



T.C.  
KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**CMIP6 İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARI  
ALTINDA TAŞKIN FREKANS ANALİZİ:  
RÜSTEMGEDİK KÖPRÜSÜ (MUŞ) ÖRNEĞİ**

**SUAT İĞDE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KIRŞEHİR  
2026**



T.C.  
KIRSEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**CMIP6 İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARI  
ALTINDA TAŞKIN FREKANS ANALİZİ:  
RÜSTEMGEDİK KÖPRÜSÜ (MUŞ) ÖRNEĞİ**

**SUAT İĞDE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Emrah YALÇIN**

**KIRSEHİR**

**2026**

**KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŐMASI**  
**ETİK BEYANI**

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etięi Yönergesini okuduğumu ve anladığımı ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduęum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettięimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tez olarak sunduğum bu çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

21/05/2026

Suat İĞDE

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	I
TEŞEKKÜR.....	II
ÖZET .....	III
ABSTRACT .....	IV
TABLolar DİZİNİ .....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	VII
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>5</b>
<b>3. MATERYAL VE METOT.....</b>	<b>7</b>
3.1. Çalışma Sahası ve Kullanılan Veriler.....	7
3.1.1. Çalışma Sahası .....	7
3.1.2. Meteorolojik Veriler.....	9
3.1.3. CMIP6 GCM Verileri .....	9
3.2. Yöntem .....	13
3.2.1. Yanlılık Düzeltmesi .....	16
3.2.2. Yağış Frekans Analizi .....	24
3.2.3. Sentetik Birim Hidrograf Kullanılarak Yinelemeli Nehir Yatağı Akımlarının Belirlenmesi .....	35
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>43</b>
4.1. CMIP6 Senaryoları Altında Yağış Ortalamalarında Öngörülen Değişikliklerin Değerlendirilmesi .....	43
4.2. Yağış Frekans Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	46
4.3. Gelecek Projeksiyonlarda Nehir Yatağı Akımlarının Değerlendirilmesi .....	49
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>55</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>57</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>71</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>73</b>

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans dönemi boyunca bilgi ve birikimini esirgemeyen, her probleme karşı sakin ve özgün bir yaklaşım benimseyen saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Emrah YALÇIN'a teşekkür ederim. Tezin şekillenmesinde ve nihai hale gelmesinde katkıları olan değerli jüri üyelerim Prof. Dr. Nermin ŞARLAK ve Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans sürecinde yol arkadaşlığı yaptığım Olgu ÖZDEMİR'e teşekkür ederim. Eğitim hayatıma büyük katkısı olan ve her zaman arkamda olduklarını hissettiren, başta eşim Sümeyra Nur İĞDE olmak üzere tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2026

Suat İĞDE

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### CMIP6 İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARI ALTINDA TAŞKIN FREKANS ANALİZİ: RÜSTEMGEDİK KÖPRÜSÜ (MUŞ) ÖRNEĞİ

Suat İĞDE

#### KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Danışman:** Doç. Dr. Emrah YALÇIN  
Yıl: 2026 Sayfa: 73  
**Jüri:** Doç. Dr. Emrah YALÇIN  
Prof. Dr. Nermin ŞARLAK  
Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT

İklim değişikliğinin tetiklediği ekstrem yağış olayları ile bu yağışların neden olduğu akımların öngörülebilmesi, sosyo-ekonomik yaşamın sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, iklim değişikliğinin Ağrı ilindeki aşırı yağış ve akım özellikleri üzerindeki etkileri, SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 emisyon senaryolarını içeren iki farklı paylaşımlı sosyo-ekonomik rota (SSP) kapsamında değerlendirilmiştir. Analizlerde, Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi'nin altıncı fazından (CMIP6) elde edilen 10 farklı Küresel Sirkülasyon Modeli (GCM) kullanılmıştır. Çalışmada, 1950-2014 dönemi CMIP6 tarihsel deney verileri referans alınmış, 2025-2099 dönemi için geleceğe yönelik projeksiyonlar incelenmiştir. Hem tarihsel hem de geleceğe yönelik GCM çıktıları, Ağrı meteoroloji istasyonu verileriyle dağılım eşleştirmesi yöntemi uygulanarak yanlışlık düzeltilmesine tabi tutulmuştur. Mevsimsel ve yıllık yağış ortalamalarındaki değişimler, tarihsel referans dönemi (1950-2014) ile kısa (2025-2049), orta (2050-2074) ve uzun vadeli (2075-2099) gelecek dönemler için 25'er yıllık periyotlar hâlinde analiz edilmiştir. Günlük maksimum yağış serileri kullanılarak 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıllık tekerrürlü yağış miktarları log-normal (iki parametrelili), log-normal (üç parametrelili), log-Pearson tip III ve Gumbel olasılık dağılım fonksiyonları ile hesaplanmıştır. Tekerrür periyotlarına ilişkin elde edilen medyan değerler, SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları altındaki değişimlerin belirlenmesinde referans olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, SSP2-4.5 senaryosu altında tekerrürlü yağış miktarlarında %16.9-%24.8; SSP5-8.5 senaryosu altında ise %19.7-%34.3 aralığında artış beklenmektedir. Yağışlardan türetilen akımlar Snyder yöntemi ile hesaplanmış olup, SSP2-4.5 senaryosunda %38.0-%52.0; SSP5-8.5 senaryosunda ise %52.3-%72.3 arasında artışlar öngörülmektedir. Mevsimsel değerlendirmeler, sonbahar ve yaz aylarında yağışlarda azalma, kış ve ilkbahar aylarında ise artış eğilimi olacağını göstermektedir. Bu çalışma, su ile ilgili altyapı projelerini planlarken değişen iklim koşullarını dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** İklim değişikliği, CMIP6, Ekstrem yağış, GCM, SSP

## ABSTRACT

### MASTER'S THESIS

#### FLOOD FREQUENCY ANALYSIS UNDER CMIP6 CLIMATE CHANGE

#### SCENARIOS: THE CASE OF THE RÜSTEMGEDİK BRIDGE (MUŞ)

Suat İĞDE

KIRŞEHİR AHİ EVRAN UNIVERSITY  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Emrah YALÇIN  
Year: 2026 Pages: 73  
**Juries:** Assoc. Prof. Dr. Emrah YALÇIN  
Prof. Dr. Nermin ŞARLAK  
Asst. Prof. Dr. Önder KOÇYİĞİT

The ability to predict extreme precipitation events triggered by climate change and the streamflows generated by these events is of great importance for the sustainability of socio-economic life. In this study, the impacts of climate change on extreme precipitation and streamflow characteristics in Ağrı Province were evaluated under two Shared Socio-economic Pathway (SSP) scenarios, namely SSP2-4.5 and SSP5-8.5. In the analyses, ten different Global Circulation Models (GCMs) obtained from the sixth phase of the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6) were used. In this study, CMIP6 historical experiment data for the period 1950-2014 were taken as the reference, and future projections for the period 2025-2099 were examined. Both historical and future GCM outputs were subjected to bias correction using the distribution mapping method based on the observed data from the Ağrı meteorological station. Changes in seasonal and annual precipitation averages were analyzed for the historical reference period (1950-2014) and for short-term (2025-2049), medium-term (2050-2074), and long-term (2075-2099) future periods in 25-year intervals. Using daily maximum precipitation series, rainfall amounts with return periods of 5, 10, 25, 50, 100, 200, and 500 years were estimated using log-normal (two-parameter), log-normal (three-parameter), log-Pearson type III, and Gumbel probability distribution functions. The median values obtained for the return periods were used as reference values to determine the changes under the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios. According to the results, increases of 16.9%-24.8% in return period precipitation are expected under the SSP2-4.5 scenario, while increases ranging from 19.7% to 34.3% are projected under the SSP5-8.5 scenario. The runoff derived from precipitation was calculated using the Snyder method, and increases of 38.0%-52.0% under the SSP2-4.5 scenario and 52.3%-72.3% under the SSP5-8.5 scenario are projected. Seasonal evaluations indicate a decrease in precipitation during autumn and summer, whereas an increasing trend is expected in winter and spring. This study emphasizes the importance of considering changing climate conditions when planning water-related infrastructure projects.

**Keywords:** Climate change, CMIP6, Extreme precipitation, GCM, SSP

<b>Tablo 3.1.</b> Çalışmada kullanılan CMIP6 kapsamındaki GCM'lere ait bilgiler .....	12
<b>Tablo 3.2.</b> 1950-2014 dönemi için istasyon ölçüm verileri ile 10 GCM'nin yanlılık düzeltmesine tabi tutulmuş CMIP6 tarihsel deney senaryosu verilerine ait yıllık maksimum günlük yağış değerleri (mm/gün) .....	19
<b>Tablo 3.3.</b> 2025-2099 dönemi için 10 GCM'nin yanlılık düzeltmesine tabi tutulmuş SSP2-4.5 gelecek senaryosu projeksiyonlarına ait yıllık maksimum günlük yağış değerleri (mm/gün) .....	21
<b>Tablo 3.4.</b> 2025-2099 dönemi için 10 GCM'nin yanlılık düzeltmesine tabi tutulmuş SSP5-8.5 gelecek senaryosu projeksiyonlarına ait yıllık maksimum günlük yağış değerleri (mm/gün). .....	23
<b>Tablo 3.5.</b> İstasyon ölçüm verileri ile 10 GCM için CMIP6 tarihsel deney senaryosu altında elde edilen yağış frekans analiz sonuçları (mm/gün) .....	27
<b>Tablo 3.6.</b> 10 GCM için SSP2-4.5 gelecek senaryosu altında elde edilen yağış frekans analiz sonuçları (mm/gün) .....	29
<b>Tablo 3.7.</b> 10 GCM için SSP5-8.5 gelecek senaryosu altında elde edilen yağış frekans analiz sonuçları (mm/gün) .....	31
<b>Tablo 3.8.</b> 10 GCM için CMIP6 tarihsel deney senaryosu altında elde edilen en iyi dağılım fonksiyonları ve bu fonksiyonlara ilişkin temel istatistiksel değerler (mm/gün) .....	33
<b>Tablo 3.9.</b> 10 GCM için SSP2-4.5 gelecek senaryosu altında elde edilen en iyi dağılım fonksiyonları ve bu fonksiyonlara ilişkin temel istatistiksel değerler (mm/gün) .....	34
<b>Tablo 3.10.</b> 10 GCM için SSP5-8.5 gelecek senaryosu altında elde edilen en iyi dağılım fonksiyonları ve bu fonksiyonlara ilişkin temel istatistiksel değerler (mm/gün) .....	35
<b>Tablo 3.11.</b> Ağrı MGİ ölçüm verileri ile hesaplanan farklı tekerür periyotlarına ait yağış değerleri (Log-Pearson tip III) (mm/gün) .....	39
<b>Tablo 3.12.</b> Ağrı MGİ plüviyograf katsayıları .....	39
<b>Tablo 3.13.</b> Yağışın alansal dağılım katsayıları .....	39
<b>Tablo 3.14.</b> Düzeltilmiş ve maksimize edilmiş yinelemeli yağış değerleri (mm) .....	39
<b>Tablo 3.15.</b> Akışın zaman içindeki dağılımı .....	41
<b>Tablo 4.1.</b> GCM'lerin CMIP6 tarihsel deney senaryosu altında mevsimsel ve yıllık ortalama yağış değerleri (mm/gün) .....	43
<b>Tablo 4.2.</b> İstasyon ölçümleri ile 10 GCM için tarihsel deney senaryosu altında elde edilen yağış değerlerinin mevsimsel ve yıllık ortalama bazında karşılaştırılması (mm/gün) .....	43
<b>Tablo 4.3.</b> CMIP6 tarihsel deney senaryosu ile SSP2-4.5 gelecek senaryosu yağış projeksiyonlarının medyan mevsimsel ve yıllık yağış ortalamalarının karşılaştırılması (mm/gün) .....	45
<b>Tablo 4.4.</b> CMIP6 tarihsel deney senaryosu ile SSP5-8.5 gelecek senaryosu yağış projeksiyonlarının medyan mevsimsel ve yıllık yağış ortalamalarının karşılaştırılması (mm/gün) .....	45
<b>Tablo 4.5.</b> CMIP6 senaryoları altında yıllık maksimum günlük yağışların muhtelif tekerrür medyan değerleri (mm/gün) .....	47
<b>Tablo 4.6.</b> CMIP6 senaryoları altında yıllık maksimum günlük yağışların muhtelif tekerrür medyan değerlerinin karşılaştırılması (mm/gün) .....	48
<b>Tablo 4.7.</b> Akım hesaplarında kullanılan tekerrürlü yağış değerleri .....	49
<b>Tablo 4.8.</b> İstasyon ölçüm verileri ile SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları altında elde edilen yinelemeli akım değerleri .....	50

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 3.1. Çalışma alanı coğrafi konumu .....	7
Şekil 3.2. Çalışma sahası drenaj alanı ve akarsu ağı haritası .....	8
Şekil 3.3. Uygulanan yöntemin akış şeması .....	15
Şekil 3.4. Performans ölçütlerinin karşılaştırılması .....	18
Şekil 3.5. Snyder yöntemi ile elde edilen birim hidrograf (BH <sub>6</sub> ) .....	38
Şekil 3.6. 500 yıllık 12 saat süreli yağış hiyetografı .....	41
Şekil 4.1. İstasyon ölçüm verileri ile hesaplanan 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıl tekerrürlü taşkın hidrografları .....	51
Şekil 4.2. SSP2-4.5 senaryosu altında 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıl tekerrürlü taşkın hidrografları .....	52
Şekil 4.3. SSP5-8.5 senaryosu altında 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıl tekerrürlü taşkın hidrograflar .....	53
Şekil 4.4. İstasyon verileri ile SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 gelecek senaryolar altında elde edilen 500 yıl tekerrürlü taşkın hidrografları .....	54

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>		<b>Açıklama</b>
<i>hm</i>	:	Hektometre
<i>km</i>	:	Kilometre
<i>lt</i>	:	Litre
<i>m</i>	:	Metre
<i>mm</i>	:	Milimetre
<i>s</i>	:	Saniye
°C	:	Santigrat derece
%	:	Yüzde

<b>Kısaltmalar</b>		<b>Açıklama</b>
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
AOGM	:	Atmosfer/Okyanus Genel Sirkülasyon Modeli
WGCM	:	Birleşik Modelleme Çalışma Grubu
UNEP	:	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
CMIP	:	Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi
CDO	:	<i>Climate Data Operators</i>
CMhyd	:	<i>Climate Model Data for Hydrologic Modeling</i>
DM	:	Dağılım eşleştirmesi
DSİ	:	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
WCRP	:	Dünya İklim Araştırma Programı
WMO	:	Dünya Meteoroloji Örgütü
ESGF	:	Dünya Sistemi Izgara Federasyonu
FSS	:	Fonksiyon beceri skoru
IPCC	:	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
HEC-RAS	:	<i>Hydrologic Engineering Center's River Analysis System</i>
KGE	:	Kling-Gupta verimlilik metriği
GCM	:	Küresel Sirkülasyon Modeli

MGM	:	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MGİ	:	Meteoroloji gözlem istasyonu
md	:	Modifiye uyum indeksi
NSE	:	Nash-Sutcliffe verimlilik metriği
nRMSE	:	Normalize edilmiş kök ortalama kare hata
PDF	:	Olasılık dağılım fonksiyonu
SSP	:	Paylaşımlı sosyo-ekonomik rota
SWAT	:	<i>Soil and Water Assessment Tool</i>

## 1. GİRİŞ

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporuna göre, iklim değişikliği dünya çapında hidrolojik döngüyü ve dolayısıyla sosyo-ekonomik yapıyı olumsuz etkileyen ekstrem hidrolojik olayları tetiklemiştir (IPCC, 2018). Son yıllarda, hem dünya genelinde hem de Türkiye’de etkileri giderek belirginleşen iklim değişikliği, sosyal ve ekonomik yaşamı derinden etkileyen önemli bir faktör haline gelmiştir (Bayraktar, 2023). Bu bağlamda artan sıcaklıklar, şiddetli hava olayları ve ekosistemlerdeki bozulmalar; tarım, sağlık ve su kaynakları gibi yaşamsal alanlarda ciddi tehditler oluşturarak iklim değişikliğini, insan yaşamını doğrudan ya da dolaylı biçimde etkileyen temel sorunlardan biri haline getirmiştir (Cüceloğlu, 2019).

İklim değişikliği, uzun vadeli doğal iklim döngülerinin yanı sıra sanayileşme, ormansızlaşma ve fosil yakıtların yoğun kullanımı sonucu artan sera gazı emisyonlarına bağlı olarak insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır (Şahin ve ark., 2018). İnsan kaynaklı etkilerin iklim sistemi üzerindeki olumsuz sonuçları günümüzde açıkça görülmekte olup, bu durum gelecekteki iklim koşullarına ilişkin belirsizliklerin azaltılmasını küresel ölçekte öncelikli bir hedef haline getirmiştir (Eyring ve ark., 2019). Bu bağlamda yürütülen bilimsel çalışmalar, iklim değişikliğine bağlı olarak gelecekte meydana gelmesi muhtemel yağış, sıcaklık ve akım rejimi değişimlerinin daha isabetli şekilde tahmin edilmesine olanak sağlayacak, bu tahminler doğrultusunda alınacak önlemler ise sosyal ve ekonomik yapıların iklim değişikliğinin etkilerine karşı dayanıklılığını artıracaktır.

Türkiye, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin en yoğun yaşandığı bölgelerden biri olan Akdeniz Havzası’nda yer almakta olup, yağış rejimi değişirken ekstrem yağış olaylarının şiddeti ve sıklığının artması beklenmektedir. Bu tür yağışlar, gerekli öngörü, planlama ve denetim olmaksızın toplum ve çevre üzerinde yıkıcı etkiler yaratmaktadır (Albayrak, 2021). Birçok araştırmacı, iklim değişikliğinin potansiyel etkilerini ve küresel ölçekte taşkın riski üzerindeki yansımalarını ortaya koymuştur (Alfieri ve ark., 2015). Aşırı yağışların değişen yoğunluğu ve sıklığı, dünyanın farklı bölgelerinde ciddi can ve mal kayıplarına yol açan ölümcül taşkın olaylarına neden olmaktadır (De Paola ve ark., 2018). Taşkın, çevreyi ve çevrenin sosyo-ekonomik yapısını etkileyen, kaçınılmaz ve sıklıkla meydana gelen doğal bir olaydır (Paudel ve ark., 2023). Can kayıplarına da yol açan taşkınlar; önemli ekonomik, toplumsal ve ekolojik sonuçlar doğurarak sürekli değişen çevresel tehditleri daha da artırmaktadır (Klijn ve ark., 2015; Bai ve ark., 2019).

Özellikle yoğun nüfusun bulunduğu ve ekonomik açıdan önemli varlıkların yer aldığı kentsel alanlarda artan taşkın riski, büyük bir endişe kaynağı haline gelmiştir (Huong ve Pathirana, 2013; Rosbjerg, 2017; Jiang ve ark., 2018; Zhou ve ark., 2018; Yadav ve ark., 2024). Kentsel genişlemenin devam etmesi ve iklim değişikliğinin süregelen etkileriyle birlikte, dünya genelinde birçok bölgede taşkın risklerinin artması beklenmektedir (Jongman ve ark., 2012; Hirabayashi ve ark., 2013; Schoppa ve ark., 2024). Bu taşkın tehditlerine karşı barajların inşa edilmesi, su kanallarının kapasitesinin artırılması gibi yapısal önlemler taşkın etkilerini azaltmada önemli bir rol oynasa da yalnızca bu önlemler, gelecekte daha büyük ve daha sık meydana gelmesi beklenen taşkın olaylarının yönetimi için yeterli değildir (Lawler, 2009; Kundzewicz ve Stakhiv, 2010; Wilby ve Keenan, 2012). Bunun yanı sıra, erken uyarı sistemleri ve rezervuar işletme kurallarının oluşturulması gibi yapısal olmayan önlemler de tek başına yeterli değildir (Jamrusri ve Toda, 2017; Abdi-Dehkordi ve ark., 2021). Bu nedenle, yapısal ve yapısal olmayan önlemlerin birlikte ele alınması ve ileriye dönük taşkın riski azaltım stratejilerinin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Ancak mevcut araştırmaların büyük bir bölümü, uyum stratejilerinin geliştirilmesinde öncelikle tarihsel yağış yoğunluğu ve sıklığının istatistiksel analizlerini temel almaktadır. Bu yaklaşım ise hidrolojik parametrelerin zaman içinde sabit kaldığını varsayarak olası değişkenliği göz ardı etmektedir (Bhusal ve ark., 2024).

Mühendislik yapılarının hidrolik tasarımı yapılırken, inşaat mühendisleri genellikle geçmiş yılların akış verilerine dayanarak hesaplama yapmaktadır (Quintero ve ark., 2018). Bu hesaplamalarda, hidrolik yapıların önemine ve kullanım durumuna göre farklı frekanstaki taşkın debileri esas alınmaktadır. Örneğin bir akarsu yatağı üzerine yapılacak olan derivasyon yapısı imalatı için 5, 10 ve 25 yıllık taşkın debileri kullanılırken, orta ölçekli köprü ve menfez gibi yapıların tasarımında 50 veya 100 yıllık taşkın debileri kullanılmaktadır. Önemli can kaybı riski bulunan durumlarda ise 500 yıl ve üzeri taşkın debileri esas alınmaktadır (Yalçın, 2024). Ancak, değişen iklim koşulları mevcut hidrolik yapıların yetersiz kalması ve tahrip olma olasılığını artırmaktadır. Artan yağış sıklığı ve şiddeti, birçok inşaat mühendisliği altyapısına zarar verebilmektedir (Mani ve ark., 2014). Gelecekte, değişen iklim koşullarının yağış olasılığı ve şiddetini artırmasıyla, daha sık akarsu taşkınlarının yaşanması beklenmektedir (Fleming ve ark., 2014; Shrestha ve Lohpaisankrit, 2017). Bu nedenle, taşkın risklerini etkin bir şekilde azaltabilmek için iklim değişikliğinin etkileri dikkate alınarak hidrolojik modellemeler ve

risk analizleri yapılmalı, taşkın yönetim stratejileri iklim değişikliğine uyum sağlayacak biçimde yeniden şekillendirilmelidir (Pokhrel ve ark., 2020).

Gelecek iklimin karmaşık ve çok bileşenli yapısını anlamak ve tahmin etmek için sayısal modeller kullanılmaktadır. Küresel Sirkülasyon Modelleri (GCM'ler); atmosfer, okyanus, kara yüzeyi ve buz tabakaları gibi iklim sisteminin temel bileşenlerindeki fiziksel süreçleri matematiksel olarak temsil ederek farklı senaryolar altında gelecekteki iklim koşullarının simülasyonunu sağlamaktadır (IPCC, 2021). Bu modeller, iklim değişikliği projeksiyonlarında en yaygın kullanılan araçlar olup, farklı sera gazı senaryoları altında iklim sisteminin dinamiklerini incelemeye olanak tanımaktadır (Giorgetta ve ark., 2013). Bu modellerin performansını karşılaştırmak, değerlendirmek ve geliştirmek amacıyla Dünya İklim Araştırma Programı (WCRP) tarafından Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi (CMIP) yürütülmektedir. Projenin son aşaması olan Altıncı Faz (CMIP6); iklim modellerinin tutarlılığını değerlendirmek, model belirsizliklerini analiz etmek ve farklı iklim senaryoları altındaki projeksiyonların karşılaştırılabilirliğini sağlamak amacıyla kullanılan en güncel tahminleri içermektedir. CMIP6 analizleri; Dünya sisteminin etkilere nasıl tepki vereceğini, sistematik model hatalarının kökenlerini ve sonuçlarını, yerel iklim değişkenliği ile öngörülebilirliğini ve senaryolardaki belirsizlikler ışığında gelecekteki iklim değişikliğinin nasıl değerlendirilebileceğini ortaya koymaya yardımcı olmaktadır (Eyring ve ark., 2016).

Bu çalışma, iklim değişikliğinin yağışlar ve bu yağışlar sonrası oluşan akarsu akımları üzerindeki etkilerini değerlendirmektedir. Bu değerlendirme, akarsu sistemlerindeki hidrolik yapıların tasarımında söz konusu değişimlerin dikkate alınmasının gerekliliğini vurgulamaktadır. Bu doğrultuda, Ağrı ili özelinde yürütülen analizlerde CMIP6 kapsamındaki tarihsel deney senaryosu verileri (1950-2014) ve gelecek dönem senaryolarına (2025-2099) ait GCM projeksiyonları kullanılarak yağış değişimleri incelenmiştir. Mevsimlik ve yıllık yağış değişimleri detaylı şekilde analiz edilmiş ve ekstrem yağış değişimlerinin nehir debisi üzerindeki etkileri sentetik yöntemlerle incelenmiştir. Bu kapsamda Murat Nehri üzerinde bulunan Rüstemgedik Köprüsü uygulama yeri olarak ele alınmıştır. Gelecek dönem yağış projeksiyonları doğrultusunda hesaplanan tekerrürlü akım değerleri kullanılarak, Rüstemgedik Köprüsü altından geçmesi muhtemel debiler tahmin edilmiştir. Bu tahminler, yapının ileride karşılaşılabileceği taşkın risklerine dair ön değerlendirme yapılmasına olanak sağlamaktadır. Çalışmanın genel amacı, mevcut ve öngörülen iklim koşulları altında altyapı unsurlarının taşkın risklerine karşı dayanıklılığını değerlendirmek, yerel düzeyde

risk azaltımına yönelik bilimsel temelli öngörüler sunmak ve karar alıcılara yol gösterecek bilgiler üretmektir. Elde edilen bulgular yalnızca Rüstemgedik Köprüsü özelinde değil, benzer morfolojik ve iklimsel özellikler taşıyan havzalarda yer alan diğer hidrolik yapılar için de dikkate alınabilecek niteliktedir. Bu bağlamda çalışma; iklim değişikliğine karşı dirençli altyapı planlaması, taşkın riski yönetimi ve sürdürülebilir su kaynakları yönetimi gibi alanlarda hem yerel hem de bölgesel ölçekte uygulanabilir bilimsel bir zemin sunmaktadır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bozkurt ve Şen (2013) çalışmalarında, Fırat-Dicle Havzası'nda gelecekteki iklimin hidro-klimatik etkilerini, farklı GCM ve emisyon senaryoları kullanarak değerlendirmişlerdir. Tüm simülasyon sonuçları, kış sıcaklıklarının artacağını, yüksek rakımlarda 6.1°C'ye varan sıcaklık artışları olacağını ve yüzey akışında önemli düşüşler meydana geleceğini göstermiştir. Bu durumun, Türkiye, Suriye ve Irak'ta su kaynakları, ekosistemler ve baraj yönetimleri hususlarında ciddi sorunlar yaratabileceği vurgulanmıştır.

