



**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TAŞKIN
RİSKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ;
MENDERES HAVZASI ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ali ŞAHİN

Eskişehir 2024

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TAŞKIN RİSKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ;
MENDERES HAVZASI ÖRNEĞİ**

Ali ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Kasım 2024

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ali ŞAHİN'in "İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TAŞKIN RİSKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ; MENDERES HAVZASI ÖRNEĞİ" başlıklı tezi 19/11/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı)

: Prof. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN

Üye

: Prof. Dr. Mehmet Cüneyd DEMİREL

Üye

: Prof. Dr. Nermin ŞARLAK

Prof. Dr. Semra KURAMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Ali şAHİN, “İKLİM DEğİşİKLİğİNİN TAşKIN RİSKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ; MENDERES HAVZASI RNEğİ” başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımda incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı
Prof. Dr. Aynur şENSOY şORMAN

ÖZET

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TAŞKIN RİSKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ; MENDERES HAVZASI ÖRNEĞİ

Ali ŞAHİN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kasım 2024

Danışman: Prof. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN

İklim değişikliği, su döngüsünde önemli etkilere yol açarak yağış rejimlerinde değişikliğe sebep olmaktadır. Değişen yağış rejimleri, yağışın şiddeti, süresi ve sıklığı arasındaki ilişkiyi gösteren Yağış Şiddet-Süre-Tekerrür (YŞST) eğrilerinin de değişmesine neden olmaktadır. Daha kısa sürede düşen şiddetli yağışlar ile taşkın riskleri de artmaktadır. Değişen YŞST eğrileri, bu eğriler temel alınarak yapılan tasarım ve analizleri değiştirdiği için taşkın risklerinin yeniden değerlendirilmesini de gerektirmektedir. Bu çalışmanın amacı, daha önce birçok kez taşkın yaşanmış olan Aydın ili Tabakhane Deresi'nde YŞST eğrilerini güncelleyerek ve yağış-akış ilişkisini modelleyerek iklim değişikliğinin taşkın risklerine etkisini analiz etmektir. Gözlem ve iklim projeksiyon verileri kullanılarak geçmiş ve gelecek dönem YŞST eğrileri belirlenmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Ordusu Mühendisler Birliği'nin Hidrolojik Mühendislik Merkezi Hidrolojik Modelleme Sistemi (Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System, HEC-HMS) kullanılarak güncellenmiş YŞST eğrileri ile akım projeksiyonları hesaplanmıştır. Ayrıca, iklim değişim senaryolarının yanı sıra gelecekte değişebilecek arazi kullanımına dayalı yeni senaryolar da gözetilerek akım projeksiyonları değerlendirilmiştir. Yapılan analizlerde, 100 yıllık yağış tekerrürlerinde referans döneme kıyasla uzak gelecekte %10 mertebesinde, akım tekerrürlerinde ise arazi kullanımının da en yüksek değişime uğradığı en olumsuz senaryoda %80 mertebesine kadar artış olabileceği tespit edilmiştir. Çalışma, iklim değişikliği etkisi altında bölgedeki taşkın risklerinin gelecekte nasıl değişeceğine dair projeksiyonlar sunarak su kaynakları planlamasında katkıda bulunmaktadır.

Anahtar Sözcükler: İklim değişikliği, YŞST eğrisi, Taşkın, Akım projeksiyonları

ABSTRACT

THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON FLOOD RISKS; MENDERES BASIN EXAMPLE

Ali ŞAHİN

Department of Civil Engineering

Eskişehir Technical University, Graduate Education Institute, November 2024

Supervisor: Prof. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN

Climate change causes significant effects on the water cycle and causes changes in precipitation regimes. Changing precipitation regimes also cause the Intensity-Duration-Frequency (IDF) curve, which shows the relationship between the intensity, duration, and frequency of precipitation, to change. Flood risks increase with more intense precipitation falling in shorter periods. Changing IDF curves requires re-evaluating flood risks since they change the designs and analyses based on these curves. This study aims to analyze the effects of climate change on flood risks by updating IDF curves and modeling the rainfall-runoff relationship in Tabakhane Stream in Aydın province, where floods have occurred many times before. Past and future IDF curves were determined using observation and climate projection data. Flow projections were calculated with the updated IDF curves using the Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) developed by the United States Army Corps of Engineers. In addition, flow projections were evaluated considering climate change scenarios and new scenarios based on land use that may change in the future. In the analyses, it was determined that there could be an increase of up to 10% in the distant future compared to the reference period in 100-year rainfall recurrences, and an increase of up to 80% in flow recurrences in the most adverse scenario, where land use is considered to have undergone the highest change. The study contributes to water resources planning by providing projections on how flood risks in the region will change in the future under the impact of climate change.

Keywords: Climate change, IDF curve, Flood, Climate projections

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bana değerli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile rehberlik eden, danışman hocam Prof. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN'a,

Yönlendirme ve destekleri ile katkı sağlayan hocam Ali Arda ŞORMAN'a,

Tez sürecim boyunca sağladıkları kolaylıkla çalışmalarımı rahatça yürütmeme olanak tanıyan Dolsar Mühendislik yönetimine ve bilgi birikimleriyle katkı sağlayan değerli ekip arkadaşlarıma,

Hayatımın her anında benimle birlikte olan, her koşulda beni destekleyen sevgili ailem Aysel ŞAHİN ve Emrullah ŞAHİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ali ŞAHİN

19/11/2024

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Ali ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI.....	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI.....	III
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR.....	VI
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi	1
1.2. Çalışmanın Kapsamı	1
1.3. Literatür Taraması.....	2
2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER	6
2.1. Çalışma Alanı.....	6
2.2. Meteoroloji Gözlem İstasyonları.....	8
2.3. CMIP5 ve CMIP6 İklim Modelleri	10
3. METODOLOJİ.....	15
3.1. Veri Analizi	16
3.1.1. Kararlılık (stationary) testi.....	16
3.1.2. Performans kriterleri ve durumsallık (contingency) tablosu	17
3.1.3. Yanlılık düzeltmesi (bias correction)	18
3.1.4. Aykırı değer (outlier) analizi	21
3.1.5. Frekans analizi	22
3.2. Hidrolojik Model.....	23
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
4.1. Veri Analizleri	29

4.1.1. Kararlılık (stationary) analizi.....	32
4.1.2. Aykırı değer (outlier) sonuçları.....	32
4.2. Gözlem ve İklim Verilerinin Karşılaştırılması.....	35
4.2.1. Performans kriterleri ve durumsallık tablosu	35
4.2.2. Yanlılık düzeltmesi sonuçları	37
4.3. YŞST Eğrilerinin Belirlenmesi.....	37
4.4. Yağış Anomali Hesapları	46
4.5. HEC-HMS Modeli Sonuçları	50
4.6. Anomali Hesapları ve Karşılaştırmalar	55
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	58
KAYNAKÇA	60
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Seçilen Meteoroloji Gözlem İstasyonları.....	9
Tablo 2.2. İstasyonların Yağış istatistikleri 1972-2000 (mm).....	10
Tablo 2.3. AMIP ve CMIP'in Gelişimi (Juckes ve diğerleri, 2020).....	12
Tablo 2.4. Çalışmada Kullanılan CMIP5 Modelleri	13
Tablo 2.5. Çalışmada Kullanılan CMIP6 Modelleri	14
Tablo 3.1. Durumsallık Tablosu.....	17
Tablo 3.2. Arazi Kullanımına Bağlı Senaryolar	26
Tablo 4.1. Kararlılık Analizi Sonuçları	32
Tablo 4.2. CMIP5 RMSE (mm) Sonuçları	35
Tablo 4.3. CMIP6 RMSE (mm) Sonuçları	35
Tablo 4.4. CMIP5 Modeli Durumsallık Tablosu Sonuçları.....	36
Tablo 4.5. CMIP6 Modeli Durumsallık Tablosu Sonuçları.....	36
Tablo 4.6. CMIP5 Yanlılık Düzeltmeli RMSE (mm) Sonucu	37
Tablo 4.7. CMIP5 Yanlılık Düzeltmesiz RMSE (mm) Sonucu	37
Tablo 4.8. CMIP5 Aykırı Değer Düzeltmeli Yağış Derinliği (mm) Sonuçları.....	40
Tablo 4.9. CMIP5 Aykırı Değer Düzeltmesiz Yağış Derinliği (mm) Sonuçları.....	41
Tablo 4.10. CMIP6 Aykırı Değer Düzeltmeli Yağış Derinliği (mm) Sonuçları.....	41
Tablo 4.11. CMIP6 Aykırı Değer Düzeltmesiz Yağış Derinliği (mm) Sonuçları.....	42
Tablo 4.12. Aydın MGİ Frekans Analizi Yağış Derinliği (mm) Sonuçları	42
Tablo 4.13. CMIP5 FATY Tekerrür Yağışı Sonuçları (mm)	46
Tablo 4.14. CMIP5 TYFA Tekerrür Yağışı Sonuçları (mm).....	47
Tablo 4.15. CMIP6 FATY Tekerrür Yağışı Sonuçları (mm)	47
Tablo 4.16. CMIP6 TYFA Tekerrür Yağışı Sonuçları (mm).....	47
Tablo 4.17. CMIP5 FATY Tekerrür Yağışı Anomali Sonuçları (%).....	48
Tablo 4.18. CMIP5 TYFA Tekerrür Yağışı Anomali Sonuçları (%)	48
Tablo 4.19. CMIP6 FATY Tekerrür Yağışı Anomali Sonuçları (%).....	48
Tablo 4.20. CMIP6 TYFA Tekerrür Yağışı Anomali Sonuçları (%)	48
Tablo 4.21. Aykırı Değer Düzeltmesiz Tekerrür Yağışı Anomali Sonuçları (%).....	49
Tablo 4.22. Aykırı Değer Düzeltmeli Tekerrür Yağışı Anomali Sonuçları (%)	49
Tablo 4.23. CMIP5 Model Akım Anomalileri (%)	55

Tablo 4.24. CMIP6 Model Akım Anomalileri (%)	56
Tablo 4.25. CMIP5 ve CMIP6 Birleşik Ortalama Akım Anomalileri (%)	57



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Büyük Menderes Havzası'nın Konumu	6
Şekil 2.2. Aydın İli ve Tabakhane Deresi Konumu	7
Şekil 2.3. Seçilen Meteoroloji Gözlem İstasyonları	9
Şekil 2.4. İstasyonların Yıllık Toplam Yağış Değerleri	10
Şekil 2.5. GCM Hücresine Gömülü RCM Alanı (Giorgi, 2008)	11
Şekil 2.6. Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesinin Tarihsel Gelişimi (IPCC, erişim tarihi: 23 Temmuz 2024)	12
Şekil 3.1. Çalışma Akış Şeması	15
Şekil 3.2. CMhyd Programının Arayüzü	20
Şekil 3.3. HEC-HMS Havza Modeli	26
Şekil 3.4. HEC-HMS Alt Havza Ayarları	27
Şekil 3.5. HEC-HMS Kayıp ve Dönüşüm Ayarları	27
Şekil 3.6. HEC-HMS Hipotetik Fırtına	28
Şekil 3.7. HEC-HMS Eşlenik Veri	28
Şekil 4.1. CMIP5-RCP4.5 Yağış Değerleri	30
Şekil 4.2. CMIP5-RCP8.5 Yağış Değerleri	30
Şekil 4.3. CMIP6-RCP4.5 Yağış Değerleri	31
Şekil 4.4. CMIP6-RCP8.5 Yağış Değerleri	31
Şekil 4.5. 17234 İstasyonu 2006-2100 Dönemi Z-Skor Analizi	33
Şekil 4.6. 17850 İstasyonu 2006-2100 Dönemi Z-Skor Analizi	34
Şekil 4.7. 17860 İstasyonu 2006-2100 Dönemi Z-Skor Analizi	34
Şekil 4.8. 17234 İstasyonu Gözlem Dönemi HEC-SSP Analizi	38
Şekil 4.9. 17850 İstasyonu Gözlem Dönemi HEC-SSP Analizi	38
Şekil 4.10. 17860 İstasyonu Gözlem Dönemi HEC-SSP Analizi	39
Şekil 4.11. Gözlem Dönemi YŞST Grafiği	43
Şekil 4.12. CMIP5 Aykırı Değer Düzeltmesiz Referans Dönem YŞST Grafiği	43
Şekil 4.13. CMIP5 Aykırı Değer Düzeltmesiz 2075-2100 RCP8.5 YŞST Grafiği	44
Şekil 4.14. CMIP6 Aykırı Değer Düzeltmesiz Referans Dönemi YŞST Grafiği	44
Şekil 4.15. CMIP6 Aykırı Değer Düzeltmesiz 2075-2100 RCP8.5 YŞST Grafiği	45
Şekil 4.16. Gözlem Dönemi Hidrograflar	50
Şekil 4.17. CMIP5 FATY Aykırı Değer Düzeltmesiz RCP4.5	51

Şekil 4.18. CMIP5 TYFA Aykırı Değer Düzeltmesiz RCP4.5.....	51
Şekil 4.19. CMIP5 FATY Aykırı Değer Düzeltmesiz RCP8.5	52
Şekil 4.20. CMIP5 TYFA Aykırı Değer Düzeltmesiz RCP8.5.....	52
Şekil 4.21. CMIP6 FATY Aykırı Değer Düzeltmesiz RCP4.5	53
Şekil 4.22. CMIP6 TYFA Aykırı Değer Düzeltmesiz RCP4.5.....	53
Şekil 4.23. CMIP6 FATY Aykırı Değer Düzeltmesiz RCP8.5	54
Şekil 4.24. CMIP6 TYFA Aykırı Değer Düzeltmesiz RCP8.5.....	54



1. GİRİŞ

1.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

İklim değişikliği, su döngüsünde önemli etkilere yol açarak yağış rejimlerinde değişikliğe sebep olmaktadır. Değişen yağış rejimleri, yağışın şiddeti, süresi ve sıklığı arasındaki ilişkiyi gösteren Yağış Şiddet-Süre-Tekerrür (YŞST) eğrilerinin de değişmesine neden olmaktadır. Daha kısa sürede gelen şiddetli yağışlar ile taşkın riskleri de artmaktadır. Değişen YŞST eğrileri, taşkın risklerinin yeniden değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu çalışmanın amacı, daha önce birçok kez taşkın yaşanmış olan Aydın ili Tabakhane Deresi'nde yağış-akış ilişkisini modellemek ve iklim değişikliğinin taşkın risklerine etkisini analiz etmektir. Gözlem ve iklim projeksiyon verileri kullanılarak geçmiş ve gelecek dönem YŞST eğrileri belirlenmiş, HEC-HMS hidrolojik modeli kullanılarak gelecekteki iklim senaryoları ile akım projeksiyonları hesaplanmıştır.

Çalışma, iklim değişikliği altında bölgedeki taşkın risklerinin gelecekte nasıl değişeceğine dair bilgiler sunarak su kaynakları planlamasına katkıda bulunacaktır. İklim değişikliğinin taşkın risklerine olan potansiyel etkilerini anlamak, yerel yönetimler ve karar vericiler için kritik öneme sahiptir. Özellikle, gelecekteki yağış rejimlerindeki değişimlerin taşkın tekerrürleri üzerindeki etkilerini belirlemek, su yönetimi ve afet risklerinin azaltılması politikaları için bilimsel bir temel sağlayacaktır. İklim modellerinin ve gözlem verilerinin entegrasyonu ile elde edilen sonuçlar, bölgesel ölçekli su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi ve iklim değişikliğine uyum sağlanması için önemli olacaktır.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Arazi kullanımındaki değişimlerin, nüfus artışının, kentsel yayılma ve iklim değişikliğinin, doğal çevre ve mevcut altyapı üzerindeki baskıyı artırması beklenmektedir. Sonuç olarak, suyla ilgili yapıların iklim değişikliğine uyum sağlaması için yağış şiddet-süre-tekerrür (YŞST) eğrilerinin iklim değişikliği göz önünde bulundurularak güncellenmesi gereklidir. Tez çalışması bu kapsamda ele alınmış ve seçilen bölge için YŞST eğrilerinin değişimi irdelenmiştir.

Çalışma, Tabakhane Deresi'nin meteorolojik verilerini analiz ederek, iklim değişikliğinin bölgedeki taşkın riskleri üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, 1972-2005 yılları arasında üç farklı meteoroloji gözlem istasyonunda ölçülen (Aydın, Sultanhisar ve Nazilli) günlük yağış verileri ve bu

istasyonlara karşılık gelen iklim modeli projeksiyon senaryoları kullanılarak geleceğe yönelik akım projeksiyonları oluşturulmuştur.

Geçmiş ve gelecek dönem yağış verileri için frekans analizi yapılarak YŞST eğrileri belirlenmiş sonrasında YŞST'ler arasındaki ilişkiler ve anomaliler incelenmiştir. Elde edilen tekerrür yağışlar kullanılarak, HEC-HMS modeli yardımıyla yağış-akış ilişkisi belirlenmiş ve akımlar için beklenen değişimler ortaya konmuştur. Bu kapsamda, iklim değişikliğinin bölgesel su yönetimi ve taşkın risk yönetimi üzerindeki etkilerini anlamak hedeflenmiştir.

1.3. Literatür Taraması

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)'nin 2021 raporu (IPCC, 2021), insan faaliyetlerinin atmosferi, okyanusu ve toprağı ısıttığını kesin bir dille ifade etmektedir. Rapora göre, 2011-2020 döneminde küresel yüzey sıcaklığı, 1850-1900 dönemine göre 1,09°C daha yüksek olmuştur. Ayrıca, son kırk yılın her biri, bir önceki on yıldan daha sıcak olmuştur. Küresel ortalama yağışlar, 1950'den bu yana artmış ve insan etkisi, yağış değişikliklerinde önemli bir faktör olmuştur. Bu değişiklikler, aşırı yağış olaylarının ve taşkın risklerinin artmasına neden olmaktadır (IPCC, 2021).

İklim değişikliğinin yağış rejimleri ve taşkın riskleri üzerindeki etkileri, birçok araştırma ve çalışmaya konu olmuştur. İklim değişikliği, özellikle yağışların şiddet ve frekansını değiştirerek, aşırı yağış olaylarına neden olmaktadır. Fowler ve diğerleri (2021) çalışmasında, iklim değişikliği projeksiyonlarının yağış şiddetinde belirgin bir artışa yol açtığını ve bu artışın altyapı tasarımlarını etkileyebileceğini belirtmiştir. Aynı şekilde, Prein ve diğerleri (2017), Kuzey Amerika'da saatlik aşırı yağış olaylarının sıklığında %400'e varan artışların beklenebileceğini öngörmüştür.

YŞST eğrilerindeki bu değişiklikler, taşkın risklerinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Arnell ve Gosling (2016), iklim değişikliğinin aşırı yağış olayları üzerindeki etkilerini analiz ederek, bu olayların taşkın riski yönetimi üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirmiştir. Bu çalışma, gelecekteki aşırı yağış olaylarının sıklığında ve şiddetinde önemli artışlar öngörmekte ve bu durumun YŞST eğrilerinin güncellenmesini zorunlu kıldığını belirtmektedir.

Garcia-Bartual ve Schneider (2001) tarafından yapılan bir diğer çalışma, YŞST eğrilerinin güncellenmesinde kullanılan istatistiksel yöntemlerin taşkın riskleri

üzerindeki belirsizlikleri azaltmada önemli bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Bu çalışmada, mevcut yöntemlerin iklim değişikliği projeksiyonlarıyla uyumlu bir şekilde güncellenmesi gerektiği ve gelecekteki aşırı yağış olaylarına karşı daha etkili önlemler alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Mainali ve Sharma (2023), Lake Erie kıyısındaki YŞST eğrilerini incelemiş ve iklim modellerini kullanarak gelecekteki yağış projeksiyonlarını değerlendirmiştir. Bu çalışmada, iklim değişikliğinin 21. yüzyıl boyunca yağış yoğunluklarında önemli artışlara yol açacağı ve bu durumun özellikle kısa süreli aşırı yağış olaylarını daha sık hale getireceği belirtilmiştir. Araştırmada, bu değişikliklerin, tarihi YŞST eğrilerine dayanan mevcut altyapıların yetersiz kalmasına neden olabileceği ve bu nedenle altyapı tasarımlarının iklim değişikliğine uyum sağlayacak şekilde yenilenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Martel ve diğerleri (2020) ise iklim değişikliğinin YŞST eğrileri üzerindeki etkilerini incelemiş ve bu eğrilerin iklim değişikliği senaryolarına göre nasıl güncellenmesi gerektiğine dair kapsamlı bir çerçeve sunmuştur. Çalışma, özellikle taşkın riski yönetimi ve su kaynakları planlaması açısından YŞST eğrilerinin güncellenmesinin önemine vurgu yapmıştır.

Aşırı yağış değerlerindeki değişiklikler, Genel Dolaşım Modelleri'nin (General Circulation Model, GCM) çıktıları kullanılarak tahmin edilmektedir (Yan ve diğerleri, 2021). GCM'ler, atmosfer, okyanus, kriyosfer ve kara yüzeyindeki fiziksel süreçleri temsil etmeyi amaçlamakta olup, artan sera gazı konsantrasyonlarına karşı küresel iklim sisteminin tepkisini simüle etmek için günümüzde mevcut en gelişmiş araçlardır (Crévolin ve diğerleri, 2023).

Birleşik Model Karşılaştırma Projesi (Coupled Model Intercomparison Project, CMIP) aşamaları, yağış rejimlerinde meydana gelebilecek değişiklikleri modellemek için kullanılmıştır. CMIP5 ve CMIP6 modelleri, farklı senaryolar altında aşırı yağış olaylarının gelecekte nasıl değişeceğini değerlendirmekte kritik araçlar olarak öne çıkmaktadır. Özellikle, farklı senaryolar altında yapılan projeksiyonlar, gelecekte aşırı yağış olaylarının daha sık ve daha şiddetli olacağını göstermektedir. Bu bulgular, mevcut YŞST eğrilerinin iklim değişikliğine uyumlu hale getirilmesi gerekliliğini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Yakın zamanda, IPCC'nin 6. raporunda yer alan CMIP6 modellerinin en güncel simülasyonları, Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar (Shared Socioeconomic Pathways,

SSP) adı verilen yeni bir dizi senaryoyla birlikte sunulmuştur (IPCC, 2021). SSP'ler, CMIP5 ile karşılaştırıldığında yeni sosyoekonomik gelişim yollarına dayanmaktadır; CMIP5'teki benzer senaryolara ise Temsili Konsantrasyon Yolları (Representative Concentration Pathway, RCP) denir (Hausfather, 2019). Ayrıca, CMIP6'nın taahhütleri, CMIP5'teki sınırlamaları aşmayı amaçlamakta; örneğin, arazi kullanımı ve yönetimi değişikliklerini, aerosol etkisini daha iyi temsil etmek ve süreç simülasyonlarındaki sistematik hataları azaltmak gibi hedefleri içermektedir (Eyring ve diğerleri, 2016; Akinsola ve diğerleri, 2021).

Kourtis ve Tsihrintzis (2022) tarafından yapılan bir değerlendirme çalışmasında, iklim değişikliği göz önünde bulundurularak YŞST eğrilerinin güncellenmesiyle ilgili temel zorluklar incelenmiştir. Bilimsel veri tabanlarında kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. 2001 ile 2021 yılları arasında yayınlanmış 100'den fazla makale incelenmiş, özetlenmiş ve tartışılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, (i) iklim değişikliği projeksiyonları altında YŞST eğrilerinin güncellenmesi ile ilgili en son bilimsel yaklaşımları belirlemek; (ii) bu yaklaşımların belirsizlik faktörlerini (iklim modelleri, istatistiksel küçültme teknikleri, veri zamansal çözünürlüğü, teorik dağılım seçimi vb.) dikkate alıp almadığını değerlendirmek ve (iii) iklim projeksiyonlarına dayalı olarak YŞST eğrilerini güncellemek için genel önerilerde bulunmak olmuştur. Bu değerlendirmede, Türkiye'den herhangi bir çalışmaya atıf yapılmamıştır, bu durum da ülkemiz literatüründe bu konuda bir boşluk bulunduğuna işaret etmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre GCM'lerden ve RCM (Regional Climate Model)'lerden gelen iklim değişikliği projeksiyonları, YŞST eğrilerini güncellemek için bir başlangıç noktası olarak yararlı olacaktır. Ancak, gelecekteki iklim projeksiyonları, gelecekteki etki çalışmaları için gelecekteki tahminler olarak değil varsayımsal gelecek senaryoları olarak ele alınmalıdır. İklim değişikliğinin YŞST eğrileri üzerindeki öngörülen etkileri devam eden bir araştırma konusudur. Sonuçlar, yağış şiddetindeki gelecekteki değişimin iklim modeline, iklim senaryolarına, uzaysal-zamansal küçültme yaklaşımlarına, süreye, geri dönüş periyoduna ve incelenen yere bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Bu çalışmalar için yoğun bir ölçüm istasyonu ağından yüksek zamansal çözünürlüğe sahip yüksek kaliteli uzun vadeli yağış verilerine ihtiyaç vardır. Çoğu ülkede, özellikle gelişmekte olanlarda durum böyle olmadığı için YŞST eğrilerindeki gelecekteki değişiklikleri öngörmek kolay değildir. Bu değerlendirmeye göre sınırlı sayıda çalışma toplam belirsizliği ele almıştır. İklim projeksiyonlarıyla ilişkili

olan yüksek belirsizlikler nedeniyle, yüksek kaliteli uzun vadeli gözlem verilerine ve yeni yeniden analiz yağış ürünlerine, sağlam iklim senaryolarına ve modellerine, istatistiksel küçültme tekniklerine ve zamansal ayrıştırma yöntemlerine dayalı olarak YŞST eğrileri sistematik olarak güncellemeli ve değerlendirmelidir.

