <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2010.00357.x>

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*, 456-457, 12-29. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.052>

unidata. (2022). *University Corporation for Atmospheric Research (UCAR)'s Community Programs (UCP)* . (t.y.).

USACE. (1998). *U.S. Army Corps of Engineers, Flood Hydrograph Package User's Manual.* . (1998).

USACE. (2000). *U.S. Army Corps of Engineers, Technical Reference Manual.* . (2000).

Van Meijgaard, E., Van Ulft, L. H., Van De Berg, W. J., Bosveld, F. C., Van Den Hurk, B. J. J. M., Lenderink, G., & Siebesma, A. P. (2008). *The KNMI regional atmospheric climate model RACMO version 2.1.*

Wilby, R. L., & Fowler, H. J. (2010). Regional climate downscaling. *Çinde Modelling the Impact of Climate Change on Water Resources* (ss. 34-85). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781444324921.ch3>

Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10(3), 111-120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>

Yacoub, E., & Tayfur, G. (2020). Spatial and temporal of variation of meteorological drought and precipitation trend analysis over whole Mauritania. *Journal of African Earth Sciences*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103761>

Yang, W., Andréasson, J., Graham, L. P., Olsson, J., Rosberg, J., & Wetterhall, F. (2010). Distribution-based scaling to improve usability of regional climate model projections for hydrological climate change impacts studies. *Hydrology Research*, 41(3-4), 211-229. <https://doi.org/10.2166/nh.2010.004>

Yıldırım, Ü., Güler, C., Önel, B., Rode, M., & Jomaa, S. (2021). Modelling of the discharge response to climate change under RCP8.5 scenario in the Alata river basin (Mersin, SE Turkey). *Water (Switzerland)*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/w13040483>

Yıldız, O. (2009). Assessing temporal and spatial characteristics of droughts in the Hirfanli dam basin, Turkey. *Scientific Research and Essay*, 4(4), 249-255. <http://www.academicjournals.org/SRETel:+903183574242Ext.1083.Fax:+903183572459>.

Yilmaz, A. G., & Imteaz, M. A. (2011). Impact du changement climatique sur le ruissellement dans la partie supérieure du bassin de l'Euphrate. *Hydrological Sciences Journal*, 56(7), 1265-1279. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.609173>

Yuan, Y., Yang, H., Zhou, W., & Li, C. (2008). Influences of the Indian ocean dipole on the asian summer monsoon in the following year. *International Journal of Climatology*, 28(14), 1849-1859. <https://doi.org/10.1002/joc.1678>

http-1: Coupled Model Intercomparison Project.
<https://wcrp-cmip.org/cmip-overview/> Erişim Tarihi: 28.04.2024.

http-2: Meteoroloji Genel Müdürlüğü.
<https://www.mgm.gov.tr/> Erişim Tarihi: 03.05.2024.

http-3: EURO-CORDEX - Coordinated Downscaling Experiment - European Domain
<https://www.euro-cordex.net/> Erişim Tarihi: 17.05.2024.

http-4: Meteoroloji Genel Müdürlüğü.
<https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx?s=senaryolar>
Erişim Tarihi: 02.06.2024



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sezen KAYA
Doğum Tarihi :
Yabancı Dil :
Eğitim Durumu :
Lisans : Kırıkkale Üniversitesi 2020
Yüksek Lisans : Kırıkkale Üniversitesi 2025
Yayımları (Diğer) : İklim Değişikliğinin Meteorolojik Kuraklıklar
Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması: Yamula
Barajı Havzası Örneği
Araştırma Alanları : İklim Değişikliği, Kuraklık