Zhou ve ark. (2018), iklim değişikliğinin kentsel taşkın hacimleri üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirmiştir. Bu kapsamda, söz konusu afetlerin daha etkin yönetilebilmesi amacıyla sera gazı emisyonlarının azaltılması yoluyla iklim değişikliğinin hafifletilmesini hem de farklı iklim senaryoları altında kentsel drenaj sistemlerinin uyum kapasitesini incelemiştir. Çalışmada, CMIP'in beşinci fazı (CMIP5) kapsamında seçilen beş farklı GCM kullanılmıştır. Analiz sonuçları, gelecekte aşırı yağış olaylarına bağlı olarak kentsel taşkın hacimlerinde belirgin artışlar meydana gelebileceğini göstermiştir. Bulgular, drenaj sistemlerinin iyileştirilmesine yönelik uyum önlemlerinin, yalnızca sera gazı emisyonlarının azaltılmasına dayalı hafifletme stratejilerine kıyasla, gelecekteki taşkın hacimlerinin azaltılmasında daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Pokhrel ve ark. (2020), Kuzey Karolina'daki Neuse Nehri'nde gelecek iklim senaryoları altında akarsu davranışını tahmin etmek ve taşkın riskini değerlendirmek amacıyla CMIP6 verilerini kullanmıştır. Çalışmada, 100 ve 500 yıl tekerrür periyotlarına karşılık gelen taşkın debileri hesaplanmıştır. Bu debiler kullanılarak *Hydrologic Engineering Center's River Analysis System* (HEC-RAS) programı ile taşkın analizleri gerçekleştirilmiş ve risk haritaları oluşturulmuştur. Ayrıca, gelecekteki taşkın riskinin öngörülmesi ve taşkın yatağı yönetimine yönelik stratejik planların geliştirilmesi açısından projeksiyon temelli iklim verilerinin önemi vurgulanmıştır.

Bağçacı ve ark. (2021), Türkiye'de iklim değişikliğinin yağış ve sıcaklık üzerindeki etkilerini CMIP6 ve CMIP5 modelleri kullanarak karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Her iki CMIP fazı için en iyi performansı gösteren dört GCM seçilmiş ve kısa, orta ve uzun vadede geleceğe yönelik iklim değişikliği etkileri bölgesel bazda ortaya konmuştur. Analizler, CMIP6'nın özellikle yağış tahminlerinde daha başarılı olduğunu, hata oranlarının azaldığını ve iklim sinyalini daha güvenilir hâle getirdiğini

göstermektedir. Ayrıca, yaz aylarında belirgin sıcaklık artışları olabileceği, sonbaharda kuraklık riskinin artabileceği ve ülkenin kuzeydoğusunda artan yağışların sel riskini artırabileceği öngörülmüştür.

Albayrak (2021), Türkiye’de bulunan 73 ile ait istasyon verilerini kullanarak CMIP6 kapsamında 14 farklı GCM ile iklim değişikliğinin gelecekteki ekstrem yağışlar üzerindeki etkisini araştırmış ve bölgesel olarak meydana gelen değişimleri ortaya koymuştur.

Aryal ve ark. (2022) tarafından Rock Nehri’nin geleceğe yönelik akım tahminleri için CMIP6 kapsamında geliştirilen Atmosfer/Okyanus Genel Sirkülasyon Modeli (AOGCM) kullanılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda, HEC-RAS programı ile nehir yatağındaki değişimler simüle edilip geçmiş taşkın haritalarıyla karşılaştırılmıştır.

Kiran ve ark. (2023), Pakistan’da bulunan Çenab Nehri’nde iklim değişikliği senaryoları altında meydana gelebilecek akım değişimlerini ve taşkın riskini değerlendirmiştir. Çalışmada, CMIP6 kapsamında çeşitli GCM’ler kullanılarak tarihsel (1986-2014) ve gelecek (2022-2100) dönemlere ait akış senaryoları oluşturulmuştur. Belirsizlikleri azaltmak amacıyla CMIP6 verilerindeki sistematik sapmaların giderilmesinde delta düzeltmesi yöntemi uygulanmıştır. HEC-RAS programı kullanılarak akış simülasyonları gerçekleştirilmiş; analiz sonuçları, gelecekte daha yüksek taşkın tehlikesinin ortaya çıkabileceğini göstermiştir.

Paudel ve ark. (2023) tarafından yürütülen çalışmada, iki farklı nehrin gelecekteki taşkın riski durumu gözlenen ölçüm verileri ve farklı iklim modelleri kullanılarak incelenmiştir. CMIP6 verilerine yanlılık düzeltmesi uygulanmış ve bu doğrultuda geleceğe yönelik akım tahminleri gerçekleştirilmiştir. 100 ve 500 yıl tekerrür periyotlarına karşılık gelen taşkın debileri hesaplanarak taşkın analizleri yapılmıştır.

Yalçın (2024), Bitlis Deresi üzerinde iklim değişikliğinin gelecekteki etkilerini değerlendirmek için CMIP6 kapsamında 21 farklı GCM ile yağış ve sıcaklık simülasyonları gerçekleştirerek tarihsel simülasyon ve gelecek dönem projeksiyon değerlerini karşılaştırmıştır. Dere akış projeksiyonları oluşturmak için *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) modeli kullanılmıştır. 1955-2010 tarihsel dönemi ve 2025-2099 gelecek dönemini kapsayan 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıllık olası akım verileri, 5 farklı olasılık dağılım fonksiyonu (PDF) kullanarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, tekerrürlü akım değerlerinde %21.1 ile %31.7 arasında artışlar meydana gelebileceğini göstermiş ve bu doğrultuda uyum önlemlerinin alınması gerekliliği vurgulanmıştır.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Çalışma Sahası ve Kullanılan Veriler

Bu bölümde çalışma sahasının coğrafi ve hidrolojik özellikleri ile analizlerde kullanılan veriler tanıtılmıştır.

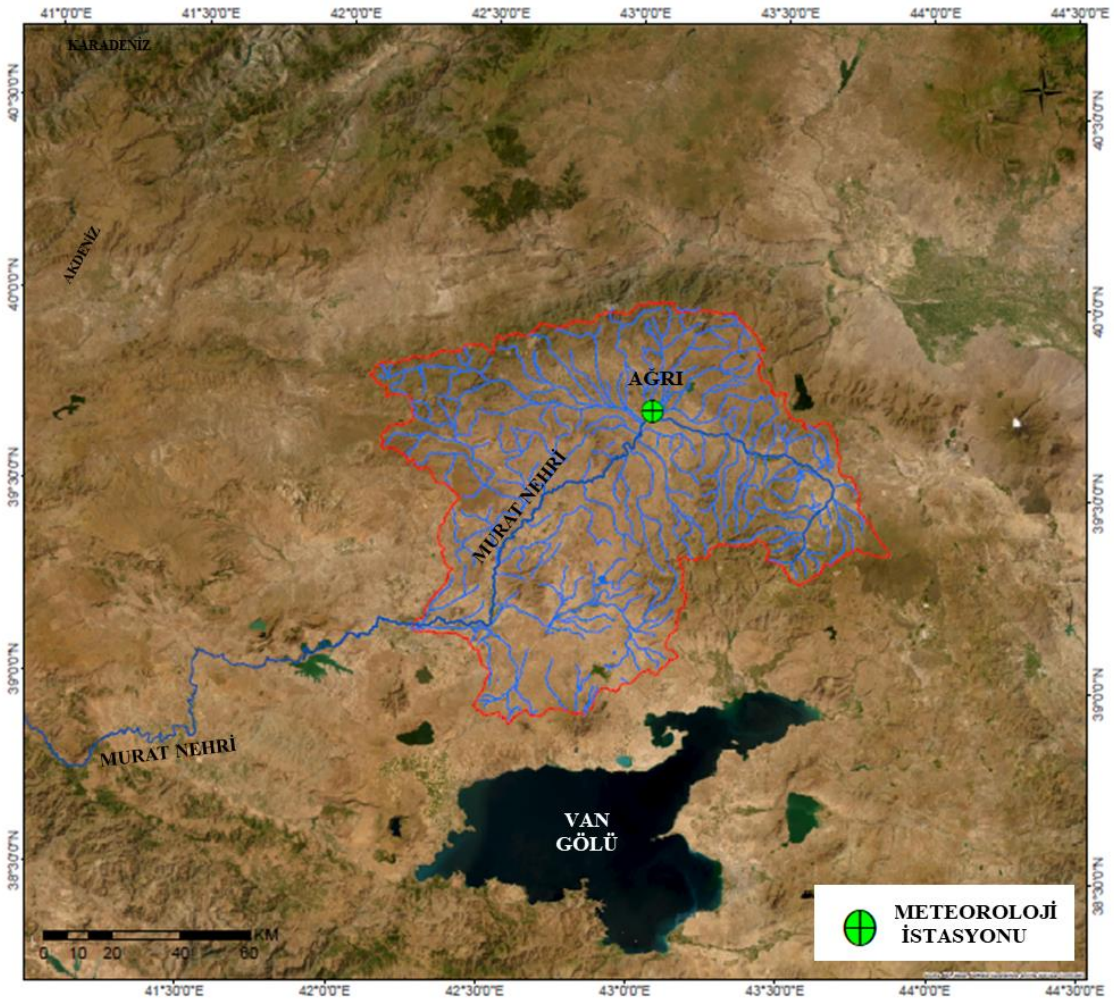
##### 3.1.1. Çalışma Sahası

Çalışma sahası, Türkiye'nin Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu sınırları içerisinde bulunan Fırat-Dicle Havzası'nda yer almaktadır. Çalışma havzası olarak, Muş ili Bulanık ilçesi sınırları içerisinde yer alan Rüstemgedik Köprüsü'ne ait drenaj alanı belirlenmiştir. 8 açıklı, 165 m genişliğinde ve 4 m yüksekliğinde olan bu köprü Murat Nehri üzerinde yer almaktadır. Murat Nehri, Fırat Nehri'nin en büyük kolu olup Ağrı ili Diyadin ilçesinden doğmaktadır. Ağrı Dağı kuzey yamaçlarından beslenen Murat Nehri, sırasıyla Ağrı, Bingöl, Muş ve Elazığ illerinden geçerek Fırat Nehri'ne mansaplanır. Murat Nehri'nin yatak genişliği akış boyunca sürekli değişkenlik göstermektedir. Nehir, yer yer sarp dar vadilerden geçerken yer yer geniş ova arazilerinden geçmektedir. Çalışma alanının coğrafi konumu Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı coğrafi konumu

Drenaj alanı 10561.60 km<sup>2</sup> olan çalışma havzası, genel itibarıyla dağlık ve engebeli bir araziye sahiptir. Drenaj alanı maksimum kotu 3538 m olan havzada mansap çıkışı ise 1455 m kotundadır. Sert karasal iklimin hakim olduğu çalışma alanında yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise yağışlıdır. Gece ve gündüz sıcaklık farkı fazladır. Bu bölgedeki yağışlar, Fırat-Dicle Havzası'ndaki akarsuları beslemektedir. Bölgede, jeomorfolojik yapı dolayısıyla oldukça yoğun bir akarsu ağı bulunmakta olup bu akarsu kolları üzerinde onlarca baraj, gölet, köprü gibi su yapıları yer almaktadır. Çalışma sahası drenaj alanı ve akarsu ağı haritası Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışma sahası drenaj alanı ve akarsu ağı haritası

### 3.1.2. Meteorolojik Veriler

Çalışma kapsamında, iklim değişikliğinin ekstrem yağışlar üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi ve drenaj alanı tekerrürlü akım değerlerinin hesaplanabilmesi için günlük maksimum yağış verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda, çalışma havzasını en iyi temsil eden 17099 no.lu Ağrı ili meteoroloji gözlem istasyonu (MGİ) verileri kullanılmıştır. Ağrı ili merkezinde 1646 m kotunda konumlandırılan Ağrı MGİ'ye ait meteorolojik veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilmiş olup 1950-2014 yıllarına ait 65 yıllık yağış verileri hesaplarda kullanılmıştır. Ağrı MGİ uzun yıllar meteorolojik gözlem istatistiklerine göre yıllık toplam yağış ortalaması 524.9 mm, yıllık ortalama sıcaklık 6.2°C ve yıllık ortalama bağıl nem %67.1'dir. Yıllık toplam buharlaşma ortalaması ise 1129.1 mm'dir.

### 3.1.3. CMIP6 GCM Verileri

WCRP'nin Birleşik Modelleme Çalışma Grubu (WGCM) himayesinde yürütülen CMIP; dinamik bir okyanus, basit bir kara yüzeyi ve termodinamik deniz buzu ile bağlantılı atmosfer modellerini kullanarak deneyler gerçekleştiren sınırlı sayıdaki ilk küresel bağlantılı iklim modellerinin karşılaştırılmasıyla başlamıştır (Meehl ve ark., 1997). O zamandan bu yana aşamalar katederek, sadece iklim bilimi araştırmalarına yeni bir dönem getirmekle kalmayıp aynı zamanda iklim değişikliğine ilişkin ulusal ve uluslararası değerlendirmelerin merkezi bir unsuru haline gelen büyük bir uluslararası çoklu model araştırma faaliyetine dönüşmüştür (Meehl ve ark., 2000, 2007; Taylor ve ark., 2012). CMIP, araştırmacıların ve politika yapıcıların çeşitli iklim projeksiyonlarını kullanarak iklim değişikliğinin yağış, sıcaklık ve akarsu akışı gibi hidroklimatolojik değişkenler üzerindeki etkilerini değerlendirmelerine olanak tanımaktadır (Meehl ve ark., 2014). CMIP'in önemli bir özelliği, çoklu model çıktılarının belirli bir formatta standartlaştırılarak Dünya Sistemi Izgara Federasyonu (ESGF) veri çoğaltma merkezleri aracılığıyla toplanması, arşivlenmesi ve kamuya açık hale getirilmesi sayesinde daha geniş iklim topluluğu ve kullanıcıları tarafından analiz edilebilir hale gelmesi ve çoklu model analizlerinin kolaylaştırılmasıdır (Eyring ve ark., 2016).

1988 yılında Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından kurulan IPCC, iklim değişikliği ile ilgili bilimsel çalışmalarını incelemek ve politika yapıcılara sağlam temellere dayanan bilgiler sağlamak amacıyla çalışmakta ve raporlar yayımlamaktadır. 2021 yılında yayımlanan 6. Değerlendirme Raporu'nda CMIP6 modelleri yer almıştır. CMIP6, CMIP'in önceki aşamalarındaki

gelişim ve uyum süreçlerini temel alarak, iklim sisteminin farklı tepkilerini ve mekanizmalarını anlamaya yönelik organize edilmiş küresel iklim modelleme deneylerini içermektedir (Chen ve ark., 2020; Eyring ve ark., 2016). CMIP6 tasarımı, bulutların atmosferik dolaşım ve iklim duyarlılığındaki rolünü, kriyosferin ısınmaya tepkisini, su mevcudiyetini etkileyen faktörleri, iklim aşırılıklarını, bölgesel deniz seviyesi değişimini ve kıyı etkilerini, yakın vadeli iklim tahminlerini ve biyojeokimyasal döngülerin sera gazı konsantrasyonları ile iklim değişikliği üzerindeki etkilerini inceleyerek iklim sistemini daha iyi anlamayı amaçlamaktadır (Eyring ve ark., 2016). CMIP6’da, iklim sisteminin çeşitli bileşenlerini ve etkileşimlerini simüle etmek amacıyla bir dizi farklı GCM’ler kullanılmaktadır. Bu modeller, atmosfer, okyanus, kara yüzeyi ve buzullar gibi temel bileşenlerin dinamiklerini dikkate alarak iklim değişikliğinin çeşitli yönlerini daha ayrıntılı şekilde incelemeye olanak tanır.

GCM’ler, iklim sisteminin temel bileşenlerini (atmosfer, okyanuslar, kara yüzeyi ve buzullar) ve bunlar arasındaki enerji, kütle ve momentum transferlerini matematiksel olarak modelleyen bir bilgisayar simülasyonudur. GCM’ler, iklim değişikliği projeksiyonları ve iklim sisteminin anlaşılması için kullanılan en gelişmiş araçlardır. Bu modeller, atmosferik dolaşım, okyanus akıntıları ve diğer fiziksel süreçleri çözerek gelecekteki iklim koşullarını tahmin etmekte önemli bir rol oynar. Su havzalarında gelecekteki hidrolojik etkilere ilişkin projeksiyonlar elde etmek için öncelikle GCM çıktıları, su havzaları ölçeğine indirgenir ve indirgenmiş veriler daha sonra iklim değişikliği senaryoları altında hidrolojik tepkileri simüle etmek için hidrolojik modellere girildiği olarak sunulur (Chen ve ark., 2013; Wang ve ark., 2019; Wilby ve Harris, 2006). Farklı senaryolar altında elde edilen modelleme sonuçları, gelecekteki iklim değişikliğinin potansiyel etkilerine dair önemli bilgiler sunar.

Kullanılan GCM sayısı, sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir. Az sayıda GCM kullanımı birçok çalışmada en büyük belirsizlik kaynağı olarak değerlendirilmiştir (Bosshard ve ark., 2013; Chen ve ark., 2011; Dobler ve ark., 2012). Bu nedenle, iklim değişikliğinin hidroloji üzerindeki etkilerine ilişkin çalışmalarda hesaplama kaynaklarının sınırlı olması durumunda, GCM kaynaklı projeksiyon belirsizliğini minimize etmek için en az 10 GCM kullanımı önerilmektedir (Wang ve ark., 2020). Çoklu GCM kullanımı, farklı iklim projeksiyonlarının daha geniş bir yelpazede değerlendirilmesine olanak tanır, böylece daha güvenilir sonuçlar elde edilebilir. İklim modellemesinin önemli ölçüde gelişmesiyle birlikte, geliştirilen GCM’lerin sayısı artmıştır (Eyring ve ark., 2019). CMIP6 kapsamında da çok sayıda

GCM arşivlenmiştir. Bu çalışmada, CMIP6 kapsamında bulunan 10 adet GCM kullanılmış olup, kullanılan GCM'ler ve bu GCM'leri geliştiren kuruluşlar Tablo 3.1'de verilmiştir.

CMIP6 kapsamında, paylaşımlı sosyo-ekonomik rota (SSP) olarak adlandırılan yeni nesil senaryolar geliştirilmiş olup, bu senaryolar gelecekteki iklim değişikliğini anlamaya yönelik kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. CMIP6 kapsamındaki iyileştirilmiş dinamik süreçlerle daha iyi çözümlüğe sahip GCM modelleri, gelecek iklim projeksiyonları için SSP tabanlı emisyon senaryolarını uygulamaktadır (Chen ve ark., 2020; Eyring ve ark., 2016; O'Neill ve ark., 2016). SSP senaryoları, farklı temel dünya öngörülerini ile beş farklı sosyo-ekonomik yol önerisi sunmaktadır (O'Neill ve ark., 2016; Özdemir ve ark., 2020). SSP1 - Sürdürülebilir Kalkınma Senaryosu, yenilenebilir enerji yatırımları ve dekarbonizasyonla sera gazı emisyonlarını %50 azaltmayı hedeflerken; SSP2 - Düşük Kalkınma Baskısı Senaryosu, yavaş büyüme ve sosyal eşitsizliklerle birlikte sıcaklık artışını 2.5-3.0°C arasında tutmayı öngörür. SSP3 - Bölgesel Rekabet Senaryosu, bölgesel çatışmalar ve yüksek emisyonlarla sıcaklık artışını 3.0-4.0°C'ye çıkarırken; SSP4 - Teknolojik Yenilik Senaryosu, teknolojik gelişmelerle emisyonları azaltarak sıcaklık artışını 3.0°C ile sınırlamayı amaçlar. SSP5 - Yüksek Fosil Yakıt Kullanımı Senaryosu ise hızlı ekonomik büyüme ve fosil yakıt kullanımının devamıyla sıcaklık artışını daha da artırmayı öngörür (Şahingöz, 2023).

SSP'nin temel senaryoları, farklı ışımsal zorlama değerlerine göre alternatif alt gruplara ayrılmakta olup, bunlar IPCC'nin 6. Değerlendirme Raporu'nda SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, ve SSP5-8.5 senaryoları olarak adlandırılmaktadır (Tokgöz, 2023). Bu tez çalışmasında, CMIP6 kapsamındaki 10 GCM ile SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları kullanılmıştır. SSP2-4.5 orta şiddetli senaryo, SSP5-8.5 ise şiddetli senaryo olarak ifade edilmektedir. Bu kapsamda, ızgara tabanlı GCM veri setleri ESGF platformundan temin edilmiştir (ESGF, 2022).

**Tablo 3.1.** Çalışmada kullanılan CMIP6 kapsamındaki GCM'lere ait bilgiler

Model	Modelleme Merkezi [Ülke]	Çözünürlük (Enlem x Boylam)	Kaynaklar
ACCESS-CM2	Milletler Topluluğu Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Organizasyonu (CSIRO) & Araştırma Konseyi İklim Sistemi Bilimi Mükemmeliyet Merkezi (ARCCSS) [Avustralya]	1.25° x 1.875°	(Dix ve ark., 2019a; 2019b)
ACCESS-ESM1-5	Milletler Topluluğu Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Organizasyonu (CSIRO) [Avustralya]	1.25° x 1.875°	(Ziehn ve ark., 2019a; 2019b)
EC-Earth3-Veg	EC-Earth Konsorsiyumu [Avrupa]	(0.696-0.702)° x 0.703125°	(EC-Earth, 2019a; 2019b)
FGOALS-g3	Çin Bilimler Akademisi (CAS) [Çin]	(2.025-5.181)° x 2°	(Li, 2019a; 2019b)
GFDL-ESM4	Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi - Jeofiziksel Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı (NOAA-GFDL) [ABD]	1° x 1.25°	(John ve ark., 2018; Krasting ve ark., 2018)
MIROC6	Japonya Deniz-Yer Bilimi ve Teknolojisi Ajansı (JAMSTEC), Atmosfer ve Okyanus Araştırma Enstitüsü - Tokyo Üniversitesi (AORI), Ulusal Çevre Çalışmaları Enstitüsü (NIES) & RIKEN Hesaplamalı Bilim Merkezi (R-CCS) [Japonya]	(1.389-1.401)° x 1.40625°	(Tatebe ve Watanabe, 2018; Shiogama ve ark., 2019)
MPI-ESM1-2-HR	Max Planck Meteoroloji Enstitüsü (MPI-M) & Alman İklim Veri Merkezi (DKRZ) [Almanya]	(0.927-0.935)° x 0.9375°	(Jungclaus ve ark., 2019; Schupfner ve ark., 2019)
MPI-ESM1-2-LR	Max Planck Meteoroloji Enstitüsü (MPI-M) [Almanya]	(1.850-1.865)° x 1.875°	(Wiener ve ark., 2019a; 2019b)
MRI-ESM2-0	Meteorolojik Araştırma Enstitüsü (MRI) [Japonya]	(1.112-1.121)° x 1.125°	(Yukimoto ve ark., 2019a; 2019b)
TaiESM1	Çevresel Değişiklikler Araştırma Merkezi - Akademi Sinica (AS-RCEC) [Tayvan]	0.9424084° x 1.25°	(Lee ve Liang, 2020a; 2020b)

CMIP6 modellerinin bazıları birden fazla topluluk üyesi simülasyonu içerdiğinden, adil karşılaştırma yapılabilmesi için her model için “r1i1p1f1” değişken etiketine sahip ilk topluluk üyesi simülasyonu seçilmiştir (Sun ve ark., 2022). Farklı ızgara boyutlarına sahip NetCDF formatındaki GCM verileri, adil karşılaştırmalar yapılabilmesi amacıyla Jones (1999) tarafından geliştirilen birinci derece konservatif yeniden haritalama yöntemiyle Türkiye sınırları dâhilinde düzenli  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  enlem ve boylam ağına dönüştürülmüştür. Max Planck Meteoroloji Enstitüsü tarafından geliştirilen Climate Data Operators (CDO) yazılımı (Schulzweida, 2021) kullanılarak, Cygwin terminali (Cygwin, 2023) üzerinden CMIP6 model veri setlerinde birleştirme, enterpolasyon ve mekânsal kırpma işlemleri uygulanmıştır.

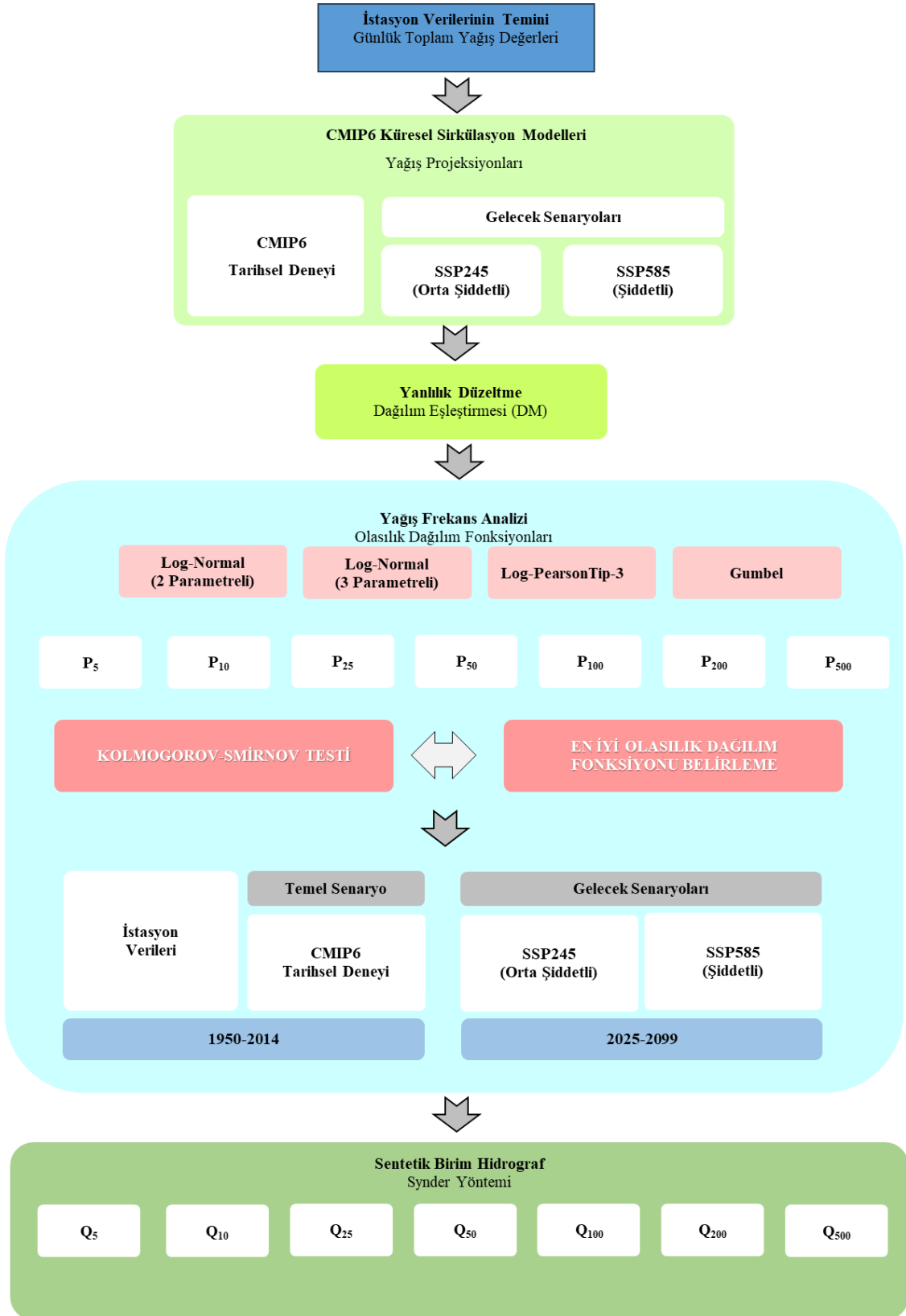
### 3.2. Yöntem

Bu çalışma kapsamında, iklim değişikliğinin Ağrı ilindeki aşırı yağışlar üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve bu yağışların oluşturacağı nehir yatağı akımlarını incelemek amacıyla, ilk aşamada CMIP6 kapsamındaki 10 GCM'nin tarihsel deney senaryosu ile gelecek dönem için orta şiddetli SSP2-4.5 ve şiddetli SSP5-8.5 senaryolarına ait günlük toplam yağış projeksiyonları Ağrı ili için indirgenmiştir. GCM'lerin geçmiş ve gelecek yağış projeksiyonları, MGM'den temin edilen Ağrı MGI'ye ait günlük toplam yağış verileri kullanılarak dağılım eşleştirmesi (DM) yöntemi altında yanlılık düzeltmesine tabi tutulmuştur. Yanlılık düzeltme işlemleri için *Climate Model Data for Hydrologic Modeling* (CMhyd) programı kullanılmıştır. GCM'lerin tarihsel veri kümeleri üzerinde gerçekleştirilen yanlılık düzeltmesinin etkinliğini değerlendirmek için performans ölçütleri olarak modifiye uyum indeksi (md), normalize edilmiş kök ortalama kare hata (nRMSE), Kling-Gupta verimlilik metriği (KGE) ve Fonksiyon Becerisi Skoru (FSS) istatistikleri kullanılmıştır. Modellerin tarihsel ve gelecek iklim senaryoları kapsamındaki yağış projeksiyonları istasyon verileri kullanılarak dağılım, sıralama ve büyüklük gibi yerel iklim özellikleriyle uyumlu hale getirilmiş olup, çalışma metodolojisinin ikinci aşamasında, yanlılık düzeltmesi sonrası projeksiyonların yıllık maksimum günlük yağış değerleri elde edilerek 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıl tekrerrür periyotlarında yağış frekans analizleri yapılmıştır.