Öte yandan, bu değerlendirme çalışması sonrasında yayımlanan 2023 yılı tarihli bir makale incelenmiş ve bu bölgesel çalışmada da dünya literatüründeki bulgularla benzer sonuçlar sunulduğu görülmüştür. Gül ve Kayaalp (2023) tarafından Türkiye'nin üç farklı iklim bölgesinde gerçekleştirilen çalışmada, gelecekteki yağış eğilimlerinin YŞST eğrilerine olan etkileri incelenmiştir. Muğla, Ordu ve Diyarbakır illerinde, HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M iklim modelleri kullanılarak yapılan projeksiyonlar, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre yağış şiddetinde %25'e varan artışlar öngörmüştür. Bu sonuçlar, iklim değişikliği ile yağış rejimlerinde öngörülen değişikliklerin bölgesel ölçekte de önemli etkiler yarattığını ve YŞST eğrilerinin yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, iklim değişikliğinin yağış rejimleri üzerindeki etkileri, YŞST eğrilerinin güncellenmesini ve bu eğrilerin su kaynakları planlamasında dikkate alınmasını zorunlu kılmaktadır. Diğer araştırmalar, iklim değişikliğinin etkilerini inceleyerek benzer bulgular elde etmiştir. Bu bağlamda, bu çalışmamda Aydın ili Tabakhane Deresi'nde, gözlem ve iklim projeksiyon verilerinin birlikte değerlendirilmesi ile elde edilecek bulgular ile bölgesel su kaynakları yönetimi ve risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamak amaçlanmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Türkiye'nin 25 nehir havzasından biri olan Büyük Menderes Havzası (Şekil 2.1) içerisindeki Aydın ilinin Tabakhane Deresi ve çevresini kapsamaktadır. Büyük Menderes Havzası, Ege ve İç Anadolu bölgeleri arasında yer alan, 30°-32° Doğu Boylamları ile 38°-39° Kuzey Enlemleri arasında yer almaktadır. 25.966 km² havza alanı ile Türkiye yüzölçümünün %3,32'sine tekabül etmektedir. Havzanın en büyük nehri ve havzaya ismini veren Büyük Menderes Nehri 581 km uzunluğunda olup Ege Bölgesi'nin en uzun akarsuyudur. Nehirde yıllık 3800 hm³ akış bulunmaktadır (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2019).



Şekil 2.1. Büyük Menderes Havzası'nın Konumu

Tabakhane Deresi (Şekil 2.2), havzanın önemli yan kollarından biri olup, bölgedeki su döngüsünde kritik bir rol oynamaktadır. Dere, Aydın il merkezinin kuzeyinden başlamakta, çevresindeki verimli tarım arazileri ve yerleşim yerlerinden geçerek Büyük Menderes Nehri'ne katılmaktadır.



Şekil 2.2. Aydın İli ve Tabakhane Deresi Konumu

Büyük Menderes Havzası 25.966 km² yüzölçümüne sahiptir. Havzanın 19.846 km²'lik kısmı Aydın il sınırları içinde kalır. Akdeniz ikliminin hâkim olduğu ilde yazlar sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçer. Büyük Menderes vadisi, diğer Ege ovaları gibi batıda denize doğru açılan bir oluk biçimindedir. Bu yüzden denizin ıltııcı etkisi ve yağış getiren rüzgârlar iç kısımlara kadar kolaylıkla girer. Büyük Menderes nehrinin suladığı 800.700 ha alanın 365.794,8 hektarında yani %46'sında tarım yapılmaktadır. Aydın toprak, iklim, tomografik yapı ve ekolojik özellikleri ile polikültür tarıma elverişlidir.

Tarımın her kolunda yüksek bir potansiyele sahiptir. Aydın İlinin sahip olduğu 365.794 hektarlık tarım arazisi içinde 214.371 ha ve %59 pay ile meyveler, içecek ve baharat bitkileri en geniş alanı kaplamaktadır.

2019 yılında Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından tamamlanan Büyük Menderes Havzası Taşkın Yönetim Planı (SYGM, 2019) kapsamında, bölgede yaşanan taşkınlar incelendiğinde Tabakhane Deresi'nde farklı dönemlerde taşkınlar yaşandığı görölmektedir (Örneğin, 28.12.1960, 22.01.1966, 22.09.2015). Ayrıca, yapılan taşkın riski ön değerlendirme çalışmalarında da Aydın Merkez için durum analizi “tarihi taşkın olan ve alüvyon sahası üzerindeki il merkezi olması sebebiyle riskli kabul edilmiştir” olarak belirlenmiş ve 2 boyutlu taşkın çalışması yapılmıştır. Çalışma alanı hem kırsal hem de kentsel bölgeleri içermekte olup, bu durum çeşitli hidrolojik dinamiklerin gözlemlenmesine olanak tanımaktadır. Tabakhane Deresi'nin geçmiş dönemlerde taşkın yaşanmış bir bölge olması, bu çalışmanın önemini daha da artırmakta ve iklim değişikliğinin bu riskler üzerindeki etkilerini anlamak için bir örnek teşkil etmektedir.

Bu alışmada, Tabakhane Deresi için uzun yıllar verisi olan üç adet meteoroloji gözlem istasyonu seçilmiş, bu istasyonların verileri ile istasyonlara karşılık gelen iklim projeksiyon verileriyle analizler yapılmıştır. Çalışmanın devamında ise Söke-Nazilli-Buldan alt havzası için hidrolojik model kurgusu yapılarak akım projeksiyonları için havza modellemesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan alışma ile ilgili detaylı bilgiler, metodoloji ve bulgular bölümlerinde verilmektedir.

2.2. Meteoroloji Gözlem İstasyonları

Çalışmada kullanılan yağış verileri, Aydın ili sınırlarında yer alan ve uzun süreli gözlem verisine sahip üç yakın meteoroloji istasyonundan sağlanmıştır (şekil 2.3, Tablo 2.1); Aydın (İstasyon No: 17234), Sultanhisar (İstasyon No: 17850) ve Nazilli (İstasyon No: 17860).



Şekil 2. 3. Seçilen Meteoroloji Gözlem İstasyonları

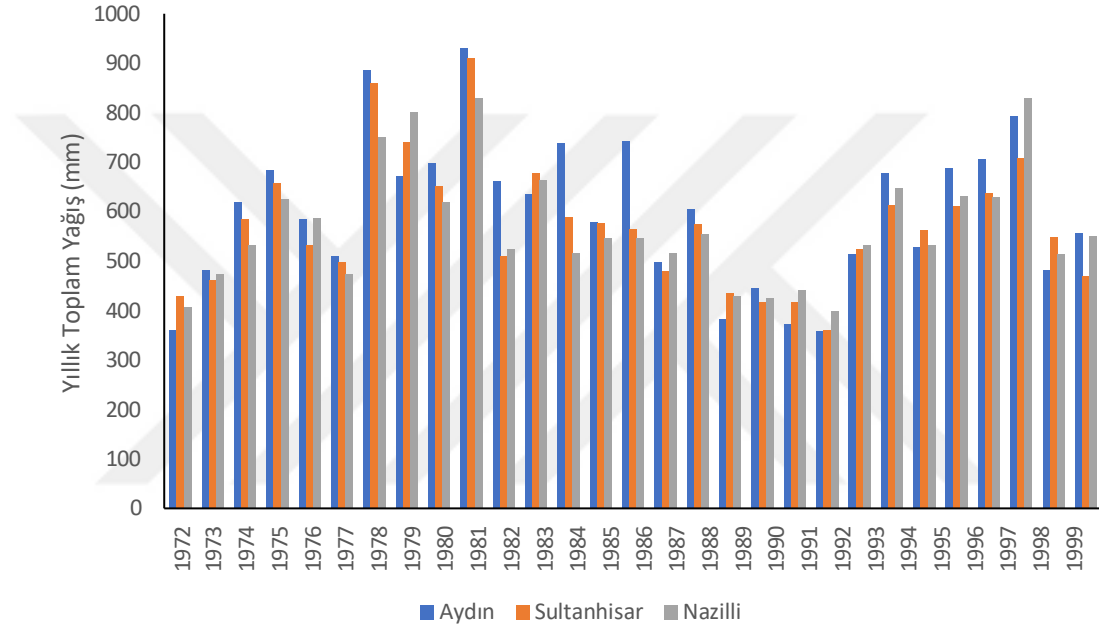
Tablo 2.1. Seçilen Meteoroloji Gözlem İstasyonları

No	İstasyon No	Adı	İl	İlçe	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	Veri Aralığı
1	17234	Aydın	Aydın	Merkez	37.8402	27.8379	56	1950-2016
2	17850	Sultanhisar	Aydın	Sultanhisar	37.8843	28.1504	73	1972-2012
3	17860	Nazilli	Aydın	Nazilli	37.9135	28.3437	84	1972-2017

İstasyonlardan elde edilen veriler, belirlenen çalışma alanının iklim özelliklerini incelemek için kullanılmıştır. Hem gözlem verileri hem de iklim projeksiyonlarının geçmiş verileri dikkate alındığında 1972-2000 dönemi geçmiş dönem için ortak periyot seçilmiştir. Bu döneme ait istasyonlardaki yağış değerlerinin günlük, yıllık ortalama ve maksimum değerleri mm cinsinden Tablo 2.2 ve Şekil 2.4'te özetlenmiştir.

Tablo 2.2. İstasyonların yağış istatistikleri 1972-2000 (mm)

İstasyon	Günlük Ortalama	Günlük Maksimum	Yıllık Ortalama	Yıllık Maksimum	Yıllık Minimum
Aydın	1,64	80,2	599,6	931,3	359,2
Sultanhisar	1,57	78,8	572,3	910,0	360,3
Nazilli	1,56	88,4	569,9	830,3	399,4
Ortalama	1,59	82,5	581,6	890,5	372,9



Şekil 2.4. İstasyonların Yıllık Toplam Yağış Değerleri

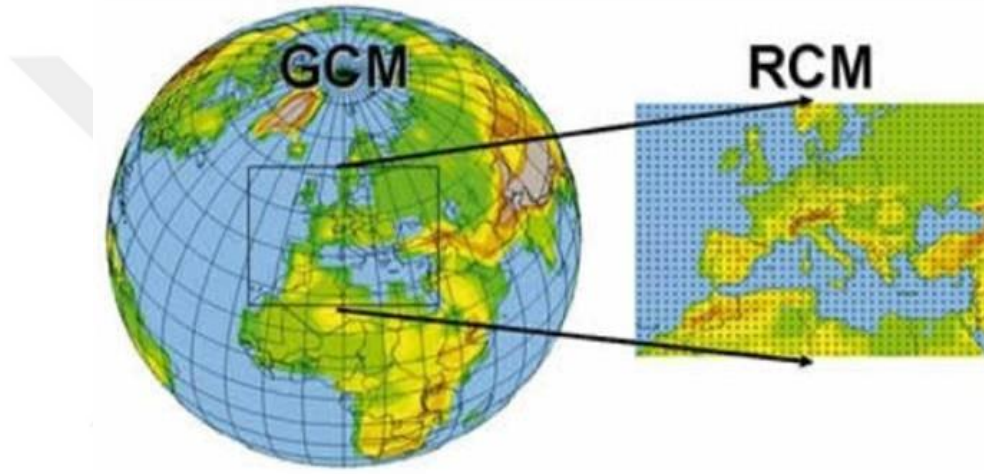
2.3. CMIP5 ve CMIP6 İklim Modelleri

İklim modelleri, atmosfer, okyanus, kara yüzeyi ve buz gibi iklim sistemi bileşenlerinin çeşitli fiziksel süreçlerini simüle ederek gerekli bilgileri üretir. Bu modeller, geçmiş gözlemsel verileri kullanarak, gelecekteki iklim koşullarını modelleyebilir ve projekte edebilir. Bu süreç, gelecekteki iklim değişikliklerinin potansiyel etkilerini anlamak ve bu etkilere karşı önlemler almak için çok önemlidir. İklim verileri, altyapı geliştirme, su kaynakları, tarım ve afet hazırlığı gibi birçok alanda karar alma süreçlerini önemli ölçüde etkiler.

İklim verileri genellikle iki ana kaynaktan elde edilir: uzun dönem gözlemler ve iklim modellerinin çıktıları. Gözlemsel veriler, doğrudan kayıtlar sağlar ve geçmiş iklim

koşullarını gösterir; bu da iklim modellerini kalibre etmek için temel oluşturur. Bu kalibre edilmiş modeller kullanılarak gelecekteki iklim koşulları simüle edilir. Bu simülasyonlar, çeşitli sera gazı emisyon senaryolarına dayanarak gelecekteki iklim değişikliklerinin potansiyel etkilerini tahmin eder.

Genel Dolaşım Modeli (GCM), atmosferdeki, okyanustaki ve kara yüzeyindeki fiziksel süreçleri simüle etmek için kullanılan küresel bir iklim modelidir. Bölgesel İklim Modeli (RCM), GCM'ye benzer, ancak daha yüksek çözünürlüklü veriler üretmek için daha küçük bir etki alanında, daha yüksek çözünürlükte çalıştırılır (Şekil 2.5) (<http-1>).



Şekil 2.5. GCM Hücrelerine Gömülü RCM Alanı (Giorgi, 2008)

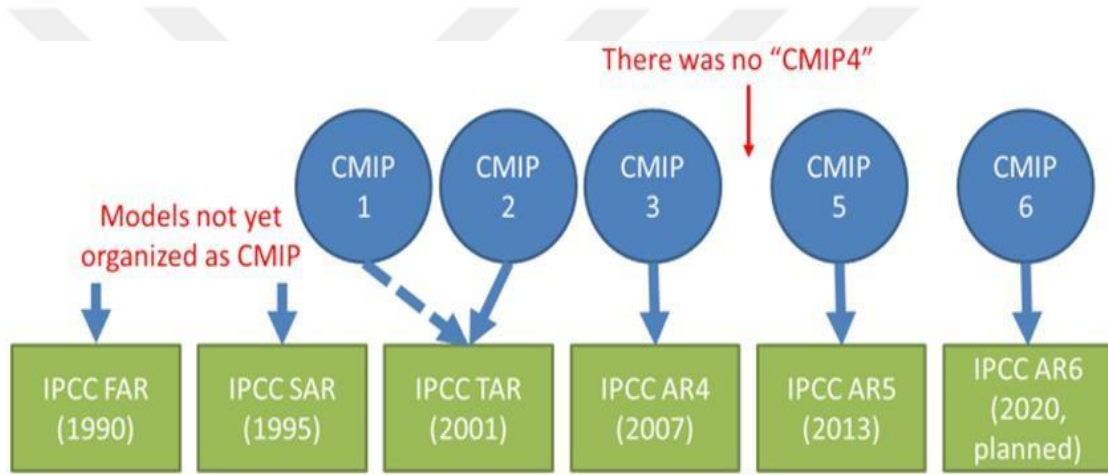
Temsili Konsantrasyon Yolları (Representative Concentration Pathways, RCP), gelecekteki sera gazı konsantrasyonlarını tahmin etmek için kullanılan iklim değişikliği senaryolarıdır. Bu yollar, gelecekteki sera gazı konsantrasyonlarını açıklar ve IPCC tarafından kabul edilmiştir. Senaryolar, gelecek yıllarda salınan sera gazı miktarına bağlı olarak olası kabul edilen farklı iklim değişikliği senaryolarını açıklar. Birleşik Model Karşılaştırma Projesi (Coupled Model Intercomparison Project, CMIP5 ve CMIP6) için temsili konsantrasyon yolları çeşitli farklılıklar göstermektedir. Bu konuda detaylı bilgi CMIP5 ve CMIP6 başlıkları altında verilecektir.

Birleşik Model Karşılaştırma Projesi (CMIP)

Coupled Model Intercomparison Project (CMIP), iklim değişikliklerini daha iyi anlamak için yapılan bir çalışmadır. Amacı, doğal olaylar veya dış etkenlerin (güneş, sera gazları gibi) etkisiyle ortaya çıkan geçmiş, şu anki ve gelecekteki iklim değişikliklerini

incelemektir. Bu anlayış, tarihsel dönemdeki model performansının değerlendirilmesini ve gelecekteki projeksiyonlarda yayılmanın nedenlerinin niceliksel olarak belirlenmesini içerir. CMIP, 1995 yılında Birleşik Modelleme Çalışma Grubu'nun (Working Group on Coupled Modelling, WGCM) himayesi altında başladı. İlk ortak deneyler seti, idealize edilmiş bir zorlamaya (yılda %1 oranında bileşik artışla gerçekleştirilen bir CO₂ artışı) karşı model tepkisinin karşılaştırılmasını içermektedir. O zamandan itibaren birçok CMIP deneyi geliştirilmiştir (http-2).

Birleşik Model Karşılaştırma Projesi'nin gelişimi aşağıdaki şemada anlatılmaktadır (Şekil 2.6), ayrıca her faza ait deney ve model sayıları aşağıdaki tabloda (Tablo 2.3) detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 2.6. Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesinin Tarihsel Gelişimi (IPCC, erişim tarihi: 23 Temmuz 2024)

Tablo 2.3. AMIP ve CMIP'in Gelişimi (Jukes ve diğerleri, 2020)

MIP Dönemi	Aktif Yıllar	# Deneyler	# Modeller	Veri Hacmi
AMIP1	1991	1	27 (sadece atmosfer)	1 GB
AMIP2	1995	1	33 (sadece atmosfer)	500 GB
CMIP1	1995–1997	1	17 (bağlı okyanus-atmosfer)	1 GB
CMIP2	2000–2005	2	17 (bağlı okyanus-atmosfer)	500 GB
CMIP3	2007–2010	11	24 (bağlı okyanus-atmosfer)	50 TB
CMIP5	2011–2014	39	59 (bağlı, ESM'ler)	2 PByte
CMIP6	2018–2021	295 (24 alt-MIP)	114 (bağlı, ESM'ler, artı radyasyon kodları)	~20 PByte
CMIP7	2025–2028?	-	-	?

CMIP5

Birleşik Model Karşılaştırma Projesi Evre 5 (CMIP5), iklim modellerini karşılaştırmak ve geliştirmek için başlatılmış uluslararası bir girişimdir. CMIP5, çeşitli iklim modellerinin yeteneklerini değerlendirmek ve iklim değişikliğinin öngörülerini sunmak amacıyla tasarlanmıştır. Bu projede, farklı koşullar altında iklim modellerinin sonuçları analiz edilerek gelecekteki iklim değişiklikleri hakkında tahminler yapılmıştır. CMIP5'teki tüm senaryolar arasında, Temsili Konsantrasyon Yolları (RCP'ler) en ünlüleridir. Bu senaryolar, sera gazı emisyonlarının farklı seviyelerine dayanmakta olup, iklim değişikliğinin etkilerini ölçmek için uygulanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, CMIP5'te bulunan altı farklı modelin verileri kullanılmıştır (Tablo 2.4). Veriler Copernicus'a ait Climate Data Store ([http-3](http://cds.climate.copernicus.org)) veri tabanından günlük olarak indirilmiştir.

Tablo 2.4. Çalışmada Kullanılan CMIP5 Modelleri

Model	Ülke	Kurum	Çözünürlük (°)	Simülasyon Periyodu
CNRM-CERFACS- CNRM-CM5	Fransa	Centre National de Recherches Météorologiques	0,1 x 0,1	1850-2100
IPSL-CM5A-LR	Fransa	Institut Pierre-Simon Laplace	1,9 x 3,75	1850-2100
MPI-M-MPI-ESM- LR	Almanya	Max Planck Institute for Meteorology	0,1 x 0,1	1850-2100
NCAR-CCSM4	Amerika	National Center for Atmospheric Research	0,95 x 1,25	1850-2100
NOAA-GFDL- ESM2M	Amerika	National Oceanic and Atmospheric Administration	1,5 x 2,5	1850-2100
NorESM1-M	Norveç	Norwegian Earth System Model	1,9 x 2,5	1850-2100

Bu modellerin tarihi (historical veya referans olarak da anılmaktadır) dönem (1950-2005) ve gelecekteki dönem (2005-2100) verileri indirilmiş ve çalışmaya dahil edilmiştir. Gözlemlenen veriler, geçmiş iklimi yansıtırken, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları, gelecekteki sera gazı emisyonlarının orta ve yüksek seviyelerini temsil etmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında senaryolar RCP başlığı ile anılmıştır.

CMIP6

CMIP6, CMIP5'i takiben iklim değişikliği araştırmalarını ileriye taşımayı amaçlamaktadır. CMIP6, iklim modellerinin daha yüksek nrlkte ve daha ayrıntılı fiziksel süreçlerle çalışmasına olanak tanır. Bu proje, farklı SSP (Shared Socioeconomic Pathways, Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar) senaryolarıyla çalışarak iklim değişikliğinin sosyo-ekonomik etkilerini değerlendirmektedir. SSP senaryoları, gelecekteki sera gazı emisyonları, arazi kullanımı değişiklikleri ve sosyo-ekonomik gelişmeleri dikkate alarak iklim değişikliğinin potansiyel etkilerini kapsamlı bir şekilde simüle etmektedir. Bu alışmada, CMIP6'ya dahil edilen beş farklı modelin verileri kullanılmıştır (Tablo 2.5). CMIP6 verileri, Earth System Grid Federation (ESGF) ([http-4](http://4)) veri tabanından günlük olarak indirilmiştir.