Frekans analizlerinde iki parametrelili log-normal, üç parametrelili log-normal, log-Pearson tip III ve Gumbel olmak üzere dört farklı PDF kullanılmış olup, her bir yılda günlük maksimum yağış veri seti için kullanılan PDF'lerin uygunluğunu değerlendirmek amacıyla parametrik olmayan Kolmogorov-Smirnov testi %5 anlamlılık düzeyinde

uygulanmıştır. CMIP6 tarihsel deney senaryosu altında her GCM'nin yağış pikleri için en uyumlu dağılım fonksiyonları kullanılarak elde edilen tekerrür değerlerinin medyanları, SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları altında iklim değişikliği etkilerini değerlendirmek için referans noktası olarak kullanılmıştır. CMIP6 tarihsel deney senaryosu altındaki GCM projeksiyonları, 1950-2014 dönemi için referans veriler olarak kabul edilmiş ve 2025-2099 dönemi için 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıllık tekerrürlü yağış miktarlarında gelecekteki değişimleri değerlendirmek için kullanılmıştır.

Ekstrem yağış miktarlarının belirlenmesi sonrasında, sentetik birim hidrograf yöntemlerinden biri olan Snyder yöntemi kullanılarak yinelemeli akım hesapları gerçekleştirilmiştir. Snyder yöntemi, havzanın fiziksel ve hidrolik özelliklerine dayalı bir yaklaşım sunarak, yağıştan kaynaklanan yüzey akışının zaman içindeki dağılımını belirlemek için kullanılmıştır. Bu bağlamda, havza eğimi, drenaj alanı ve etkin yağış gibi faktörler de hesaba katılarak detaylı akım hesaplamaları yapılmış olup, uygulanan yöntemin ana çerçevesi Şekil 3.3'te sunulmuştur.



**Şekil 3.3.** Uygulanan yöntemin akış şeması

### 3.2.1. Yanlılık Düzeltmesi

GCM iklim projeksiyonları, genellikle yanlılık olarak tanımlanan çeşitli sistematik hata ve belirsizlikler içermektedir (Wang ve Chen, 2014). Yanlılık, bir modelin veya analiz yönteminin gerçek değerden sistematik olarak sapma göstermesi durumudur. Bu yanlılıklar, projeksiyonların doğruluğunu etkileyerek iklim değişikliği üzerine yapılan değerlendirmelerin güvenilirliğini azaltabilir. Modellerin kullandığı veri setleri, parametreler ve varsayımlar mükemmel değildir. Örneğin, bazı modeller belirli bölgelerde aşırı sıcaklık veya yağış tahminleri yapabilirken, diğer bölgelerde düşük tahminler sunabilmektedir.

Birçok çalışma, yanıltıcı sonuçlara yol açabilecek aşırı ya da düşük tahminlerin önüne geçebilmek amacıyla GCM iklim projeksiyonlarındaki model yanlılıklarının düzeltilmesini önermiştir (Cannon ve ark., 2015; Gupta ve ark., 2020; Zhai ve ark., 2020). Bu düzeltmeler, model çıktılarının daha güvenilir ve tutarlı hale gelmesini sağlayarak iklim projeksiyonlarının doğruluğunu artırmaktadır. Huang ve ark. (2011), geçmiş ve gelecek senaryolar arasında istatistiksel olarak anlamlı ve tutarlı bir ilişki kurmak için yanlılık düzeltmesinde en az 30 yıllık zaman serisinin kullanılmasını önermektedir. Farklı araştırmacılar model yanlılıklarını azaltmak için çeşitli teknikler kullanmıştır (Li ve ark., 2010; Teutschbein ve Seibert, 2012; Pierce ve ark., 2015; Yuan ve ark., 2016).

Bu çalışmada, CMIP6 kapsamındaki 10 GCM üzerinde yanlılık düzeltmeleri DM yöntemi ile CMhyd programı kullanılarak uygulanmış ve geçmiş ile gelecek tahmin verileri istasyon konumlarına indirgenmiştir. DM yöntemi, GCM verilerinin ortalama ve varyansında yapılan basit ayarlamaların aksine, gözlemlenen verilerin dağılımına dayalı olarak GCM simülasyonlarının dağılım fonksiyonunu dönüştürmektedir (Wang ve Chen, 2014). Bu yaklaşımda, simüle edilmiş iklim verilerinin dağılımı, gözlemlenen verilerin dağılımıyla uyumlu olacak şekilde düzeltilir. Böylece, modelin tahmin ettiği iklim verilerinin gerçekte gözlemlenen verilere daha yakın bir dağılıma sahip olması sağlanır. Bu düzeltme, modelin daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar üretmesine katkı sağlar. Birçok çalışma, DM yönteminin alternatif yöntemlere kıyasla en etkili yanlılık düzeltme yöntemlerinden biri olduğunu vurgulamıştır (Teutschbein ve Seibert, 2012; Zhang ve ark., 2018).

Modellerin yağış tahmin değerlerinin yanlılık düzeltmesi sonrası gözlem verileriyle ne kadar uyumlu hale geldiğini değerlendirmek için çeşitli istatistiksel performans ölçütleri kullanılmaktadır. Bu ölçütler, GCM tahminlerinin gözlenen verilerle

olan uyumunu ortaya koyan istatistiklerdir. Bu çalışmada md, nRMSE, KGE ve FSS performans ölçütleri kullanılmıştır.

Performans ölçütlerinden md, tahmin edilen değerlerin ölçümlerle ne kadar iyi örtüştüğünü belirlemek için kullanılan bir performans metriğidir. Eşitlik 3.1’de denklemi verilmiştir.

$$md = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |P_{obs,i} - P_{sml,i}|}{\sum_{i=1}^n (|P_{sml,i} - \overline{P_{obs}}| + |P_{obs,i} - \overline{P_{obs}}|)} \quad (3.1)$$

KGE performans ölçütü, tahmin edilen değerlerle ölçüm verileri arasındaki doğrusal ilişkiyi, değişkenlikleri ve ortalama sapmayı aynı anda değerlendiren bir uyum indeksidir. İki veri seti arasındaki ilişkiyi belirlemede kullanılan geleneksel bir parametre olan Korelasyon katsayısı (CC), KGE hesabında kullanılmaktadır. KGE ve CC denklemleri sırasıyla Eşitlik 3.2 ve 3.3’te verilmiştir.

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{sml} - \overline{P_{sml}})(P_{obs} - \overline{P_{obs}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{sml} - \overline{P_{sml}})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{obs} - \overline{P_{obs}})^2}} \quad (3.2)$$

$$KGE = 1 - \sqrt{(CC - 1)^2 + \left(\frac{\overline{P_{sml}}}{P_{obs}} - 1\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{model} / \overline{P_{sml}}}{\sigma_{obs} / \overline{P_{obs}}} - 1\right)^2} \quad (3.3)$$

Performans ölçütlerinden nRMSE, tahmin edilen değerlerin ölçüm değerleriyle ne kadar yakın olduğunu ölçmek için kullanılan bir hata metriğidir. Eşitlik 3.4’te denklemi verilmiştir.

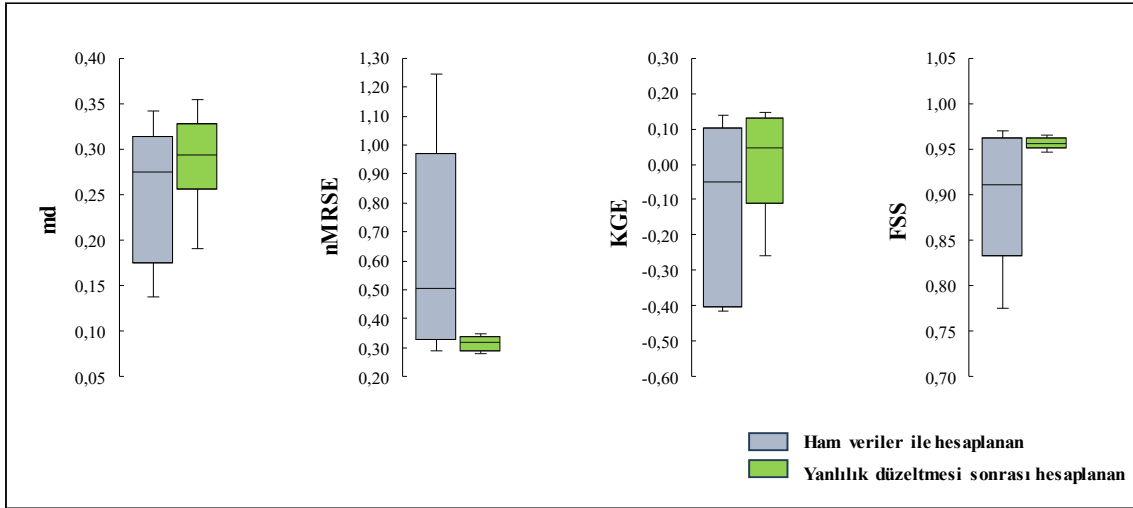
$$nRMSE = \frac{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{sml,i} - P_{obs,i})^2\right]^{1/2}}{P_{obs(max)} - P_{obs(min)}} \quad (3.4)$$

FSS, konum bazlı tahmin modelleri için kullanılan bir doğruluk ölçütüdür. Eşitlik 3.5’te denklemi verilmiştir.

$$FSS = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{sml,i} - P_{obs,i})^2}{\sum_{i=1}^n (P_{sml,i}^2 - P_{obs,i}^2)} \quad (3.5)$$

Performans ölçütleri için verilen eşitliklerde  $P_{obs}$  sinoptik gözlem istasyonunda gözlenen değeri,  $P_{sml}$  GCM ile simüle edilen değeri ve  $\overline{P_{obs}}$  ile  $\overline{P_{sml}}$  ise sırasıyla gözlenen ve simülasyon verilerinin ortalamalarını temsil etmektedir.  $n$  veri sayısını ifade ederken,  $\sigma_{obs}$  gözlenen verilerin standart sapmasını  $\sigma_{model}$  ise simülasyon verilerinin standart sapmasını göstermektedir. Ayrıca  $P_{obs(max)}$  gözlenen veri serisindeki en büyük değeri,  $P_{obs(min)}$  ise en küçük değeri ifade etmektedir.

CMIP6 kapsamındaki 10 GCM'ye ait 1950-2014 dönemi tarihsel deney verileri ile 2025-2099 dönemi için öngörülen SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına ilişkin günlük yağış verileri, DM yöntemi kullanılarak yanlışlık düzeltilmesine tabi tutulmuştur. 1950-2014 dönemi CMIP6 tarihsel deney senaryosu ham verileri ile yanlışlık düzeltilmesine tabi tutulmuş değerlerle yıllık bazda hesaplanan performans ölçütlerinin grafiksel karşılaştırması Şekil 3.4'te verilmiştir. Şekil 3.4 incelendiğinde md, KGE ve FSS ölçütlerinin yanlışlık düzeltilmesi sonrası 1 yönünde toplanması nRMSE ölçütünün ise 0 yönünde toplanması yapılan yanlışlık düzeltilmesinin etkisini göstermektedir.



Şekil 3.4. Performans ölçütlerinin karşılaştırılması

1950-2014 dönemi istasyon verileri ile 10 GCM'nin yanlışlık düzeltilmesine tabi tutulmuş CMIP6 tarihsel deney senaryosuna ait yıllık maksimum günlük yağış değerleri Tablo 3.2'de; 2025-2099 yıllarını kapsayan gelecek dönem SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına ait değerler ise sırasıyla Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te sunulmuştur.

**Tablo 3.2.** 1950-2014 dönemi için istasyon ölçüm verileri ile 10 GCM'nin yanlışlık düzeltmesine tabi tutulmuş CMIP6 tarihsel deney senaryosu verilerine ait yıllık maksimum günlük yağış değerleri (mm/gün)

Yıl	Ağrı MGİ	CMIP6 Tarihsel Deney Senaryosu									
		ACCESS-CM2	ACCESS-ESM1-5	EC-Earth3-Veg	FGOALS-g3	GFDL-ESM4	MIROC6	MPI-ESM1-2-HR	MPI-ESM1-2-LR	MRI-ESM2-0	TaiESM1
1950	34.20	31.50	52.96	24.81	47.60	24.78	67.80	27.67	34.41	35.98	20.91
1951	32.70	38.06	35.68	30.31	41.82	21.61	27.74	27.02	34.79	58.00	35.84
1952	45.20	34.65	14.42	30.16	42.53	23.59	26.99	30.14	40.56	36.44	52.22
1953	44.40	25.27	63.87	34.01	25.01	33.62	51.85	20.36	24.00	42.10	23.67
1954	17.70	25.79	80.81	76.90	34.18	42.88	56.39	27.42	17.84	36.91	47.31
1955	43.70	46.07	27.01	19.70	55.53	58.77	30.65	20.99	28.97	29.73	26.22
1956	29.70	49.34	42.89	46.87	21.46	41.12	40.13	27.20	28.70	33.28	27.14
1957	18.00	19.13	37.26	27.02	27.62	34.75	29.90	21.07	27.13	34.38	33.71
1958	27.60	52.48	43.64	32.87	36.87	34.67	22.32	50.47	19.61	40.88	33.03
1959	27.20	43.01	18.68	40.04	28.58	31.01	29.62	33.25	29.28	62.05	33.78
1960	24.00	29.93	37.57	30.49	23.97	41.11	27.52	35.54	19.06	30.69	28.50
1961	20.20	17.91	49.97	31.79	20.51	33.57	33.90	28.83	27.72	62.09	22.67
1962	35.00	21.32	45.23	33.93	39.62	44.59	40.79	23.03	24.73	30.98	50.12
1963	22.10	27.53	41.46	39.53	43.64	50.03	29.94	48.26	32.62	30.65	47.78
1964	125.9	56.42	32.10	26.77	38.58	30.72	38.80	19.43	22.76	24.51	45.41
1965	41.90	70.20	38.74	35.26	42.68	92.10	38.35	43.06	38.10	50.20	47.82
1966	41.70	46.31	26.63	24.80	22.66	29.72	27.10	52.31	16.88	42.94	20.53
1967	24.20	22.05	53.94	37.01	17.07	24.63	51.46	50.08	30.56	44.13	43.41
1968	14.80	33.84	37.18	33.39	73.59	30.78	36.55	30.94	32.56	29.71	33.63
1969	33.80	49.22	27.46	27.95	40.04	30.14	27.48	31.74	18.09	33.97	30.14
1970	19.20	45.42	42.15	30.98	21.77	36.16	28.56	29.71	37.80	30.88	41.58
1971	58.90	18.88	44.39	28.22	31.90	29.58	28.26	24.61	21.74	34.27	24.65
1972	60.20	34.47	66.16	39.08	42.75	32.50	49.59	36.75	23.64	24.45	46.09
1973	18.80	38.49	43.79	36.60	34.15	51.32	20.05	34.26	28.70	31.05	25.65
1974	25.40	41.40	37.20	31.32	23.94	25.64	32.78	24.33	19.45	28.71	23.88
1975	22.80	23.77	58.57	33.48	34.75	24.72	30.57	45.67	36.68	23.83	20.83
1976	22.50	16.71	27.64	42.76	91.52	27.73	23.94	36.77	27.08	49.29	21.99
1977	23.30	24.31	25.38	28.85	23.57	27.16	50.31	29.09	21.32	28.30	28.67
1978	37.60	43.52	30.72	26.04	41.72	34.18	36.91	27.81	19.16	23.55	13.67
1979	29.40	36.69	44.35	25.16	26.04	27.04	28.84	19.01	21.90	22.21	68.68
1980	23.30	29.35	47.88	27.98	34.96	43.25	30.45	29.14	26.07	47.20	35.17
1981	53.00	41.29	81.65	34.35	27.80	69.58	37.06	17.20	31.03	26.24	53.26
1982	22.70	20.05	38.81	29.91	36.48	35.34	30.20	51.18	20.64	27.56	29.59
1983	24.70	33.71	24.93	52.40	23.13	51.90	60.27	17.41	21.97	26.91	38.50
1984	20.70	16.22	35.34	49.13	49.88	29.58	23.47	23.74	28.01	44.77	34.50
1985	71.50	60.13	27.67	29.60	19.53	32.65	25.82	38.66	28.10	52.90	20.44
1986	29.20	38.28	26.60	32.93	22.33	37.29	37.90	31.06	33.69	26.72	45.63
1987	40.70	41.17	61.24	26.06	25.11	17.73	43.14	16.83	30.06	39.66	28.20
1988	39.50	30.52	15.28	43.71	31.71	18.26	17.32	62.66	39.57	21.68	21.57
1989	35.00	41.18	40.06	19.70	28.58	32.04	41.63	46.93	14.14	37.18	25.68
1990	29.50	28.86	27.51	31.04	29.29	54.53	27.55	33.06	48.13	24.41	44.04
1991	36.90	26.77	60.80	25.79	34.71	54.44	34.66	18.50	22.57	42.30	43.52
1992	50.60	44.93	28.88	21.54	24.65	27.10	35.43	32.93	39.19	42.44	58.34
1993	31.60	27.54	53.00	43.30	35.80	56.61	28.69	22.50	37.80	29.32	38.54

**Tablo 3.2.** devamı

Yıl	Ağrı MGI	CMIP6 Tarihsel Deney Senaryosu									
		ACCESS-CM2	ACCESS-ESM1-5	EC-Earth3-Veg	FGOALS-g3	GFDL-ESM4	MIROC6	MPI-ESM1-2-HR	MPI-ESM1-2-LR	MRI-ESM2-0	TaiESM1
1994	34.00	41.91	24.28	31.65	40.76	31.09	27.49	27.52	30.01	33.42	29.80
1995	28.70	21.02	39.92	37.95	22.37	25.79	73.23	28.63	38.51	25.90	29.70
1996	31.20	29.83	15.26	33.69	52.41	27.39	25.52	28.26	27.94	31.34	30.58
1997	19.90	22.39	55.50	38.23	45.99	26.67	24.83	22.00	43.11	38.30	35.04
1998	22.00	27.40	37.22	49.64	51.11	58.65	33.66	31.80	30.73	83.05	27.39
1999	25.40	33.87	21.72	22.47	19.41	24.61	24.71	47.20	26.28	29.15	33.65
2000	23.60	19.52	41.41	36.56	24.99	25.78	34.41	40.68	20.10	35.54	30.19
2001	30.70	46.60	36.05	21.49	46.83	42.82	18.96	19.15	32.75	52.13	37.14
2002	23.50	42.83	42.09	23.99	38.54	34.48	22.58	37.68	47.69	25.20	42.90
2003	43.00	56.44	29.62	31.77	35.81	25.14	30.46	28.20	21.68	54.63	28.20
2004	27.20	44.01	36.83	38.53	33.10	32.42	44.54	28.90	40.43	44.97	38.52
2005	21.20	53.41	30.00	28.33	30.80	23.72	39.00	77.13	25.47	32.23	20.66
2006	24.00	25.74	28.72	21.25	36.81	25.82	17.45	36.15	24.24	28.96	13.76
2007	30.00	49.33	59.67	34.07	41.59	50.92	32.25	36.31	32.38	48.29	18.63
2008	24.00	29.27	21.33	44.51	32.41	20.93	73.12	31.17	42.73	35.52	30.39
2009	40.80	43.71	33.72	40.56	43.78	41.99	42.47	24.63	41.42	31.29	48.42
2010	25.90	37.68	34.06	41.01	19.07	52.64	22.72	24.86	32.10	34.42	30.15
2011	24.60	47.36	58.01	30.00	25.38	45.17	25.15	26.33	26.56	65.98	32.62
2012	23.70	28.63	32.28	86.21	20.89	35.50	25.37	26.07	28.69	47.09	41.78
2013	21.00	100.80	31.24	29.82	34.83	53.39	55.37	31.51	37.10	63.91	36.88
2014	57.20	30.52	28.09	41.01	27.58	47.88	35.68	23.19	41.72	19.93	31.12

**Tablo 3.3.** 2025-2099 dönemi için 10 GCM'nin yanlışlık düzeltilmesine tabi tutulmuş SSP2-4.5 gelecek senaryosu projeksiyonlarına ait yıllık maksimum günlük yağış değerleri (mm/gün)

Yıl	SSP245 (Orta Şiddetli) Gelecek Senaryo									
	ACCESS-CM2	ACCESS-ESM1-5	EC-Earth3-Veg	FGOALS-g3	GFDL-ESM4	MIROC6	MPI-ESM1-2-HR	MPI-ESM1-2-LR	MRI-ESM2-0	TaiESM1
2025	29.46	32.45	19.46	22.51	42.34	27.92	46.91	60.18	38.37	58.91
2026	25.00	51.22	25.36	42.75	59.60	33.54	28.16	31.63	50.76	41.78
2027	24.86	42.44	53.64	25.11	37.76	42.24	60.47	31.45	76.48	46.89
2028	25.24	47.93	56.31	19.53	32.00	63.62	65.05	30.69	35.08	56.36
2029	34.75	32.90	30.57	50.23	50.50	30.37	48.88	40.70	37.37	37.69
2030	62.65	16.96	20.74	40.13	32.00	34.98	37.06	23.18	25.13	37.19
2031	37.25	57.31	28.31	22.25	43.43	17.48	25.56	24.42	28.25	95.49
2032	17.79	35.30	59.84	24.15	49.38	59.28	52.46	34.62	41.67	43.35
2033	22.03	36.56	49.86	19.32	48.55	28.80	43.97	18.87	69.57	36.50
2034	34.46	42.41	45.48	48.37	29.83	26.78	36.22	27.84	84.27	49.15
2035	40.65	44.01	55.77	28.42	25.50	32.94	22.16	32.03	75.85	34.65
2036	24.19	35.28	31.52	59.61	62.76	37.60	28.89	21.11	33.55	50.58
2037	52.60	45.33	36.48	92.66	69.14	25.72	25.81	36.20	33.19	48.37
2038	36.19	27.64	24.85	25.94	25.49	39.18	28.15	46.54	38.67	50.65
2039	31.92	44.46	30.81	42.17	29.27	35.72	59.21	19.05	42.87	95.24
2040	46.91	44.64	34.90	45.61	55.63	29.67	28.56	36.16	43.03	48.36
2041	37.41	64.03	27.92	35.65	42.35	23.61	30.89	70.73	46.42	43.65
2042	48.50	48.17	31.88	30.78	35.12	83.02	31.90	28.26	67.95	30.66
2043	35.66	31.30	62.58	24.90	67.13	39.13	35.75	20.77	47.36	33.32
2044	59.35	34.92	28.80	39.96	30.26	41.34	36.22	15.81	64.36	48.80
2045	38.13	26.78	33.27	27.53	90.47	56.40	27.02	31.78	27.61	44.51
2046	57.94	47.86	30.00	28.62	39.70	42.53	43.15	36.85	19.05	56.60
2047	44.14	97.90	35.24	42.24	71.80	46.93	30.68	24.40	44.86	39.27
2048	28.32	48.69	59.86	28.24	38.60	50.04	28.87	33.77	45.94	27.39
2049	28.68	34.89	18.31	37.94	39.86	27.30	25.88	31.49	163.18	32.76
2050	27.99	32.11	31.65	32.25	36.59	57.07	28.37	44.30	46.79	25.28
2051	56.86	20.04	83.20	35.67	60.82	27.30	24.74	20.44	69.15	32.67
2052	35.15	50.62	49.20	64.71	72.63	37.00	54.28	34.13	49.22	48.68
2053	23.96	38.20	17.97	35.38	52.08	44.80	50.93	29.36	47.49	64.10
2054	56.33	47.99	37.38	39.78	23.92	29.43	17.77	39.52	38.85	28.29
2055	68.73	52.09	27.92	42.39	36.96	46.93	27.90	26.07	91.16	22.02
2056	55.82	42.96	40.47	42.23	43.48	25.04	31.39	19.28	29.86	30.15
2057	28.07	66.99	47.19	43.99	32.15	35.02	30.86	29.82	47.68	102.87
2058	54.10	73.67	37.36	43.34	52.66	31.80	37.02	33.61	48.64	36.34
2059	67.90	38.25	28.47	35.13	27.75	20.45	40.63	27.58	54.75	44.29
2060	32.46	91.28	27.78	28.72	33.09	49.66	60.13	22.70	16.09	42.32
2061	105.79	48.26	18.58	53.19	35.85	33.95	49.96	30.20	44.99	29.83
2062	59.67	35.36	23.92	29.80	73.56	32.93	42.88	42.11	45.30	46.86
2063	24.42	89.29	33.99	20.67	43.72	38.30	62.27	38.08	34.32	42.65
2064	45.71	48.14	40.90	66.95	43.44	34.39	34.79	26.76	53.79	36.54
2065	49.91	29.29	37.81	37.36	46.49	88.27	23.82	22.47	33.74	24.28
2066	41.16	54.12	36.13	56.50	66.29	48.35	33.41	34.79	36.26	46.68
2067	42.80	45.94	23.45	42.88	40.83	26.17	20.47	29.80	67.06	37.65
2068	41.34	35.08	26.55	34.98	53.93	27.78	33.15	41.35	63.45	38.89

**Tablo 3.3.** devamı

SSP245 (Orta Şiddetli) Gelecek Senaryo										
Yıl	ACCESS-CM2	ACCESS-ESM1-5	EC-Earth3-Veg	FGOALS-g3	GFDL-ESM4	MIROC6	MPI-ESM1-2-HR	MPI-ESM1-2-LR	MRI-ESM2-0	TaiESM1
2069	25.84	41.72	31.93	61.22	36.46	29.50	23.59	22.45	115.45	31.64
2070	24.08	58.81	50.87	40.72	22.72	29.87	19.80	52.64	25.65	50.85
2071	39.03	47.43	33.62	22.83	52.35	31.62	38.51	38.66	43.61	30.98
2072	37.40	50.31	27.70	27.14	38.04	31.77	26.94	16.93	50.54	40.78
2073	28.00	83.73	29.70	30.28	58.47	27.59	22.09	37.16	35.39	41.58
2074	52.59	62.22	33.41	60.39	29.40	57.01	26.34	20.42	30.73	52.94
2075	46.26	41.21	30.78	20.85	55.62	29.02	24.07	30.19	45.00	43.64
2076	38.15	61.54	41.37	25.50	48.92	24.79	19.94	19.82	50.37	81.58
2077	55.72	42.21	33.24	32.78	74.94	51.01	27.32	37.24	46.17	44.09
2078	50.92	32.57	46.32	40.89	42.54	70.93	107.60	21.22	62.76	65.70
2079	34.09	32.18	46.07	29.25	39.60	22.18	27.67	23.70	59.90	24.17
2080	27.11	58.08	34.74	56.80	27.08	42.45	37.55	28.85	50.58	51.03
2081	29.41	33.96	31.37	57.10	37.88	27.08	31.54	29.86	77.98	90.52
2082	51.98	49.97	37.54	26.39	54.63	24.45	33.72	30.98	28.14	35.31
2083	63.28	48.75	45.88	34.52	47.52	63.44	32.24	31.17	85.24	52.08
2084	28.82	52.21	37.79	29.77	29.29	34.75	42.81	48.13	51.82	31.56
2085	56.32	46.89	43.73	31.81	33.40	33.14	66.57	20.77	68.72	29.96
2086	37.52	72.49	23.82	58.74	44.63	51.17	40.14	35.14	51.09	37.80
2087	36.94	55.88	51.52	47.36	56.91	30.44	31.79	27.84	36.81	46.76
2088	42.50	24.62	29.01	16.44	22.98	31.49	31.91	24.02	85.25	37.71
2089	31.02	48.02	16.26	29.42	143.45	29.40	32.89	21.19	54.95	58.01
2090	42.11	59.81	55.42	35.77	32.12	29.04	21.67	27.07	41.12	33.29
2091	31.02	52.92	21.08	25.93	47.46	28.95	53.79	53.28	66.82	26.03
2092	54.39	58.21	24.54	34.92	45.72	60.95	35.87	24.82	56.01	20.87
2093	73.39	58.11	55.67	32.71	27.26	53.84	39.15	37.81	42.8	43.46
2094	28.74	28.44	38.77	38.21	50.96	24.39	50.57	19.91	36.15	23.12
2095	58.83	40.14	35.46	22.24	48.16	25.7	53.46	16.19	68.06	17.48
2096	54.69	29.43	35.26	32.57	34.75	44.59	30.63	21.89	58.7	39.99
2097	58.26	32.97	48.63	33.93	47.3	30.65	117.25	27.46	42.66	37.32
2098	74.31	23.97	24.6	31.25	79.08	30.39	30.27	52.46	28.49	34.95
2099	45.72	54.83	28.77	41.28	61.79	32.61	38.94	28.1	40.22	27.57

**Tablo 3.4.** 2025-2099 dönemi için 10 GCM'nin yanlılık düzeltmesine tabi tutulmuş SSP5-8.5 gelecek senaryosu projeksiyonlarına ait yıllık maksimum günlük yağış değerleri (mm/gün)

Yıl	SSP585 (Şiddetli) Gelecek Senaryo									
	ACCESS-CM2	ACCESS-ESM1-5	EC-Earth3-Veg	FGOALS-g3	GFDL-ESM4	MIROC6	MPI-ESM1-2-HR	MPI-ESM1-2-LR	MRI-ESM2-0	TaiESM1
2025	34.98	40.19	27.05	33.09	62.92	29.75	37.28	35.89	48.90	35.95
2026	40.96	38.25	41.02	30.79	37.25	59.95	55.98	48.94	61.51	36.02
2027	21.23	39.52	28.35	34.56	37.30	20.83	45.13	47.26	27.11	25.10
2028	40.30	38.68	51.58	36.55	49.35	38.20	28.42	32.57	31.35	22.79
2029	15.33	95.61	32.53	38.12	70.26	54.38	17.12	57.68	20.24	53.13
2030	40.79	27.79	37.68	40.22	39.04	40.17	33.06	19.41	22.19	37.50
2031	42.52	44.26	30.95	48.59	47.76	18.26	22.86	22.47	38.43	44.47
2032	36.81	58.63	61.06	42.96	34.64	84.14	21.34	30.61	37.68	69.50
2033	42.46	59.35	38.20	35.78	40.01	26.35	33.07	35.78	56.25	24.14
2034	31.83	31.95	163.16	53.54	40.67	37.21	19.84	20.98	45.14	41.77
2035	40.18	37.58	20.89	33.03	41.09	65.83	29.93	31.28	34.81	112.43
2036	40.23	43.98	23.54	43.59	41.87	59.83	25.74	17.41	45.96	44.41
2037	34.65	36.05	22.56	33.06	41.92	31.23	52.57	28.63	48.34	28.49
2038	32.87	39.56	27.22	45.75	45.18	30.35	41.83	22.41	37.96	30.76
2039	29.16	28.75	27.56	51.63	79.08	38.14	24.61	30.23	34.30	29.22
2040	33.19	52.82	19.91	27.21	41.98	33.32	31.98	25.85	37.21	34.36
2041	43.64	43.98	52.47	42.90	37.82	36.32	42.83	23.64	37.83	121.52
2042	43.49	37.47	33.14	36.43	68.40	33.88	33.50	30.52	56.94	47.45
2043	60.84	53.68	27.19	37.06	48.37	41.26	71.00	22.57	45.05	31.78
2044	38.66	56.31	40.88	76.76	78.97	53.75	31.75	18.71	59.11	37.36
2045	39.10	58.71	43.34	26.51	36.82	42.41	42.37	27.94	30.58	35.10
2046	33.01	25.85	23.43	38.73	29.11	27.92	21.86	32.33	75.75	47.01
2047	27.15	38.98	32.25	54.22	35.79	25.34	36.17	32.09	41.88	34.52
2048	23.31	43.25	28.13	28.84	48.30	44.21	33.92	24.06	56.63	28.60
2049	54.16	91.28	32.73	20.78	45.07	52.06	43.43	45.00	73.88	62.90
2050	36.72	31.76	40.34	33.44	37.54	93.91	23.93	27.01	60.73	30.49
2051	36.34	52.63	24.44	27.92	70.01	31.02	50.22	38.67	70.43	57.23
2052	32.41	63.11	24.16	35.17	43.92	42.20	33.01	29.33	31.79	41.26
2053	23.88	43.11	53.38	38.80	45.56	43.97	30.68	31.15	42.97	37.68
2054	31.42	35.69	29.31	51.83	35.12	49.65	42.04	41.71	59.31	62.79
2055	35.61	56.59	42.89	29.01	59.80	25.65	31.72	18.94	50.73	41.23
2056	40.79	78.06	63.02	26.60	30.32	35.29	34.10	40.91	49.62	42.37
2057	35.02	65.53	39.43	31.99	52.34	38.01	35.51	22.14	25.47	32.86
2058	36.54	45.33	18.73	44.17	120.03	38.54	28.83	31.71	48.55	57.52
2059	35.68	40.89	41.67	34.53	51.61	52.53	18.26	27.52	46.58	51.90
2060	32.38	76.07	38.08	34.41	31.42	45.25	55.37	28.85	62.66	29.26
2061	30.96	67.04	43.47	43.92	56.59	51.98	27.13	34.13	53.72	29.12
2062	45.20	25.76	55.19	33.86	46.65	37.78	74.01	36.73	34.45	45.27
2063	77.02	49.86	65.04	26.05	65.60	79.54	20.92	29.32	59.18	25.94
2064	33.68	37.20	29.51	28.34	32.19	21.01	35.77	30.17	38.47	32.77
2065	24.83	61.89	48.87	39.44	43.75	46.27	46.39	17.85	37.58	37.74
2066	24.62	30.03	31.44	30.94	40.50	86.54	34.67	26.99	47.90	19.70
2067	56.95	40.49	37.57	29.90	54.72	34.91	24.99	22.96	34.67	38.49
2068	42.71	41.85	50.48	27.92	26.98	30.13	39.25	24.64	73.28	31.17

**Tablo 3.4.** devamı

Yıl	SSP585 (Şiddetli) Gelecek Senaryo									
	ACCESS-CM2	ACCESS-ESM1-5	EC-Earth3-Veg	FGOALS-g3	GFDL-ESM4	MIROC6	MPI-ESM1-2-HR	MPI-ESM1-2-LR	MRI-ESM2-0	TaiESM1
2069	47.33	67.95	72.41	22.14	39.86	27.36	41.23	38.20	28.75	33.75
2070	37.68	46.53	19.66	23.48	43.64	74.92	30.16	42.11	54.44	42.16
2071	42.94	111.45	35.76	34.64	26.08	90.37	24.98	27.80	42.15	61.92
2072	53.79	34.38	42.32	56.55	40.18	33.99	24.07	21.06	59.28	86.15
2073	25.71	39.16	37.29	35.86	33.73	30.61	33.56	44.13	73.64	62.83
2074	37.23	50.01	24.68	25.89	50.88	49.84	43.36	40.46	64.11	39.47
2075	60.30	40.53	25.20	46.91	30.97	36.07	35.72	35.03	46.00	52.08
2076	65.44	32.76	73.99	45.41	50.91	40.56	29.56	23.63	60.09	49.10
2077	33.10	26.23	33.69	40.43	39.84	46.32	46.27	30.85	54.26	34.01
2078	42.37	28.59	31.10	26.09	71.69	24.40	22.49	24.88	76.45	49.59
2079	25.70	39.88	52.38	24.42	39.03	37.17	26.61	47.41	32.51	56.83
2080	29.70	35.91	28.11	39.84	65.52	47.29	51.68	29.84	44.35	62.56
2081	42.06	25.48	43.25	33.13	69.88	48.64	31.41	60.36	61.61	81.06
2082	33.01	55.02	51.40	47.40	41.25	83.71	48.51	44.67	112.23	40.78
2083	28.04	60.00	33.49	25.63	29.25	49.01	39.80	42.92	41.50	33.55
2084	45.10	71.75	42.30	20.55	22.11	23.22	21.50	43.96	40.41	26.05
2085	83.83	49.15	26.96	27.06	32.97	30.57	56.92	45.07	46.81	68.08
2086	27.34	44.23	27.07	69.37	66.34	86.85	23.26	39.63	40.29	30.17
2087	30.83	82.32	74.75	45.95	30.43	26.45	32.14	18.13	98.97	39.67
2088	46.96	28.52	52.40	44.28	47.90	39.67	34.79	33.20	61.41	42.02
2089	26.58	31.68	23.94	44.39	54.70	36.17	27.46	26.61	42.44	34.46
2090	55.08	49.53	25.68	35.01	57.41	45.53	52.07	34.71	65.39	56.12
2091	42.85	34.76	57.07	43.6	35.35	25.62	20.91	55.79	86.27	44.4
2092	39.92	70.93	44.2	53.35	47.67	36.91	47.73	42.22	54.27	62.56
2093	43.76	50.44	29.8	75.51	50.16	46.58	27.13	41.09	58.85	49.66
2094	30.57	80.7	26.6	29.41	33.57	29.59	37.91	29.83	68.97	26.74
2095	36.6	33.91	31.19	51.59	50.24	32.45	92.69	39.4	38.38	55.41
2096	24.05	44.28	66.39	36.79	75.93	33.46	31.96	29.07	34.84	55.28
2097	51.51	109.49	40.68	47.64	29.8	53.18	48.79	45.89	61.93	58.15
2098	54.25	30.89	37.97	38.49	46.82	40.41	36.38	41	25.95	63.78
2099	55.64	52.69	39.84	51.25	77.54	37.82	43.56	25.56	26.66	47.37

### 3.2.2. Yağış Frekans Analizi

Frekans analizi, belirli bir bölgede yağışın büyüklüğü ile tekrarlanma olasılığı arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bu analiz, uzun dönemli yağış verilerini temel alarak belirli büyüklükteki yağışların hangi sıklıkla meydana gelebileceğini tahmin etmeye yardımcı olur. Özellikle su kaynakları yönetimi, taşkın planlaması ve altyapı tasarımı gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Frekans analizlerinde kullanılan verilerin güvenilirliği, uzun süreyi kapsamaması, ekstrem değerlerin seçimi ve uygun olasılık dağılımının belirlenmesi, analiz sonuçlarının doğruluğu ve güvenilirliği üzerinde doğrudan etkilidir. Bu çalışmada ekstrem yağış

miktarları; log-normal (iki parametrelili), log-normal (üç parametrelili), log-Pearson tip III ve Gumbel PDF'leri ile hesaplanmıştır. Ölçülen veya gözlenen verilere en iyi şekilde uyum sağlayan PDF'in belirlenmesinde bazı uygunluk testleri uygulanmaktadır. Bu çalışmada Kolmogorov-Smirnov testi kullanılmıştır.

1933 yılında Andrey Kolmogorov tarafından tek örnek için önerilen bu test, 1939 yılında Vladimir Smirnov tarafından iki bağımsız örnek için geliştirilmiş olup, benzerlikleri nedeniyle uygulamada Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testleri olarak anılmaktadır. Bu test, gözlenen bir verinin istatistiksel yöntemlerle belirlenen dağılımla ne kadar uyumlu olduğunu kontrol etmek için kullanılmaktadır (Kumanlıoğlu ve Ersoy, 2018).

Log-Normal dağılımı (2 parametrelili); bir rastgele değişkenin doğal logaritmasının normal dağıldığı bir olasılık dağılımıdır. Log-normal dağılımının iki parametrelili olasılık dağılım fonksiyonu Eşitlik 3.6'da verilmiştir. Burada  $x$ , 0'dan büyük rastgele bir değişken olmak üzere,  $\sigma$ ,  $x$  değişkeninin logaritmik standart sapmasını,  $\mu$  ise  $x$  değişkeninin logaritmik ortalamasıdır.

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.6)$$

Log-Normal dağılımı (3 parametrelili); bir rastgele değişkenin doğal logaritmasının normal dağılım gösterdiği ve aynı zamanda bir kaydırma parametresinin de bulunduğu bir olasılık dağılımıdır. Üç parametrelili log-normal dağılımı, kaydırılmış bir log-normal dağılımını ifade eder ve dağılım fonksiyonu Eşitlik 3.7'de verilmiştir. Burada  $a$ ,  $x$ 'ten küçük bir kaydırma parametresidir. Verilerin sıfırdan daha büyük olmasını sağlar.

$$f(x) = \frac{1}{(x - a)\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x-a) - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.7)$$

Hidrolojik analizlerde kullanılan dağılım yöntemlerinden biri olan Log-Pearson tip III dağılımı formülü Eşitlik 3.8'de verilmiştir. Burada  $a$ ,  $\beta$  ve  $\xi$  dağılım parametreleridir.

$$f(x) = |\beta| [\beta(x - \xi)]^{a-1} \frac{\exp\{-\beta[\ln(x) - \xi]\}}{a\Gamma(a)} \quad (3.8)$$

Ekstrem dağılım yöntemlerinden olan Gumbel dağılımına ait olasılık fonksiyonu ve eklenik dağılım fonksiyonu sırası ile Eşitlik 3.9 ve Eşitlik 3.10'da verilmiştir. Burada  $a$  ve  $\xi$  dağılım parametreleridir.

$$f(x) = \frac{1}{a} \exp \left[ -\frac{x - \xi}{a} - \exp \left( -\frac{x - \xi}{a} \right) \right] \quad (3.9)$$

$$F(x) = \exp \left[ -\exp \left( -\frac{x - \xi}{a} \right) \right] \quad (3.10)$$

1950-2014 yılları arasına ait istasyon ölçüm verileri ile 10 GCM'nin yıllık düzeltilmesi uygulanmış CMIP6 tarihsel deney senaryosu kapsamındaki yağış simülasyon verileri ve 2025-2099 yılları arasına ait 10 GCM'nin SSP2-4.5 ile SSP5-8.5 senaryolarına ilişkin yağış projeksiyonları kullanılarak, dört farklı yıllık ekstrem veri seti için yağış frekans analizleri yapılmıştır. Çalışmada, ölçüm verileri ile her bir GCM'nin tarihsel ve gelecek yağış tahminleri için yıllık maksimum günlük yağış değerleri elde edilerek; 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıl tekerrür periyotlarında frekans analizleri dört farklı dağılım fonksiyonu ile hesaplanmıştır.

Dağılım fonksiyonlarının uygunluğu %5 anlamlılık düzeyinde Kolmogorov-Smirnov testi ile değerlendirilmiştir. Kolmogorov-Smirnov testine göre,  $D_{\text{mak}}$  değeri en küçük olan dağılım fonksiyonu en uygun dağılım fonksiyonu olarak seçilmiştir.  $D_{\text{mak}}$ , gözlenen verilerin kümülatif dağılım fonksiyonu ile teorik dağılım fonksiyonu arasındaki maksimum mutlak farkı temsil etmektedir. Bu değer, gözlenen ve teorik dağılım arasındaki uyumsuzluğun büyüklüğünü göstermekte olup,  $D_{\text{mak}}$  değerinin küçük olması model uyumunun daha iyi olduğunu ifade etmektedir. 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıl tekerrür periyotlarına ilişkin yağış frekans analizi sonuçları; istasyon ölçüm verileri ve 10 GCM'nin CMIP6 tarihsel deney senaryosu verileri için Tablo 3.5'te, SSP2-4.5 senaryosu için Tablo 3.6'da ve SSP5-8.5 senaryosu için ise Tablo 3.7'de sunulmuştur.

Frekans analizleri sonrasında 10 GCM'nin en uygun dağılım fonksiyonları belirlenerek medyan, ortalama, maksimum ve minimum değerleri hesaplanmıştır. Tüm iklim senaryosu karşılaştırmaları, uç değerlerin sonuçlar üzerindeki aşırı etkisini önlemek ve daha güvenilir bir değerlendirme sağlamak amacıyla modellerin medyan değerleri üzerinden yapılmıştır. Hesaplamalara ait sonuçlar CMIP6 tarihsel deney, SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için sırasıyla Tablo 3.8, Tablo 3.9 ve Tablo 3.10'da verilmiştir.

**Tablo 3.5.** İstasyon ölçüm verileri ile 10 GCM için CMIP6 tarihsel deney senaryosu altında elde edilen yağış frekans analiz sonuçları (mm/gün)

	Dağılım Fonksiyonu	Tekerrür Periyodu (yıl)						Kabul Edilen	D <sub>mak</sub>	
		5	10	25	50	100	200			500
Ağrı MGİ	Log-normal (2 parametrelili)	39.82	46.68	55.32	61.72	68.11	74.52	83.05		0.0869
	Log-normal (3 parametrelili)	39.65	46.61	55.49	62.13	68.83	75.59	84.67		0.0849
	Log-Pearson tip 3	38.79	46.27	56.66	65.11	74.20	84.02	98.30	***	0.0741
	Gumbel	40.76	48.22	57.64	64.63	71.57	78.48	87.60		0.0798
ACCESS-CM2	Log-normal (2 parametrelili)	46.81	55.31	66.08	74.12	82.19	90.32	101.20		0.0866
	Log-normal (3 parametrelili)	46.29	55.05	66.49	75.24	84.19	93.37	105.88		0.0985
	Log-Pearson tip 3	46.56	55.14	66.21	74.62	83.17	91.92	103.88		0.0813
	Gumbel	48.08	57.22	68.77	77.33	85.84	94.31	105.49	***	0.0686
ACCESS-ESM1-5	Log-normal (2 parametrelili)	49.49	57.99	68.68	76.59	84.50	92.41	102.96	***	0.0455
	Log-normal (3 parametrelili)	50.13	58.15	67.80	74.68	81.36	87.88	96.34		0.0537
	Log-Pearson tip 3	50.17	58.39	68.26	75.26	82.00	88.55	96.98		0.0597
	Gumbel	50.63	59.86	71.53	80.18	88.77	97.32	108.61		0.0556
EC-Earth3-Veg	Log-normal (2 parametrelili)	42.80	49.28	57.28	63.11	68.87	74.58	82.11	***	0.0746
	Log-normal (3 parametrelili)	40.94	48.14	58.26	66.50	75.34	84.78	98.24		0.0848
	Log-Pearson tip 3	40.91	47.88	57.76	65.95	74.89	84.71	99.23		0.0755
	Gumbel	43.48	50.67	59.76	66.50	73.19	79.86	88.65		0.0877
FGOALS-g3	Log-normal (2 parametrelili)	43.82	51.35	60.83	67.84	74.85	81.86	91.21	***	0.0597
	Log-normal (3 parametrelili)	42.84	50.82	61.51	69.86	78.53	87.55	100.02		0.0865
	Log-Pearson tip 3	42.80	50.68	61.35	69.83	78.78	88.29	101.83		0.0811
	Gumbel	44.84	53.02	63.35	71.01	78.62	86.20	96.21		0.0665
GFDL-ESM4	Log-normal (2 parametrelili)	46.44	54.33	64.22	71.53	78.83	86.13	95.84		0.0863
	Log-normal (3 parametrelili)	45.92	54.08	64.68	72.73	80.94	89.31	100.68		0.0724
	Log-Pearson tip 3	45.37	53.82	65.36	74.61	84.44	94.94	110.02	***	0.0602
	Gumbel	47.48	56.06	66.89	74.93	82.91	90.86	101.35		0.0922

**Tablo 3.5.** devamı

	Dağılım Fonksiyonu	Tekerrür Periyodu (yıl)						Kabul Edilen	D <sub>mak</sub>	
		5	10	25	50	100	200			500
MIROC6	Log-normal (2 parametrelili)	44.02	51.31	60.42	67.14	73.82	80.50	89.36	0.0936	
	Log-normal (3 parametrelili)	43.68	51.17	60.74	67.95	75.22	82.59	92.51	0.0865	
	Log-Pearson tip 3	42.96	50.83	61.58	70.22	79.41	89.25	103.38	***	0.0722
	Gumbel	44.93	52.90	62.96	70.43	77.84	85.22	94.96	0.0907	
MPI-ESM1-2-HR	Log-normal (2 parametrelili)	40.26	46.90	55.19	61.29	67.37	73.43	81.47	0.0724	
	Log-normal (3 parametrelili)	39.76	46.67	55.64	62.48	69.44	76.55	86.21	***	0.0557
	Log-Pearson tip 3	39.35	46.43	56.05	63.72	71.83	80.46	92.80	0.0609	
	Gumbel	41.09	48.34	57.51	64.31	71.06	77.79	86.66	0.0783	
MPI-ESM1-2-LR	Log-normal (2 parametrelili)	35.65	40.09	45.45	49.27	52.98	56.62	61.34	0.0709	
	Log-normal (3 parametrelili)	36.08	40.01	44.41	47.37	50.12	52.70	55.91	0.0622	
	Log-Pearson tip 3	36.01	40.34	45.36	48.83	52.10	55.23	59.19	***	0.0587
	Gumbel	35.94	41.04	47.48	52.26	57.00	61.73	67.96	0.0610	
MRI-ESM2-0	Log-normal (2 parametrelili)	46.80	54.04	63.01	69.57	76.06	82.50	91.01	0.0738	
	Log-normal (3 parametrelili)	46.50	53.93	63.34	70.33	77.35	84.41	93.85	0.0699	
	Log-Pearson tip 3	45.81	53.70	64.38	72.87	81.83	91.36	104.93	***	0.0574
	Gumbel	47.59	55.60	65.72	73.22	80.68	88.10	97.90	0.0679	
TaiESM1	Log-normal (2 parametrelili)	42.08	48.36	56.09	61.71	67.26	72.76	79.99	0.0620	
	Log-normal (3 parametrelili)	42.60	48.40	55.19	59.92	64.44	68.78	74.31	0.0550	
	Log-Pearson tip 3	42.65	48.64	55.63	60.48	65.06	69.44	74.98	***	0.0469
	Gumbel	42.72	49.70	58.52	65.07	71.56	78.04	86.58	0.0499	

**Tablo 3.6.** 10 GCM için SSP2-4.5 gelecek senaryosu altında elde edilen yağış frekans analiz sonuçları (mm/gün)

	Dağılım Fonksiyonu	Tekerrür Periyodu (yıl)						Kabul Edilen	D <sub>mak</sub>	
		5	10	25	50	100	200			500
ACCESS-CM2	Log-normal (2 parametrelili)	53.97	63.04	74.41	82.81	91.18	99.54	110.67		0.0718
	Log-normal (3 parametrelili)	54.12	63.10	74.24	82.42	90.52	98.58	109.23		0.0701
	Log-Pearson tip 3	53.85	63.24	75.28	84.37	93.59	102.98	115.78		0.0744
	Gumbel	55.02	64.82	77.22	86.41	95.54	104.63	116.63	***	0.0573
ACCESS-ESM1-5	Log-normal (2 parametrelili)	58.31	67.47	78.85	87.18	95.43	103.64	114.49		0.0606
	Log-normal (3 parametrelili)	58.46	67.52	78.65	86.74	94.70	102.58	112.93		0.0565
	Log-Pearson tip 3	58.64	67.52	78.21	85.86	93.26	100.50	109.90	***	0.0520
	Gumbel	59.21	69.24	81.91	91.30	100.63	109.93	122.19		0.0574
EC-Earth3-Veg	Log-normal (2 parametrelili)	45.54	52.74	61.69	68.25	74.75	81.22	89.77	***	0.0590
	Log-normal (3 parametrelili)	45.66	52.78	61.53	67.90	74.18	80.39	88.55		0.0631
	Log-Pearson tip 3	45.46	52.83	62.12	69.04	75.97	82.97	92.38		0.0602
	Gumbel	46.26	54.13	64.08	71.45	78.78	86.08	95.70		0.0641
FGOALS-g3	Log-normal (2 parametrelili)	47.14	54.99	64.82	72.07	79.29	86.50	96.08		0.0500
	Log-normal (3 parametrelili)	46.85	54.88	65.11	72.77	80.50	88.31	98.80	***	0.0450
	Log-Pearson tip 3	46.58	54.77	65.53	73.84	82.41	91.31	103.67		0.0471
	Gumbel	48.03	56.53	67.27	75.24	83.16	91.04	101.44		0.0627
GFDL-ESM4	Log-normal (2 parametrelili)	59.83	70.86	84.87	95.34	105.87	116.49	130.73	***	0.0358
	Log-normal (3 parametrelili)	57.71	69.48	85.84	99.01	113.03	127.89	148.92		0.0604
	Log-Pearson tip 3	58.05	69.38	84.97	97.55	110.99	125.43	146.24		0.0466
	Gumbel	61.37	73.10	87.93	98.92	109.84	120.71	135.06		0.0579
MIROC6	Log-normal (2 parametrelili)	48.12	56.36	66.72	74.38	82.04	89.70	99.91		0.1092
	Log-normal (3 parametrelili)	47.62	56.13	67.16	75.53	84.05	92.74	104.53		0.0978
	Log-Pearson tip 3	46.57	55.58	68.24	78.67	90.00	102.37	120.55	***	0.0771
	Gumbel	49.11	57.99	69.21	77.54	85.80	94.03	104.89		0.1119