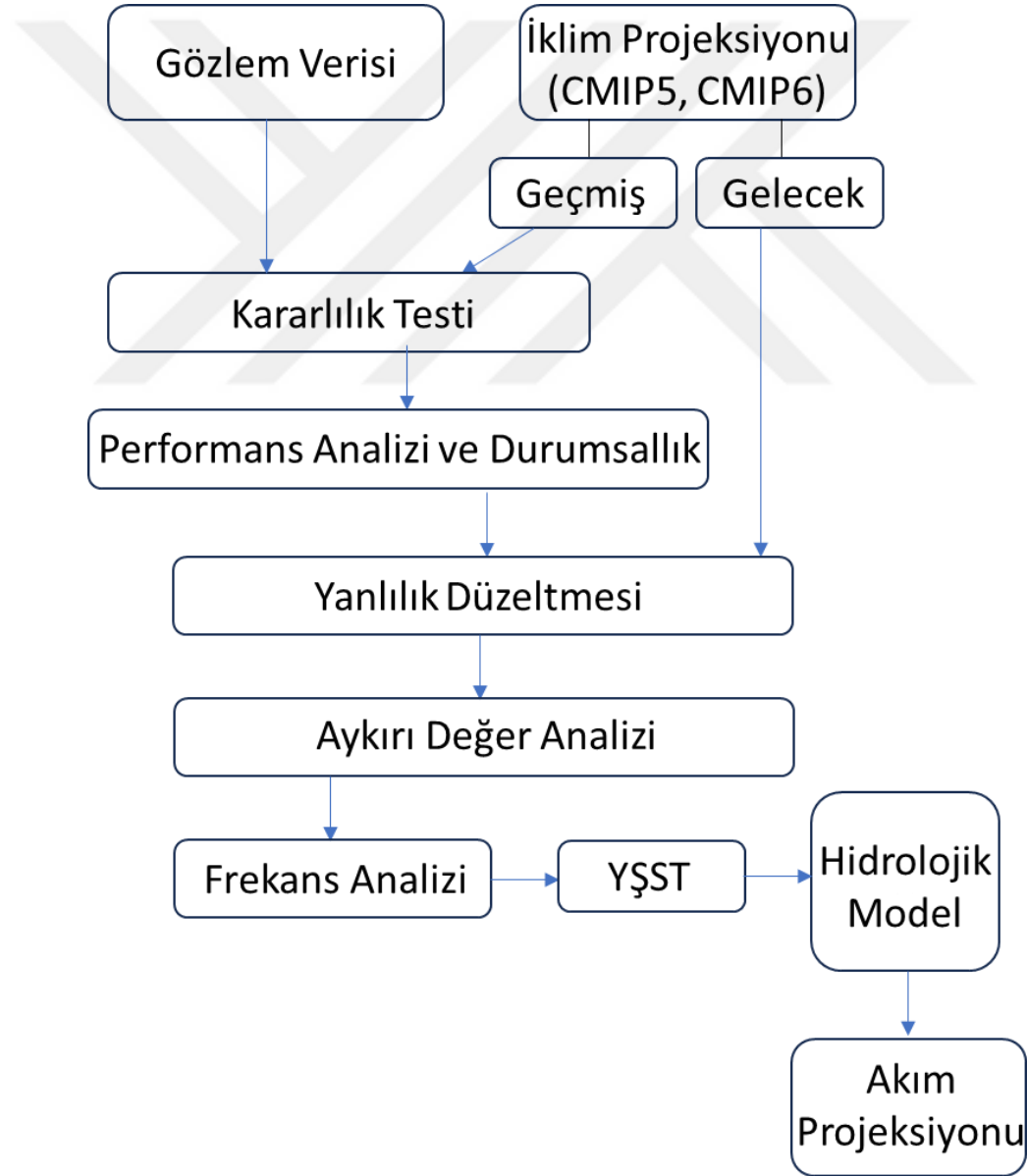
Tablo 2.5. *alışmada Kullanılan CMIP6 Modelleri*

Model	lke	Kurum	nrlk (°)	Simülasyon Periyodu
CNRM-ESM2-1	Fransa	Centre National de Recherches Mtorologiques	1,4 x 1,4	1850-2100
IPSL-CM6A-LR	Fransa	Institut Pierre-Simon Laplace	1,25 x 2,50	1850-2100
MPI-ESM1-2-LR	Almanya	Max Planck Institute for Meteorology	1,9 x 1,9	1850-2100
NOAA-GFDL-ESM4	Amerika	National Oceanic and Atmospheric Administration	1,0 x 1,25	1850-2100
NorESM2-MM	Norveç	Norwegian Earth System Model	0,95 x 1,25	1850-2100

CMIP6 modellerinin tarihi dönem (1950-2014) ve gelecek dönem (2015-2100) verileri indirilmiş ve çalışmaya dahil edilmiştir. Tarihsel veriler, geçmiş iklim koşullarını yansıtırken, SSP senaryoları farklı sosyo-ekonomik gelişim yollarını ve bunların iklim üzerindeki etkilerini temsil eder. CMIP6 projesiyle birlikte, iklim projeksiyon senaryolarında daha kapsamlı bir yaklaşıma gidilmiş ve önceki çalışmalarda kullanılan RCP senaryolarının yerini, SSP senaryoları almıştır. Bu yeni senaryolar, sadece sera gazı emisyonlarına değil, aynı zamanda sosyoekonomik gelişim yollarına da dayanmaktadır. Bu alışmada RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları, CMIP6 verileri için sırasıyla SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları ile eşdeğerdir ve benzer emisyon seviyelerini temsil eder.

3. METODOLOJİ

Bu çalışma, Tabakhane Deresi'nde iklim değişikliğinin taşkın risklerine etkisini değerlendirmek amacıyla, geçmiş ve gelecek için YŞST eğrilerinin çıkartılmasını ve akış projeksiyonlarının hesaplanmasını temel almaktadır. Çalışmada HEC-HMS modeli kullanılarak iklim projeksiyon verileri ile gelecekteki olası taşkın riskleri analiz edilmiştir. Çalışmanın akış şeması Şekil 3.1'de yer almaktadır. Metodolojide veri toplama, toplanan verilerin analizi ve değerlendirilmesi, çeşitli testler, hataların düzeltilmesi, frekans analizi ile tekerrür yağışlarının elde edilmesi, model kurulumu, simülasyon ve projeksiyon akımların elde edilmesi adımları yer almaktadır.



Şekil 3.1. Çalışma Akış Şeması

3.1. Veri Analizi

3.1.1. Kararlılık (stationary) testi

Zaman serisi analizi yaparken, yağış verilerinin kararlılığını belirlemek önemli bir adımdır. Yağış verilerinin kararlı olup olmadığını bilmek, bu verilerle yapılacak modellemelerin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırır. Kararlılık, serinin ortalama ve varyansının zaman içinde sabit kalması anlamına gelir ve birçok istatistiksel analizde temel bir varsayımdır. Örneğin, kararlı olmayan bir seri, yanlış tahminlere ve hatalı sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle, yağış verilerinin kararlı olup olmadığını belirlemek, analizlerin doğruluğu açısından kritik bir öneme sahiptir.

Veri analizi yaparken, zaman serisi verilerinin kararlı olup olmadığını belirlemek için çeşitli kararlılık testleri kullanılır. Bu testlerden üçü Augmented Dickey-Fuller (ADF) Testi, Phillips-Perron (PP) Testi ve Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) Testi'dir.

ADF ve PP testleri için Null Hipotezi (H0) serinin kararlı olmadığını ve bir birim kökün olduğunu, Alternatif Hipotez (H1) ise serinin kararlı olduğunu ve birim kökü olmadığını gösterir. KPSS testinde ise H0 serinin kararlı olduğu, H1 ise kararlı olmadığı kabulü vardır. Hipotezler sonrasında testlerin sonuçlanması ise aşağıdaki kriterler doğrultusunda yapılmaktadır (http-5)

Augmented Dickey-Fuller (ADF) Testi:

- Test istatistiği, belirlenen kritik değerlerden daha küçükse (örneğin, %1, %5, %10), null hipotezi reddedilir ve seri durağan olarak kabul edilir.
- Test istatistiği kritik değerlerden büyükse, null hipotezi reddedilemez ve seri durağan olmayabilir.

Phillips-Perron (PP) Testi:

- ADF testine benzer şekilde, test istatistiği belirlenen kritik değerlerden daha küçükse, seri kararlı olarak kabul edilir.
- Test istatistiği kritik değerlerden büyükse, null hipotezi reddedilemez ve seri kararlı olmayabilir.

Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) Testi:

- Test istatistiği kritik değerlerden büyükse, null hipotezi reddedilir ve seri kararlı olmayabilir.
- Test istatistiği kritik değerlerden küçükse, null hipotezi kabul edilir ve seri kararlı olarak kabul edilir.

ADF ve PP testlerinin sonuçları genellikle birlikte değerlendirilir. Eğer her iki test de serinin kararlı olduğunu gösterirse, bu güçlü bir kanıttır. Ancak, eğer sonuçlar birbiriyle çelişiyorsa, daha dikkatli bir analiz ve ek testler gerekebilir. KPSS testi, diğer iki testin aksine, serinin kararlı olduğunu varsayar. Bu nedenle, KPSS testi ile ADF ve PP testlerinin sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, serinin kararlılık durumuna dair daha geniş bir görüş elde edilir. Sonuçların birbirleriyle uyumlu olup olmadığına bakılarak, verinin kararlı olup olmadığına dair bir sonuca varılabilir.

3.1.2. Performans kriterleri ve durumsallık (contingency) tablosu

Meteorolojik verilerin analizinde, tahminlerin doğruluğunu değerlendirmek için sıklıkla çeşitli istatistiksel kriterlere dayanan performans analizi ve durumsallık (contingency) tablosu kullanılır.

Ortalama karekök sapması (Root Mean Square Error, RMSE), modellerin doğruluğunu ve tahmin başarısını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir performans metriğidir. RMSE, tahmin edilen ve gözlemlenen değerler arasındaki farkların karelerinin ortalamasının kareköküdür ve model hatasının büyüklüğünü gösterir.

Bu çalışmada, üç gözlem istasyonu (17234, 17850, 17860) verileri ile CMIP5 ve CMIP6 modellerinin referans dönem verileri karşılaştırılarak RMSE değerleri hesaplanmıştır.

Durumsallık tablosu, tahmin edilen ve gözlemlenen olayların karşılaştırılmasını sağlar ve performans ölçütlerinin hesaplanmasına olanak tanır. Durumsallık analizi, özellikle iklim verilerinin güvenilirliğini ve doğruluğunu değerlendirmek için önemlidir. Bu analizde kullanılan bazı temel performans ölçütleri şunlardır: Yanlış Alarm Oranı (False Alarm Ratio), Vuruş Oranı (Hit Rate), Yanlılık (BIAS) ve Post Agreement.

Tablo 3.1. Durumsallık Tablosu

		Gözlem Verisi	
		Yağış Var	Yağış Yok
Tahmin Verisi	Yağış Var	a	b
	Yağış Yok	c	d

Yanlış Alarm Oranı (False Alarm Ratio):

Yanlış alarm oranı, yanlış pozitiflerin (tahmin edilen ama gerçekleşmeyen olaylar) toplam pozitif tahminlere oranıdır.

- Formül: $=b/(a+b)$

Düşük bir yanlış alarm oranı, modelin gereksiz yere alarm vermediğini gösterir. Yüksek oran, modelin sık sık yanlış alarm verdiğini ve güvenilir olmadığını gösterir.

Vuruş Oranı (Hit Rate):

Vuruş oranı, doğru pozitiflerin (tahmin edilen ve gerçekleşen olaylar) toplam gerçek olaylara oranıdır.

- Formül: $=a/(a+c)$

Yüksek bir vuruş oranı, modelin gerçek olayları doğru bir şekilde tahmin ettiğini gösterir. Düşük oran, modelin birçok olayı kaçırdığını gösterir.

BIAS:

BIAS, tahmin edilen olayların toplam sayısının gözlemlenen olayların toplam sayısına oranıdır.

- Formül: $=(a+b)/(a+c)$

BIAS değeri 1'e yakınsa, model tahminlerinin gözlemlerle uyumlu olduğunu gösterir. 1'den büyük bir değer modelin olayları fazla tahmin ettiğini, 1'den küçük bir değer ise yetersiz tahmin ettiğini gösterir.

Post Agreement:

Post Agreement, doğru pozitif ve doğru negatif olayların toplam doğru tahminlere oranıdır.

Bu oran, modelin hem doğru pozitif hem de doğru negatif olaylarda ne kadar başarılı olduğunu gösterir. Yüksek bir değer, modelin genel olarak iyi bir performansa sahip olduğunu gösterir.

Bu analizde metriklerin kullanılması, model performansının farklı yönlerini anlamak için kritik öneme sahiptir. False Alarm Ratio ve Hit Rate, modelin hata yapma eğilimlerini gösterirken, BIAS ve Post Agreement, genel performansı ve dengeyi değerlendirir (http-6).

3.1.3. Yanlılık düzeltmesi (bias correction)

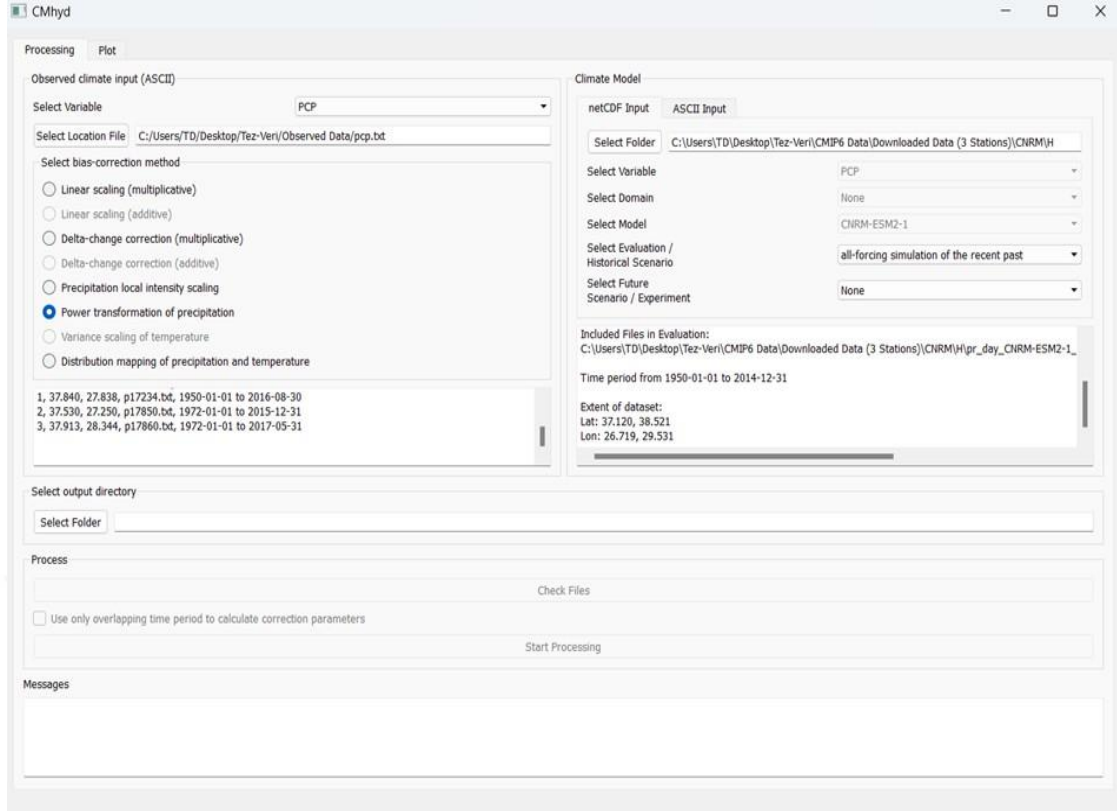
Hem küresel hem de bölgesel iklim modelleri çıktılarında sistematik hatalar içerir. Örneğin, iklim modelleri genellikle çok fazla yağmurlu güne sahiptir ve yağış uçlarını

hafife alma eğilimindedir. Mevsimsel yağış miktarında hatalar olabilir veya sıcaklıklar sürekli olarak çok yüksek veya çok düşük olabilir. İklim modellerindeki hatalar bir dizi faktörden kaynaklanabilir; mekansal çözünürlükten (düşük çözünürlük), basitleştirilmiş termodinamik süreçlerden, fizikten veya küresel iklim sisteminin eksik anlaşılmasından. Bu nedenle, iklim etki çalışmalarında düzeltilmemiş çıktıların kullanılması gerçekçi olmayan sonuçlar verebilir.

İklim modellerindeki büyük yanlılıkların üstesinden gelmek için bir dizi yanlılık düzeltme yöntemi geliştirilmiştir (Delta haritalama metodu, çoklu lineer regresyon, Quantile mapping etc.). Tüm yöntemler için, gözlemsel veri kümelerinin kalitesinin yanlılık düzeltmesinin kalitesini belirlediğini bilmek önemlidir. İyi bir yanlılık düzeltmesi yapmak için, iyi bir gözlem veri kümesine sahip olmak gerekir.

CMhyd, iklim modeli çıktılarındaki (yağış, sıcaklık vb.) yanlılıkları düzeltmek amacıyla geliştirilmiş bir yazılımdır. İklim modeli verilerinde bulunan yanlılıkların modelleme üzerindeki etkilerini azaltmak için kullanılır. Yazılımın kullanılmasıdaki temel amaç, GCM ve RCM gibi modellerden elde edilen verilerdeki yanlılıkları düzelterek tahminlerin doğruluğunu artırmaktır. (Rathjens, 2016)

CMhyd yazılımı, çeşitli yanlılık düzeltme yöntemlerine sahiptir (Şekil 3.2). Bu yöntemler arasında doğrusal ölçekleme (linear-scaling), delta haritalama (delta mapping), yerel yağış şiddeti ölçekleme (precipitation local intensity scaling), yağışın güç dönüşümü (power transformation of precipitation) ve dağılım haritalama (distribution mapping) gibi metotlar bulunur. Gözlemsel referans verileri ve model çıktıları ile yazılıma veri girişi yaparak yanlılık düzeltme sürecini başlatılabilmektedir. Programa girdi olarak yağış ve sıcaklık verisi verilebilmektedir. Bu çalışmada yağış verileri için düzeltme yapılmıştır. İstasyonlara ait bilgiler bir text dosyası içerisinde numara, isim, enlem, boylam ve yükseklik olacak şekilde hazırlanıp programa girilir. Daha sonrasında modelde kullanılacak olan metot seçilir. Son olarak ise iklim verileri programa girdi olarak verilebilmektedir. İndirilmiş olan netCDF formatındaki veriler her model ve senaryo için programa verilmiş sonrasında da program çalıştırılarak düzeltilmiş veri setleri elde edilmiştir.



Şekil 3.2. CMhyd Programının Arayüzü

Doğrusal Ölçeklendirme (Linear-Scaling) Yöntemi

Doğrusal ölçeklendirme yöntemi, en basit ve yaygın olarak kullanılan yanlışlık düzeltme tekniklerinden biridir. Bu yöntemin temel prensibi, model çıktılarının gözlemlerle aynı ortalama değere getirilmesidir. Bu işlem, kalibrasyon dönemi boyunca gözlemlenen ve iklim verilerinin oranından elde edilen sabit bir ölçek faktörü elde edilmesi ile gerçekleştirilir.

Delta Haritalama (Delta Mapping) Yöntemi

Delta haritalama, aynı zamanda dağılım bazlı hata düzeltmesi (quantile-based bias correction) olarak da bilinir ve model verilerinin dağılımlarını gözlemsel verilerle hizalayarak daha karmaşık yanlışlıkları düzelten bir yöntemdir. Bu yöntem, doğrusal ölçeklendirme yönteminin sınırlamalarını aşarak farklı dağılımlarda farklı düzeltmeler yapar ve doğrusal olmayan ilişkileri ve daha karmaşık yanlışlıkları düzeltir.

Yağış Yerel Şiddet Ölçeklemesi (Precipitation Local Intensity Scaling)

Yağış yerel şiddet ölçeklemesi yöntemi, yerel yağış şiddetlerini dikkate alarak model verilerini düzeltir. Bu yöntem, yerel ölçekte yağış şiddetlerinin model ve gözlemsel veriler arasındaki farklılıklarını ayarlayarak daha doğru sonuçlar elde etmeyi amaçlar.

Yağışın Güç Dönüşümü (Power Transformation of Precipitation)

Yağışın güç dönüşümü, özellikle yağış verilerindeki yanlılıkları düzeltmek için tasarlanmış bir yöntemdir. Bu yöntem, verileri dönüştürerek varyansı stabilize eder ve verilerin daha normal dağılımlı olmasını sağlar. Güç dönüşümü yöntemi, çarpık yağış veri dağılımlarının düzeltilmesinde etkilidir ve özellikle aşırı yağış değerlerini daha doğru bir şekilde ele alır.

Dağılım Haritalama (Distribution Mapping of Precipitation and Temperature)

Dağılım Haritalama yöntemi, yağış ve sıcaklık verilerini gözlemsel verilerle hizalayarak yanlılıkları düzeltir. Bu yöntem, model ve gözlemsel veriler arasındaki dağılım farklılıklarını gidererek daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde etmeyi amaçlar.

Bu çalışmada öncelikle tüm metotlar çalışılmış fakat yağışın güç dönüşümü metodu ile devam edilmiştir. Diğer metotlar yağış verilerini ortalama veya toplam değer olarak eşleştirmeye çalışmış ve ekstrem yağışlarda çok yüksek değerler elde edilmiştir. Yağışın güç dönüşümü metodu ise diğerlerine oranla ekstrem yağışlarda daha kabul edilebilir sonuçlar ortaya koymuştur.

Güç dönüşümü yöntemi, literatürde de geniş çapta kullanılmış ve etkili sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır. Örneğin, Jeong ve diğerleri (2023) çalışmasında, güç dönüşüm yönteminin aşırı değerlerin düzeltilmesinde yüksek doğruluk sağladığını belirtilmiştir. Bu yöntem, yerel yağış olaylarının dinamiklerini daha iyi yansıtabilmekte ve bu sayede hidrolik modellemelerde daha güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır.

Güç dönüşümü yöntemi, yağış verilerindeki doğrusal olmayan ilişkileri ve daha karmaşık yanlılıkları düzeltme kapasitesine sahip olduğundan bu yöntemin seçilmesi, araştırmanın hedeflerine ulaşması için uygun bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir.

3.1.4. Aykırı değer (outlier) analizi

Aykırı değer (outlier) testi, veri setinde bulunan ve genel dağılımdan önemli ölçüde sapma gösteren anormal değerlerin belirlenmesi amacıyla yapılan bir analizdir. Bu değerler, veri setinin genel dağılımını bozabilir ve yanlış sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle, aykırı değerlerin tespiti ve incelenmesi, veri analizi ve modelleme sürecinde önemli bir aşamadır.

Aykırı değer testi çeşitli şekillerde yapılabilir. Bu yöntemler arasında Z-skor yöntemi, IQR yöntemi ve görsel yöntemler bulunur. Z-skor yöntemi, her bir veri

noktasının ortalamadan kaç standart sapma uzakta olduğunu belirler ve belirli bir eşik değerden büyük olan değerleri aykırı olarak kabul eder.

Bu çalışmada, aykırı değerleri analiz etmek için Z-skor yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, Z-skor değeri belirli bir değerden (genellikle 3 veya daha fazla) büyükse, bu değer aykırı olarak kabul edilir. İlk olarak, veri setindeki her bir değerın Z-skoru hesaplanır. Bu işlem, scipy stats kütüphanesinin Z-skor fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Z-skor elde edildikten sonra, mutlak Z-skoru belirli bir değerden (bu çalışmada 3 olarak kabul edilmiştir) büyük olan değerler aykırı olarak belirlenmiştir. Böylece, veri setindeki diğer değerlerden önemli ölçüde farklı olan aykırı değerler tespit edilmiştir.

3.1.5. Frekans analizi

Frekans analizi, belirli bir zaman diliminde meydana gelen ekstrem olayların tekrarlanma olasılığını belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Yağış verileri üzerinde yapılan frekans analizi ile standart yağış süreleri için her yıl gözlenen maksimum yağış miktarlarını inceleyerek bu ekstrem yağış olaylarının dönüş aralıkları hesaplanır.

Standart süreler için yıllık maksimum yağışlar bulunduktan sonra verilere dağılım fonksiyonları uygulanır. Bu dağılım fonksiyonları arasında Gumbel, Log-Normal, Weibull, Pareto, GEV, Gamma vb. dağılımları bulunmaktadır. Bunlar içerisinde en yaygın tercih edilen Gumbel Dağılımı (Extreme Value Type I Distribution) ve Log-Pearson Type 3 dağılımlarıdır. HEC-SSP (http-7) programı kullanılarak farklı dağılım sonuçları incelenmiş ve yüksek performans alınan Gumbel dağılımı ile çalışmaya devam edilmesi uygun görülmüştür. Gumbel dağılımı (Ekstrem değer dağılımı); $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ şeklinde sıralanan örnekleme n tane rastgele değişkenin maksimum ve minimum değerlerinin dağılımının modellenmesi olarak tanımlanmaktadır. Gumbel dağılımının iki biçimi vardır. Biri en küçük aşırılığa, diğeri ise en büyük aşırılığa dayanır. Bunlara sırasıyla minimum ve maksimum durumlar adı verilir. Bu çalışmada dağılım maksimum durum için kullanılmıştır. Gumbel (maksimum) dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu için genel formül Denklem 3.1’de gösterilmiştir.

$$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x-\mu}{\beta}} e^{-e^{-\frac{x-\mu}{\beta}}} \quad (3.1)$$

burada μ konum parametresi ve β ölçek parametresidir (Denklem 3.2). $\mu = 0$ ve $\beta = 1$ olduğu durum standart Gumbel dağılımı olarak adlandırılır.

Bu dağılımda öncelikle veri setlerinin ortalama ve standart sapmaları hesaplanır. Sonrasında aşağıda verilen formüller kullanılarak 5, 10, 30, 60, 120, 720 ve 1440 dakika standart yağış süreleri için 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür yağışları hesaplanır.

$$\beta = \frac{s\sqrt{6}}{\pi}$$
$$\mu = X - 0.5772\beta \quad (3.2)$$

3.2. Hidrolojik Model

Hidrolojik modeller, su döngüsünü ve suyun akışını simüle ederek su kaynakları yönetimi, taşkın tahmini ve çevresel etki değerlendirmesi gibi alanlarda kullanılır. Bu modeller, yağış, buharlaşma, infiltrasyon ve akış gibi hidrolojik süreçleri matematiksel olarak temsil eder ve su kaynaklarının planlanması ve yönetimi için önemli bilgiler sağlar.

HEC-HMS (USACE, 2024b), hidrolojik modelleme için yaygın olarak kullanılan bir programdır. ABD Ordusu Mühendisler Birliği (USACE) tarafından geliştirilen bu yazılım, farklı hidrolojik süreçleri simüle edebilir ve çeşitli hidrolojik olaylar için akış tahminleri yapabilir. HEC-HMS, kullanıcılara esnek bir modelleme ortamı sunarak, su havzalarının davranışlarını detaylı bir şekilde analiz etmelerine olanak tanır.

Bu çalışmada, HEC-HMS kullanılarak hidrolojik modelleme gerçekleştirilmiştir. Model, geçmiş dönem yağış verilerini ve gelecekteki projeksiyon verilerini kullanarak yapılan frekans analizi sonuçlarını kullanarak taşkın riskini değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Bu değerlendirmede, 10 ve 100 yıllık tekerrür yağış değerleri ile akım projeksiyonları elde edilmiş ve bu akımların karşılaştırılması yapılmıştır.