**Tablo 3.6.** devamı

	Dağılım Fonksiyonu	Tekerrür Periyodu (yıl)						Kabul Edilen	$D_{mak}$	
		5	10	25	50	100	200			500
<b>MPI-ESMI-2-HR</b>	Log-normal (2 parametrelili)	49.74	60.10	73.54	83.77	94.19	104.81	119.24	0.0820	
	Log-normal (3 parametrelili)	47.75	58.65	74.09	86.71	100.30	114.85	135.69	0.0543	
	Log-Pearson tip 3	46.81	57.58	73.72	87.79	103.82	122.13	150.47	***	0.0359
	Gumbel	51.58	62.37	76.02	86.14	96.19	106.20	119.41	0.1050	
<b>MPI-ESMI-2-LR</b>	Log-normal (2 parametrelili)	38.78	44.80	52.27	57.73	63.14	68.51	75.60	***	0.0423
	Log-normal (3 parametrelili)	38.51	44.70	52.57	58.43	64.33	70.26	78.22	0.0447	
	Log-Pearson tip 3	38.23	44.60	52.96	59.44	66.12	73.08	82.75	0.0537	
	Gumbel	39.35	45.96	54.31	60.50	66.64	72.77	80.85	0.0490	
<b>MRI-ESM2-0</b>	Log-normal (2 parametrelili)	66.63	80.08	97.43	110.56	123.90	137.46	155.81	0.0631	
	Log-normal (3 parametrelili)	64.64	78.75	98.25	113.89	130.46	147.99	172.73	0.0706	
	Log-Pearson tip 3	65.50	78.60	95.93	109.41	123.36	137.90	158.15	***	0.0595
	Gumbel	68.88	82.97	100.77	113.97	127.08	140.14	157.37	0.0830	
<b>TaiESMI</b>	Log-normal (2 parametrelili)	55.46	65.46	78.15	87.59	97.08	106.62	119.39	0.0830	
	Log-normal (3 parametrelili)	54.56	64.99	78.79	89.46	100.46	111.82	127.42	***	0.0675
	Log-Pearson tip 3	54.16	64.52	78.57	89.76	101.58	114.15	132.05	0.0712	
	Gumbel	56.80	67.49	80.99	91.01	100.95	110.86	123.93	0.1001	

**Tablo 3.7.** 10 GCM için SSP5-8.5 gelecek senaryosu altında elde edilen yağış frekans analiz sonuçları (mm/gün)

	Dağılım Fonksiyonu	Tekerrür Periyodu (yıl)						Kabul Edilen	D <sub>mak</sub>	
		5	10	25	50	100	200			500
ACCESS-CM2	Log-normal (2 parametrelili)	48.22	55.11	63.56	69.69	75.70	81.64	89.43	0.0770	
	Log-normal (3 parametrelili)	47.87	55.00	63.99	70.65	77.31	83.99	92.89	***	0.0668
	Log-Pearson tip 3	48.02	54.90	63.39	69.62	75.78	81.92	90.08		0.0831
	Gumbel	48.75	56.42	66.11	73.30	80.43	87.54	96.92		0.0812
ACCESS-ESM1-5	Log-normal (2 parametrelili)	62.43	73.63	87.79	98.33	108.91	119.54	133.77		0.0827
	Log-normal (3 parametrelili)	62.16	73.50	88.03	98.97	110.02	121.21	136.29		0.0783
	Log-Pearson tip 3	60.87	72.96	89.74	103.38	118.03	133.86	156.83	***	0.0582
	Gumbel	63.91	75.88	91.00	102.21	113.34	124.44	139.07		0.0870
EC-Earth3-Veg	Log-normal (2 parametrelili)	53.09	65.26	81.34	93.74	106.52	119.70	137.78		0.1043
	Log-normal (3 parametrelili)	49.18	61.80	80.94	97.52	116.15	136.92	167.93		0.0869
	Log-Pearson tip 3	49.37	61.25	79.26	95.12	113.34	134.32	167.11	***	0.0710
	Gumbel	55.66	68.15	83.93	95.64	107.27	118.85	134.13		0.1341
FGOALS-g3	Log-normal (2 parametrelili)	47.10	53.59	61.51	67.23	72.82	78.34	85.55	***	0.0417
	Log-normal (3 parametrelili)	46.84	53.52	61.86	68.00	74.10	80.18	88.24		0.0502
	Log-Pearson tip 3	46.65	53.46	62.17	68.73	75.38	82.17	91.43		0.0544
	Gumbel	47.55	54.82	64.00	70.81	77.57	84.31	93.19		0.0520
GFDL-ESM4	Log-normal (2 parametrelili)	59.36	68.74	80.39	88.92	97.38	105.79	116.92		0.0622
	Log-normal (3 parametrelili)	58.36	68.28	81.27	91.24	101.45	111.92	126.23		0.0496
	Log-Pearson tip 3	58.10	68.04	81.36	91.86	102.87	114.49	130.93	***	0.0479
	Gumbel	60.30	70.55	83.50	93.11	102.64	112.14	124.68		0.0689
MIROC6	Log-normal (2 parametrelili)	55.82	66.25	79.54	89.49	99.51	109.63	123.21		0.0613
	Log-normal (3 parametrelili)	55.76	66.22	79.59	89.62	99.74	109.97	123.73		0.0605
	Log-Pearson tip 3	54.54	65.68	81.06	93.51	106.84	121.18	141.90	***	0.0467
	Gumbel	57.32	68.39	82.38	92.76	103.06	113.33	126.87		0.0805

**Tablo 3.7.** devamı

	Dağılım Fonksiyonu	Tekerrür Periyodu (yıl)						Kabul Edilen	D <sub>mak</sub>	
		5	10	25	50	100	200			500
<b>MPI-ESM1-2-HR</b>	Log-normal (2 parametrelili)	46.08	53.89	63.68	70.92	78.15	85.37	94.99	***	0.0479
	Log-normal (3 parametrelili)	45.46	53.59	64.20	72.31	80.60	89.09	100.65		0.0489
	Log-Pearson tip 3	45.27	53.43	64.32	72.85	81.76	91.13	104.30		0.0524
	Gumbel	46.99	55.42	66.07	73.98	81.82	89.63	99.94		0.0551
<b>MPI-ESM1-2-LR</b>	Log-normal (2 parametrelili)	40.33	45.84	52.55	57.40	62.14	66.81	72.91		0.0665
	Log-normal (3 parametrelili)	40.70	45.85	51.85	56.02	59.99	63.79	68.64	***	0.0571
	Log-Pearson tip 3	40.49	46.10	52.91	57.83	62.63	67.36	73.56		0.0623
	Gumbel	40.70	46.88	54.68	60.48	66.22	71.95	79.51		0.0595
<b>MRI-ESM2-0</b>	Log-normal (2 parametrelili)	62.50	72.49	84.91	94.03	103.07	112.07	123.99		0.0622
	Log-normal (3 parametrelili)	62.81	72.57	84.50	93.13	101.60	109.94	120.87		0.0565
	Log-Pearson tip 3	62.84	72.74	84.87	93.65	102.24	110.74	121.89	***	0.0487
	Gumbel	63.52	74.42	88.18	98.39	108.53	118.62	131.95		0.0530
<b>TaiESM1</b>	Log-normal (2 parametrelili)	58.42	69.32	83.19	93.58	104.04	114.60	128.77		0.0520
	Log-normal (3 parametrelili)	57.23	68.63	83.93	95.91	108.37	121.33	139.30	***	0.0422
	Log-Pearson tip 3	56.70	68.14	84.03	96.96	110.88	125.93	147.80		0.0439
	Gumbel	59.98	71.55	86.17	97.02	107.78	118.51	132.66		0.0738

**Tablo 3.8.** 10 GCM için CMIP6 tarihsel deney senaryosu altında elde edilen en iyi dağılım fonksiyonları ve bu fonksiyonlara ilişkin temel istatistiksel değerler (mm/gün)

GCM	Tekerrür Periyodu (yıl)							En İyi Dağılım Fonksiyonu
	5	10	25	50	100	200	500	
ACCESS-CM2	48.08	57.22	68.77	77.33	85.84	94.31	105.49	Gumbel
ACCESS-ESM1-5	49.49	57.99	68.68	76.59	84.50	92.41	102.96	Log-normal (2 parametrelili)
EC-Earth3-Veg	42.80	49.28	57.28	63.11	68.87	74.58	82.11	Log-normal (2 parametrelili)
FGOALS-g3	43.82	51.35	60.83	67.84	74.85	81.86	91.21	Log-normal (2 parametrelili)
GFDL-ESM4	45.37	53.82	65.36	74.61	84.44	94.94	110.02	Log-Pearson tip 3
MIROC6	42.96	50.83	61.58	70.22	79.41	89.25	103.38	Log-Pearson tip 3
MPI-ESM1-2-HR	39.76	46.67	55.64	62.48	69.44	76.55	86.21	Log-normal (3 parametrelili)
MPI-ESM1-2-LR	36.01	40.34	45.36	48.83	52.10	55.23	59.19	Log-Pearson tip 3
MRI-ESM2-0	45.81	53.70	64.38	72.87	81.83	91.36	104.93	Log-Pearson tip 3
TaiESM1	42.65	48.64	55.63	60.48	65.06	69.44	74.98	Log-Pearson tip 3
Medyan	43.39	51.09	61.21	69.03	77.13	85.56	97.09	
Ortalama	43.67	50.98	60.35	67.44	74.63	81.99	92.05	
Minimum	36.01	40.34	45.36	48.83	52.10	55.23	59.19	
Maksimum	49.49	57.99	68.77	77.33	85.84	94.94	110.02	

**Tablo 3.9.** 10 GCM için SSP2-4.5 gelecek senaryosu altında elde edilen en iyi dağılım fonksiyonları ve bu fonksiyonlara ilişkin temel istatistiksel değerler (mm/gün)

GCM	Tekerrür Periyodu (yıl)						En İyi Dağılım Fonksiyonu	
	5	10	25	50	100	200		500
ACCESS-CM2	55.02	64.82	77.22	86.41	95.54	104.63	116.63	Gumbel
ACCESS-ESM1-5	58.64	67.52	78.21	85.86	93.26	100.50	109.90	Log-Pearson tip 3
EC-Earth3-Veg	45.54	52.74	61.69	68.25	74.75	81.22	89.77	Log-normal (2 parametrelî)
FGOALS-g3	46.85	54.88	65.11	72.77	80.50	88.31	98.80	Log-normal (3 parametrelî)
GFDL-ESM4	59.83	70.86	84.87	95.34	105.87	116.49	130.73	Log-normal (2 parametrelî)
MIROC6	46.57	55.58	68.24	78.67	90.00	102.37	120.55	Log-Pearson tip 3
MPI-ESM1-2-HR	46.81	57.58	73.72	87.79	103.82	122.13	150.47	Log-Pearson tip 3
MPI-ESM1-2-LR	38.78	44.80	52.27	57.73	63.14	68.51	75.60	Log-normal (2 parametrelî)
MRI-ESM2-0	65.50	78.60	95.93	109.41	123.36	137.90	158.15	Log-Pearson tip 3
TaiESM1	54.56	64.99	78.79	89.46	100.46	111.82	127.42	Log-normal (3 parametrelî)
Medyan	50.71	61.20	75.47	86.13	94.40	103.50	118.59	
Ortalama	51.81	61.24	73.61	83.17	93.07	103.39	117.80	
Minimum	38.78	44.80	52.27	57.73	63.14	68.51	75.60	
Maksimum	65.50	78.60	95.93	109.41	123.36	137.90	158.15	

**Tablo 3.10.** 10 GCM için SSP5-8.5 gelecek senaryosu altında elde edilen en iyi dağılım fonksiyonları ve bu fonksiyonlara ilişkin temel istatistiksel değerler (mm/gün)

GCM	Tekerrür Periyodu (yıl)							En İyi Dağılım Fonksiyonu
	5	10	25	50	100	200	500	
ACCESS-CM2	47.87	55.00	63.99	70.65	77.31	83.99	92.89	Log-normal (3 parametrelili)
ACCESS-ESM1-5	60.87	72.96	89.74	103.38	118.03	133.86	156.83	Log-Pearson tip 3
EC-Earth3-Veg	49.37	61.25	79.26	95.12	113.34	134.32	167.11	Log-Pearson tip 3
FGOALS-g3	47.10	53.59	61.51	67.23	72.82	78.34	85.55	Log-normal (2 parametrelili)
GFDL-ESM4	58.10	68.04	81.36	91.86	102.87	114.49	130.93	Log-Pearson tip 3
MIROC6	54.54	65.68	81.06	93.51	106.84	121.18	141.90	Log-Pearson tip 3
MPI-ESM1-2-HR	46.08	53.89	63.68	70.92	78.15	85.37	94.99	Log-normal (2 parametrelili)
MPI-ESM1-2-LR	40.70	45.85	51.85	56.02	59.99	63.79	68.64	Log-normal (3 parametrelili)
MRI-ESM2-0	62.84	72.74	84.87	93.65	102.24	110.74	121.89	Log-Pearson tip 3
TaiESM1	57.23	68.63	83.93	95.91	108.37	121.33	139.30	Log-normal (3 parametrelili)
Medyan	51.95	63.47	80.16	92.69	102.56	112.62	126.41	
Ortalama	52.47	61.76	74.13	83.82	94.00	104.74	120.00	
Minimum	40.70	45.85	51.85	56.02	59.99	63.79	68.64	
Maksimum	62.84	72.96	89.74	103.38	118.03	134.32	167.11	

### 3.2.3. Sentetik Birim Hidrograf Kullanılarak Yinelemeli Nehir Yatağı Akımlarının Belirlenmesi

Birim hidrograf, bir havzanın belirli bir süre boyunca meydana gelen birim etkin yağışa verdiği yüzey akış tepkisini gösteren bir yöntemdir. Bu yöntem, havzanın fiziksel özelliklerini ve yağışın yüzey akışına dönüşme sürecini temsil eder. Birim hidrograf, taşkın yönetimi, drenaj sistemleri tasarımı ve hidrolojik/hidrodinamik modelleme gibi uygulamalarda kullanılarak farklı büyüklükteki yağışların havza üzerindeki etkilerinin hesaplanmasında temel bir araçtır. Akarsu havzasında yeterli akım gözlem verisi bulunmadığında, yağış-akış ilişkisine dayalı sentetik birim hidrograf yöntemleri taşkın debilerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır (Sönmez ve ark., 2012). Mockus, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) ve Snyder sık kullanılan sentetik yöntemlerden bazılarıdır.

Mockus yöntemi, hesaplama pratikliği sayesinde, akım gözlem istasyonu bulunmayan havzalardaki akarsuların debilerini belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Mockus yöntemi, toplanma zamanı 30 saate kadar olan ve 1000 km<sup>2</sup>'den küçük drenaj alanları için uygulanabilmektedir (DSİ, 2012; Özdemir, 1978). DSİ sentetik birim hidrograf yöntemi de Mockus yönteminde olduğu gibi 1000 km<sup>2</sup>'den küçük drenaj alanları için uygulanmakta olup, her iki yöntemin büyük havzalarda kullanılması durumunda havzanın küçük parçalara bölünerek birim hidrograflar oluşturulması gerekmektedir (Demir ve Keskin, 2022). Sentetik birim hidrograf oluşturmada diğer bir yöntem ise Snyder yöntemidir. Snyder yöntemi, akım gözlem verisi bulunmayan havzalarda taşkın akımlarını tahmin etmek için kullanılan, havzanın fiziksel özelliklerine dayalı birim hidrograf yöntemi olup 25000 km<sup>2</sup>'ye kadar olan drenaj alanlarında uygulanabilmektedir. Bu çalışmada, Snyder yöntemi kullanılarak birim hidrograf analizleri gerçekleştirilmiş ve yinelemeli nehir yatağı akımları hesaplanmıştır.

Snyder, 1938 yılında ABD'nin kuzeydoğu bölgesinde, 26 ile 26000 km<sup>2</sup> arasında değişen havzalarda yaptığı çalışmalarda yağış-akış ölçümlerine dayanan standart bir birim hidrograf elde etmiştir (Snyder, 1938). Snyder tarafından geliştirilen ve birçok ülkede kullanılan bu yöntem ile birim hidrograf analizleri halen yapılmaya devam etmektedir. Snyder, geliştirmiş olduğu birim hidrografi taban süresi, pik debi ve havza gecikmesi ile tanımlamıştır. Snyder, geliştirdiği bu birim hidrografta etkili yağış süresi ( $t_r$ ) ile havza gecikme süresi ( $t_p$ ) arasındaki ilişkiyi Eşitlik 3.11'deki gibi ifade etmiştir.

$$t_r = \frac{t_p}{5.5} \quad (3.11)$$

Havza gecikme süresini havza karakteristiklerine bağlı olarak Eşitlik 3.12'deki gibi hesaplanmaktadır. Burada;  $L$  akarsu ana kol uzunluğu (km),  $L_c$  havza çıkışından havza ağırlık merkezine kadar olan ana kol uzunluğunu (km) ve  $C_t$  ise havza karakteristiklerine bağlı bir katsayıyı ifade etmektedir.

$$t_p = 0.752 C_t (L L_c)^{0.3} \quad (3.12)$$

Etkili yağış süresi tam sayı çıkmadığı durumlarda, hidrograf analizlerini pratikleştirmek amacıyla en yakın tam sayıya yuvarlanır. Bu işlem sonrasında düzenlenmiş havza gecikme süresi Eşitlik 3.13 ile hesaplanmaktadır. Burada  $t_R$

yuvarlanmış etkili yağış süresini,  $t_{pR}$  ise düzenlenmiş havza gecikme süresini ifade etmektedir.

$$t_{pR} = t_p + 0.25(t_R - t_r) \quad (3.13)$$

Havza verimi ( $q_v$ ) (lt/s/km<sup>2</sup>/mm) Eşitlik 3.14'te verildiği gibi hesaplanmaktadır. Burada  $C_p$  havza karakteristiklerine bağlı başka bir katsayıdır.

$$q_v = 276 \frac{C_p}{t_{pR}} \quad (3.14)$$

Pik taşkın debisi ( $Q_p$ ) (m<sup>3</sup>/s/mm) Eşitlik 3.15'teki gibi hesaplanmaktadır. Burada  $A$  havza alanını (km<sup>2</sup>) ifade etmektedir.

$$Q_p = A q_v 10^{-3} \quad (3.15)$$

Hidrograf taban süresi ( $T_b$ ) (gün) Eşitlik 3.16'daki gibi hesaplanmaktadır

$$T_b = 3 + 3 \frac{t_{pR}}{24} \quad (3.16)$$

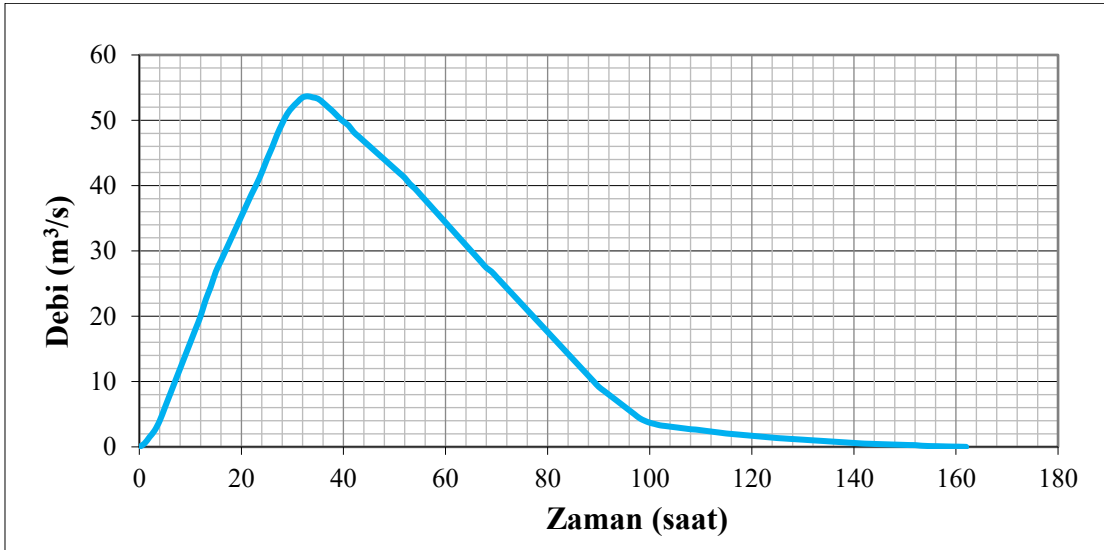
Snyder birim hidrografi tarif etmiş olduğu parametre değerini bu denklemler ile elde etmiştir. Bu üç parametre (havza gecikme süresi, taban süresi ve pik debi) ile birim hidrograf çizilebilir hale gelmiştir. Birim hidrografın çizilmesine yardımcı olmak için hidrograf genişliği pik debinin %50'si ve %75'i olarak tahmin edilmekte, genişlik genellikle üçte biri pikten önce, üçte ikisi pikten sonra olacak şekilde dağıtılmaktadır (Jena ve Tiwari, 2006). Hidrografın çizilmesinde pik debinin %75'i ve %50'sine karşılık gelen genişlikler ( $W_{75}$  ve  $W_{50}$ ) Eşitlik 3.17 ve Eşitlik 3.18'de verildiği gibi hesaplanmaktadır. Burada genişlikler saat biriminden olup  $q_v$  (lt/s/km<sup>2</sup>/mm) ise havza verimidir.

$$W_{75} = 1.22 \left( \frac{q_v}{100} \right)^{-1.08} \quad (3.17)$$

$$W_{50} = 2.15 \left( \frac{q_v}{100} \right)^{-1.08} \quad (3.18)$$

Çalışmada 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılarak havza ve nehir yatağı karakteristikleri belirlenmiştir. 10561.60 km<sup>2</sup> yağış alanına sahip olan havzada nehir yatağı ana kol uzunluğu 244.88 km, havza çıkışından havza ağırlık merkezine kadar olan ana kol uzunluğu ise 104.71 km olarak ölçülmüştür. Havza karakteristiklerine bağlı olarak,  $C_t$  ve  $C_p$  katsayıları sırasıyla 1.88 ve 0.55 olarak alınmıştır.  $t_p$  değeri Eşitlik 3.12 kullanılarak 29.72 saat olarak hesaplanırken,  $t_r$  değeri Eşitlik 3.11'e göre 5.40 saat bulunmuş ve 6 saat olarak kabul edilmiştir.  $t_{pR}$  değeri, Eşitlik 3.13 kullanılarak 29.87 saat olarak hesaplanmıştır.

$q_v$  değeri Eşitlik 3.14 kullanılarak 5.08 lt/s/km<sup>2</sup>/mm olarak,  $Q_p$  değeri Eşitlik 3.15 kullanılarak 53.67 m<sup>3</sup>/s/mm olarak ve  $T_b$  değeri Eşitlik 3.16 kullanılarak 6.73 gün (161.61 saat) olarak hesaplanmıştır. Hidrografın çiziminde, pik debinin %75 ve %50'sine karşılık gelen genişlikler Eşitlik 3.17 ve 3.18 kullanılarak sırasıyla 30.47 saat ve 53.69 saat olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu Snyder yöntemi ile elde edilen birim hidrograf Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Snyder yöntemi ile elde edilen birim hidrograf (BH<sub>6</sub>)

Birim hidrografın oluşturulmasının ardından, yağış frekans analizi ile elde edilen yağış değerlerine bağlı olarak havzada meydana gelecek akım değerlerinin hesaplanmasına geçilmiştir. Yağış frekans analizi kapsamında Ağrı MGİ ölçüm verileri kullanılarak yapılan hesaplamalarda, en uygun dağılım fonksiyonunun Log-Pearson tip

III olduğu belirlenmiş; farklı tekerrür periyotlarına ait yağış değerleri Tablo 3.11’de sunulmuştur. Hesaplamalarda kullanılan Ağrı MGİ’ye ait plüviyograf katsayıları MGM’den temin edilmiş ve bu değerler Tablo 3.12’de verilmiştir. Ayrıca, hesaplamalarda kullanılan bir diğer parametre olan yağışın alansal dağılım katsayıları, Özdemir (1978)’de verilen değerlerden alınmış, havza alanına bağlı olarak belirlenmiş ve Tablo 3.13’te sunulmuştur.

**Tablo 3.11.** Ağrı MGİ ölçüm verileri ile hesaplanan farklı tekerrür periyotlarına ait yağış değerleri (Log-Pearson tip III) (mm/gün)

Analiz Periyodu	Tekerrür Periyodu (yıl)					
	5	10	25	50	100	500
1950-2014	38.79	46.27	56.66	65.11	74.20	98.30

**Tablo 3.12.** Ağrı MGİ plüviyograf katsayıları

Zaman (saat)									
0.5	1	2	3	4	6	8	12	18	24
0.42	0.49	0.57	0.60	0.64	0.69	0.74	0.81	0.88	1.00

**Tablo 3.13.** Yağışın alansal dağılım katsayıları

Zaman (saat)									
0.5	1	2	3	4	6	8	12	18	24
0.57	0.65	0.72	0.78	0.80	0.84	0.84	0.86	0.89	0.91

Ağrı MGİ ölçüm verileri kullanılarak farklı periyotlar için hesaplanan yağış değerleri, plüviyograf katsayıları, yağışın alansal dağılım katsayıları ve 1.13 maksimizasyon katsayısı ile çarpılarak düzeltilmiştir. Düzeltilmiş ve maksimize edilmiş yinelemeli yağış değerleri Tablo 3.14’te verilmiştir.