HEC-HMS modeli, hidrolojik modelleme sürecinde farklı amaçlara hizmet eden çeşitli ana modüllerle çalışır, aşağıda her bir modülün kısa bir tanımı verilmiştir:

Havza Model Yöneticisi (Basin Model Manager):

Bu modül, alt havzalar, nehirler, birleşim noktaları ve rezervuarlar gibi fiziksel havza verilerini yönetir. Kullanıcıların fiziksel havzanın düzenini ve özelliklerini temsil eden havza modelleri oluşturmaya, değiştirmesine ve silmesine olanak tanır.

Meteorolojik Model Yöneticisi (Meteorological Model Manager):

Bu modül, hidrolojik süreçleri tetikleyen yağış ve sıcaklık verileri gibi meteorolojik girdileri yönetir. Kullanıcılar, farklı meteorolojik modeller oluşturabilir ve yönetebilirler. Bu sayede modelde kullanılacak olan meteorolojik veriler düzenlenebilir ve güncellenebilir.

Kontrol Özellikleri Yöneticisi (Control Specifications Manager):

Bu modül, model simülasyonlarının zamanlamasını ve kontrolünü yönetir. Simülasyon başlangıç ve bitiş zamanlarını, zaman adımlarını ve diğer kontrol parametrelerini ayarlamak için kullanılır.

Zaman Serisi Verileri Yöneticisi (Time-Series Data Manager):

Bu modül, hidrolojik modelde kullanılan zaman serisi verilerini (örneğin, yağış, akış, sıcaklık) yönetir. Zaman serisi verilerini içe aktarmak, düzenlemek ve analiz etmek için kullanılır.

Yağış akış ilişkisinin modellenebilmesi için meteorolojik bir yağış yaklaşımının, kayıp hesapları ve etkili yağışın akıma dönüşü için uygun kayıp ve birim hidrograf yöntemlerinin seçilmesi gerekmektedir. Model günlük zaman aralığında çalıştırılmıştır.

Kayıp Yöntemi (Loss Method), yağışın yüzey akışına dönüşmeden önce kaybedilen kısmını hesaplar. Bu çalışmada SCS (Soil Conservation Service) Eğri Numarası (Curve Number, CN) yöntemi seçilmiştir. SCS CN metodu, yağış sonrası yüzey akışını tahmin etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu model, bir havzanın toprak örtüsü, arazi kullanımı ve başlangıçtaki nem durumuna göre yağış fazlasını (yüzey akışı) hesaplar. Temel denklem Denklem 3.3'te sunulmuştur.

$$P_e = \frac{(P-I_a)^2}{(P-I_a)+S} \quad (3.3)$$

Bu denklemde:

P_e , belirli bir zaman diliminde etkili yağış miktarını (yüzey akışı),

P , biriken yağış miktarını,

I_a , başlangıç kaybı (ilk kayıplar),

S ise bir havzanın yağışı tutma kapasitesini temsil eder.

Başlangıç tutulma (I_a) değeri, S ile ilişkilendirilir ve Denklem 3.4 ile hesaplanır:

$$I_a = 0.2 * S \quad (3.4)$$

Bu bağıntıya göre, yağış başlangıçtaki ilk kayıpları aşmadığı sürece yüzey akışı oluşmaz. Kümülatif yağış fazlası ise Denklem 3.5 ile hesaplanır:

$$P_e = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad (3.5)$$

Yüzey akışının dönemsel olarak hesaplanması, her bir zaman aralığındaki birikmiş etkili yağış miktarına dayanır. Havzanın yağış tutma kapasitesi (S), eğri numarası (CN) ile ilişkilendirilir ve şu Denklem 3.6 ile hesaplanır:

$$S = \frac{25400-254CN}{CN} \quad (3.6)$$

Burada CN, bir havzanın toprak geçirgenliği ve arazi kullanım özelliklerine göre değişir ve genellikle 30 ile 100 arasında değer alır. Yüksek CN değerleri düşük geçirgenliği, düşük CN değerleri ise yüksek geçirgenliği gösterir.

Dönüşüm Yöntemi (Transform Method), yağışın yüzey akışına dönüşümünü simüle eder. Bu çalışmada Clark Birim Hidrografi (Clark Unit Hydrograph) yöntemi kullanılmıştır. Clark Birim Hidrografi, havzada oluşan fazla yağışın çıkışa taşınmasını ve depolamadan kaynaklanan gecikmeyi simüle ederek akım hidrografının hesabında kullanılır. Bu modelde, havzada çıkışa en uzak noktaya düşen etkili yağışın çıkışa ulaşması için geçen zaman (T_c) ve depolamadan kaynaklanan gecikme (R) olmak üzere iki önemli parametre bulunur.

T_c hesaplamasında Kirpich formülü kullanılmıştır:

$$T_c = 0.0195 \times (L)^{0.77} \times (S)^{-0.385} \quad (3.7)$$

Burada L, en uzun akış yolunun uzunluğu, S ise bu yolun eğimidir. L ve S değerleri havzanın sayısal yükseklik modeli kullanılarak elde edilmiştir.

R değerinin hesaplanmasında ise Maricopa County yöntemi kullanılmıştır:

$$R = 0.37 \times (T_c)^{1.11} \times (A)^{-0.57} \times (L)^{0.8} \quad (3.8)$$

A, havza alanını, L en uzun akış yolunun uzunluğunu, T_c toplanma süresini ifade eder.

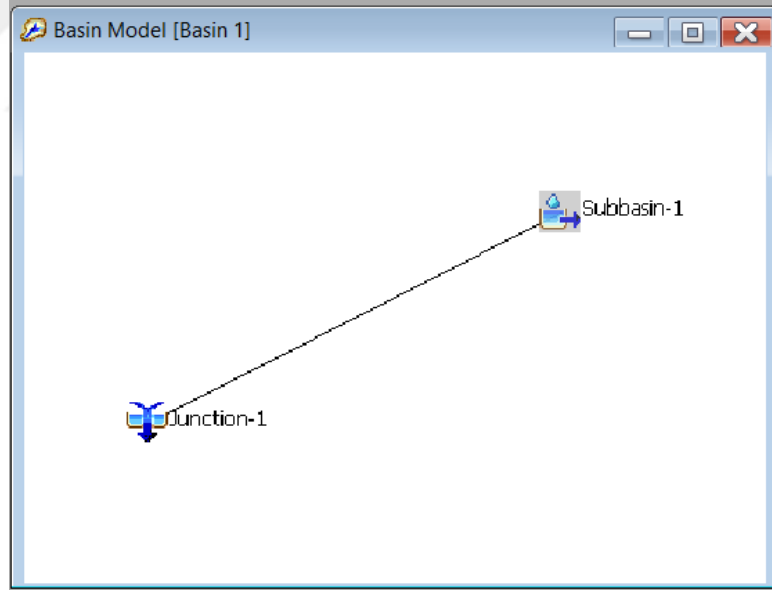
Doğal çevre ve altyapının, iklim değişikliği, arazi kullanımı ve örtüsündeki değişiklikler, nüfus artışı ve kentsel yayılmanın birleşik etkilerinden etkilenmesi beklenmektedir (Alfieri ve diğerleri 2016; Patra ve diğerleri 2018). Bu sebeple, iklim değişikliğinin etkisi altında çalışma alanının arazi kullanımının değişebileceği varsayılarak CN için 4 farklı senaryo çalışılmıştır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Arazi Kullanımına Bağlı Senaryolar

	CN
Senaryo 1	70
Senaryo 2	72
Senaryo 3	74
Senaryo 4	76

Yağış metodu olarak hipotetik yağış yöntemi seçilmiştir çünkü çalışma olay tabanlı bir yaklaşımdır. Olay tabanlı çalışmalar, belirli bir hidrolojik olayın (örneğin, bir yağış fırtınası) etkilerini ve sonuçlarını analiz etmeye odaklanır. Bu yaklaşımda, belirli bir yağış olayı veya bir dizi yağış olayına odaklanılır ve bu olaylar sonucunda oluşan yüzey akışları ve taşkınlar değerlendirilir.

Çalışmada, HEC-HMS yazılımı kullanılarak bir hidrolojik model oluşturulmuştur. Bu modelde, öncelikle bir havza modeli oluşturulmuş ve bu modele alt havza ve çıkış bileşenleri eklenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. HEC-HMS Havza Modeli

Havza alanı 6200 kilometrekare olarak belirlenmiştir. Kayıp yöntemi olarak SCS CN yöntemi, dönüşüm yöntemi olarak ise Clark Birim Hidrograf seçilmiştir (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5).

Basin Name:	Basin 1
Element Name:	Subbasin-1
Downstream:	Junction-1
*Area (KM2)	6200
Latitude Degrees:	
Longitude Degrees:	
Discretization Method:	--None---
Canopy Method:	--None--
Snow Method:	--None--
Surface Method:	--None--
Loss Method:	SCS Curve Number
Transform Method:	Clark Unit Hydrograph
Baseflow Method:	--None--

Şekil 3.4. HEC-HMS Alt Havza Ayarları

Subbasin	Loss	Transform	Options
Basin Name: Basin 1			
Element Name: Subbasin-1			
Initial Abstraction (MM)			
*Curve Number:	70		
*Impervious (%)	0,0		
Basin Name: Basin 1			
Element Name: Subbasin-1			
Method:	Standard		
*Time of Concentration (HR)	10		
*Storage Coefficient (HR)	24		
Time-Area Method:	Default		

Şekil 3.5. HEC-HMS Kayıp ve Dönüşüm Ayarları

Yağış olarak Hipotetik Fırtına (Hypothetical Storm) yöntemi seçilmiştir. Hipotetik Fırtına seçimi, belirli bir şiddette ve sürede gerçekleşmesi beklenen veya belirli bir tasarım amacı doğrultusunda kullanılan fırtına senaryolarını simüle etmek için yapılır. Bu yaklaşım, özellikle taşkın yönetimi, altyapı planlaması ve risk değerlendirmesi gibi çalışmalarda gelecekteki olası ekstrem olayların etkilerini anlamak için kullanılmaktadır. Gerçekleşmiş verilere dayanmayan bu fırtına senaryoları, belirli bir taşkın riski veya tasarım kriterini karşılamak için uyarlanabilir, böylece çeşitli iklim koşullarında sistemlerin performansı değerlendirilebilir.

Hypothetical Storm

Met Name: Met 1

Method: User-Specified Pattern

*Storm Pattern: Table 1

*Storm Duration (HR): 24

*Precipitation Method: Point Depth

*Point Depth (MM): 62

Area Reduction: --None--

Spatial Distribution: Uniform For All Subbasins

Şekil 3.6. HEC-HMS Hipotetik Fırtına

Modelin eşlenik veri (paired data) sekmesi altında, DSI'nin Türkiye'de bölgelerin yağış dağılım oranları için vermiş olduğu A, B, C sınıflandırması kullanılarak yüzde oranları tablo şeklinde modele verilmiştir (Şekil 3.7). Çalışma bölgesi, C sınıfında yer almaktadır.

Paired Data	Table	Graph
Percent (%)		Percent (%)
0		0
4		20
8		41
17		55
25		64
33		71
42		78
50		83
58		88
67		91
75		94
83		96
92		98
100		100

Şekil 3.7. HEC-HMS Eşlenik Veri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

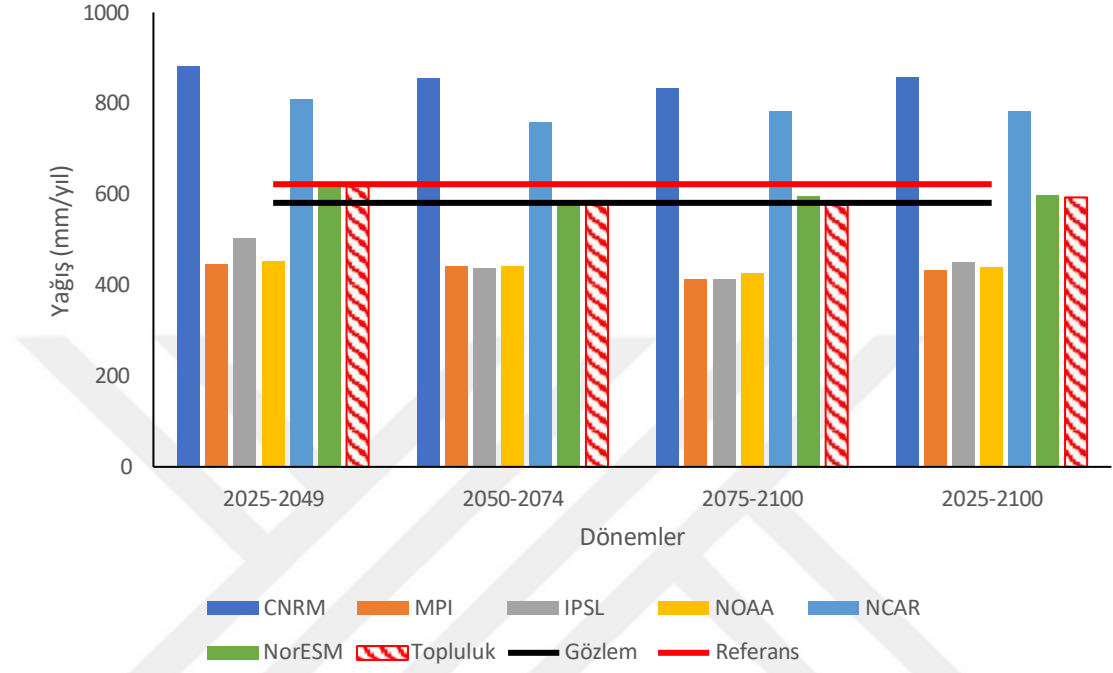
Bu bölümde, çalışma alanındaki gözlem ve projeksiyon meteorolojik verilerin detaylı analizi sonucunda elde edilen bulgular incelenmiştir. Öncelikle veri analizi kapsamında kararlılık ve aykırı değer incelemeleri yapılmış, ardından gözlem verileri ile iklim projeksiyonlarının karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, YŞST eğrileri belirlenerek gelecekteki yağış tekerrürleri değerlendirilmiş, anomaliler hesaplanmıştır. Son olarak, HEC-HMS modeli kullanılarak geçmiş ve geleceğe yönelik projeksiyon akımları analiz edilmiş ve iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki potansiyel etkileri tartışılmıştır.

4.1. Veri Analizleri

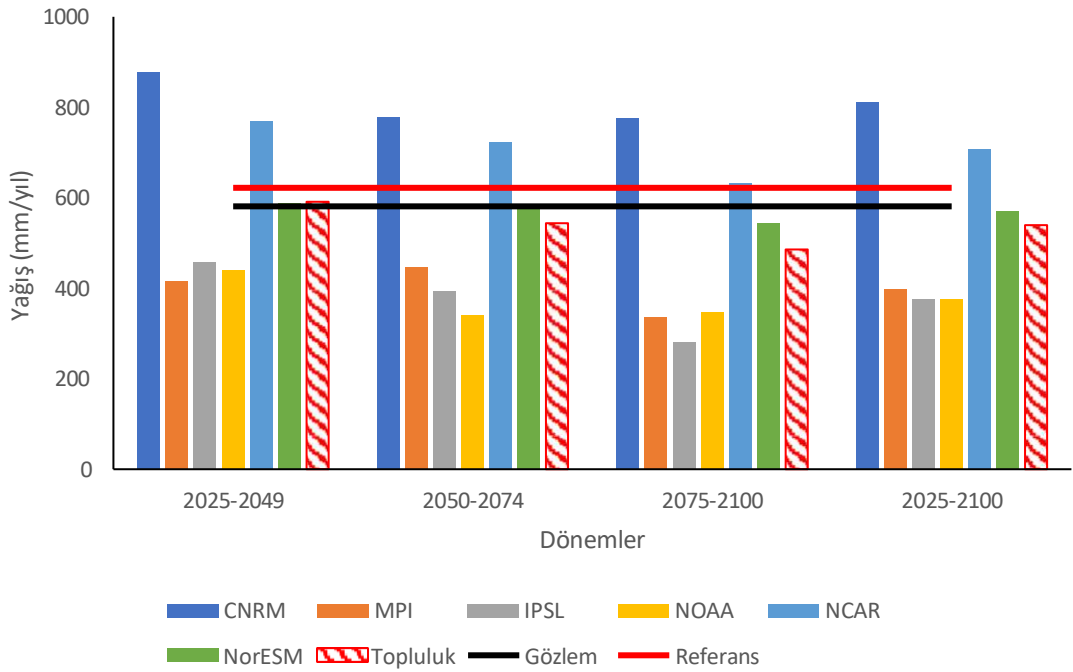
CMIP5 ve CMIP6 projelerinin farklı senaryo ve modellerine ait yağış değerleri hem dönemsel hem de tüm dönemi kapsayacak şekilde verilmiştir. Analizler üç periyot halinde gerçekleştirilmiştir, bunlar 2025-2049, 2050-2074, 2075-2100 ile yakın, orta ve uzak gelecek şeklinde 25 yıllık dönemler halinde sınıflandırılmıştır. Şekillerde tüm dönemin özetlendiği 2025-2100 zaman aralığı da yer almaktadır. Kullanılan iklim modellerinin ortalamaları alınarak topluluk sonuçları da grafiklere yansıtılmıştır. Çalışma alanındaki üç istasyona ait verilerden elde edilen ortalama yıllık yağış değeri 581 mm/yıl olup şekillerde gösterilmiştir. CMIP5 veri seti referans dönem ortalaması 622 mm/yıl (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2) ile CMIP6 veri seti referans dönem ortalaması 706 mm/yıl (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4) değerleri de şekillere eklenmiştir.

CMIP5 verileri incelendiğinde, iki senaryo için de benzer bir durum görülmektedir. Modellerin referans veri ortalaması, gözlem döneme göre %7 fazladır. CMIP5 için modellerden bazıları (örneğin CRNM, NCAR) gözlem ve iklim projeksiyonu referans dönemi ortalamalarından daha yüksek değerler verirken bazıları (örneğin MPI, IPSL ve NOAA) bu ortalamalardan daha düşük değerler vermekte NorESM model sonuçları ise bu ortalamalara yakın sonuçlar vermektedir. Topluluk sonuçlarının iklim projeksiyon verilerinin (özellikle RCP4.5) referans döneminin ortalamasına çok yakın olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). CMIP6 için ise gözlem ve iklim projeksiyonu referans dönemi ortalamaları arasında daha fazla fark (yaklaşık %21) bulunmaktadır (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4), modellerden CNRM, IPSL ve NOAA referans dönemi ortalamasına yakın ama geçmiş gözlemlerden yüksek sonuçlar verirken, MPI ve NorESM bu ortalamalardan çok daha düşük sonuçlar vermekte, topluluk ise bu ortalamalara yakın

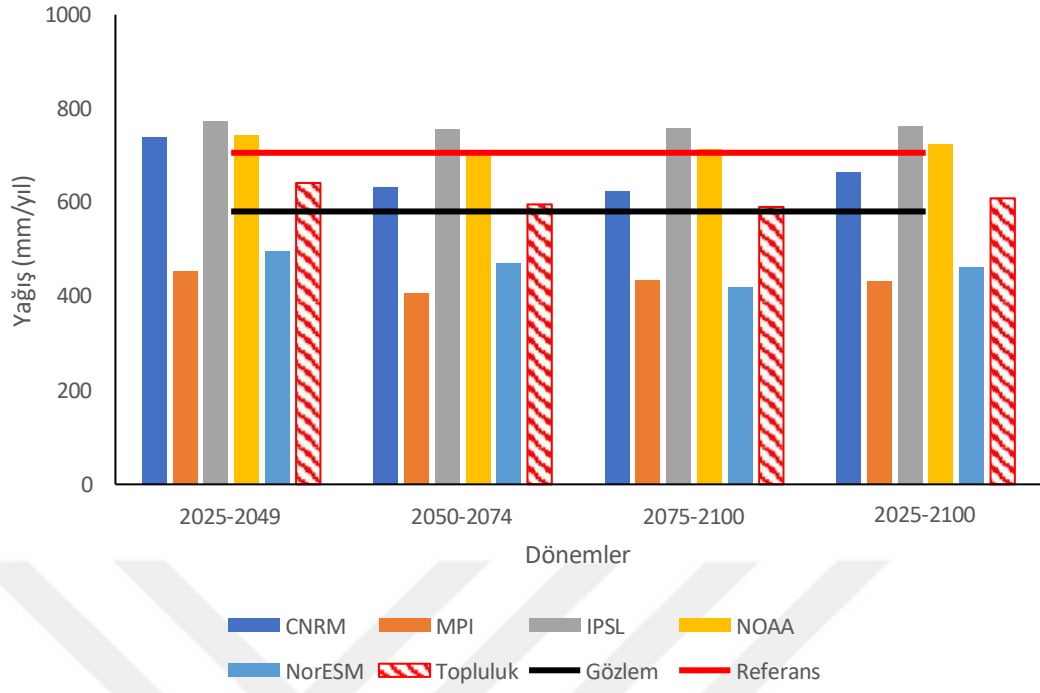
ancak daha düşük yağış sonuçları sağlamaktadır. CMIP5 ve CMIP6 için yağışların uzak gelecek döneme doğru azalma eğiliminde olduğu tespit edilse de bu durum RCP8.5 senaryosu için daha belirgin bir şekilde görülmektedir.



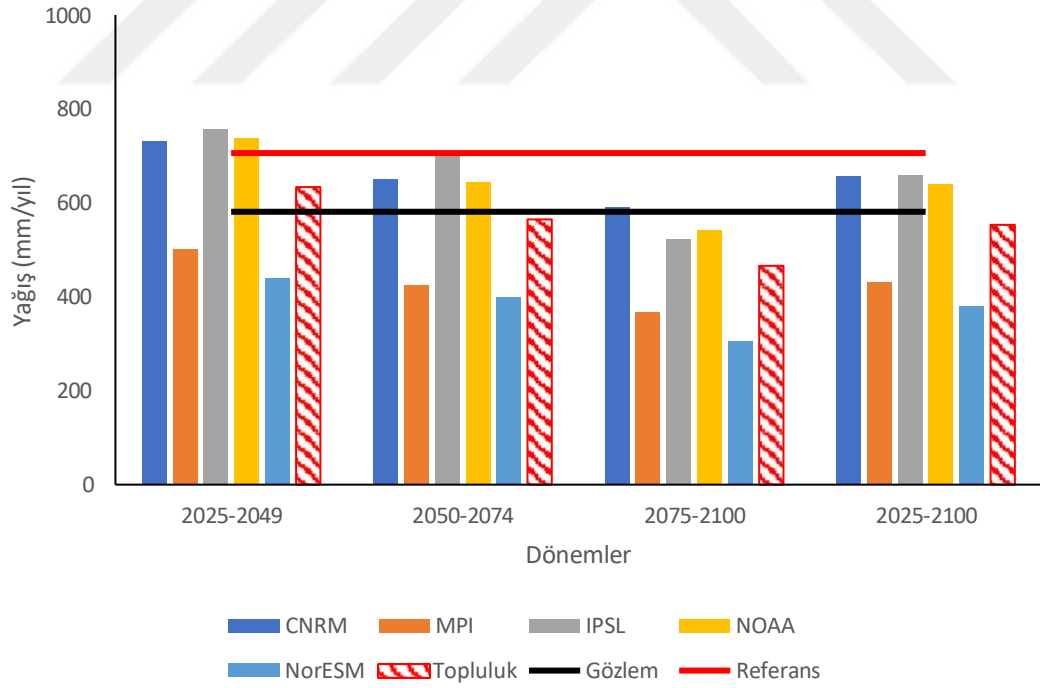
Şekil 4.1. CMIP5-RCP4.5 Yağış Değerleri



Şekil 4.2. CMIP5-RCP8.5 Yağış Değerleri



Şekil 4.3. CMIP6-RCP4.5 Yağış Değerleri



Şekil 4.4. CMIP6-RCP8.5 Yağış Değerleri

4.1.1. Kararlılık (stationary) analizi

Serinin ortalama ve varyansının zaman içinde sabit kalması anlamına gelen kararlılık için ADF, KPSS ve PP testleri uygulanarak kararlılık analizi yapılmıştır. CMIP5 için 6 farklı iklim modelinin referans dönem verisi kullanılarak topluluk yaklaşımı ile bir yağış serisi elde edilmiş ve test istatistikleri incelenmiştir. Aynı şekilde, CMIP6 projesi için de 5 farklı iklim modeli kullanarak testler uygulanmıştır. Test sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Kararlılık Analizi Sonuçları

	ADF Testi		KPSS Testi		PP Testi	
	Test İstatistiği	P-Değeri	Test İstatistiği	P-Değeri	Test İstatistiği	P-Değeri
CMIP5	-8.22	6.38E-13	0.05	0.1	-99.26	0
CMIP6	-8.34	3.13E-13	0.02	0.1	-98.36	0

CMIP5 için ADF test istatistiği-8.22 ve p-değeri 6.38E-13'tür. CMIP6 için ise ADF test istatistiği-8.34 ve p-değeri 3.13E-13'tür. P-değerleri çok küçük (0.05'in altında) olduğundan, her iki model için de null hipotez reddedilir. Sonuç olarak hem CMIP5 hem de CMIP6 veri setlerinde seriler kararlıdır.

CMIP5 için KPSS test istatistiği 0.05 ve p-değeri 0.1'dir. CMIP6 için de benzer şekilde test istatistiği 0.02 ve p-değeri 0.1'dir. P-değerleri genellikle 0.1'e eşit veya daha yüksek olduğunda null hipotez reddedilmez. Bu nedenle hem CMIP5 hem de CMIP6 veri setleri için serilerin kararlı olduğu sonucuna varılabilir.

PP testi için p-değerleri sıfır olduğundan, her iki modelde de null hipotez reddedilir ve serilerin kararlı olduğu söylenebilir.

Her iki veri seti de (CMIP5 ve CMIP6) ADF, KPSS ve PP test sonuçlarına göre kararlılık göstermektedir. Bu sonuçlar, serilerin birim kök içermediği ve zamanla kararlı oldukları anlamına gelir. Bu sonuçlara göre hem CMIP5 hem de CMIP6 verileri, bu testler ışığında benzer kararlılık özellikleri sergilemektedir.

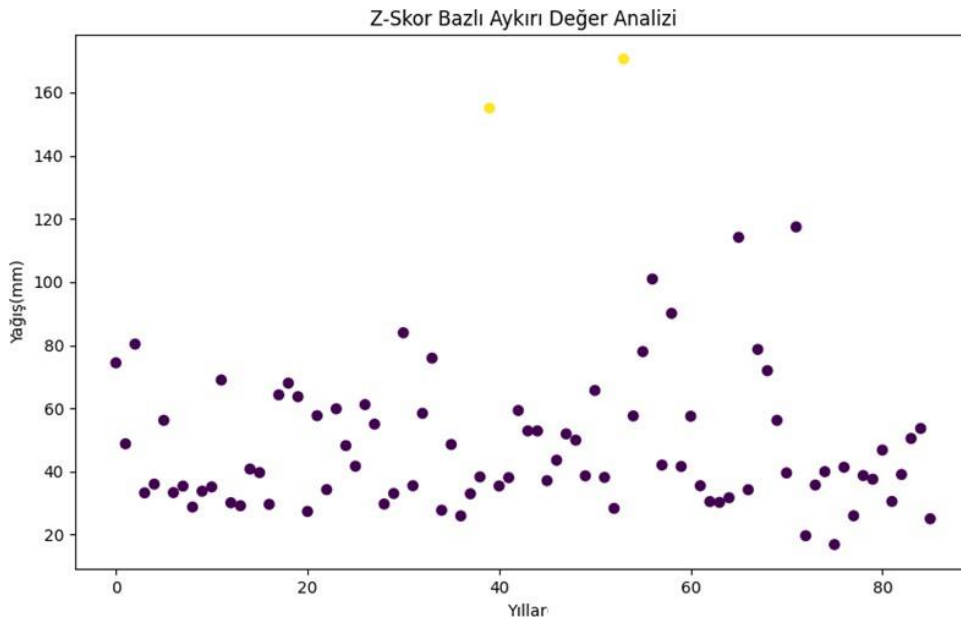
4.1.2. Aykırı değer (outlier) sonuçları

Bu çalışmada, veri setlerindeki aykırı değerleri tespit etmek amacıyla Z-skor yönteminden yararlanılmıştır. Z-skor yönetimi Python yardımıyla uygulanmıştır. İlk adımda, veri analizi ve işleme süreçleri için Pandas kütüphanesi kullanılarak veri setleri

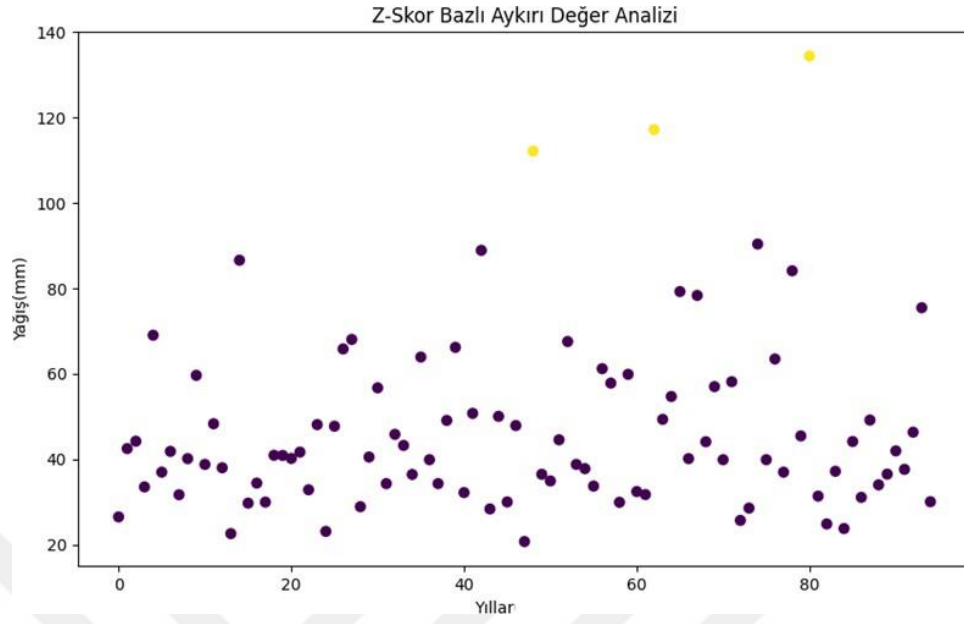
okunmuş ve işlenmiştir. Her bir veri seti için Z-skorları hesaplanmış, bu skorlar aracılığıyla verilerin ortalamadan kaç standart sapma uzaklıkta olduğu belirlenmiştir. Aykırı değerlerin tespitinde yaygın olarak kullanılan Z-skor yöntemi, bu çalışmada da uygulanmış ve Z-skor eşik değeri 3 olarak belirlenmiştir. Z-skoru 3'ün üzerinde olan veriler aykırı olarak kabul edilerek, bu veriler grafik üzerinde sarı renkle vurgulanmıştır. Grafikler, Z-skor yöntemine dayalı aykırı değerlerin görsel olarak incelenmesine olanak tanımaktadır.

Aşağıdaki şekillerde, CMIP5 MPI modelinin RCP4.5 senaryosu 2025-2100 dönemi için 3 istasyona ait aykırı değer testi sonuçları örnek olarak sunulmuştur. Grafiklerde görüleceği üzere istasyonların her birinde iki veya üç değer aykırı olarak tespit edilmiştir. Bu yöntem, tüm model, senaryo, dönem ve istasyonlar için uygulanmış, aykırı olduğu tespit edilen veriler, orijinal veri setindeki ikinci en büyük değerle değiştirilerek, ham veri setine ek olarak incelenen yeni bir veri seti oluşturulmuştur.

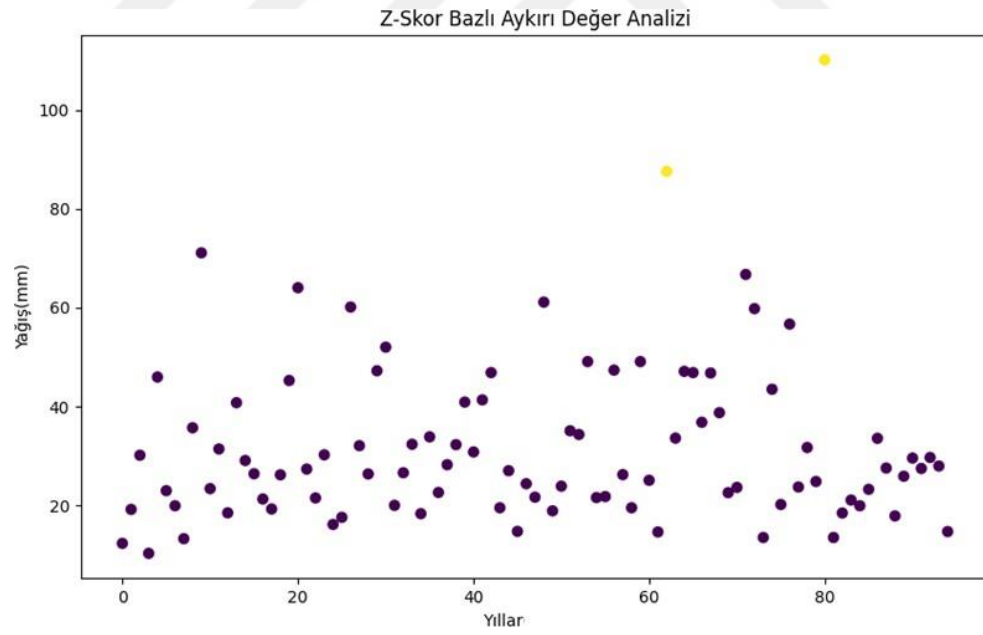
Çok fazla model ve grafik olması nedeniyle bu bölümde sadece CMIP5 MPI RCP4.5 grafikleri sunulmuştur. Diğer modeller için elde edilen sonuçlar ise ilerideki analizlerde kullanılmıştır. Çalışma taşkın amaçlı yürütüldüğü için aykırı değerlerin çıkartılmasının bir dezavantaj yaratması ihtimali gözetilerek analizlerde aykırı değer analizi içeren ve içermeyen sonuçlar ayrı ayrı incelenmiştir.



Şekil 4.5. 17234 İstasyonu 2006-2100 Dönemi Z-Skor Analizi



Şekil 4.6. 17850 İstasyonu 2006-2100 Dönemi Z-Skor Analizi



Şekil 4.7. 17860 İstasyonu 2006-2100 Dönemi Z-Skor Analizi

4.2. Gözlem ve İklim Verilerinin Karşılaştırılması

4.2.1. Performans kriterleri ve durumsallık tablosu

Ortalama karekök sapması (Root Mean Square Error, RMSE), modellerin doğruluğunu ve tahmin başarısını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir performans metriğidir. Bu çalışmada, her bir meteoroloji istasyonuna ait gözlemlenen veriler ile iklim modellerinin geçmiş döneme ait simülasyonları karşılaştırılarak hata miktarı RMSE hesaplanarak değerlendirilmiştir. 17234, 17850 ve 17860 numaralı istasyonların 1972-2000 dönemi verileri, gözlem verilerini temsil etmektedir. İklim modelleri ise hem CMIP5 hem de CMIP6 projeksiyonları altında değerlendirilmiştir.

Tablo 4.2’de her bir istasyon için farklı iklim modelleri arasındaki RMSE değerleri sunulmuştur. Aynı değerlendirme CMIP6 projeksiyonları için yapılmış olup, sonuçlar Tablo 4.3’te sunulmaktadır. Düşük RMSE değerleri, modelin gözlemlerle daha yüksek bir uyum içinde olduğunu gösterir.

Tablo 4.2. CMIP5 RMSE (mm) Sonuçları

	CNRM	MPI	IPSL	NOAA	NCAR	NorESM	Topluluk
17234	8.2	6.6	6.0	6.1	7.0	6.2	5.6
17850	8.1	6.4	5.9	5.9	6.9	6.0	5.5
17860	8.1	6.5	5.9	6.0	6.9	6.1	5.5

Tablo 4.3. CMIP6 RMSE (mm) Sonuçları

	CNRM	MPI	IPSL	NOAA	NorESM	Topluluk
17234	7.4	6.5	8.2	7.4	6.7	5.9
17850	7.3	6.3	8.1	7.2	6.5	5.7
17860	7.3	6.3	8.2	7.3	6.5	5.7

Her iki projeksiyon döneminde (CMIP5 ve CMIP6) de topluluk yaklaşımı modeli, genellikle en düşük hata payına sahip olduğu için gözlem verilerine en yakın sonuçları sunmaktadır. Bunun yanı sıra, farklı modellerin istasyonlar arasında performans farkları gösterdiği gözlenmektedir. CMIP5 için IPSL modeli en düşük RMSE verirken CMIP6 için ise en yüksek hata oranına sahip çıkmıştır. MPI modeli ise her iki kategoride de benzer sonuçlar sağlamıştır.

Ortalama karekök sapması değerlerinin hesaplanmasından sonra durumsallık tablosuna geçilmiştir. İklim verilerinin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla gözlem verileri ile iklim modeli verilerinin geçmiş dönem (1972-2000) karşılaştırmaları yapılmıştır. Analiz, CMIP5 ve CMIP6 veri setlerinin topluluk yaklaşımı sonuçlarına uygulanmış olup, her üç istasyon için ayrı ayrı sonuçlar verilmiştir (Tablo 4.4-4.5).

Tablo 4.4. *CMIP5 Modeli Durumsallık Tablosu Sonuçları*

	17234	17850	17860
False Alarm Ratio	0.04	0.09	0.03
Hit Rate	0.99	0.99	0.99
BIAS	1.04	1.09	1.02
Post Agreement	0.96	0.91	0.97

Tablo 4.5. *CMIP6 Modeli Durumsallık Tablosu Sonuçları*

	17234	17850	17860
False Alarm Ratio	0.04	0.09	0.03
Hit Rate	0.97	0.97	0.96
BIAS	1.01	1.06	0.99
Post Agreement	0.96	0.91	0.97

Tablo 4.4, CMIP5 veri setinin yüksek tutarlılıkla iklim olaylarını tahmin ettiğini göstermektedir. False Alarm Ratio düşük, Hit Rate ise çok yüksek, bu durumda modelin yağış değerlerini belirli ölçüde tutarlı olarak tespit edebildiği söylenebilir. BIAS değeri 1'e yakın ve hafif pozitif yanlılık içermektedir, bu da iklim modellerinin geçmiş gözlemlere kıyasla daha fazla yağışlı olay sayısını tespit ettiğini göstermektedir.

Aynı şekilde, CMIP6 tablosu (Tablo 4.5), modelin gözlemlerle yüksek uyum sağladığını göstermektedir. False Alarm Ratio düşük, Hit Rate değeri yüksek olduğu için modelin yağış olaylarını tutarlı bir şekilde tahmin edebildiği söylenebilir. BIAS değerleri 1'e yakın, küçük bir yanlılık içermektedir. Post Agreement oranları da yüksek, bu da modellerin genel olarak güvenilir ve gözlemlerle uyumlu tahminler sunduğunu göstermektedir. CMIP5 ve CMIP6 modelleri genel olarak benzer bir tutarlılık sergilemektedir. False Alarm Ratio her iki modelde de düşük, Hit Rate ise yüksektir. CMIP5'in Hit Rate değeri CMIP6'dan biraz daha yüksektir. CMIP5 BIAS değerlerinde hafif bir pozitif yanlılık gösterirken, CMIP6'da bu yanlılık daha düşüktür.

4.2.2. Yanlılık düzeltmesi sonuçları

Çalışmada kullanılan iklim verilerindeki yanlılık hatalarını düzeltmek amacıyla yanlılık düzeltme çalışması yapılmıştır. Yanlılık düzeltmesi sonrasında veriler incelendiğinde iklim projeksiyonlarının uzun dönem ortalamaları gözlem verilerinin ortalamaları ile uyumlu hale gelse de ekstrem değerlerin çok arttığı görülmüştür. Ayrıca performans kriteri için yapılan RMSE analizi sonucunda da ham verilere (Tablo 4.2 ve Tablo 4.3) göre yanlılık düzeltmesi yapılan verinin performans sonuçlarının daha düşük olduğu görülmüştür (Tablo 4.6 ve Tablo 4.7). Yanlılık düzeltmesi sonrasında artan hata oranları nedeniyle çalışmanın devamında ham veriler ile devam edilmesine karar verilmiştir.

Tablo 4.6. CMIP5 Yanlılık Düzeltmeli RMSE (mm) Sonucu

	CNRM	MPI	IPSL	NOAA	NCAR	NorESM	Topluluk
17234	11.3	11.1	10.6	11.4	11.3	10.8	7.9
17850	11.3	11.0	10.6	11.4	11.2	10.7	7.8
17860	11.3	11.1	10.6	11.5	11.2	10.8	7.9

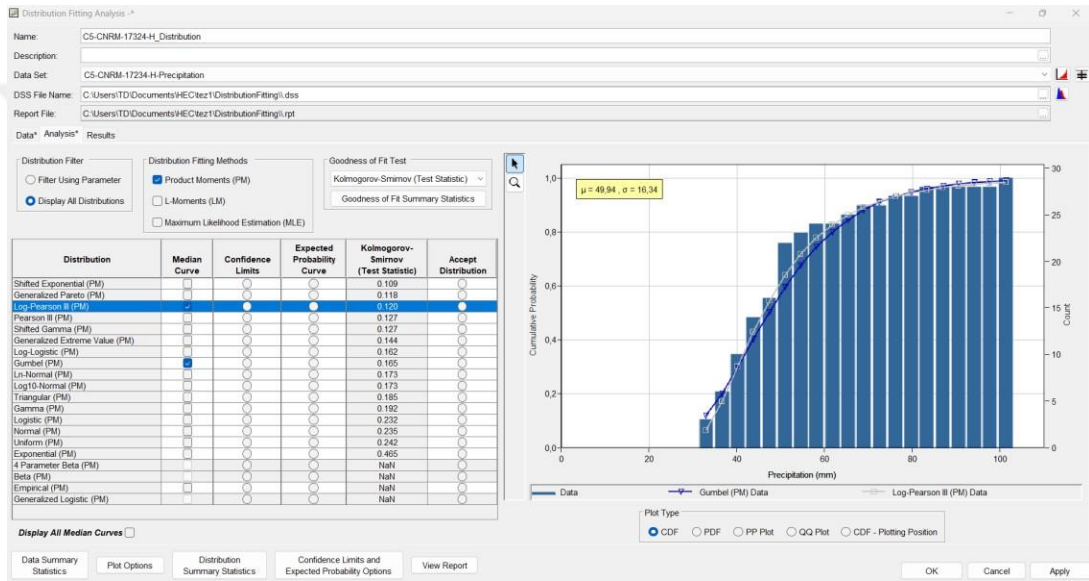
Tablo 4.7. CMIP5 Yanlılık Düzeltmesiz RMSE (mm) Sonucu

	CNRM	MPI	IPSL	NOAA	NorESM	Topluluk
17234	11.8	11.6	11.8	11.5	11.6	8.4
17850	11.7	11.5	11.8	11.5	11.6	8.3
17860	11.7	11.5	11.8	11.5	11.6	8.3

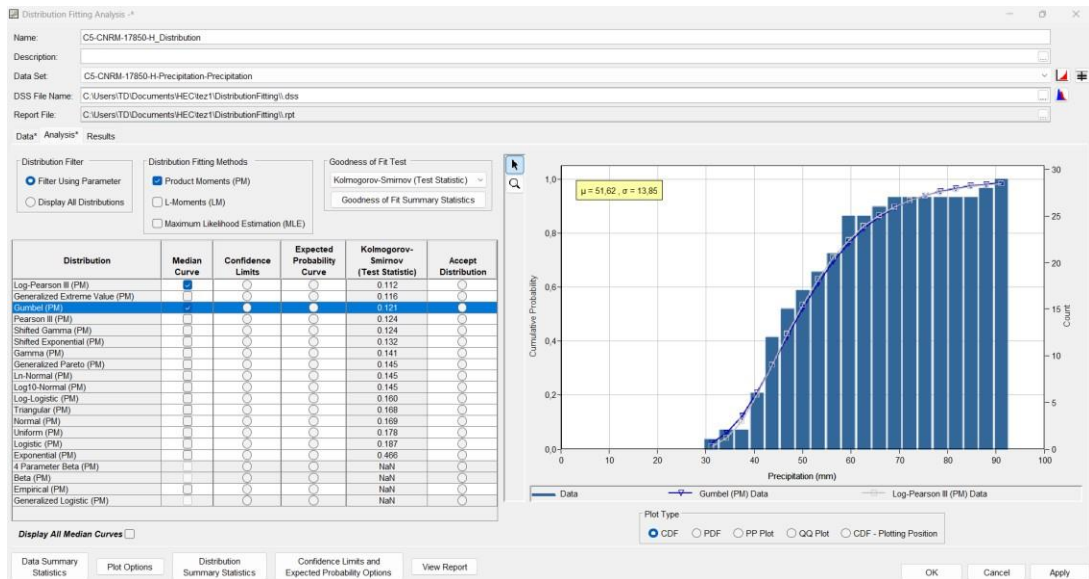
4.3. YŞST Eğrilerinin Belirlenmesi

Çalışmada hem gözlem verileri hem de gelecek verileri incelenerek, 1972-2000 dönemi ortak periyot olarak seçilmiştir. Bu periyot boyunca, her üç istasyon için gözlem verileri, küresel iklim modellerinin referans dönem ve gelecek dönem tahminleri, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarını içerecek şekilde hem CMIP5 (CNRM-CM5, MPI-ESM-LR, NCAR-CCSM4, IPSL-CM5A-LR, NOAA-GFDL-ESM2M ve NorESM1-M) verileri hem de CMIP6 (CNRM-CM5, MPI-ESM-LR, NCAR-CCSM4, IPSL-CM5A-LR, NOAA-GFDL-ESM2M ve NorESM1-M) verileri kullanılarak, her yıl içindeki maksimum günlük yağışlar bulunmuştur.

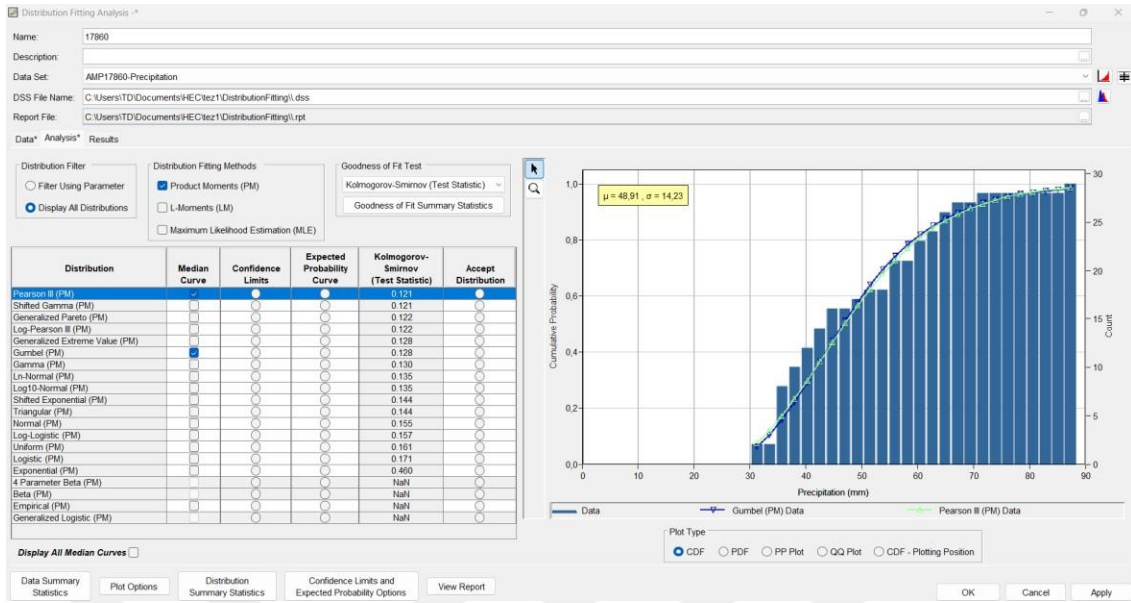
Literatürde, YŞST eğrilerinin belirlenmesi için farklı olasılık dağılımları önerilmektedir. Bu çalışmada, veri setlerine en uygun dağılımın belirlenmesi amacıyla HEC-SSP (U.S. Army Corps of Engineers, USACE, 2024a) programı kullanılarak çeşitli dağılım türleri analiz edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, genellikle Log Pearson Tip 3 ve Gumbel dağılımlarının benzer ve uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu bulgular doğrultusunda, Gumbel dağılımı tercih edilerek YŞST eğrilerinin hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. HEC-SSP programında tüm veri setleri analiz edilmiştir, bunlardan üç istasyonun gözlem dönem sonuçları Şekil 4.8-4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.8. 17234 İstasyonu Gözlem Dönemi HEC-SSP Analizi



Şekil 4.9. 17850 İstasyonu Gözlem Dönemi HEC-SSP Analizi



Şekil 4.10. 17860 İstasyonu Gözlem Dönemi HEC-SSP Analizi

YŞST eğrilerinin hesaplanmasında iki türlü yaklaşım bulunmaktadır. İlk yaklaşımda tekerrür yağışları hesaplanıp ardından topluluk hesabı yapılmıştır. İkinci yaklaşımda ise önce topluluk oluşturup ardından tekerrür yağışlarının hesaplanması ile analiz yapılmıştır. Bu yaklaşımlar ile farklı iklim senaryolarının ve modellerin birleşik etkilerini daha iyi anlamayı sağlamak ve hidrolojik modellemede daha güvenilir sonuçlar elde etmek amaçlanmıştır. Modellerin ortalamasını alıp ardından frekans analizini uygulamak ile frekans analizini uygulayıp ardından sonuçları ortalamak arasındaki seçim, modellerin spesifik özelliklerine ve verinin doğasına bağlıdır.