**Tablo 3.14.** Düzeltilmiş ve maksimize edilmiş yinelemeli yağış değerleri (mm)

Tekerrür Periyodu (yıl)	Zaman (saat)									
	0.5	1	2	3	4	6	8	12	18	24
5	10.42	14.05	17.76	20.65	22.38	25.31	27.21	30.42	34.20	39.88
10	12.43	16.77	21.19	24.64	26.70	30.19	32.47	36.29	40.80	47.58
25	15.22	20.53	25.95	30.17	32.69	36.97	39.76	44.44	49.96	58.27
50	17.49	23.59	29.82	34.67	37.57	42.49	45.69	51.07	57.41	66.96
100	19.93	26.88	33.98	39.51	42.81	48.42	52.06	58.20	65.42	76.30
200	22.56	30.44	38.48	44.74	48.48	54.83	58.96	65.91	74.08	86.40
500	26.40	35.61	45.02	52.34	56.72	64.14	68.97	77.10	86.66	101.08

Yağışın akışa geçme potansiyelini ifade eden havza eğri numarası CN 83 olarak seçilmiştir. Havza depolama kapasitesi ( $S$ ) Eşitlik 3.19 kullanılarak 52.02 mm olarak hesaplanmıştır.

$$S = \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) 25.4 \quad (3.19)$$

Yağışın meydana getirdiği akış yüksekliği Eşitlik 3.20 ile hesaplanmıştır. Burada  $P$  (mm/saat) akış yüksekliği ve  $Q$  (mm) ise maksimize edilmiş yağış değerinin yağışın toplam yağışa oranı ile çarpılması sonucu elde edilen yağış derinliğini ifade etmektedir.

$$P = \frac{(Q - 0.2S)^2}{(Q - 0.2S) + S} \quad (3.20)$$

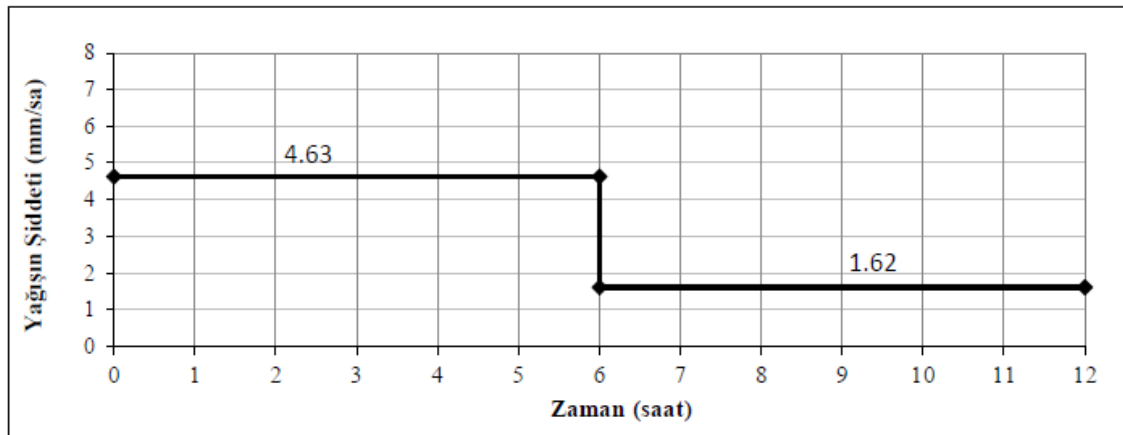
Havza alanı, Türkiye kritik yağış sürelerine göre 12 saatlik kritik yağış süresi içerisinde yer almakta olup, yağışın zaman içindeki dağılımına göre A bölgesi kapsamında yer almaktadır. (Özdemir, 1978). Bu kapsamda, öncelikle zamanın toplam zamana oranı belirlenmiş, ardından bu orana karşılık gelen yağışın toplam yağışa oranı ilgili bağıntı eğrisinden yararlanılarak elde edilmiştir. Havza için hesaplanan etkili yağış süresi 6 saat olup, 6 saat ötelemeli 12 saat süreli yağış meydana gelecektir. Bu yağışların meydana getirdiği akış yükseklikleri farklı yinleme dönemlerindeki yağışlar için hesaplanmış olup Tablo 3.15'te detaylandırılmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda toplam 12 saat süren yağışın ilk 6 saatlik periyodunda yağışın %84'ü gerçekleşmesi ve bu süreçte 500 yıllık tekerrür periyodu için 27.78 mm'lik akış yüksekliği oluşması beklenmektedir. Bunu izleyen 6 saatte ise ek olarak 9.69 mm'lik akış yüksekliği meydana geleceği hesaplanmıştır. 500 yıllık tekerrür periyodu için hazırlanan hiyetoğraf Şekil 3.6'da verilmiştir.

Elde edilen artım yağış değerleri, birim hidrograf ordinatları ile çarpılarak her bir zaman dilimine karşılık gelen doğrudan akış bileşenleri hesaplanmıştır. Çalışmada toplam 12 saatlik yağış süreci iki eşit zaman dilimine (0-6 saat ve 6-12 saat) ayrılmıştır. Bu yağışlara karşılık gelen akış bileşenlerinden ikinci periyoda ait olan hidrograf, 6 saat süreyle zaman eksenini boyunca ötelenmiş ve süperpozisyon ilkesi uygulanarak birinci periyot akışları ile toplanmış, böylece toplam taşkın hidrografi elde edilmiştir.

**Tablo 3.15.** Akışın zaman içindeki dağılımı

Periyot (Yıl)	Yağış (mm)	Saatler	Zamanın Toplam Zamana Oranı	Yağışın Toplam Yağışa Oranı (A)	Yağış (mm)	Akış (mm/saat)	Artım Akış (mm/saat)
500	77.10	6	0.50	0.84	64.76	27.78	27.78
		12	1.00	1.00	77.10	37.47	9.69
200	65.91	6	0.50	0.84	55.36	20.84	20.84
		12	1.00	1.00	65.91	28.65	7.81
100	58.20	6	0.50	0.84	48.89	16.36	16.36
		12	1.00	1.00	58.20	22.89	6.52
50	51.07	6	0.50	0.84	42.90	12.49	12.49
		12	1.00	1.00	51.07	17.84	5.35
25	44.44	6	0.50	0.84	37.33	9.18	9.18
		12	1.00	1.00	44.44	13.46	4.28
10	36.29	6	0.50	0.84	30.49	5.59	5.59
		12	1.00	1.00	36.29	8.60	3.01
5	30.42	6	0.50	0.84	25.55	3.42	3.42
		12	1.00	1.00	30.42	5.56	2.15

**Şekil 3.6.** 500 yıllık 12 saat süreli yağış hiyetografı

SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 gelecek dönem senaryolarına ait taşkın hidrograflarının elde edilebilmesi için, CMIP6 tarihsel deney senaryosuna ait tekerrürlü yağış değerleri ile gelecek projeksiyonlarına ait tekerrürlü yağış değerleri arasındaki değişim oranlarının belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen bu değişim oranları, istasyon verilerinden elde edilen tekerrürlü yağış değerleri ile çarpılarak yeni tekerrürlü yağış değerleri elde edilmiş ve bu değerler kullanılarak gelecek dönemlere ait taşkın hidrografları oluşturulmuştur.



## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. CMIP6 Senaryoları Altında Yağış Ortalamalarında Öngörülen Değişikliklerin Değerlendirilmesi

Çalışmada kullanılan 10 GCM'nin 1950-2014 yılları arasına ait yıllık düzeltmesine tabi tutulmuş CMIP6 tarihsel deney senaryosu simülasyonlarının mevsimsel ve yıllık ortalama değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Aynı dönemde Ağrı MGİ ölçüm değerlerinin GCM tahmin değerleri ile ne derecede uyumlu olduğunu görmek amacıyla mevsimsel ve yıllık ortalama yağışlar Tablo 4.2'de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada, 10 GCM'nin CMIP6 tarihsel deney senaryosu altında elde edilen mevsimsel ve yıllık ortalamaların medyan değerleri kullanılmıştır. Tablo 4.2 incelendiğinde, modellerin medyan değerleri ile istasyona ait ölçüm ortalamaları arasında kayda değer bir fark gözlemlenmemiştir. Bu durum, modellerin tahmin sonuçlarının güvenilir ve tutarlı olduğunu ortaya koymaktadır.

**Tablo 4.1.** GCM'lerin CMIP6 tarihsel deney senaryosu altında mevsimsel ve yıllık ortalama yağış değerleri (mm/gün)

GCM	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	Yıllık
ACCESS-CM2	1.32	1.47	2.12	0.91	1.45
ACCESS-ESM1-5	1.33	1.46	2.13	0.92	1.46
EC-Earth3-Veg	1.32	1.45	2.12	0.90	1.45
FGOALS-g3	1.33	1.47	2.15	0.93	1.47
GFDL-ESM4	1.31	1.47	2.15	0.92	1.46
MIROC6	1.32	1.47	2.13	0.93	1.47
MPI-ESM1-2-HR	1.30	1.45	2.10	0.87	1.43
MPI-ESM1-2-LR	1.30	1.48	2.12	0.86	1.44
MRI-ESM2-0	1.33	1.48	2.14	0.92	1.47
TaiESM1	1.32	1.47	2.12	0.91	1.46

**Tablo 4.2.** İstasyon ölçümleri ile 10 GCM için tarihsel deney senaryosu altında elde edilen yağış değerlerinin mevsimsel ve yıllık ortalama bazında karşılaştırılması (mm/gün)

Mevsimler	İstasyon Verileri	CMIP6 Tarihsel Deney Senaryosu	Hata Oranı
	1950-2014	1950-2014	
Sonbahar	1.29	1.32	%2.30
Kış	1.44	1.47	%1.82
İlkbahar	2.10	2.13	%0.99
Yaz	0.88	0.92	%3.47
Yıllık	1.43	1.46	%1.88

Modellerin 2025-2099 yılları arasındaki gelecek dönem yağış tahminleri, SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 olmak üzere iki farklı senaryo altında elde edilmiştir. GCM'lerin tarihsel ve gelecek dönem yağış projeksiyonlarının medyan mevsimsel ve yıllık ortalamaları karşılaştırılmış ve 1950-2014 dönemi yağış ortalamalarının 2025-2049, 2050-2074, 2075-2099 ve 2025-2099 periyotlarında nasıl değişebileceği değerlendirilmiştir. Orta şiddetli gelecek iklim senaryosu olan SSP2-4.5'e ait mevsimsel ve yıllık ortalama yağış değişimleri Tablo 4.3'te, şiddetli gelecek iklim senaryosu olan SSP5-8.5'e ait mevsimsel ve yıllık ortalama yağış değişimleri ise Tablo 4.4'te verilmiştir.

İlgili tablolar incelendiğinde; kısa, orta ve uzun vadede 25'er yıllık periyotlara bakıldığında SSP2-4.5 senaryosunda sonbahar ve yaz mevsimi yağışlarının kademeli olarak azalacağı öngörülmektedir. Özellikle, 2075-2099 periyodunda yaz mevsimi yağışları, tarihsel 1950-2014 periyoduna göre %16.4 oranında azalma göstermektedir.

İlkbahar ve kış mevsimlerinde ise gelecek dönem yağış ortalamalarında önemli artışlar meydana geleceği değerlendirilmiştir. En yüksek artış, %13.1 oranı ile 2075-2099 yılları arasında kış ayları için elde edilmiştir.

SSP5-8.5 senaryosun altında ise SSP2-4.5 senaryosuna benzer şekilde, genel olarak sonbahar ve yaz ayları yağışlarında azalma, ilkbahar ve kış aylarında ise artış meydana geleceği öngörülmektedir. Bu şiddetli değişim senaryosunda 2075-2099 dönemi ortalamaları dikkat çekmektedir. Bu dönemde kış ayları yağışlarında %29.5'lik bir artış, yaz ayları için ise %31.8'lik bir azalma meydana geleceği değerlendirilmiştir.

Yıllık bazda karşılaştırma yapıldığında ise her iki senaryoda da kayda değer bir değişim gözlemlenmemiş olup, yağış ortalamaları birbirine oldukça yakındır. Ancak, mevsimsel ortalamalar bazında yıllık ortalamaların aksine belirgin farklılıklar öngörülmüştür.

Yıllık bazda karşılaştırma yapıldığında ise her iki senaryoda da kayda değer bir değişim gözlemlenmemiş olup, yağış ortalamaları birbirine oldukça yakındır. Ancak, mevsimsel ortalamalar bazında yıllık ortalamaların aksine belirgin farklılıklar öngörülmüştür.

**Tablo 4.3.** CMIP6 tarihsel deney senaryosu ile SSP2-4.5 gelecek senaryosu yağış projeksiyonlarının medyan mevsimsel ve yıllık yağış ortalamalarının karşılaştırılması (mm/gün)

Mevsimler	CMIP6 Tarihsel Deney Senaryosu			SSP2-4.5 (Orta Şiddetli) Gelecek Senaryo					
	1950-2014	2025-2049		2050-2074		2075-2099		2025-2099	
Sonbahar	1.32	1.23	(%-6.8)	1.20	(%-9.2)	1.20	(%-9.3)	1.16	(%-11.9)
Kış	1.47	1.52	(%3.6)	1.57	(%7.1)	1.66	(%13.1)	1.63	(%11.2)
İlkbahar	2.13	2.09	(%-1.5)	2.18	(%2.7)	2.32	(%9.1)	2.19	(%3.0)
Yaz	0.91	0.88	(%-3.3)	0.83	(%-8.8)	0.77	(%-16.4)	0.87	(%-4.6)
Yıllık	1.46	1.43	(%-1.7)	1.45	(%-0.7)	1.49	(%1.9)	1.46	(%0.5)

**Tablo 4.4.** CMIP6 tarihsel deney senaryosu ile SSP5-8.5 gelecek senaryosu yağış projeksiyonlarının medyan mevsimsel ve yıllık yağış ortalamalarının karşılaştırılması (mm/gün)

Mevsimler	CMIP6 Tarihsel Deney Senaryosu			SSP5-8.5 (Şiddetli) Gelecek Senaryo					
	1950-2014	2025-2049		2050-2074		2075-2099		2025-2099	
Sonbahar	1.32	1.28	(%-2.9)	1.17	(%-11.5)	1.19	(%-10.0)	1.22	(%-7.3)
Kış	1.47	1.56	(%5.9)	1.54	(%5.0)	1.90	(%29.5)	1.68	(%14.5)
İlkbahar	2.13	2.12	(%-0.1)	2.26	(%6.4)	2.21	(%4.0)	2.19	(%3.3)
Yaz	0.91	0.91	(%-0.4)	0.82	(%-10.5)	0.62	(%-31.8)	0.81	(%-11.1)
Yıllık	1.46	1.47	(%0.7)	1.45	(%-0.7)	1.48	(%1.5)	1.48	(%1.4)

#### 4.2. Yağış Frekans Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4 farklı PDF kullanılarak gerçekleştirilen 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıllık tekerrür periyotlarına ait yağış frekans analiz sonuçlarının özeti Tablo 4.5'te verilmiştir. İlgili tabloda 1950-2014 dönemi için, 500 yıllık tekerrürlü yağışa ait analiz sonuçlarına göre en iyi dağılım fonksiyonları baz alınarak elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde, istasyon ölçüm verileri ile CMIP6 tarihsel deney senaryosu altında elde edilen medyan değerlerin sırasıyla 98.30 mm/gün ve 97.09 mm/gün olduğu görülmektedir. 1950-2014 dönemi için benzer şekilde değerlendirilen diğer tekerrür periyotlarında da GCM'lerden elde edilen sonuçların, istasyon ölçüm değerleri ile yüksek düzeyde uyum göstermesi, hem modellerin hem de medyan değerlendirme yönteminin güvenilir ve tutarlı çıktılar ürettiğini ortaya koymaktadır. Bu sebeple CMIP6 tarihsel deney senaryosu altında en iyi PDF'ler kullanılarak elde edilen medyan değerler baz senaryo olarak değerlendirmeye alınmış olup, gelecek projeksiyonlardaki yinelemeli yağış değişim oranları buna göre değerlendirilmiştir.

Bu doğrultuda, gelecek senaryolarda 500 yıllık tekerrürlü yağış, SSP2-4.5 senaryosu için 118.59 mm/gün, SSP5-8.5 senaryosunda ise 126.41 mm/gün olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda, CMIP6 tarihsel deney senaryosu sonuçlarına göre gelecek projeksiyonlardaki artış miktarları Tablo 4.6'da verilmiştir. Tablo 4.6 incelendiğinde, en iyi dağılım fonksiyonları dikkate alınarak hesaplanan medyan 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıllık tekerrürlü yağış miktarlarında, SSP2-4.5 senaryosu için %16.9 ile %24.8 arasında değişen oranlarda artışlar söz konusu iken, SSP5-8.5 senaryosunda %19.7 ile %34.3 arasında değişen oranlarda artışlar öngörülmüştür.

Su yapılarının tasarımında sıklıkla kullanılan 50, 100 ve 500 yıllık ekstrem yağışlar incelendiğinde; 2025-2099 dönemi 50 yıllık ekstrem yağış değerinde SSP2-4.5 senaryosu altında %24.8'lik bir artış, SSP5-8.5 senaryosu altında ise %34.3'lük bir artış beklenmektedir. 100 yıllık ekstrem yağış değerinde SSP2-4.5 senaryosu altında %22.4'lük bir artış, SSP5-8.5 senaryosu altında ise %33,0'lük bir artış beklenmektedir. 500 yıllık ekstrem yağış değerinde ise SSP2-4.5 senaryosu altında %22.1 ve SSP5-8.5 senaryosu altında %30.2 oranlarında artışlar olabileceği değerlendirilmiştir.

**Tablo 4.5.** CMIP6 senaryoları altında yıllık maksimum günlük yağışların muhtelif tekerrür medyan değerleri (mm/gün)

Dağılım Fonksiyonu	Veri Seti	Analiz Periyodu	Tekerrür Periyodu (yıl)					
			5	10	25	50	100	500
Log-normal (2 parametrelili)	İstasyon Verileri	1950-2014	39.82	46.68	55.32	61.72	68.11	83.05
	CMIP6 Tarihsel Deney Senaryosu	1950-2014	43.92	51.33	60.62	67.49	74.33	90.18
	SSP2-4.5	2025-2099	51.86	61.57	73.98	83.29	92.68	101.59
	SSP5-8.5	2025-2099	54.46	65.76	79.96	89.21	98.45	120.07
Log-normal (3 parametrelili)	İstasyon Verileri	1950-2014	39.65	46.61	55.49	62.13	68.83	84.67
	CMIP6 Tarihsel Deney Senaryosu	1950-2014	43.26	50.99	61.13	68.90	76.35	95.09
	SSP2-4.5	2025-2099	50.93	60.87	74.17	84.56	92.61	111.08
	SSP5-8.5	2025-2099	52.47	64.01	80.27	90.43	100.59	122.30
Log-Pearson tip 3	İstasyon Verileri	1950-2014	38.79	46.27	56.66	65.11	74.20	98.30
	CMIP6 Tarihsel Deney Senaryosu	1950-2014	42.88	50.75	61.47	70.02	79.10	100.53
	SSP2-4.5	2025-2099	50.33	60.41	74.50	85.11	93.42	118.16
	SSP5-8.5	2025-2099	51.95	63.47	80.16	92.69	102.56	126.41
Gumbel	İstasyon Verileri	1950-2014	40.76	48.22	57.64	64.63	71.57	87.60
	CMIP6 Tarihsel Deney Senaryosu	1950-2014	44.89	52.96	63.15	70.72	78.23	95.58
	SSP2-4.5	2025-2099	53.30	63.60	76.62	86.28	95.86	118.02
	SSP5-8.5	2025-2099	56.49	68.27	82.94	92.93	102.85	125.78
En İyi Fonksiyon Dağılımı	İst. Verileri ( <i>Log-Pearson tip 3</i> )	1950-2014	38.79	46.27	56.66	65.11	74.20	98.30
	CMIP6 Tarihsel Deney Senaryosu	1950-2014	43.39	51.09	61.21	69.03	77.13	97.09
	SSP2-4.5	2025-2099	50.71	61.20	75.47	86.13	94.40	118.59
	SSP5-8.5	2025-2099	51.95	63.47	80.16	92.69	102.56	126.41

**Tablo 4.6.** CMIP6 senaryoları altında yıllık maksimum günlük yağışların muhtelif tekerrür medyan değerlerinin karşılaştırılması (mm/gün)

Tekerrür Periyodu	Dağılım Fonksiyonu	CMIP6 Tarihsel Deney Senaryosu	SSP2-4.5	SSP5-8.5
5	Log-normal (2 parametrelili)	43.92	51.86	54.46
	Log-normal (3 parametrelili)	43.26	50.93	52.47
	Log-Pearson tip 3	42.88	50.33	51.95
	Gumbel	44.89	53.30	56.49
	<b>En İyi PDF</b>	<b>43.39</b>	<b>50.71 (%16.9)</b>	<b>51.95 (%19.7)</b>
10	Log-normal (2 parametrelili)	51.33	61.57	65.76
	Log-normal (3 parametrelili)	50.99	60.87	64.01
	Log-Pearson tip 3	50.75	60.41	63.47
	Gumbel	52.96	63.60	68.27
	<b>En İyi PDF</b>	<b>51.09</b>	<b>61.20 (%19.8)</b>	<b>63.47 (%24.2)</b>
25	Log-normal (2 parametrelili)	60.62	73.98	79.96
	Log-normal (3 parametrelili)	61.13	74.17	80.27
	Log-Pearson tip 3	61.47	74.50	80.16
	Gumbel	63.15	76.62	82.94
	<b>En İyi PDF</b>	<b>61.21</b>	<b>75.47 (%23.3)</b>	<b>80.16 (%31.0)</b>
50	Log-normal (2 parametrelili)	67.49	83.29	89.21
	Log-normal (3 parametrelili)	68.90	84.56	90.43
	Log-Pearson tip 3	70.02	85.11	92.69
	Gumbel	70.72	86.28	92.93
	<b>En İyi PDF</b>	<b>69.03</b>	<b>86.13 (%24.8)</b>	<b>92.69 (%34.3)</b>
100	Log-normal (2 parametrelili)	74.33	92.68	98.45
	Log-normal (3 parametrelili)	76.35	92.61	100.59
	Log-Pearson tip 3	79.10	93.42	102.56
	Gumbel	78.23	95.86	102.85
	<b>En İyi PDF</b>	<b>77.13</b>	<b>94.40 (%22.4)</b>	<b>102.56 (%33.0)</b>
200	Log-normal (2 parametrelili)	81.18	101.59	107.71
	Log-normal (3 parametrelili)	84.59	100.58	109.96
	Log-Pearson tip 3	88.42	102.68	112.62
	Gumbel	85.71	105.41	112.74
	<b>En İyi PDF</b>	<b>85.56</b>	<b>103.50 (%21.0)</b>	<b>112.62 (%31.6)</b>
500	Log-normal (2 parametrelili)	90.18	112.58	120.07
	Log-normal (3 parametrelili)	95.09	111.08	122.30
	Log-Pearson tip 3	100.53	118.16	126.41
	Gumbel	95.58	118.02	125.78
	<b>En İyi PDF</b>	<b>97.09</b>	<b>118.59 (%22.1)</b>	<b>126.41 (%30.2)</b>

Gelecek döneme ilişkin yağış artışı değerlendirmelerinin ardından, bu artışların akım üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla istasyon verilerinden elde edilen tekerrürlü yağış değerleri, Tablo 4.6’da verilen yağış artış oranları ile çarpılarak yeni yağış değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler Tablo 4.7’de sunulmuştur. Söz konusu değerler kullanılarak akım hesapları tekrarlanmış ve gelecek dönem için taşkın hidrografları oluşturulmuştur.

**Tablo 4.7.** Akım hesaplarında kullanılan tekerrürlü yağış değerleri

İklim Senaryosu		Tekerrür Periyodu (yıl)						
		5	10	25	50	100	200	500
İst. Verileri (Log-Pearson tip 3)	Yağış (mm/gün)	38.79	46.27	56.66	65.11	74.20	84.02	98.30
	Artış Oranı	%16.9	%19.8	%23.3	%24.8	%22.4	%21.0	%22.1
SSP2-4.5	Yağış (mm/gün)	45.33	55.43	69.87	81.25	90.82	101.65	120.06
	Artış Oranı	%19.7	%24.2	%31.0	%34.3	%33.0	%31.6	%30.2
SSP5-8.5	Yağış (mm/gün)	46.44	57.48	74.21	87.43	98.67	110.60	127.98
	Artış Oranı	%19.7	%24.2	%31.0	%34.3	%33.0	%31.6	%30.2

### 4.3. Gelecek Projeksiyonlarda Nehir Yatağı Akımlarının Değerlendirilmesi

İstasyon ölçüm verileri ile gelecek SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları altında elde edilen 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıllık tekerrürlü taşkın hidrografları, istasyon ölçüm verileri için Şekil 4.1’de, SSP2-4.5 senaryosu için Şekil 4.2’de ve SSP5-8.5 senaryosu için Şekil 4.3’te sunulmuştur. Taşkın hidrograflarına göre maksimum debi değerlerinin karşılaştırılması Tablo 4.8’de verilmiştir. Tablo 4.8 incelendiğinde, SSP2-4.5 senaryosunda %38.0 ile %52.0 arasında değişen artışlar söz konusu iken, SSP5-8.5 senaryosunda %52.3 ile %72.3 arasında değişen oranlarda artışlar elde edilmiştir.

SSP2-4.5 senaryosunda özellikle 25 yıllık tekerrür periyodunda pik debinin %52.0 oranında artarak 1075.95 m<sup>3</sup>/s değerine ulaşacağı öngörülmektedir. Bu durum, daha düşük tekerrür periyotlarına sahip taşkınların dahi geçmişte daha nadir görülen büyük taşkınlara benzer büyüklüklere ulaşarak mevcut hidrolik yapıların tasarım kapasitelerini zorlayabileceğini ve taşkın riskini artırabileceğini göstermektedir. En uç senaryo olan SSP5-8.5 değerleri incelendiğinde, artış oranlarının %72.3 seviyelerine kadar çıktığı görülmektedir.

Tablodaki en dikkat çekici bulgu, düşük tekerrür periyotlarındaki (5, 10, 25 ve 50 yıl) artış oranlarının yüksek periyotlara göre oransal olarak daha belirgin olmasıdır. Örneğin, SSP5-8.5 senaryosunda 50 yıllık tekerrür debisindeki %72.3’lük artış, havzadaki mevcut taşkın koruma yapılarının ve drenaj sistemlerinin tasarım kapasitelerinin kısa sürede yetersiz kalabileceğine göstermektedir.

Taşkın hesaplarında ve hidrolik yapıların tasarımında sıklıkla kullanılan 500 yıllık tekerrürlü istasyon ölçüm verileri ile gelecek SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına ait taşkın hidrografları Şekil 4.4’te verilmiştir. İstasyon ölçüm verileri ile SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına ait maksimum debiler sırasıyla 1974.82 m<sup>3</sup>/s, 2745.40 m<sup>3</sup>/s ve 3007.58 m<sup>3</sup>/s’dir. Bu sonuçlar, mevcut istasyon verilerine dayalı olarak tasarlanan hidrolik

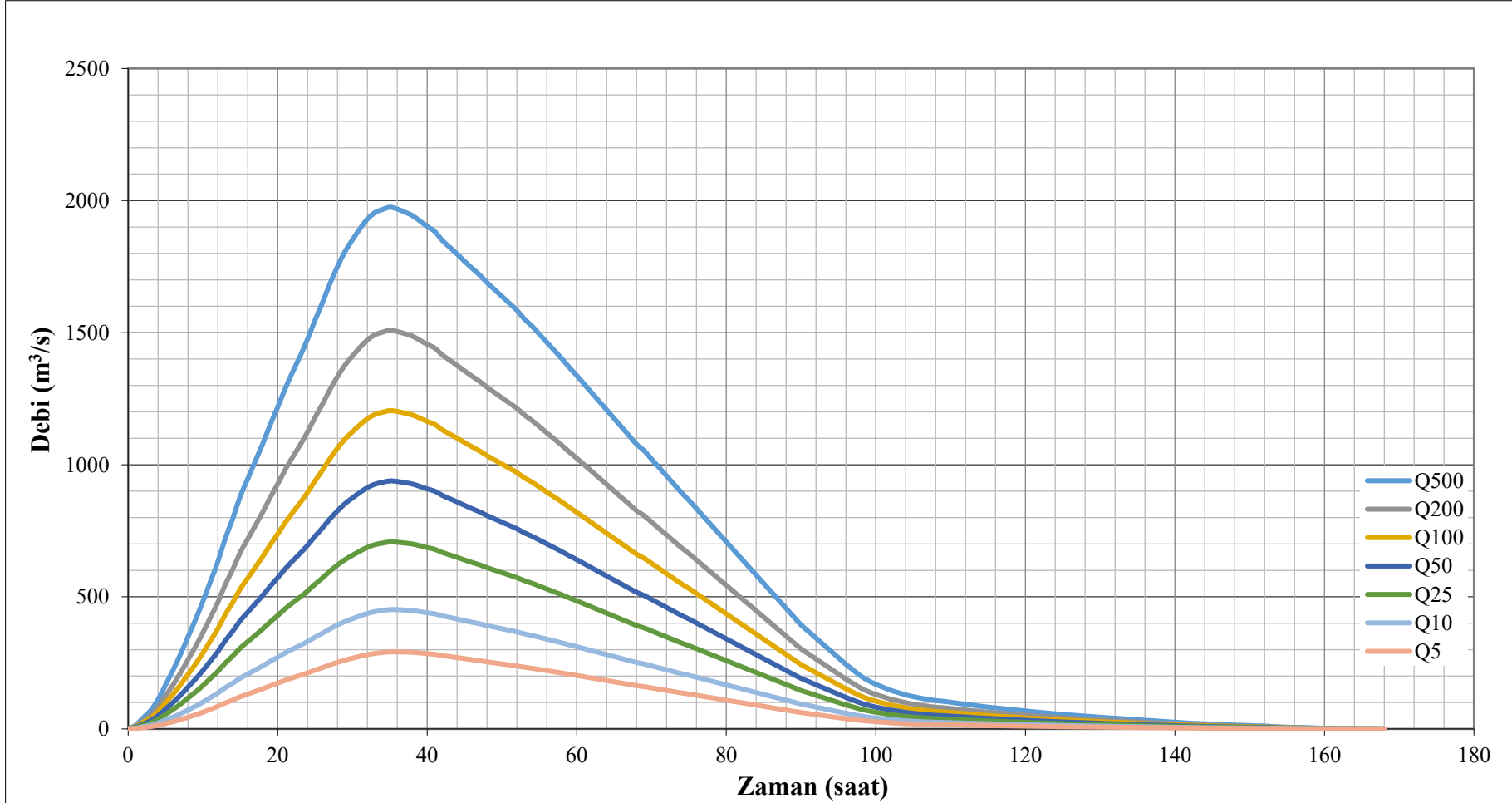
yapıların gelecekte artan taşkın büyüklükleri karşısında yetersiz kalabileceğini ve risk altında olabileceğini göstermektedir.

İstasyon ölçüm verileri kullanılarak hesaplanan 500 yılda bir gelmesi beklenen maksimum debi 1974.82 m<sup>3</sup>/s iken, SSP2-4.5 senaryosunda 200 yılda bir gelmesi beklenen maksimum debi 2087.57 m<sup>3</sup>/s ve SSP5-8.5 senaryosunda 100 yılda bir gelmesi beklenen maksimum debi 1987.21 m<sup>3</sup>/s olarak bulunmuştur. Bu durum, istasyon verilerine göre 500 yılda bir gelmesi beklenen maksimum debiden daha yüksek debilerin, gelecekteki iklim senaryolarında daha sık meydana gelebileceğini göstermektedir.

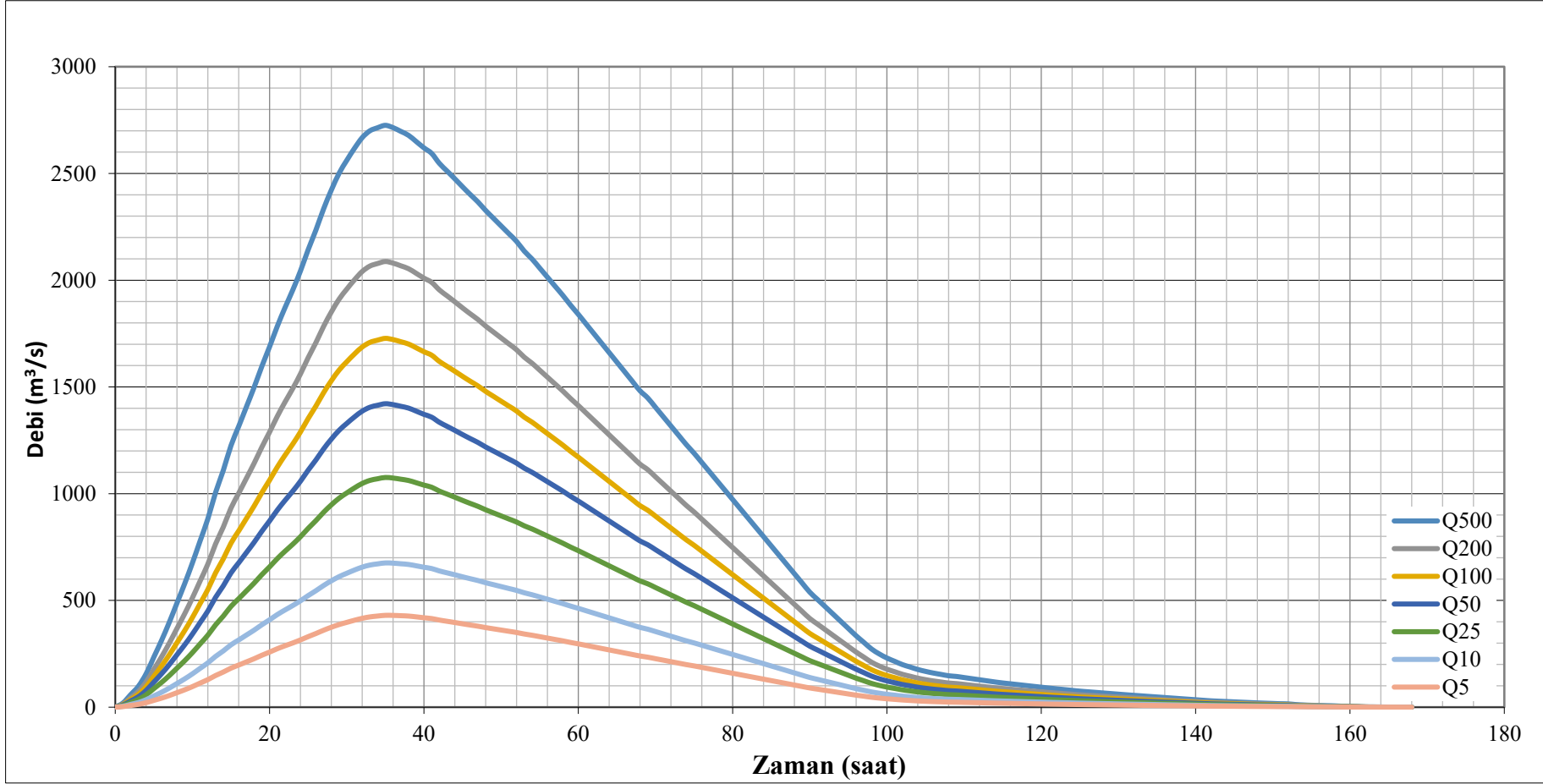
500 yıllık tekerrürlü istasyon ölçüm verileri ile gelecek SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına ait taşkın hidrograflarının hacimleri dikkate alındığında, istasyon ölçüm verilerine göre 395.74 hm<sup>3</sup> su deşarj olurken, SSP2-4.5 senaryosunda 545.78 hm<sup>3</sup> ve SSP5-8.5 senaryosunda ise 602.18 hm<sup>3</sup> su deşarjı olacağı hesaplanmaktadır. Bu durum, şiddetli senaryoda hacimsel artış oranının %52.2 olacağını göstermektedir. %52.2'lik hacimsel artış, mevcut baraj rezervuarlarının işletme programlarının ve aktif depolama kapasitelerinin iklim değişikliği projeksiyonlarına göre yeniden optimize edilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu hacimsel artışlar, taşkın kontrol yapılarının (barajlar, bentler ve tahliye kanalları) sadece anlık pik akıma karşı değil, aynı zamanda bu ek su kütlelerini depolama veya güvenli bir şekilde tahliye etme kapasitesine de sahip olması gerektiğini göstermektedir.

**Tablo 4.8.** İstasyon ölçüm verileri ile SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları altında elde edilen yinelemeli akım değerleri

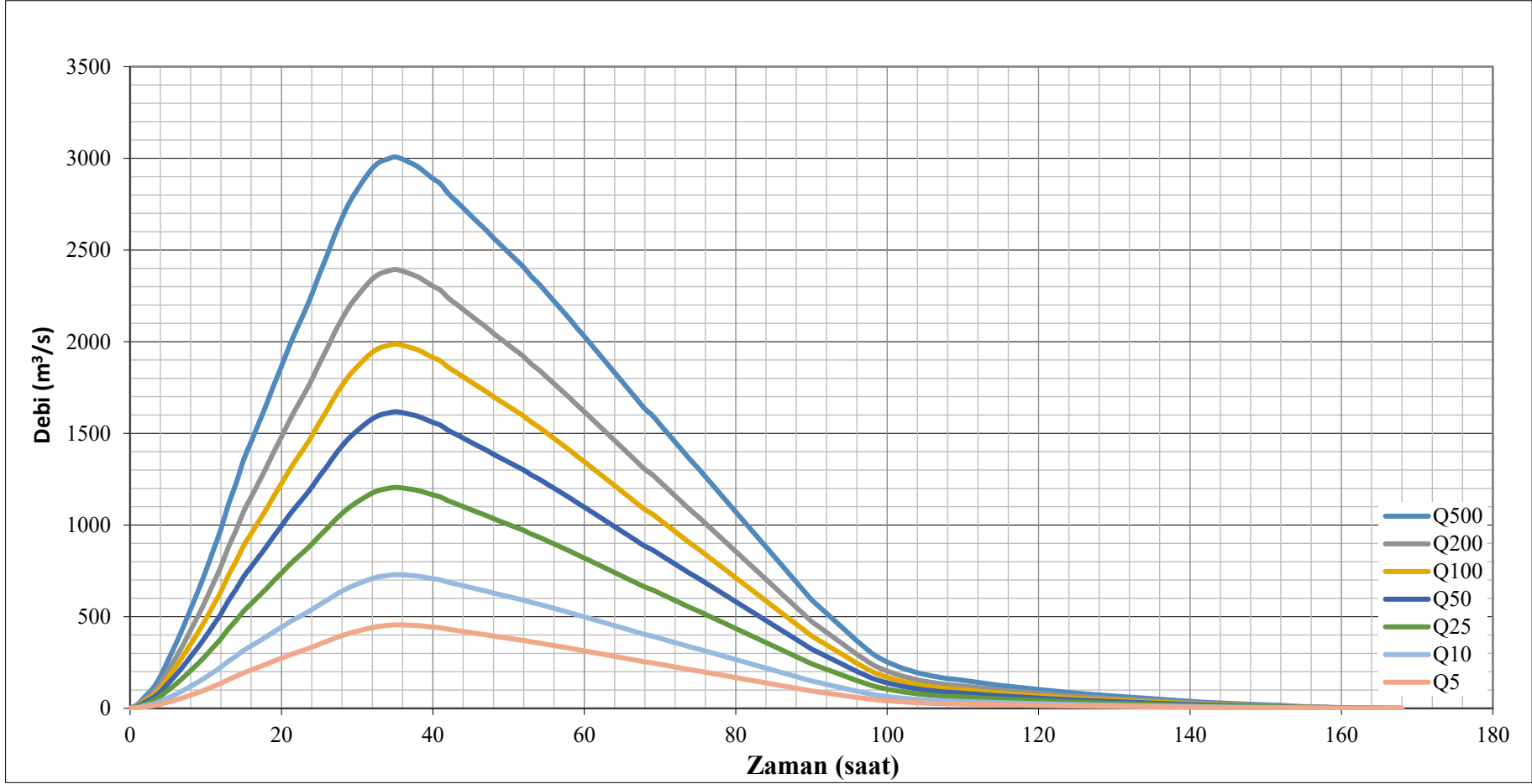
İklim Senaryosu		Tekerrür Periyodu (yıl)						
		5	10	25	50	100	200	500
İstasyon Ölçüm Verileri	Akım (m <sup>3</sup> /s)	291.62	451.61	707.77	938.73	1204.82	1508.98	1974.82
SSP2-4.5	Akım (m <sup>3</sup> /s)	430.12	675.68	1075.95	1421.44	1727.52	2087.57	2725.40
	Artış Oranı	%47.5	%49.6	%52.0	%51.4	%43.4	%38.3	%38.0
SSP5-8.5	Akım (m <sup>3</sup> /s)	455.44	729.36	1205.23	1617.78	1987.21	2394.09	3007.58
	Artış Oranı	%56.2	%61.5	%70.3	%72.3	%64.9	%58.7	%52.3



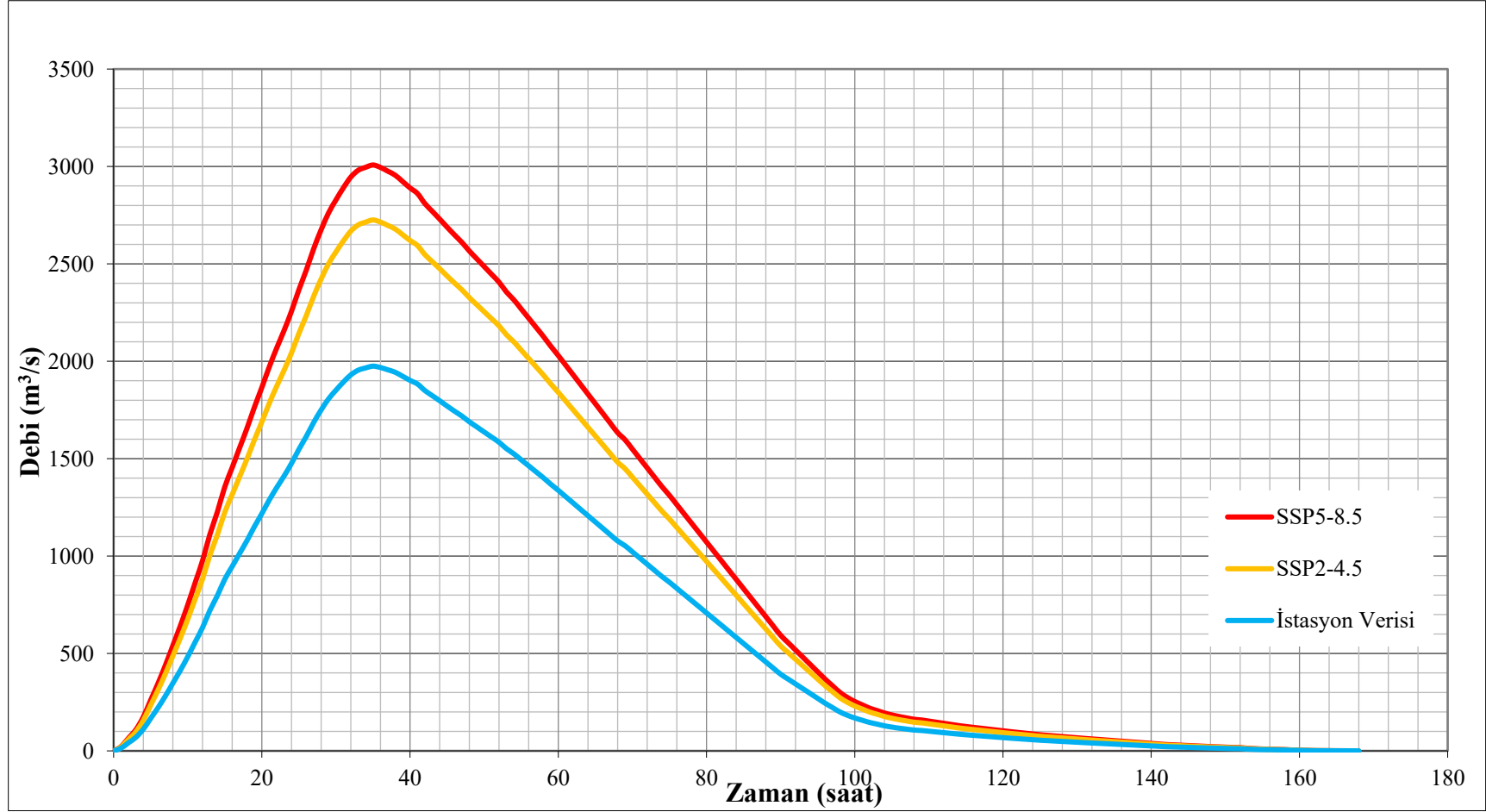
Şekil 4.1. İstasyon ölçüm verileri ile hesaplanan 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıl tekerrürlü taşkın hidrografları



Şekil 4.2. SSP2-4.5 senaryosu altında 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıl tekerrürlü taşkın hidrografları



Şekil 4.3. SSP5-8.5 senaryosu altında 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıl tekerrürlü taşkın hidrograflar



Şekil 4.4. İstasyon verileri ile SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 gelecek senaryolar altında elde edilen 500 yıl tekerrürlü taşkın hidrografları

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, Ağrı ili özelinde iklim değişikliğinin yağış rejimi ve nehir akımları üzerindeki olası etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, gelecekte planlanacak tüm hidrolik yapıların tasarımında iklim değişikliğinin yaratabileceği belirsizliklerin mutlaka dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Sonuçlar, mevcut yapıların, özellikle Rüstemedik Köprüsü'nün, iklim değişikliği koşulları altında elde edilen taşkın hidrografları ile yeniden değerlendirilmesi gerektiği ortaya konmuştur.

Çalışmanın ilk aşamasında, CMIP6 kapsamındaki 10 farklı GCM'ye ait günlük yağış verileri, Ağrı MGİ istasyonuna ait günlük yağış verileri kullanılarak DM yöntemi ile yanlışlık düzeltilmesine tabi tutulmuştur ve indirgenmiştir. Bu verilerden mevsimsel ve yıllık ortalama yağış değerleri hesaplanarak istasyon verileri ile karşılaştırılmış ve CMIP6 tarihsel deney senaryosu altında elde edilen sonuçların istasyon verileri ile oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir. CMIP6 tarihsel deney senaryosu için elde edilen mevsimsel ve yıllık ortalama yağışlar referans senaryo olarak kabul edilmiş ve gelecek dönem senaryoları ile karşılaştırmalar 25'er yıllık dönemler halinde değerlendirilmiştir.

Daha sonra, yıllık maksimum günlük yağış serileri üzerinden 4 farklı PDF kullanılarak 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıllık tekerrürlü yağışlar için frekans analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda istasyon verileri ile CMIP6 tarihsel deney senaryosu için elde edilen sonuçların büyük ölçüde benzerlik gösterdiği saptanmış ve bu durum model çıktılarının güvenilirliğini desteklemiştir. Yağış frekans analizlerinin ardından Snyder sentetik birim hidrograf yöntemleri ile yinelemeli akım hesapları yapılmış ve Rüstemedik Köprüsü yeri için taşkın hidrografları oluşturulmuştur.

Çalışmada ulaşılan sonuçlar üç ana madde halinde ortaya konmuştur:

- Mevsimsel yağış ortalamalarında öngörülen değişimler: SSP2-4.5 senaryosu altında 2025-2049, 2050-2074 ve 2075-2099 dönemleri için sonbahar mevsiminde sırasıyla %6.8, %9.2 ve %9.3 oranlarında azalma, kış mevsiminde %3.6, %7.1 ve %13.1 oranlarında artış, ilkbahar mevsiminde %1.5 azalma ile %2.7 ve %9.1 oranlarında artış, yaz mevsiminde %3.3, %8.8 ve %16.4 oranlarında azalma öngörülmüştür. SSP5-8.5 senaryosu altında ise 2025-2049, 2050-2074 ve 2075-2099 dönemleri için sonbahar mevsiminde sırasıyla %2.9, %11.5 ve %10.0 oranlarında azalma, kış mevsiminde %5.9, %5.0 ve %29.5 oranlarında artış, ilkbahar mevsiminde %0.1 azalma ile %6.4 ve %4.0 oranlarında artış, yaz mevsiminde %0.4, %10.5 ve %31.8 oranlarında azalma söz konusudur.

- 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıllık tekerrürlü ekstrem yağışlarda SSP2-4.5 senaryosunda sırasıyla %16.9, %19.8, %23.3, %24.8, %22.4, %21.0 ve %22.1 oranlarında artışlar öngörülürken, SSP5-8.5 senaryosunda %19.7, %24.2, %31.0, %34.3, %33.0, %31.6 ve %30.2 oranında artışlar tahmin edilmiştir.
- 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıllık tekerrürlü maksimum taşkın debi değerlerinde ise SSP2-4.5 senaryosu altında sırasıyla %47.5, %49.6, %52.0, %51.4, %43.4, %38.3 ve %38.0 oranlarında artışlar beklenirken, SSP5-8.5 senaryosunda %56.2, %61.5, %70.3, %72.3, %64.9, %58.7 ve %52.3 oranlarında artışlar beklenmektedir.

Elde edilen sonuçlar, iklim değişikliğinin taşkın rejimleri üzerindeki etkilerinin, yağışlardaki değişimlerden daha belirgin olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, mevcut su yapıları ve diğer hidrolik sanat yapılarının, iklim değişikliği koşulları altında hidrolik güvenilirliklerinin yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, planlanan ve inşa edilecek tüm hidrolik yapıların tasarımında iklim değişikliğinin yaratabileceği belirsizlikler ve olası rejim değişiklikleri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, politika belirleyiciler ve su kaynakları ile planlama yapan karar alıcıların, planlama ve yönetim süreçlerinde iklim değişikliği projeksiyonlarını dikkate alması kritik bir gerekliliktir. Bu yaklaşım hem mevcut altyapının güvenliğini artıracak hem de gelecekteki hidrolik yatırımların sürdürülebilirliğini destekleyecektir.

## KAYNAKLAR

- Abdi-Dehkordi, M., Bozorg-Haddad, O., Salavitabar, A., Mohammad-Azari, S., & Goharian, E. (2021). Development of flood mitigation strategies toward sustainable development. *Natural Hazards*, *108*(3), 2543-2567. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04788-5>
- Albayrak, D. (2021). *The impact of climate change on future extreme precipitation in Turkey*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 77s.
- Alfieri, L., Feyen, L., Dottori, F., & Bianchi, A. (2015). Ensemble flood risk assessment in Europe under high end climate scenarios. *Global Environmental Change*, *35*, 199-212. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.09.004>
- Aryal, A., Acharya, A., & Kalra, A. (2022). Assessing the implication of climate change to forecast future flood using CMIP6 climate projections and HEC-RAS modeling. *Forecasting*, *4*(3), 582-603. <https://doi.org/10.3390/forecast4030032>
- Bağçacı, S. Ç., Yucel, I., Duzeni, E., & Yilmaz, M. T. (2021). Intercomparison of the expected change in the temperature and the precipitation retrieved from CMIP6 and CMIP5 climate projections: A Mediterranean hot spot case, Turkey. *Atmospheric Research*, *256*, 105576. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105576>
- Bai, Y., Zhang, Z., & Zhao, W. (2019). Assessing the impact of climate change on flood events using HEC-HMS and CMIP5. *Water, Air, & Soil Pollution*, *230*(6), 119. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4159-0>
- Bayraktar, S. S. (2023). *Climate change and agriculture: The impact of climate change on crop production in Türkiye*, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 201s.
- Bhusal, A., Thakur, B., Kalra, A., Benjankar, R., & Shrestha, A. (2024). Evaluating the effectiveness of best management practices in adapting the impacts of climate change-induced urban flooding. *Atmosphere*, *15*(3), 281. <https://doi.org/10.3390/atmos15030281>
- Bosshard, T., Carambia, M., Goergen, K., Kotlarski, S., Krahe, P., Zappa, M., & Schär, C. (2013). Quantifying uncertainty sources in an ensemble of hydrological

- climate-impact projections. *Water Resources Research*, 49(3), 1523-1536.  
<https://doi.org/10.1029/2011WR011533>
- 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>
- Cannon, A. J., Sobie, S. R., & Murdock, T. Q. (2015). Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: How well do methods preserve changes in quantiles and extremes? *Journal of Climate*, 28(17), 6938-6959. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00754.1>
- Chen, H., Sun, J., Lin, W., & Xu, H. (2020). Comparison of CMIP6 and CMIP5 models in simulating climate extremes. *Science Bulletin*, 65(17), 1415-1418. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2020.05.015>
- Chen, J., Brissette, F. P., Chaumont, D., & Braun, M. (2013). Performance and uncertainty evaluation of empirical downscaling methods in quantifying the climate change impacts on hydrology over two North American river basins. *Journal of Hydrology*, 479, 200-214. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.11.062>
- Chen, J., Brissette, F. P., Poulin, A., & Leconte, R. (2011). Overall uncertainty study of the hydrological impacts of climate change for a Canadian watershed. *Water Resources Research*, 47(12). <https://doi.org/10.1029/2011WR010602>
- Cüceloğlu, G. (2019). *İklim değişikliğinin İstanbul'un yüzeysel su kaynaklarına etkisi ve kuraklık dirençli bütünleşik su yönetimi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 232s.
- Cygwin (2023). Cygwin user's guide. <https://www.cygwin.com/cygwin-ug-net/cygwin-ug-net.pdf>, Erişim Tarihi: 11 Eylül 2023.
- De Paola, F., Giugni, M., Pugliese, F., Annis, A., & Nardi, F. (2018). GEV parameter estimation and stationary vs. non-stationary analysis of extreme rainfall in African test cities. *Hydrology*, 5(2), 28. <https://doi.org/10.3390/hydrology5020028>
- Demir, V., & Keskin, A. Ü. (2022). Yeterince akım ölçümü olmayan nehirlerde taşkın debisinin hesaplanması ve taşkın modellenmesi (Samsun, Mert Irmağı örneği). *Geomatik*, 7(2), 149-162. <https://doi.org/10.29128/geomatik.918502>
- Dix, M., Bi, D., Dobrohotoff, P., Fiedler, R., Harman, I., Law, R., Mackallah, C., Marsland, S., O'Farrell, S., Rashid, H., Srbinovsky, J., Sullivan, A., Trenham, C.,

- Vohralik, P., Watterson, I., Williams, G., Woodhouse, M., Bodman, R., Dias, F. B., Domingues, C. M., Hannah, N., Heerdegen, A., Savita, A., Wales, S., Allen, C., Druken, K., Evans, B., Richards, C., Ridzwan, S. M., Roberts, D., Smillie, J., Snow, K., Ward, M., & Yang, R. (2019a). *CSIRO-ARCCSS ACCESS-CM2 model output prepared for CMIP6 CMIP historical*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.4271>
- Dix, M., Bi, D., Dobrohotoff, P., Fiedler, R., Harman, I., Law, R., Mackallah, C., Marsland, S., O'Farrell, S., Rashid, H., Srbinovsky, J., Sullivan, A., Trenham, C., Vohralik, P., Watterson, I., Williams, G., Woodhouse, M., Bodman, R., Dias, F. B., Domingues, C. M., Hannah, N., Heerdegen, A., Savita, A., Wales, S., Allen, C., Druken, K., Evans, B., Richards, C., Ridzwan, S. M., Roberts, D., Smillie, J., Snow, K., Ward, M., & Yang, R. (2019b). *CSIRO-ARCCSS ACCESS-CM2 model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP ssp245 and ScenarioMIP ssp585*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.2285>
- Dobler, C., Hagemann, S., Wilby, R. L., & Stötter, J. (2012). Quantifying different sources of uncertainty in hydrological projections in an Alpine watershed. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(11), 4343-4360. <https://doi.org/10.5194/hess-16-4343-2012>
- DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü) (2012). *Taşkınlar hidrolojisi tasarım rehberi*. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü yayınları, 56s.
- EC-Earth (EC-Earth Consortium) (2019a). *EC-Earth-Consortium EC-Earth3-Veg model output prepared for CMIP6 CMIP historical*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.4706>
- EC-Earth (EC-Earth Consortium) (2019b). *EC-Earth-Consortium EC-Earth3-Veg model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP ssp245 and ScenarioMIP ssp585*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.727>
- ESGF (Earth System Grid Federation). (2022). WCRP Coupled Model Intercomparison Project (Phase 6). <https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip6/>. Erişim tarihi: 15 Mayıs 2022
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937–1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>

- Eyring, V., Cox, P. M., Flato, G. M., Gleckler, P. J., Abramowitz, G., Caldwell, P., Collins, W. D., Gier, B. K., Hall, A. D., Hoffman, F. M., Hurtt, G. C., Jahn, A., Jones, C. D., Klein, S. A., Krasting, J. P., Kwiatkowski, L., Lorenz, R., Maloney, E., Meehl, G. A., Pendergrass, A. G., Pincus, R., Ruane, A. C., Russell, J. L., Sanderson, B. M., Santer, B. D., Sherwood, S. C., Simpson, I. R., Stouffer, R. J., & Williamson, M. S. (2019). Taking climate model evaluation to the next level. *Nature Climate Change*, *9*, 102-110. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0355-y>
- Fleming, A., Vanclay, F., Hiller, C., & Wilson, S. (2014). Challenging dominant discourses of climate change. *Climatic Change*, *127*, 407-418. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1268-z>
- Giorgetta, M. A., Jungclaus, J., Reick, C. H., Legutke, S., Bader, J., Böttinger, M., Brovkin, V., Crueger, T., Esch, M., Fieg, K., Glushak, K., Gayler, V., Haak, H., Hollweg, H.-D., Ilyina, T., Kinne, S., Kornblueh, L., Matei, D., Mauritsen, T., Mikolajewicz, U., Mueller, W., Notz, D., Pithan, F., Raddatz, T., Rast, S., Redler, R., Roeckner, E., Schmidt, H., Schnur, R., Segschneider, J., Six, K. D., Stockhause, M., Timmreck, C., Wegner, J., Widmann, H., Wieners, K.-H., Claussen, M., Marotzke, J., & Stevens, B. (2013). Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, *5*(3), 572-597. <https://doi.org/10.1002/jame.20038>
- Gupta, V., Singh, V., & Jain, M. K. (2020). Assessment of precipitation extremes in India during the 21st century under SSP1-1.9 mitigation scenarios of CMIP6 GCMs. *Journal of Hydrology*, *590*, 125422. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125422>
- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H., & Kanae, S. (2013). Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, *3*(9), 816-821. <https://doi.org/10.1038/nclimate1911>
- Huang, J., Zhang, J., Zhang, Z., Xu, C., Wang, B., & Yao, J. (2011). Estimation of future precipitation change in the Yangtze River basin by using statistical downscaling method. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *25*, 781-792. <https://doi.org/10.1007/s00477-010-0441-9>

- Huong, H. T. L., & Pathirana, A. (2013). Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(1), 379–394. <https://doi.org/10.5194/hess-17-379-2013>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2018). *Global warming of 1.5 °C: An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, & T. Waterfield, Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, N. Berger, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou, Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Jamrussri, S., & Toda, Y. (2017). Simulating past severe flood events to evaluate the effectiveness of nonstructural flood countermeasures in the upper Chao Phraya River Basin, Thailand. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 10, 82-94. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.02.001>
- Jena, S. K., & Tiwari, K. N. (2006). Modeling synthetic unit hydrograph parameters with geomorphologic parameters of watersheds. *Journal of Hydrology*, 319(1-4), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.03.025>
- Jiang, Y., Zevenbergen, C., & Ma, Y. (2018). Urban pluvial flooding and stormwater management: A contemporary review of China’s challenges and “sponge cities” strategy. *Environmental Science & Policy*, 80, 132-143. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.016>
- John, J. G., Blanton, C., McHugh, C., Radhakrishnan, A., Rand, K., Vahlenkamp, H., Wilson, C., Zadeh, N. T., Dunne, J. P., Dussin, R., Horowitz, L. W., Krasting, J. P., Lin, P., Malyshev, S., Naik, V., Ploshay, J., Shevliakova, E., Silvers, L., Stock,

- C., Winton, M., & Zeng, Y. (2018). *NOAA-GFDL GFDL-ESM4 model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP ssp245 and ScenarioMIP ssp585*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.1414>
- Jones, P. W. (1999). First- and second-order conservative remapping schemes for grids in spherical coordinates. *Monthly Weather Review*, *127*(9), 2204-2210. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1999\)127<2204:FASOCR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1999)127<2204:FASOCR>2.0.CO;2)
- Jongman, B., Ward, P. J., & Aerts, J. C. (2012). Global exposure to river and coastal flooding: Long-term trends and changes. *Global Environmental Change*, *22*(4), 823–835. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.07.004>
- Jungclaus, J., Bittner, M., Wieners, K.-H., Wachsmann, F., Schupfner, M., Legutke, S., Giorgetta, M., Reick, C., Gayler, V., Haak, H., de Vrese, P., Raddatz, T., Esch, M., Mauritsen, T., von Storch, J.-S., Behrens, J., Brovkin, V., Claussen, M., Crueger, T., Fast, I., Fiedler, S., Hagemann, S., Hohenegger, C., Jahns, T., Kloster, S., Kinne, S., Lasslop, G., Kornbluh, L., Marotzke, J., Matei, D., Meraner, K., Mikolajewicz, U., Modali, K., Müller, W., Nabel, J., Notz, D., Peters-von Gehlen, K., Pincus, R., Pohlmann, H., Pongratz, J., Rast, S., Schmidt, H., Schnur, R., Schulzweida, U., Six, K., Stevens, B., Voigt, A., & Roeckner, E. (2019). *MPI-M MPI-ESM1.2-HR model output prepared for CMIP6 CMIP historical*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.6594>
- Kiran, S. N., Iqbal, M. F., & Mahmood, I. (2023). Assessing the impacts of climate change on flooding under Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 scenarios in the river Chenab, Pakistan. *Natural Hazards*, *117*(1), 1005-1033. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05892-4>
- Klijn, F., Kreibich, H., de Moel, H., & Penning-Rowsell, E. (2015). Adaptive flood risk management planning based on a comprehensive flood risk conceptualisation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *20*, 845-864. <https://doi.org/10.1007/s11027-015-9638-z>
- Krasting, J. P., John, J. G., Blanton, C., McHugh, C., Nikonov, S., Radhakrishnan, A., Rand, K., Zadeh, N. T., Balaji, V., Durachta, J., Dupuis, C., Menzel, R., Robinson, T., Underwood, S., Vahlenkamp, H., Dunne, K. A., Gauthier, P. P. G., Ginoux, P., Griffies, S. M., Hallberg, R., Harrison, M., Hurlin, W., Malyshev, S., Naik, V., Paulot, F., Paynter, D. J., Ploshay, J., Reichl, B. G., Schwarzkopf, D. M., Seman, C. J., Silvers, L., Wyman, B., Zeng, Y., Adcroft, A., Dunne, J. P., Dussin, R., Guo,

- H., He, J., Held, I. M., Horowitz, L. W., Lin, P., Milly, P. C. D., Shevliakova, E., Stock, C., Winton, M., Wittenberg, A. T., Xie, Y., & Zhao, M. (2018). *NOAA-GFDL GFDL-ESM4 model output prepared for CMIP6 CMIP historical*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.8597>
- Kumanlıoğlu, A. A., & Ersoy, S. B. (2018). Akım gözlemi olmayan havzalarda taşkın akımlarının belirlenmesi: Kızıldere Havzası. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20(60), 890-904. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2018206070>
- Kundzewicz, Z. W., & Stakhiv, E. Z. (2010). Are climate models “ready for prime time” in water resources management applications, or is more research needed? *Hydrological Sciences Journal*, 55(7), 1085-1089. <https://doi.org/10.1080/02626667.2010.513211>
- Lawler, J. J. (2009). Climate change adaptation strategies for resource management and conservation planning. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1162(1), 79-98. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04147.x>
- Lee, W.-L., & Liang, H.-C. (2020a). *AS-RCEC TaiESM1.0 model output prepared for CMIP6 CMIP historical*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.9755>
- Lee, W.-L., & Liang, H.-C. (2020b). *AS-RCEC TaiESM1.0 model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP ssp245 and ScenarioMIP ssp585*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.9688>
- Li, H., Sheffield, J., & Wood, E. F. (2010). Bias correction of monthly precipitation and temperature fields from Intergovernmental Panel on Climate Change AR4 models using equidistant quantile matching. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D10). <https://doi.org/10.1029/2009JD012882>
- Li, L. (2019a). *CAS FGOALS-g3 model output prepared for CMIP6 CMIP historical*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.3356>
- Li, L. (2019b). *CAS FGOALS-g3 model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP ssp245 and ScenarioMIP ssp585*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.3503>
- Mani, P., Chatterjee, C., & Kumar, R. (2014). Flood hazard assessment with multiparameter approach derived from coupled 1D and 2D hydrodynamic flow

- model. *Natural Hazards*, 70, 1553–1574. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0891-8>
- Meehl, G. A., Boer, G. J., Covey, C., Latif, M., & Stouffer, R. J. (1997). Intercomparison makes for a better climate model. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 78(41), 445-451. <https://doi.org/10.1029/97EO00276>
- Meehl, G. A., Boer, G. J., Covey, C., Latif, M., & Stouffer, R. J. (2000). The coupled model intercomparison project (CMIP). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(2), 313–318. <https://www.jstor.org/stable/26215108>
- Meehl, G. A., Covey, C., Delworth, T., Latif, M., McAvaney, B., Mitchell, J. F. B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2007). The WCRP CMIP3 multimodel dataset: A new era in climate change research. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88(9), 1383–1394. <https://doi.org/10.1175/BAMS-88-9-1383>
- Meehl, G. A., Moss, R., Taylor, K. E., Eyring, V., Stouffer, R. J., Bony, S., & Stevens, B. (2014). Climate model intercomparisons: Preparing for the next phase. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 95(9), 77-78. <https://doi.org/10.1002/2014EO090001>
- O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J. F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K., & Sanderson, B. M. (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461-3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>
- Özdemir, H. (1978). *Uygulamalı taşkın hidrolojisi* (221 s.). DSİ Matbaası.
- Özdemir, S., Özkan, K., & Mert, A. (2020). An ecological perspective on climate change scenarios. *Biological Diversity and Conservation*, 13(3), 361-371. <https://doi.org/10.46309/biodicon.2020.762985>
- Paudel, S., Joshi, N., & Kalra, A. (2023). Projected future flooding pattern of Wabash River in Indiana and Fountain Creek in Colorado: An assessment utilizing bias-corrected CMIP6 climate data. *Forecasting*, 5(2), 405-423. <https://doi.org/10.3390/forecast5020022>
- Pierce, D. W., Cayan, D. R., Maurer, E. P., Abatzoglou, J. T., & Hegewisch, K. C. (2015). Improved bias correction techniques for hydrological simulations of climate change. *Journal of Hydrometeorology*, 16(6), 2421-2442. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0236.1>

- Pokhrel, I., Kalra, A., Rahaman, M. M., & Thakali, R. (2020). Forecasting of future flooding and risk assessment under CMIP6 climate projection in Neuse River, North Carolina. *Forecasting*, 2(3), 323-345. <https://doi.org/10.3390/forecast2030018>
- Quintero, F., Mantilla, R., Anderson, C., Claman, D., & Krajewski, W. (2018). Assessment of changes in flood frequency due to the effects of climate change: Implications for engineering design. *Hydrology*, 5(1), 19. <https://doi.org/10.3390/hydrology5010019>
- Rosbjerg, D. (2017). Optimal adaptation to extreme rainfalls in current and future climate. *Water Resources Research*, 53(1), 535-543. <https://doi.org/10.1002/2016WR019718>
- Schulzweida, U. (2021). *CDO user guide version 2.0.5*. Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg
- Schupfner, M., Wieners, K.-H., Wachsmann, F., Steger, C., Bittner, M., Jungclaus, J., Früh, B., Pankatz, K., Giorgetta, M., Reick, C., Legutke, S., Esch, M., Gayler, V., Haak, H., de Vrese, P., Raddatz, T., Mauritsen, T., von Storch, J.-S., Behrens, J., Brovkin, V., Claussen, M., Crueger, T., Fast, I., Fiedler, S., Hagemann, S., Hohenegger, C., Jahns, T., Kloster, S., Kinne, S., Lasslop, G., Kornblueh, L., Marotzke, J., Matei, D., Meraner, K., Mikolajewicz, U., Modali, K., Müller, W., Nabel, J., Notz, D., Peters-von Gehlen, K., Pincus, R., Pohlmann, H., Pongratz, J., Rast, S., Schmidt, H., Schnur, R., Schulzweida, U., Six, K., Stevens, B., Voigt, A., & Roeckner, E. (2019). *DKRZ MPI-ESM1.2-HR model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP ssp245 and ScenarioMIP ssp585*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.2450>
- Schoppa, L., Barendrecht, M. H., Paprotny, D., Sairam, N., Sieg, T., & Kreibich, H. (2024). Projecting flood risk dynamics for effective long-term adaptation. *Earth's Future*, 12(3), e2022EF003258. <https://doi.org/10.1029/2022EF003258>
- Shiogama, H., Abe, M., & Tatebe, H. (2019). *MIROC MIROC6 model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP ssp245 and ScenarioMIP ssp585*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.898>
- Shrestha, S., & Lohpaisankrit, W. (2017). Flood hazard assessment under climate change scenarios in the Yang River Basin, Thailand. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(2), 285-298. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.09.006>

- Snyder, F. F. (1938). Synthetic unit-graphs. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 19(1), 447-454. <https://doi.org/10.1029/TR019i001p00447>
- Sönmez, O., Öztürk, M., & Doğan, E. (2012). İstanbul derelerinin taşkın debilerinin tahmini. *Sakarya University Journal of Science*, 16(2), 130-135. <https://doi.org/10.16984/saufbed.42197>
- Sun, C., Zhu, L., Liu, Y., Wei, T., & Guo, Z. (2022). CMIP6 model simulation of concurrent continental warming holes in Eurasia and North America since 1990 and their relation to the Indo-Pacific SST warming. *Global and Planetary Change*, 213, 103824. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2022.103824>
- Şahin, Ü. A., Onat, B., & Ayvaz, C. (2018). Climate change and greenhouse gases in Turkey. In *Recycling and Reuse Approaches for Better Sustainability* (pp. 201-214). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-95888-0\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-95888-0_17)
- Şahingöz, M. (2023). *İklim Değişikliği Çerçevesinde Türkiye'nin Biyoiklimsel Konfor Durumunun Modellenmesi*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 255 s.
- Tatebe, H., & Watanabe, M. (2018). *MIROC MIROC6 model output prepared for CMIP6 CMIP historical*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.881>
- Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485-498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>
- Teutschbein, C., & Seibert, J. (2012). Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology*, 456, 12-29. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.052>
- Tokgöz, B. S. (2023). *İklim Değişikliğinin Deniz Suyu Sıcaklıkları Üzerindeki Olası Etkilerinin İncelenmesi: Karadeniz Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 81 s.
- Wang, H. M., Chen, J., Xu, C. Y., Chen, H., Guo, S., Xie, P., & Li, X. (2019). Does the weighting of climate simulations result in a better quantification of hydrological impacts?. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(10), 4033-4050. <https://doi.org/10.5194/hess-23-4033-2019>

- Wang, H. M., Chen, J., Xu, C. Y., Zhang, J., & Chen, H. (2020). A framework to quantify the uncertainty contribution of GCMs over multiple sources in hydrological impacts of climate change. *Earth's Future*, 8(8), e2020EF001602. <https://doi.org/10.1029/2020EF001602>
- Wang, L., & Chen, W. (2014). Equiratio cumulative distribution function matching as an improvement to the equidistant approach in bias correction of precipitation. *Atmospheric Science Letters*, 15(1), 1-6. <https://doi.org/10.1002/asl2.454>
- Wieners, K.-H., Giorgetta, M., Jungclaus, J., Reick, C., Esch, M., Bittner, M., Legutke, S., Schupfner, M., Wachsmann, F., Gayler, V., Haak, H., de Vrese, P., Raddatz, T., Mauritsen, T., von Storch, J.-S., Behrens, J., Brovkin, V., Claussen, M., Crueger, T., Fast, I., Fiedler, S., Hagemann, S., Hohenegger, C., Jahns, T., Kloster, S., Kinne, S., Lasslop, G., Kornbluch, L., Marotzke, J., Matei, D., Meraner, K., Mikolajewicz, U., Modali, K., Müller, W., Nabel, J., Notz, D., Peters-von Gehlen, K., Pincus, R., Pohlmann, H., Pongratz, J., Rast, S., Schmidt, H., Schnur, R., Schulzweida, U., Six, K., Stevens, B., Voigt, A., & Roeckner, E. (2019a). *MPI-M MPI-ESM1.2-LR model output prepared for CMIP6 CMIP historical*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.6595>
- Wieners, K.-H., Giorgetta, M., Jungclaus, J., Reick, C., Esch, M., Bittner, M., Gayler, V., Haak, H., de Vrese, P., Raddatz, T., Mauritsen, T., von Storch, J.-S., Behrens, J., Brovkin, V., Claussen, M., Crueger, T., Fast, I., Fiedler, S., Hagemann, S., Hohenegger, C., Jahns, T., Kloster, S., Kinne, S., Lasslop, G., Kornbluch, L., Marotzke, J., Matei, D., Meraner, K., Mikolajewicz, U., Modali, K., Müller, W., Nabel, J., Notz, D., Peters-von Gehlen, K., Pincus, R., Pohlmann, H., Pongratz, J., Rast, S., Schmidt, H., Schnur, R., Schulzweida, U., Six, K., Stevens, B., Voigt, A., & Roeckner, E. (2019b). *MPI-M MPI-ESM1.2-LR model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP ssp245 and ScenarioMIP ssp585*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.793>
- Wilby, R. L., & Harris, I. (2006). A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, 42(2). <https://doi.org/10.1029/2005WR004065>
- Wilby, R. L., & Keenan, R. (2012). Adapting to flood risk under climate change. *Progress in Physical Geography*, 36(3), 348-378. <https://doi.org/10.1177/03091333124389>

- Yadav, N., Wu, J., Banerjee, A., Pathak, S., Garg, R. D., & Yao, S. (2024). Climate uncertainty and vulnerability of urban flooding associated with regional risk using multi-criteria analysis in Mumbai, India. *Environmental Research*, 244, 117962. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117962>
- Yalçın, E. (2024). Assessing future changes in flood frequencies under CMIP6 climate projections using SWAT modeling: a case study of Bitlis Creek, Turkey. *Journal of Water and Climate Change*, 15(5), 2212-2231. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.646>
- Yuan, F., Tung, Y. K., & Ren, L. (2016). Projection of future streamflow changes of the Pearl River basin in China using two delta-change methods. *Hydrology Research*, 47(1), 217-238. <https://doi.org/10.2166/nh.2015.159>
- Yukimoto, S., Koshiro, T., Kawai, H., Oshima, N., Yoshida, K., Urakawa, S., Tsujino, H., Deushi, M., Tanaka, T., Hosaka, M., Yoshimura, H., Shindo, E., Mizuta, R., Ishii, M., Obata, A., & Adachi, Y. (2019a). *MRI MRI-ESM2.0 model output prepared for CMIP6 CMIP historical*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.6842>
- Yukimoto, S., Koshiro, T., Kawai, H., Oshima, N., Yoshida, K., Urakawa, S., Tsujino, H., Deushi, M., Tanaka, T., Hosaka, M., Yoshimura, H., Shindo, E., Mizuta, R., Ishii, M., Obata, A., & Adachi, Y. (2019b). *MRI MRI-ESM2.0 model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP ssp245 and ScenarioMIP ssp585*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.638>
- Zhai, J., Mondal, S. K., Fischer, T., Wang, Y., Su, B., Huang, J., Tao, H., Wang, G., Ullah, W., & Uddin, M. J. (2020). Future drought characteristics through a multi-model ensemble from CMIP6 over South Asia. *Atmospheric Research*, 246, 105111. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105111>
- Zhang, L., Nan, Z., Yu, W., Zhao, Y., & Xu, Y. (2018). Comparison of baseline period choices for separating climate and land use/land cover change impacts on watershed hydrology using distributed hydrological models. *Science of the Total Environment*, 622, 1016–1028. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.055>
- Zhou, Q., Leng, G., & Huang, M. (2018). Impacts of future climate change on urban flood volumes in Hohhot in northern China: benefits of climate change mitigation and adaptations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(1), 305-316. <https://doi.org/10.5194/hess-22-305-2018>

- Ziehn, T., Chamberlain, M., Lenton, A., Law, R., Bodman, R., Dix, M., Wang, Y., Dobrohotoff, P., Srbinovsky, J., Stevens, L., Vohralik, P., Mackallah, C., Sullivan, A., O'Farrell, S., & Druken, K. (2019a). *CSIRO ACCESS-ESM1.5 model output prepared for CMIP6 CMIP historical*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.4272>
- Ziehn, T., Chamberlain, M., Lenton, A., Law, R., Bodman, R., Dix, M., Wang, Y., Dobrohotoff, P., Srbinovsky, J., Stevens, L., Vohralik, P., Mackallah, C., Sullivan, A., O'Farrell, S., & Druken, K. (2019b). *CSIRO ACCESS-ESM1.5 model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP ssp245 and ScenarioMIP ssp585*. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.2291>



## EKLER

### EK-1 Kongre Katılım Belgesi



The certificate is a rectangular document with a white background and a decorative border. The border consists of diagonal stripes in red, blue, and purple. In the top left corner, there is the ICAR logo, which features a stylized red and white bird-like shape above the letters 'ICAR'. In the top right corner, there is a circular graphic with a globe and the text '14-15 EKİM 2024'. The main text is centered and reads: '14. ULUSLARARASI AKADEMİK ARAŞTIRMALAR KONGRESİ (ICAR)'. Below this, it says 'This is to certify that' and 'Suat İgde'. Then, 'Has attended and Presented a Paper Entitled' followed by the title of the paper: 'CMIP6 Senaryoları Altında Yılda Günlük Maksimum Yağışların Muhtelif Tekerrür Değerlerindeki Değişiminin İncelenmesi: Ağrı İli Örneği'. Below the title, it says '14<sup>th</sup> International Congress of Academic Research' and 'October 14<sup>th</sup> to 15<sup>th</sup>, 2024'. In the bottom left corner, there is the website 'www.icarcongress.org'. In the bottom center, there is a QR code. In the bottom right corner, there is a signature and the name 'Dr. Öğr. Üyesi HANİFE GÖKER' with the title 'Kongre Başkanı'.

**ICAR**

**14.**  
**ULUSLARARASI AKADEMİK**  
**ARAŞTIRMALAR KONGRESİ**  
**(ICAR)**

*This is to certify that*

*Suat İgde*

*Has attended and Presented a Paper Entitled*

*"CMIP6 Senaryoları Altında Yılda Günlük Maksimum Yağışların Muhtelif Tekerrür Değerlerindeki*  
*Değişiminin İncelenmesi: Ağrı İli Örneği"*

*14<sup>th</sup> International Congress of Academic Research*  
*October 14<sup>th</sup> to 15<sup>th</sup>, 2024*

[www.icarcongress.org](http://www.icarcongress.org)



  
**Dr. Öğr. Üyesi HANİFE GÖKER**  
Kongre Başkanı

14-15 EKİM  
2024



## ÖZGEÇMİŞ

<b>KİŞİSEL BİLGİLER</b>	
<b>Adı Soyadı</b>	Suat İĞDE
<b>Uyruğu</b>	T.C.
<b>Orcid Numarası</b>	0009-0007-0229-6713

<b>EĞİTİM BİLGİLERİ</b>	
<b>Lisans</b>	
<b>Üniversite</b>	Erciyes Üniversitesi
<b>Fakülte</b>	Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
<b>Bölümü</b>	İnşaat Mühendisliği
<b>Mezuniyet Yılı</b>	2017
<b>Yüksek Lisans</b>	
<b>Üniversite</b>	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
<b>Enstitü</b>	Fen Bilimleri Enstitüsü
<b>Anabilim Dalı</b>	İnşaat Mühendisliği
<b>Mezuniyet Yılı</b>	2026

<b>Tezden Üretilen Makaleler ve Bildiriler</b>
<b>Uluslararası Konferans ve Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler</b> İğde, S., & Yalcin, E. (2024). CMIP6 Senaryoları Altında Yılda Günlük Maksimum Yağışların Muhtelif Tekerrür Değerlerindeki Değişiminin İncelenmesi: Ağrı İli Örneği. 14. Uluslararası Akademik Araştırma Kongresi, Ankara, Türkiye.