Modellerin ortalamasını alıp ardından frekans analizi yapmak, benzer önyargılara sahip olduğu ve verinin nispeten doğrusal olduğu durumlarda tercih edilebilir. Bu yaklaşım, tek bir tahmin elde ettikten sonra frekans analizi uygulayarak en sık görülen desenleri belirler ve genelleme performansını artırabilir. Ancak, modellerin önyargıları önemli ölçüde farklıysa veya veri doğrusal değilse bu yöntem en uygun seçenek olmayabilir.

Öte yandan, her bir modelde ayrı ayrı frekans analizi uygulayıp ardından sonuçların ortalamasını almak, modellerin önyargılarının farklı olduğu veya veri yapısının karmaşık olduğu durumlarda daha avantajlıdır. Bu yöntem, bireysel modellerden bağımsız olarak ortak desenleri yakalayabilir ancak hesaplamaları daha fazla işlem gerektirir. Tablo 4.8-4.11'de CMIP5 ve CMIP6'ya ait aykırı değer düzeltmeli ve düzeltmesiz frekans hesabı

sonuçları verilmiştir. Tablolarda, 2, 5, 10, 25, 50, 100 yıl tekerrürleri için yağış değerleri mm olarak sunulmuştur.

CMIP5 ve CMIP6 iklim modellerine ait yağış tekerrür analizleri, aykırı değer düzeltmeli ve düzeltmesiz veriler kullanarak RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre karşılaştırmaktadır. Gumbel dağılımı kullanılarak yapılan hesaplamalar, 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür sürelerine göre düzenlenmiştir. Sonuçlar hem gözlemlerle hem de iklim modellerinin geçmiş ve gelecekteki tahminleri ile kıyaslanmıştır.

Analizlerde dikkat çeken bir bulgu, gözlem dönemi yağışlarının hem CMIP5 hem de CMIP6 modellerinin geçmiş ve gelecek projeksiyonlarına kıyasla daha yüksek tekerrür yağışları verdiğidir. Bu durum, gözlemsel verilerin mevcut modellerle temsil edilen iklim projeksiyonlarına göre daha yüksek değerler içerdiğini göstermektedir. CMIP5 ve CMIP6 veri setlerinin karşılaştırılması sonucunda ise, özellikle aykırı değer düzeltmeli ve düzeltmesiz tüm senaryolarda, CMIP6 model sonuçlarının genel olarak CMIP5'e göre daha yüksek yağış tahminleri sunduğu gözlenmiştir.

Tablo 4.8. CMIP5 Aykırı Değer Düzeltmeli Yağış Derinliği (mm) Sonuçları

	Gözlem	CMIP5-Referans	2025-2049		2050-2074		2075-2100	
			RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Ortalama	47.6	31.5	33.8	32.2	33.4	32.5	33.4	33.5
Std	14.3	4.2	4.0	4.0	3.5	3.6	2.7	3.6
β	11.1	3.2	3.1	3.2	2.7	2.8	2.1	2.8
μ	41.2	29.6	32.0	30.4	31.9	30.8	32.2	31.9
2	45.3	30.8	33.2	31.5	32.9	31.9	33.0	32.9
5	57.9	34.5	36.7	35.1	35.9	35.0	35.3	36.1
10	66.3	36.9	39.1	37.5	38.0	37.2	36.9	38.2
25	76.9	40.0	42.1	40.4	40.5	39.8	38.8	40.9
50	84.7	42.3	44.3	42.7	42.5	41.8	40.3	42.9
100	92.5	44.5	46.5	44.9	44.3	43.7	41.7	44.8

Tablo 4.9. CMIP5 Aykırı Değer Düzeltmesiz Yağış Derinliği (mm) Sonuçları

	Gözlem	CMIP5-Referans	2025-2049		2050-2074		2075-2100	
			RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Ortalama	47.6	32.1	34.0	32.8	34.3	32.8	34.7	34.0
Std	14.3	4.6	4.1	4.8	5.3	3.6	4.3	4.2
β	11.1	3.6	3.2	3.7	4.2	2.8	3.3	3.3
μ	41.2	30.0	32.2	30.6	31.9	31.1	32.8	32.1
2	45.3	31.4	33.4	32.0	33.5	32.2	34.0	33.3
5	57.9	35.4	37.0	36.2	38.2	35.4	37.8	37.0
T 10	66.3	38.1	39.4	39.1	41.3	37.5	40.3	39.5
25	76.9	41.5	42.5	42.6	45.2	40.2	43.5	42.6
50	84,7	44.1	44.7	45.2	48.2	42.2	45.8	44.9
100	92.5	46.6	47.0	47.8	51.1	44.2	48.1	47.2

Tablo 4.10. CMIP6 Aykırı Değer Düzeltmeli Yağış Derinliği (mm) Sonuçları

	Gözlem	CMIP6-Referans	2025-2049		2050-2074		2075-2100	
			RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Mean	47.6	35.3	39.2	40.2	37.4	38.0	37.2	39.2
Std	14.3	4.6	6.4	4.8	5.1	6.7	5.0	5.6
β	11.1	3.6	5.0	3.8	3.9	5.2	3.9	4.3
μ	41.2	33.2	36.3	38.0	35.1	35.0	35.0	36.7
2	45.3	34.6	38.1	39.4	36.6	36.9	36.4	38.3
5	57.9	38.7	43.8	43.6	41.0	42.8	40.9	43.2
T 10	66.3	41.4	47.5	46.5	44.0	46.7	43.8	46.5
25	76.9	44.8	52.2	50.1	47.7	51.6	47.6	50.6
50	84,7	47.4	55.7	52.7	50.5	55.2	50.3	53.6
100	92.5	49.9	59.2	55.4	53.3	58.9	53.1	56.7

Tablo 4.11. CMIP6 Aykırı Değer Düzeltmesiz Yağış Derinliği (mm) Sonuçları

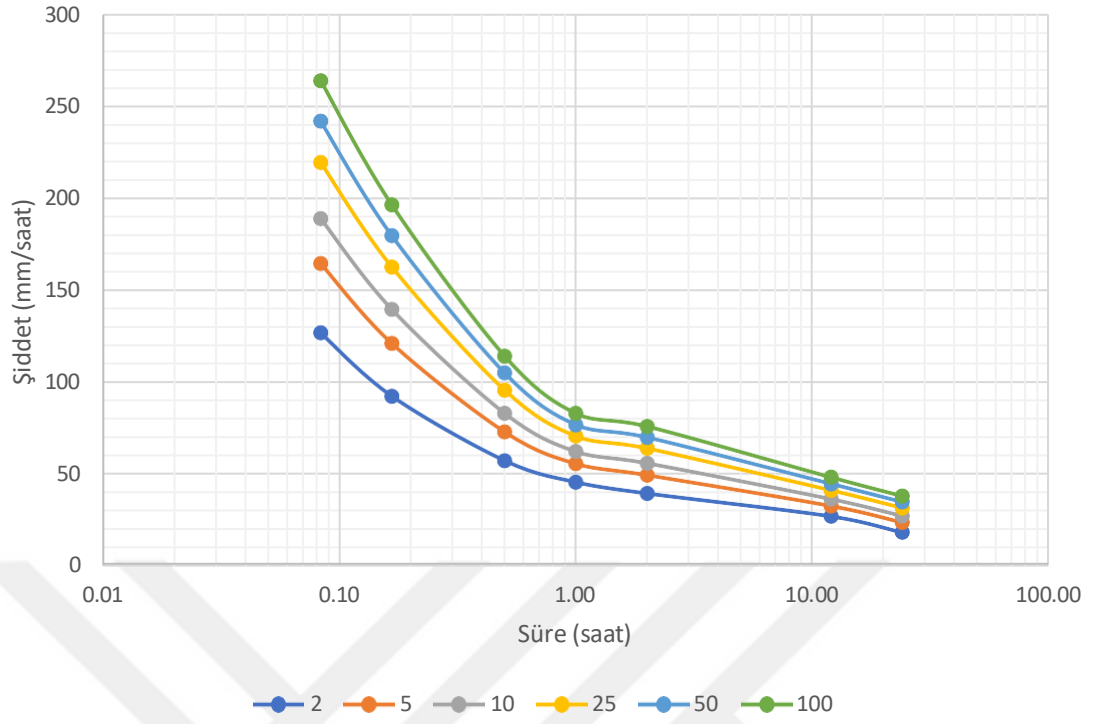
	Gözlem	CMIP6-Referans	2025-2049		2050-2074		2075-2100	
			RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Mean	47.6	36.0	39.2	40.6	37.4	38.8	38.5	39.6
Std	14.3	5.1	6.4	5.0	5.1	7.1	6.8	6.1
β	11.1	4.0	5.0	3.9	3.9	5.5	5.3	4.8
μ	41.2	33.7	36.3	38.3	35.1	35.6	35.5	36.8
2	45.3	35.2	38.1	39.7	36.6	37.6	37.4	38.6
5	57.9	39.7	43.8	44.1	41.0	43.9	43.5	44.0
10	66.3	42.7	47.5	47.1	44.0	48.0	47.5	47.6
25	76.9	46.5	52.2	50.7	47.7	53.3	52.5	52.2
50	84.7	49.3	55.7	53.5	50.5	57.1	56.3	55.5
100	92.5	52.1	59.2	56.2	53.3	61.0	60.0	58.9

Aydın MGİ'ye ait standart süreli yağış değerleri, Karahan (2011) tarafından hazırlanan çalışmadan alınmıştır. Bu değerler temel alınarak farklı sürelerdeki tekerrür yağışları hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçların günlük değerleri ile gözlem dönemi frekans analizi sonuçları karşılaştırıldığında, elde edilen değerlerin birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. 100 yıllık tekerrür süresi için belirlene 98.78 mm yağış değeri ile bu çalışmada hesaplanan 92.5 mm değeri arasında makul bir yakınlık olduğu gözlenmiştir.

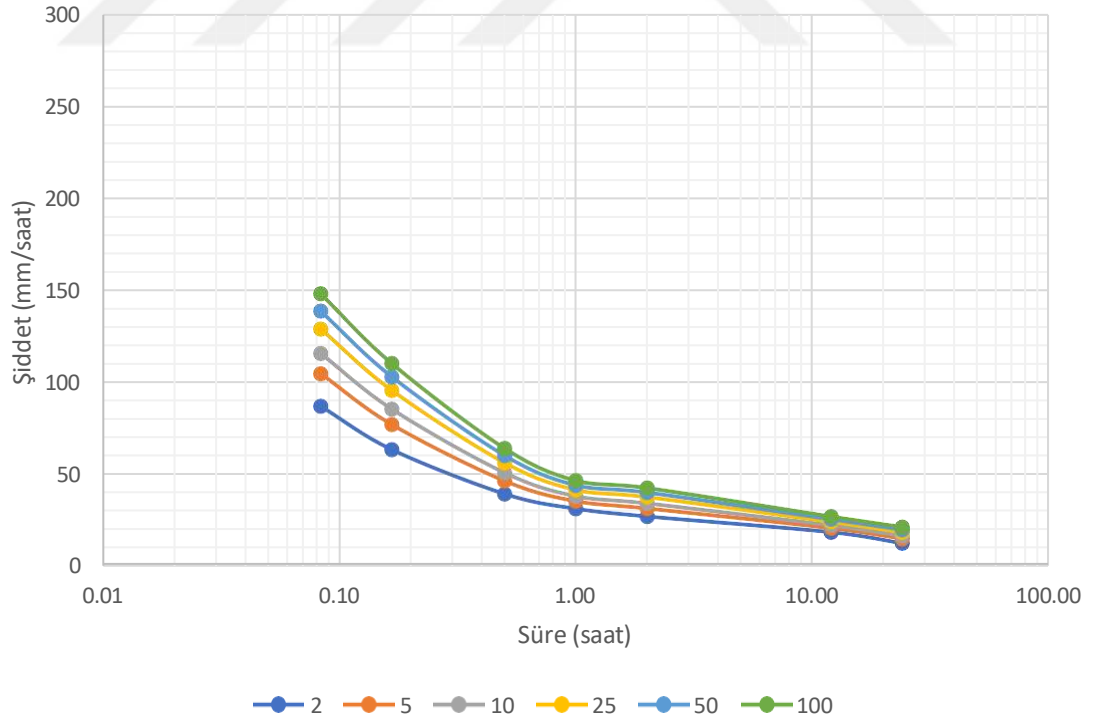
Şekil 4.11-4.15'te YŞST grafikleri standart sürelerle karşı hesaplanmış yağış şiddeti değerleri esas alınarak gösterilmektedir. Grafiklerde sadece aykırı değer düzeltmesiz YŞST'ler sunulmuştur. Bu grafiklerdeki, standart zamanlardaki yağış şiddetleri değerleri Tablo 4.12'deki değerlerin oranları esas alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.12. Aydın MGİ Frekans Analizi Yağış Derinliği (mm) Sonuçları

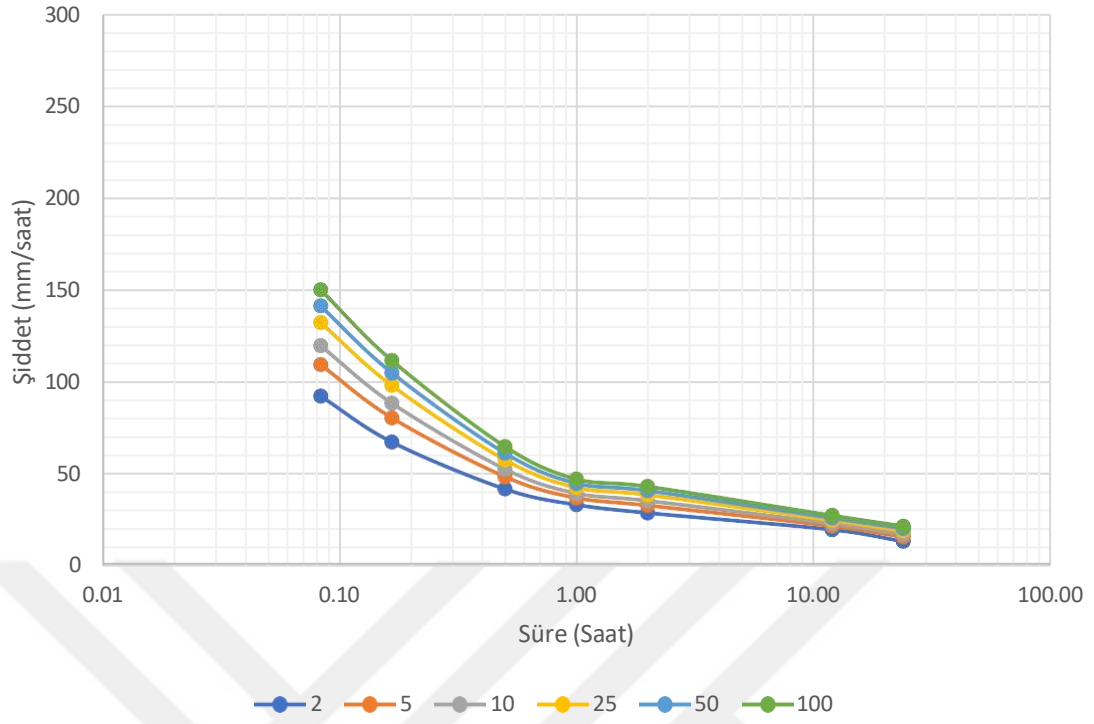
	Yıl					
Süre	2	5	10	25	50	100
5 dk	6.5	8.6	10.0	11.7	13.0	14.3
10 dk	8.9	11.6	13.5	15.8	17.5	19.2
30 dk	14.3	19.3	22.6	26.8	29.9	33.0
1 saat	17.9	25.3	30.2	36.3	40.9	45.4
2 saat	20.7	28.4	33.6	40.0	44.8	49.6
6 saat	30.2	43.0	51.4	62.1	70.1	77.9
24 saat	44.5	59.0	68.6	80.8	89.8	98.8



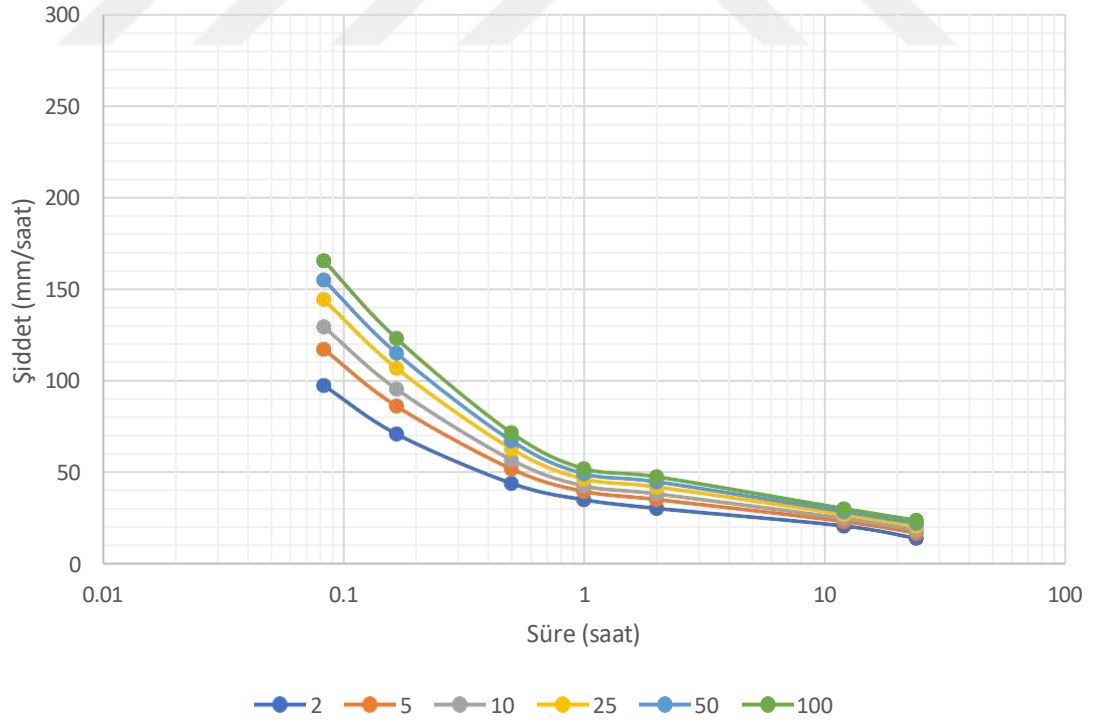
Şekil 4.11. Gözlem Dönemi YŞST Grafiği



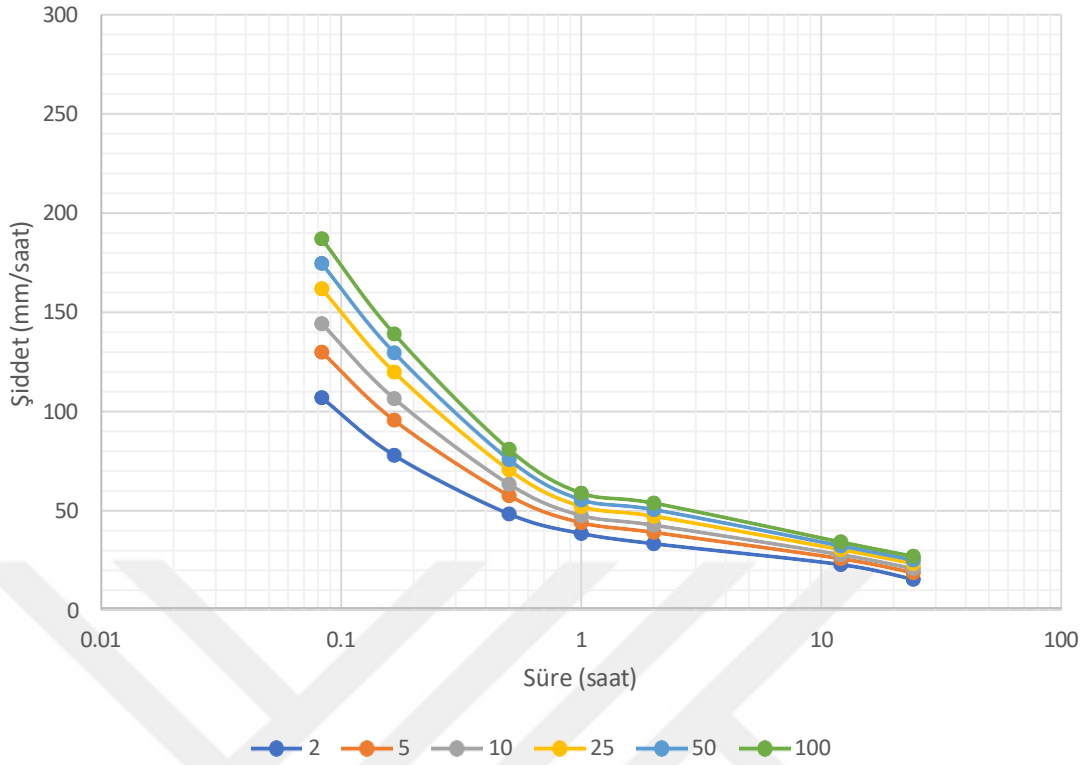
Şekil 4.12. CMIP5 Aykırı Değer Düzeltmesiz Referans Dönem YŞST Grafiği



Şekil 4.13. CMIP5 Aykırı Değer Düzeltmesiz 2075-2100 RCP8.5 YŞST Grafiği



Şekil 4.14. CMIP6 Aykırı Değer Düzeltmesiz Referans Dönemi YŞST Grafiği



Şekil 4.15. CMIP6 Aykırı Değer Düzeltmesiz 2075-2100 RCP8.5 YŞST Grafiği

Aykırı değer düzeltmesinin etkisi incelendiğinde, düzeltme yapılmış veri topluluklarının genellikle daha düşük yağış değerleri verdiği görülmektedir. Bu düşüşün nedeni, aykırı değer düzeltmesi sırasında bazı yüksek değerlerin veri setinden çıkarılmasıdır; böylece, aşırı değerlerin etkisi azaltılmış bir veri seti elde edilmiştir. Aykırı değer düzeltmesi yapılmayan verilerde özellikle uzun dönem projeksiyonlarda (2075-2100), RCP8.5 senaryosu, RCP4.5'e kıyasla daha yüksek yağış projeksiyonları sunmaktadır. Bu hesaplar, iklim değişikliğinin uzun vadede daha şiddetli yağış olaylarına yol açabileceğine işaret etmektedir. Bu durum, gelecekteki su kaynakları yönetiminde aşırı yağış olaylarının etkisinin daha dikkatli değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Dönemler arasında ise belirgin bir eğilim gözlenmemekle birlikte hem CMIP5 hem de CMIP6 projeksiyonlarında dönem geçişlerinde (2025-2049, 2050-2074, 2075-2100) artış ve azalışlar görülmektedir. Bu dalgalanmalar, iklim projeksiyonlarının doğruluğunu etkileyen faktörlerin çeşitliliğine ve iklim model sonuçlarında görülebilen belirsizliklere işaret etmektedir.

4.4. Yağış Anomali Hesapları

Anomali hesapları, iklim projeksiyonları ile gözlemler veya referans dönemleri arasındaki farklılıkları değerlendirmek için önemli bir yöntemdir. Bu hesaplamalar, gelecekteki iklim koşullarında olası değişimlerin, özellikle yağış miktarındaki artış veya azalış eğilimlerinin gözlemlenmesini sağlar.

Anomali analizleri, belirli bir senaryo veya projeksiyonun mevcut iklim koşullarından ne kadar sapabileceğini ortaya koyarak, su kaynakları planlaması ve risk değerlendirmesi gibi çalışmalarda karar vericilere yol gösterici veriler sunmaktadır.

Bu bölümde, CMIP5 ve CMIP6 modelleri için farklı dönemlerde yağış miktarındaki değişimlerin büyüklüğü ve yönü incelenmiştir. Tablo 4.12-4.15, 10 ve 100 yıllık tekerrür yağışı sonuçlarını senaryo, yaklaşım (Frekans Analizinden Topluluk Yaklaşımına, FATY, Topluluktan Frekans Analizi Yaklaşımın, TFAY), aykırı değer düzeltmesi ve dönemlere göre sınıflandırarak mm cinsinden göstermektedir. Tablo 4.16-4.19'da ise yüzdesel olarak anomali sonuçları verilmiştir. Tablolarda (4.17-4.20) yüzde pozitif değişimler yeşil renk ile, negatif değişimler ise kırmızı renk ile belirtilmiştir.

Tablo 4.13. CMIP5 FATY Tekerrür Yağışı Sonuçları (mm)

Frekans Analizinden Topluluk Yaklaşımına (FATY)								
Aykırı Değer Düzeltmeli								
T (yıl)	Gözlem	Referans	2025-2049		2050-2074		2075-2100	
			RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5
10	66.3	43.1	46.2	44.3	46.3	45.5	46.0	46.4
100	92.5	59.5	63.5	61.2	64.2	63.4	63.7	64.8
Aykırı Değer Düzeltmesiz								
T (yıl)	Gözlem	Referans	2025-2049		2050-2074		2075-2100	
			RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5
10	66.3	44.8	46.3	46.0	49.3	46.4	51.4	48.6
100	92.5	62.5	63.7	64.3	70.1	65.2	74.7	69.4

Tablo 4.14. CMIP5 TYFA Tekerrür Yağışı Sonuçları (mm)

Topluluk Yaklaşımından Frekans Analizine (TYFA)								
Aykırı Değer Düzeltmeli								
T (yıl)	Gözlem	Referans	2025-2049		2050-2074		2075-2100	
			RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5
10	62	36.9	39.1	37.5	38.0	37.2	36.9	38.2
100	83	44.5	46.5	44.9	44.3	43.7	41.7	44.8
Aykırı Değer Düzeltmesiz								
T (yıl)	Gözlem	Referans	2025-2049		2050-2074		2075-2100	
			RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5
10	62	38.1	39.4	39.1	41.3	37.5	40.3	39.5
100	83	46.6	47.0	47.8	51.1	44.2	48.1	47.2

Tablo 4.15. CMIP6 FATY Tekerrür Yağışı Sonuçları (mm)

Frekans Analizinden Topluluk Yaklaşımına (FATY)								
Aykırı Değer Düzeltmeli								
T (yıl)	Gözlem	Referans	2025-2049		2050-2074		2075-2100	
			RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5
10	66.3	47	50	49	49	48	49	51
100	92.5	63	68	64	67	65	68	71
Aykırı Değer Düzeltmesiz								
T (yıl)	Gözlem	Referans	2025-2049		2050-2074		2075-2100	
			RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5
10	66.3	50	50	50	49	51	52	52
100	92.5	70	68	66	67	71	73	73

Tablo 4.16. CMIP6 TYFA Tekerrür Yağışı Sonuçları (mm)

Topluluk Yaklaşımından Frekans Analizine (TYFA)								
Aykırı Değer Düzeltmeli								
T (yıl)	Gözlem	Referans	2025-2049		2050-2074		2075-2100	
			RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5
10	66.3	41	47	46	44	47	44	46
100	92.5	50	59	55	53	59	53	57
Aykırı Değer Düzeltmesiz								
T (yıl)	Gözlem	Referans	2025-2049		2050-2074		2075-2100	
			RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5
10	66.3	43	47	47	44	48	47	48
100	92.5	52	59	56	53	61	60	59

Tablo 4.17. CMIP5 FATY Tekerrür Yağışı Anomali Sonuçları (%)

Frekans Analizinden Topluluk Yaklaşımına (FATY)												
T (yıl)	Aykırı Değer Düzeltmeli						Aykırı Değer Düzeltmesiz					
	2025-2049		2050-2074		2075-2100		2025-2049		2050-2074		2075-2100	
	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP
	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5
10	7.1	2.8	7.5	5.5	6.6	7.5	3.5	2.7	10.2	3.7	14.9	8.7
100	6.7	2.8	8.0	6.7	7.1	8.9	2.0	2.9	12.1	4.3	19.4	11.0

Tablo 4.18. CMIP5 TYFA Tekerrür Yağışı Anomali Sonuçları (%)

Topluluk Yaklaşımından Frekans Analizine (TYFA)												
T (yıl)	Aykırı Değer Düzeltmeli						Aykırı Değer Düzeltmesiz					
	2025-2049		2050-2074		2075-2100		2025-2049		2050-2074		2075-2100	
	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP
	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5
10	6.0	1.5	2.9	0.7	-0.1	3.5	3.4	2.4	8.3	-1.6	5.7	3.6
100	4.4	0.7	-0.4	-1.8	-6.3	0.7	0.9	2.7	9.7	-5.1	3.4	1.4

Tablo 4.19. CMIP6 FATY Tekerrür Yağışı Anomali Sonuçları (%)

Frekans Analizinden Topluluk Yaklaşımına (FATY)												
T (yıl)	Aykırı Değer Düzeltmeli						Aykırı Değer Düzeltmesiz					
	2025-2049		2050-2074		2075-2100		2025-2049		2050-2074		2075-2100	
	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP
	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5
10	6.2	3.8	5.2	2.6	4.7	8.4	-0.6	-0.8	-1.6	1.6	3.6	3.5
100	7.1	1.9	6.2	3.5	7.5	11.7	-3.2	-5.2	-4.0	1.6	4.6	3.9

Tablo 4.20. CMIP6 TYFA Tekerrür Yağışı Anomali Sonuçları (%)

Topluluk Yaklaşımından Frekans Analizine (TYFA)												
T (yıl)	Aykırı Değer Düzeltmeli						Aykırı Değer Düzeltmesiz					
	2025-2049		2050-2074		2075-2100		2025-2049		2050-2074		2075-2100	
	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP
	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5
10	14.8	12.3	6.3	12.8	5.9	12.3	11.2	10.2	3.0	12.4	11.1	11.4
100	18.6	11.0	6.8	18.0	6.4	13.6	13.5	7.8	2.2	17.0	15.1	12.9

Aykırı değer düzeltmesiz CMIP5 için sonuçlar incelendiğinde frekans analizinden topluluk yaklaşımına (FATY) gittiğimiz veriler tüm dönemlerde yağışlarda artış gösterirken, benzer şekilde topluluk yaklaşımından frekans analizine (TYFA) gittiğimiz veriler için de uzak gelecek döneminde RCP8.5 senaryosu hariç yağışlarda artış göstermektedir. Özellikle frekans analizinden topluluk yaklaşımına gittiğimiz verilerde uzak gelecek için %20'ye varan artışlar beklenmektedir.

Aykırı değer düzeltmesiz CMIP6 için sonuçlar incelendiğinde de topluluk yaklaşımından frekans analizine (TYFA) gittiğimiz veriler yağışlarda tüm dönemlerde artış gösterirken frekans analizinden topluluk yaklaşımına (FATY) gittiğimiz veriler yakın gelecekte ve orta vadeli geleceğin RCP4.5 senaryosu haricinde artış işaret etmektedir. Özellikle topluluk yaklaşımından frekans analizine gittiğimiz verilerde %19'a varan artışlar beklenmektedir.

Her iki veri setinde de aykırı değer düzeltmesinin etkisi incelendiğinde, düzeltme yapılmış veri topluluklarının genellikle daha düşük yağış değerleri verdiği görülmektedir. Bu düşüşün nedeni, aykırı değer düzeltmesi sırasında bazı yüksek değerlerin veri setinden çıkarılmasıdır; böylece, aşırı değerlerin etkisi azaltılmıştır.

Hem CMIP5 hem CMIP6 verilerinin, ayrıca TYFA ve FATY yaklaşımlarına ait verilerin ortalamaları alınarak oluşturulan özet tablolar, aykırı değer düzeltmesiz olarak Tablo 4.20'de, düzeltilmeli olarak ise Tablo 4.21'de sunulmuştur. CMIP5 ve CMIP6'ya dayalı elde edilen özet tablolar uzak gelecekte tekerrürlü yağışların kademeli olarak artacağına işaret etmektedir.

Tablo 4.21. *Aykırı Değer Düzeltmesiz Tekerrür Yağışı Anomali Sonuçları (%)*

T (Yıl)	2025-2049		2050-2074		2075-2100	
	RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5
10	4.4	3.6	5.0	4.1	8.8	6.8
100	3.3	2.0	5.0	4.4	10.6	7.3

Tablo 4.22. *Aykırı Değer Düzeltmeli Tekerrür Yağışı Anomali Sonuçları (%)*

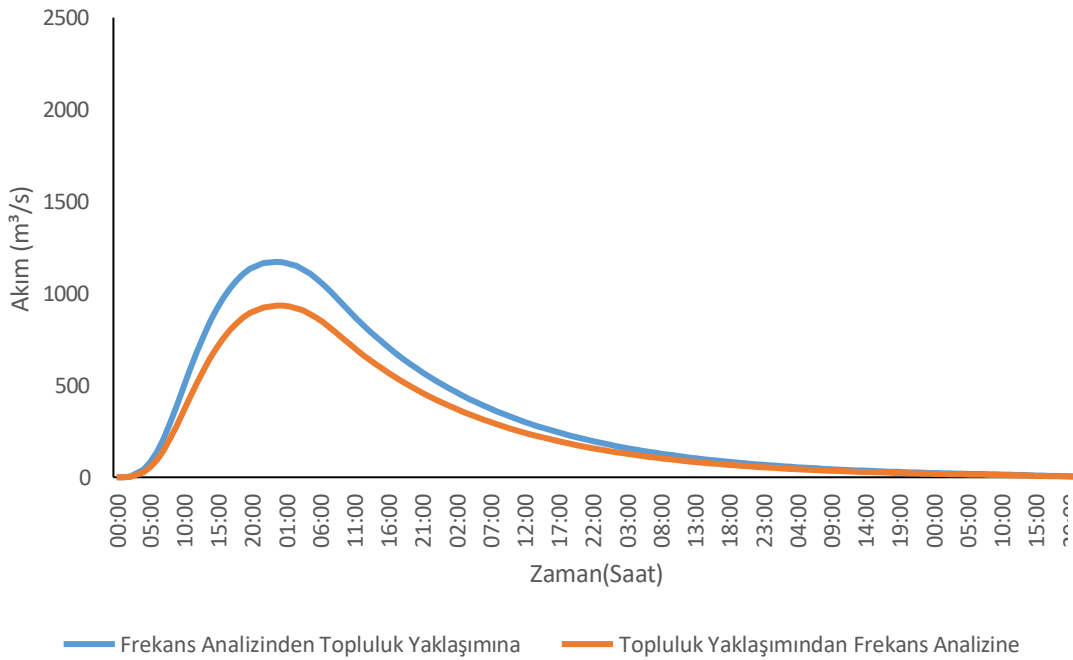
T (Yıl)	2025-2049		2050-2074		2075-2100	
	RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5
10	8.5	5.1	5.5	5.4	4.3	7.9
100	9.2	4.1	5.1	6.6	3.7	8.7

4.5. HEC-HMS Modeli Sonuçları

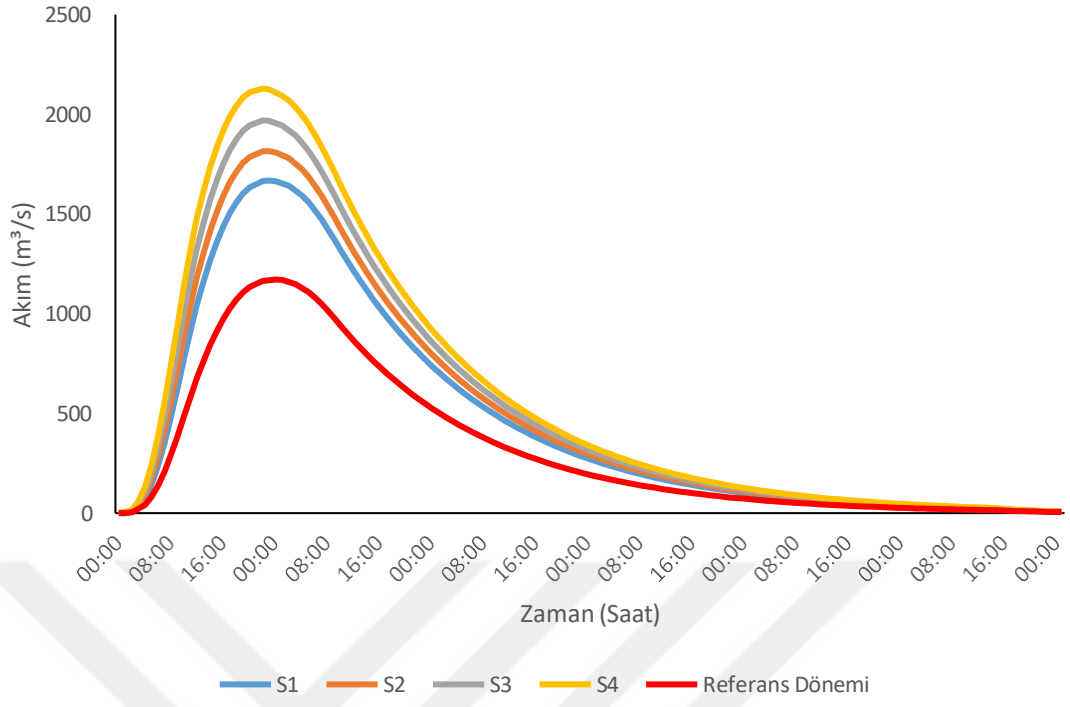
Tekerrür yağışları hesaplandıktan sonra hidrolojik model öncesinde bir ölçeklendirme çalışması yapılmıştır. Referans dönemi iklim projeksiyon verilerinin gözlem verilerine uyumlu hale getirilmesi için yaygın olarak kullanılan bu yöntemde referans iklim projeksiyon verilerinin geçmiş tekerrür yağışları ile gözlem verileri aynı ortalamaya getirilmiştir. Bu aşamada uygulanan ölçeklendirme işlemi aynı şekilde gelecek verilerine de uygulanarak modelde kullanılacak olan tekerrür yağış değerleri elde edilmiştir. Toplama ve depolama sürelerinin hesaplanmasında, Bölüm 3.2’de verilen Denklem 3.7 ve Denklem 3.8 kullanılmıştır. Tc ve R değerleri sırasıyla 10 saat ve 24 saat olarak hesaplanmıştır.

Çalışmanın devamında, elde edilen yağış değerleri Bölüm 3.2 Tablo 3.2’de verilen 4 farklı senaryo altında modele girdi oluşturularak hem akım serileri hem de pik akımlar elde edilmiştir. Pik akımlar, gelecek bölümde akım anomali hesaplarında kullanılırken akım-zaman grafiklerinden de hidrograflar elde edilmiştir.

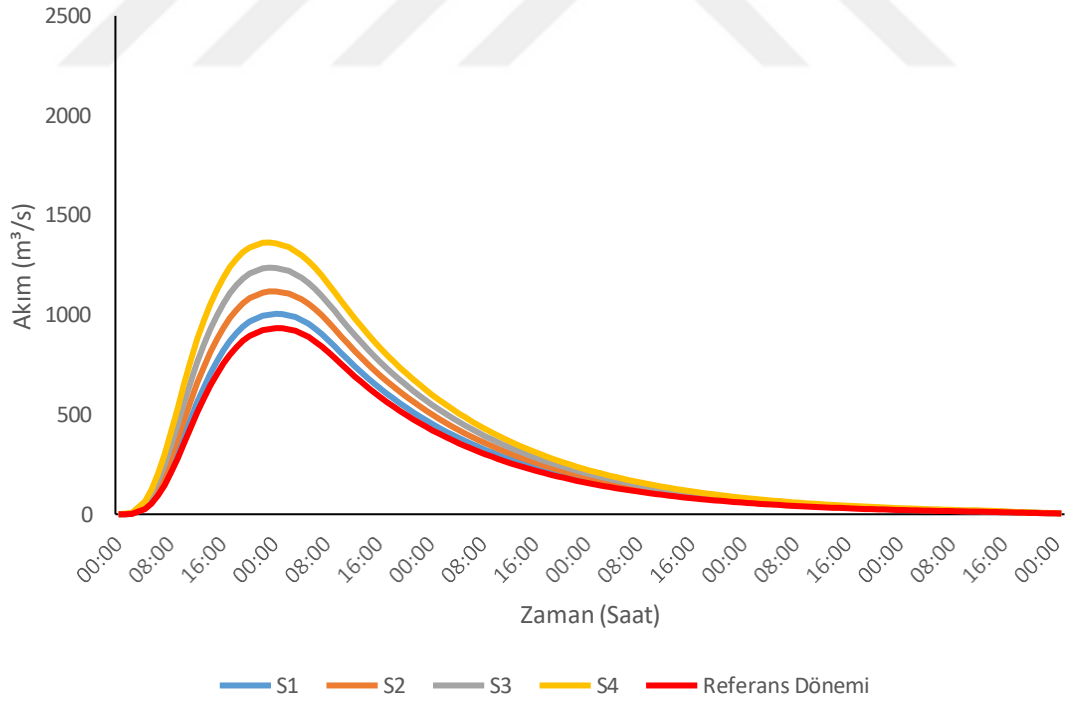
Grafiklerde frekans analizinden topluluk yaklaşımına ve topluluk yaklaşımından frekans analizine veri setleri sırasıyla FATY ve TYFA olarak kısaltılarak verilmiştir. Grafiklerde sadece 100 yıl tekerrürlü ve 24 saat süreli yağışlara karşılık gelen akımlar, aykırı değer düzeltilmesiz analizler için sunulmuştur.



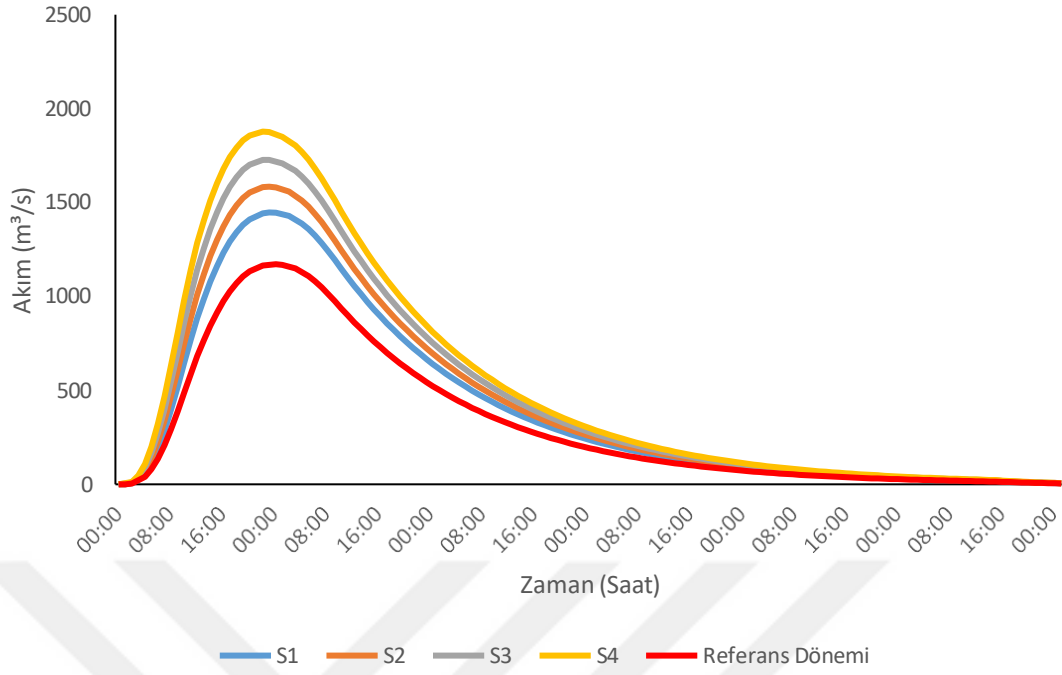
Şekil 4.16. Gözlem Dönemi Hidrograflar



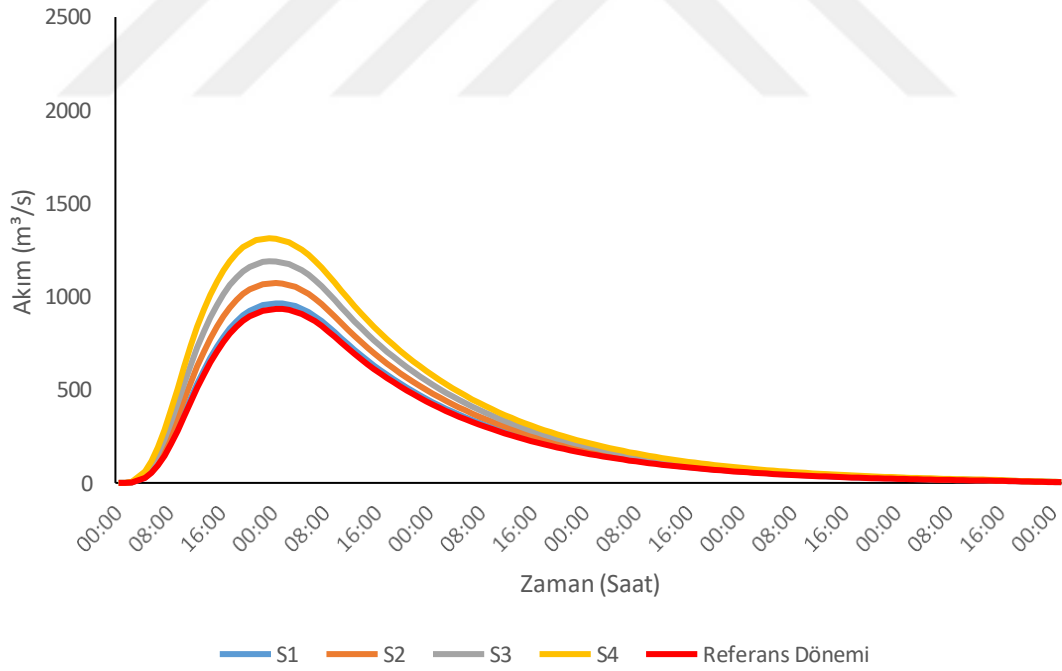
Şekil 4.17. CMIP5 FATY Aykırı Değer Düzeltmesiz RCP4.5



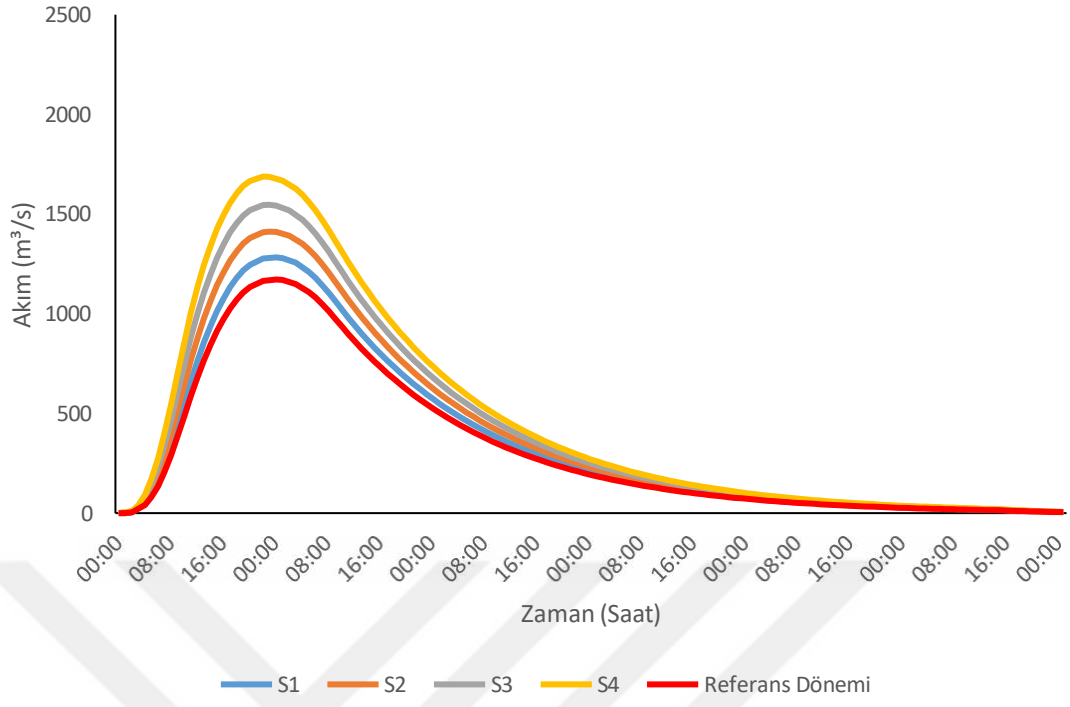
Şekil 4.18. CMIP5 TYFA Aykırı Değer Düzeltmesiz RCP4.5



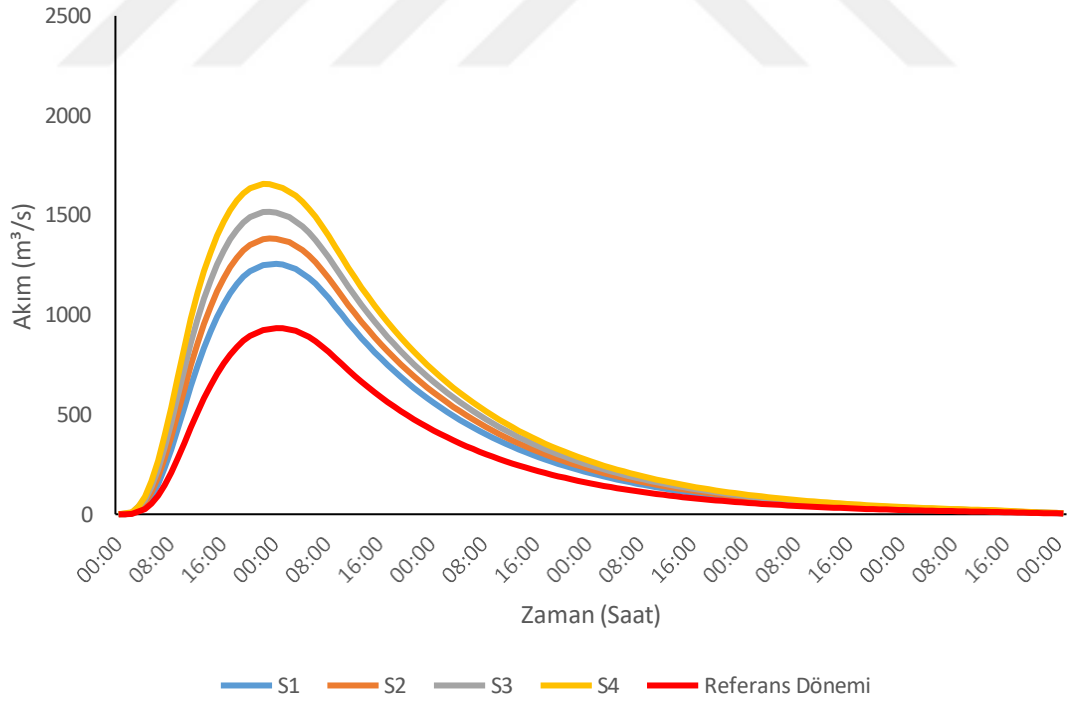
Şekil 4.19. CMIP5 FATY Aykırı Değer Düzeltmesiz RCP8.5



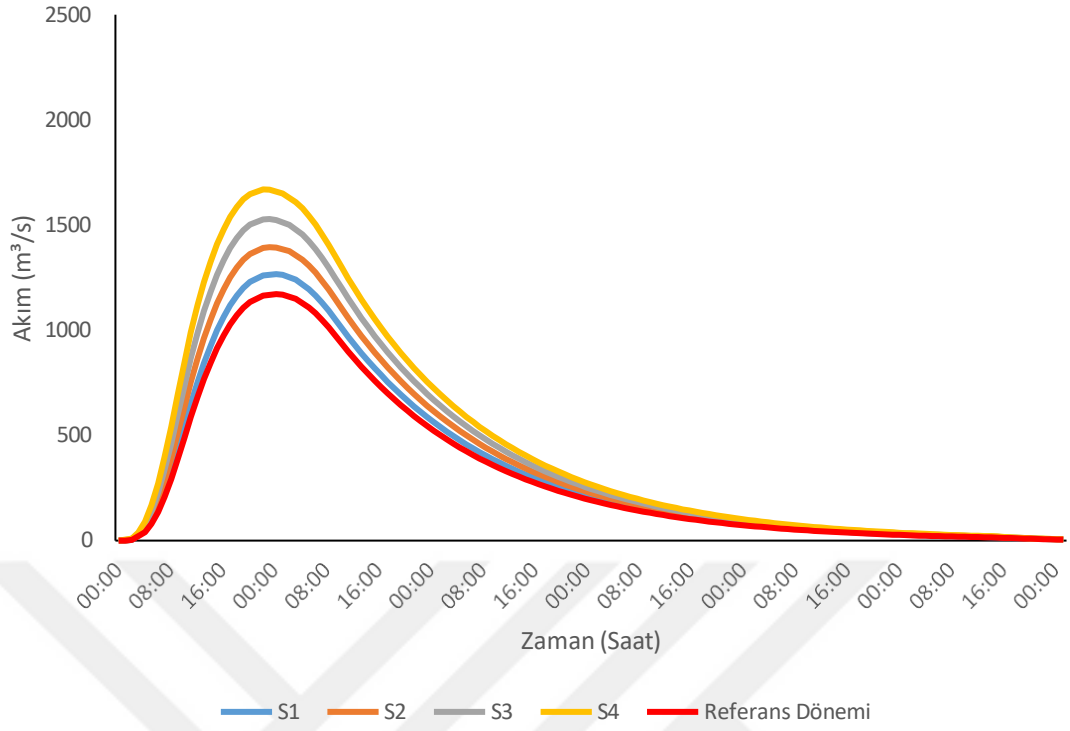
Şekil 4.20. CMIP5 TYFA Aykırı Değer Düzeltmesiz RCP8.5



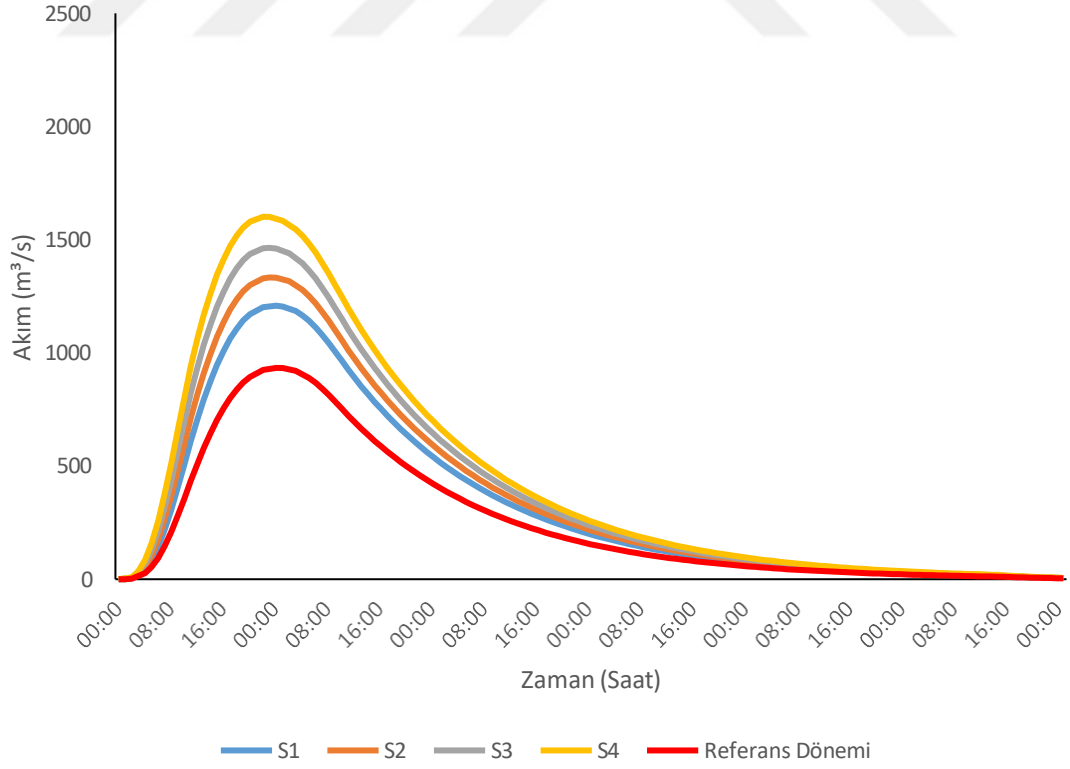
Şekil 4.21. CMIP6 FATY Aykırı Değer Düzeltmesiz RCP4.5



Şekil 4.22. CMIP6 TYFA Aykırı Değer Düzeltmesiz RCP4.5



Şekil 4.23. CMIP6 FATY Aykırı Değer Düzeltmesiz RCP8.5



Şekil 4.24. CMIP6 TYFA Aykırı Değer Düzeltmesiz RCP8.5

Şekil 4.16’da gözlem dönemi hidrograflarına bakıldığında frekans analizinden topluluk yaklaşımına gidildiğinde elde edilen akımların topluluk yaklaşımından frekans analizine giden yaklaşıma göre daha yüksek akımlar olduğu görülmüştür. FATY göre olan pik akım değeri TYFA’ya kıyasla %25 daha yüksektir.

Gözlem verilerinde olduğu gibi hem CMIP5 hem CMIP6 verilerinde frekans analizinden topluluk yaklaşımındaki akım sonuçları topluluk yaklaşımından frekans analizine göre daha yüksek çıkmıştır.

CMIP5 ile CMIP6 verileri karşılaştırıldığında aynı senaryolardaki veri setleri için CMIP6 verilerinin genel olarak daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. Fakat frekans analizinden topluluk yaklaşımına aykırı değer düzeltmesiz veri için hem RCP4.5 senaryosunda hem de RCP8.5 senaryolarında CMIP6’ya göre CMIP5 akım projeksiyonları daha yüksek elde edilmiştir.

CMIP5 verilerinde RCP4.5 ile RCP8.5 senaryoları karşılaştırıldığında FATY RCP8.5 senaryosu RCP4.5 senaryosuna göre daha yüksek akımlar vermiştir. CMIP6 verilerinde bu iki senaryo karşılaştırıldığında ise RCP4.5 senaryosu daha yüksek sonuçlar vermiştir.

4.6. Anomali Hesapları ve Karşılaştırmalar

Tablo 4.23. CMIP5 Model Akım Anomalileri (%)

T (yıl)	Senaryo	Frekans Analizinden Topluluk Yaklaşımına				Topluluk Yaklaşımından Frekans Analizine			
		Aykırı Değer Düzeltmeli		Aykırı Değer Düzeltmesiz		Aykırı Değer Düzeltmeli		Aykırı Değer Düzeltmesiz	
		RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5
10	S1	16.9	19.3	39.1	22.4	0.0	9.2	15.2	9.6
	S2	32.7	35.3	56.6	38.7	15.6	25.6	32.1	26.0
	S3	49.8	52.5	75.3	56.2	32.5	43.2	50.2	43.7
	S4	68.1	71.0	95.3	74.9	50.8	62.4	69.9	63.0
100	S1	15.0	19.0	42.4	23.5	-13.3	1.6	7.7	3.2
	S2	26.3	30.5	54.9	35.2	-2.6	13.2	19.7	14.9
	S3	38.1	42.5	68.1	47.4	8.7	25.6	32.5	27.4
	S4	50.5	55.1	81.8	60.3	20.9	38.8	46.0	40.7

Tablo 4.24. CMIP6 Model Akım Anomalileri (%)

T (yıl)	Senaryo	Frekans Analizinden Topluluk Yaklaşımına				Topluluk Yaklaşımından Frekans Analizine			
		Aykırı Değer Düzeltmeli		Aykırı Değer Düzeltmesiz		Aykırı Değer Düzeltmeli		Aykırı Değer Düzeltmesiz	
		RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5	RCP4.5	RCP 8.5
10	S1	11.8	21.2	8.7	8.7	15.6	33.4	29.8	30.7
	S2	27.3	37.4	24.0	24.0	32.5	51.6	47.8	48.7
	S3	44.0	54.8	40.4	40.4	50.7	71.3	67.1	68.2
	S4	61.9	73.5	58.1	58.1	70.5	92.4	88.0	89.1
100	S1	15.7	24.9	9.5	8.1	14.5	31.2	34.6	29.4
	S2	27.1	36.7	20.5	19.0	26.9	44.6	48.2	42.8
	S3	38.9	49.0	32.0	30.5	40.1	58.7	62.5	56.8
	S4	51.3	61.9	44.1	42.5	54.0	73.5	77.5	71.5

Sonuç olarak, bu çalışmada HEC-HMS modeli kullanılarak iklim değişikliğinin Tabakhane Deresi'nde taşkın riskleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. CMIP5 ve CMIP6 projeksiyonları altında yapılan simülasyonlar, farklı tekrarlamaya periyotları (T10 ve T100) ve senaryolar (S1, S2, S3, S4) için pik akımlarda önemli anomaliler göstermiştir.

Özellikle arazi değişimin daha fazla olacağı kurgusuna göre hazırlanan senaryoya göre (S4), pik akım değerlerinde belirgin artışlar ortaya çıkmıştır. Örneğin, CMIP5 model projeksiyonlarında T100 periyodu için pik akım anomalileri S1 senaryosunda aykırı değer düzeltilmesiz durum için FATY'de %33'ten S4 senaryosunda %71'e (RCP4.5 ve 8.5 ortalaması) kadar çıkmaktadır (Bu durum TYFA için ise %5'ten %43'e çıkmaktadır. T100 tekrarlamaya süresine göre değerlendirildiğinde, CMIP6 projeksiyonlarında TYFA için değişimler kısmen daha yüksektir ve S1 için ortalama %32'den S4 için %74'e yükselmektedir. FATY için bu değerler sırasıyla %9 ve %43'tür. Bu sonuçlar, farklı senaryolarda artan eğri numarası ve azalan gecikme süresinin, özellikle ileri dönemlerde taşkın risklerini önemli ölçüde artırabileceğini göstermektedir.

RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları karşılaştırıldığında CMIP6 projeksiyonlarında önemli farklar olmadığı ancak CMIP5 projeksiyonlarında RCP4.5 senaryosunun daha yüksek anomaliler verdiği görülmüştür. Tabakhane Deresi'nde taşkın debisinin özellikle uzak gelecekte ve eğri numarasının en yüksek değişime uğrayacağı senaryoda %90'ın üzerinde artabileceği öngörülmektedir.

Tüm veri setlerinde aykırı değer düzeltmesinin etkisi incelendiğinde, düzeltme yapılmış veri topluluklarının beklenildiği üzere genellikle daha düşük akım sonuçları verdiği görülmektedir.

Çalışmada ayrıca, frekans analizinin farklı yöntemlerle (FATY ve TYFA) uygulanmasının sonuçlar üzerinde nasıl bir çeşitlilik yarattığı gözlemlenmiştir. Aykırı değer testinin yapılması ve yapılmaması durumları ise akım tahminlerindeki belirsizliği etkilemiş; test yapılmayan verilerle test yapılmış veriler arasında bazı önemli farklılıklar kaydedilmiştir. Genel olarak, iklim değişikliği projeksiyonları, Tabakhane Deresi'nde taşkın risklerinin gelecekte önemli oranda artabileceğini ve bu risklerin su kaynakları yönetiminde mutlaka dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Çok fazla durumun değerlendirmeye alındığı bu çalışmada sonuçların daha genel değerlendirilebilmesi için senaryo ve aykırı değer düzeltmesi bazında özet tablo çıkartılmış ve aşağıda sunulmuştur.

Tablo 4.25. CMIP5 ve CMIP6, Birleşik Ortalama Akım Anomalileri (%)

T (yıl)	Senaryo	FATY + TYFA	
		Düzeltilmeli	Düzeltilmesiz
10	S1	15.9	20.5
	S2	32.3	37.2
	S3	49.9	55.2
	S4	68.8	74.6
100	S1	13.6	19.8
	S2	25.3	31.9
	S3	37.7	44.7
	S4	50.7	58.0

Tablo 4.25 incelendiğinde Senaryo 1'den Senaryo 4'e doğru akımlardaki anomalilerin arttığı görülmektedir. Ayrıca, aykırı değer düzeltilmesiz verilerdeki anomalilerin düzeltilmeli olanlara göre daha yüksek sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, iklim değişikliğinin yağış şiddet-süre-tekerrür (YŞST) eğrileri üzerindeki etkilerini analiz etmek hedeflenmiştir. Bu bağlamda, çalışma alanı olan Aydın ili Tabakhane Deresi için öncelikle geçmiş gözlem yağışlarına dayalı olarak YŞST eğrileri hesaplanmıştır. Daha sonra ise CMIP5 ve CMIP6 çerçevesinde üretilen çeşitli modeller kullanılarak geçmiş ve gelecek yağış projeksiyonlarına dayalı YŞST eğrileri çıkartılmıştır. Kıyaslar yapılarak anomali sonuçları hesaplanmış ve iklim değişimine bağlı olarak tekerrürlü yağışların değişimleri belirlenmiştir. Son yıllarda bölgede gözlemlenen ortalama yağış miktarlarındaki azalma eğilimine rağmen, çalışma sonucunda şiddetli yağışlarda artış olacağı tespit edilmiştir.

Çalışmada kullanılan iklim verilerinde ölçek küçültme işlemi yapılmamıştır. Mevcut çözünürlüklerin, çalışma sonuçları üzerinde önemli bir etkisi olabileceği düşünülmektedir. Verilerin çözünürlüğünün artırılması, sonuçların daha detaylı ve yerel gözlemlerle daha uyumlu olmasını sağlayabilir. Ayrıca, kullanılan yanlışlık düzeltme yöntemleri beklenen performansı sağlamamıştır; dolayısıyla çalışmaya ham veriler ile devam edilmiştir. Analiz sonuçlarında, ham veriler üzerinde yağış tekerrürlerinde referans döneme kıyasla %10'a varan artışlar gözlenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde ise değişen tekerrürlü yağışların tasarım akımlarını incelemek amacıyla yağış akış ilişkisinin modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Akım projeksiyon analizlerine geçildiğinde, farklı senaryolar kurgulanmıştır. Bu senaryolarda arazi kullanımı ve toprak türüne bağlı olarak belirlenen eğri numarasının iklim değişimi etkisiyle kademeli bir şekilde artacağı kabulü yapılmıştır. Bu senaryolar altında akım projeksiyonlarında genel bir artış eğilimi gözlemlenmiş ve bu artışların, uzak gelecekte (2075-2100) ve en olumsuz senaryoda referans dönemine kıyasla %80'e kadar çıkabileceği görülmüştür. Farklı senaryolar altında bölgedeki akım değerlerinde genel bir artış eğilimi görülmüştür; bu eğilim, özellikle yüksek tekrarlama süreleri için belirgin hale gelmiştir.

Analizler, iklim değişikliğinin etkisiyle bölgedeki taşkın risklerinin artacağını ve mevcut YŞST eğrilerinin güncellenmesi gerektiğini göstermektedir. Çalışma, su kaynakları ve taşkın risk yönetimi politikalarının iklim değişikliğine uyum sağlamak amacıyla gözden geçirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Gül ve Kayaalp (2023) tarafından Türkiye'nin üç farklı iklim bölgesinde yapılan çalışmada, yağış şiddetindeki artışların su kaynakları ve taşkın yönetimi açısından önemli tehditler oluşturduğu vurgulanmıştır. Yürütülen bu çalışma kapsamında da, gelecekte su kaynakları ve taşkın

risk yönetimi stratejilerinde iklim değışikliği senaryolarına dayalı bir yaklaşımın benimsenmesine işaret edilmektedir. Öte yandan, kısıtlı bir bölge üzerinde yürütölen bu tez çalışmasının, ölkemizdeki farklı bölgelere yaygınlaştırılması gereğinin de altı çizilmektedir.



KAYNAKÇA

- Akinsola, A.A., Ongoma, V., & Kooperman, G. J. (2021). Evaluation of CMIP6 models in simulating the statistics of extreme precipitation over Eastern Africa. *Atmospheric Research*, 254, 105509.
- Alfieri, L., Feyen, L., & Di Baldassarre, G. (2016). Increasing flood risk under climate change: A pan-European assessment of the benefits of four adaptation strategies. *Climatic Change*, 136, 507–521.
- Arnell, N.W., & Gosling, S.N. (2016). The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. *Climatic Change*, 134, 387–401.
- Crévolin, V., Hassanzadeh, E., & Bourdeau-Goulet, S. C. (2023). Updating the intensity-duration-frequency curves in major Canadian cities under changing climate using CMIP5 and CMIP6 model projections. *Sustainable Cities and Society*, 92, 104473.
- 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, 1937–1958.
- Fowler, H. J., Lenderink, G., Prein, A. F., Westra, S., Allan, R., Ban, N., Barbero, R., Berg, P., Blenkinsop, S., Do, H. X., Guerreiro, S. B., Haerter, J. O., Kendon, E., Lewis, E., Schaer, C., Sharma, A., Villarini, G., Wasko, C., & Zhang, X. (2021). Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2, 107-122.
- Garcia-Bartual, R., & Schneider, M. (2001). Estimating maximum expected short-duration rainfall intensities from extreme convective storms. Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, *Oceans and Atmosphere*, 26(9), 675–681.
- Giorgi, F. (2008). Regionalization of climate change information for impact assessment and adaptation. *WMO World Meteorological Organisation Bulletin*, 52(2).
- Gül, B., & Kayaalp, N. (2023). Estimating IDF curves under changing climate conditions for different climate regions. *Journal of Water and Climate Change*, 14(12), 4527–4543.
- Hausfather, Z. (2019). CMIP6: the next generation of climate models explained. *Carbon Brief*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Climate change 2021: *The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Jeong, Jinhwa, Dongkyu Lee, and Young Tae Chae. (2023). A Novel Approach for Day-Ahead Hourly Building-Integrated Photovoltaic Power Prediction by Using Feature Engineering and Simple Weather Forecasting Service. *Energies*, 16(22), 7477.

- Juckes, M., Taylor, K. E., Durack, P. J., Lawrence, B., Mizielinski, M. S., Pamment, A., Peterschmitt, J.-Y., Rixen, M., & Senesi, S. (2020). The CMIP6 Data Request (DREQ, Version 01.00.31). *Geoscientific Model Development*, 13(1), 201-224.
- Karahan, H. (2011). Bölgesel yağış-şiddet-süre-frekans bağıntılarının diferansiyel gelişim algoritması kullanılarak elde edilmesi (TÜBİTAK Proje No: 108Y299). Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK).
- Kourtis, I. M., & Tsihrintzis, V. A. (2022). Update of intensity-duration-frequency (IDF) curves under climate change: a review. *Water Supply*, 22(5), 4951-4974.
- Mainali, S., & Sharma, S. (2023). Climate Change Effects on Rainfall Intensity–Duration–Frequency (IDF) Curves for the Lake Erie Coast Using Various Climate Models. *Water*, 15(23), 4063.
- Martel, J., Mailhot, A., & Brissette, F. (2020). Global and Regional Projected Changes in 100-yr Subdaily, Daily, and Multiday Precipitation Extremes Estimated from Three Large Ensembles of Climate Simulations. *Journal of Climate*, 33(3), 1089-1103.
- Patra, S., Sahoo, S., Mishra, P., & Mahapatra, S. C. (2018). Impacts of urbanization on land use/cover changes and its probable implications on local climate and groundwater level. *Journal of Urban Management*, 7, 70-84.
- Prein, A. F., Rasmussen, R. M., Ikeda, K., Liu, C., Clark, M. P., & Holland, G. J. (2017). The future intensification of hourly precipitation extremes. *Nature Climate Change*, 7, 48-52.
- Rathjens, H., Bieger, K., Srinivasan, R., Chaubey, I., & Arnold, J. G. (2016). *CMhyd user manual*. Doc. Prep. Simulated Clim. Change Data Hydrol. Impact Study, 1413.
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, SYGM. (2019). *Büyük Menderes Havzası Kuraklık Yönetim Planı Cilt 1*. Ankara.
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (2024). *HEC-HMS Hydrologic Modeling System, User's Manual*. Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA, USA.
- Yan, L., Xiong, L., Jiang, C., Zhang, M., Wang, D., & Xu, C. Y. (2021). Updating intensity–duration–frequency curves for urban infrastructure design under a changing environment. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 8(3), e1519.
- http-1: http://www.highendsolutions.eu/page/climate_projections (Erişim Tarihi: 25.07.2024)
- http-2: <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip> (Erişim Tarihi: 20.07.2024)
- http-3: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets> (Erişim Tarihi: 1.11.2023)
- http-4: <https://esgf.llnl.gov/> (Erişim Tarihi: 2.11.2023)

http-5: <https://vsevolodkotenov.medium.com/providing-unit-root-testing-for-time-series-with-python-arch-library-adf-kpss-phillips-perron-b80d21e68892> (Erişim Tarihi: 10.02.2024)

http-6: https://www.7thverificationworkshop.de/Presentation/tutorial_verification_of_categorical_forecasts.pdf (Erişim Tarihi: 10.02.2024)

http-7: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ssp/download.aspx> (Erişim Tarihi: 20.08.2024)



ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0009-0008-4227-6917

Adı Soyadı: Ali ŞAHİN

Yabancı Dil: İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2021-Halen, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Hidrolik
- 2013-2018, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- 2018-2022, İnşaat Mühendisi, Alter Mühendislik
- 2024-Halen, İnşaat Mühendisi, Dolsar Mühendislik

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- 2024, Bildiri, Şahin, A., & Şensoy, A. (2024). İklim değişikliğinin taşkın riskleri üzerine etkisi: Menderes Havzası örneği. 12. Ulusal Hidroloji Kongresi Bildirileri, Samsun, Türkiye.

Mesleki Birlik/Dernek/Kuruluş Üyelikleri:

- 2018, İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara.