



**ERZURUM PALANDÖKEN BARAJI SU
POTANSİYELİNİN SU KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ALTINDA
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Nurullah GÜLAKAR

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi M. Cansaran ERTAŞ**

2025

Her hakkı saklıdır.



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ERZURUM PALANDÖKEN BARAJI SU POTANSİYELİNİN SU
KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ
ALTINDA DEĞERLENDİRİLMESİ**

Nurullah GÜLAKAR

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi M. Cansaran ERTAŞ

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2025

Her hakkı saklıdır

T.C.
ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ ONAY FORMU

**ERZURUM PALANDÖKEN BARAJI SU POTANSİYELİNİN SU
KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ
ALTINDA DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dr. Öğr. Üyesi M. Cansaran ERTAŞ danışmanlığında, Nurullah GÜLAKAR tarafından hazırlanan bu çalışma 21 / 08 / 2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **Oy birliği ile (3/3)** kabul edilmiştir.

Başkan	: Doç. Dr. Serkan ŞENOCAK	İmza	:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Muhammet YILMAZ	İmza	:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi M. Cansaran ERTAŞ	İmza	:

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Doç. Dr. Bünyamin ÖZGERİŞ
Enstitü Müdürü

*Bu tez çalışması tarafından nolu proje ile desteklenmiştir.

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

21 / 08 / 2025

İmzası

Nurullah GÜLAKAR

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERZURUM PALANDÖKEN BARAJI SU POTANSİYELİNİN SU KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ALTINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Nurullah GÜLAKAR

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi M. Cansaran ERTAŞ

Bu tez çalışması, artan dünya nüfusu ve iklim değişikliğinin su kaynakları yönetimine etkisine odaklanmaktadır. Çalışmanın temel amacı, Erzurum ili Çat ilçesi sınırları içerisinde yer alan Palandöken Barajı Havzası'nın hidrolojik modelini oluşturmak ve Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi (CMIP) kapsamında üretilen iklim projeksiyon verilerini kullanarak havzanın gelecekteki su potansiyelini tahmin etmektir. Bu sayede, barajın Erzurum ili Aziziye, Palandöken ve Yakutiye ilçelerinin içme suyu ihtiyacını ve Sakalikesik Ovası Sulamasına su teminini karşılama yeterliliğine dair öngörülerde bulunulması hedeflenmiştir. Çalışmada, havzanın hidrolojik modeli HBV-Light paket programı kullanılarak oluşturulmuştur. Model, Lezgi Çayı AGİ'sine ait (D21A116) akım verileri, Erzurum Havalimanı OMGİ'sine ait (17096) yağış ve sıcaklık verileri ve Çat Kar Gözlem Noktası'na ait (D21K008) kar verileri ile modeli eğitim ve test işlemleri yapılmıştır. Kalibrasyon ve validasyon periyotlarında Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) değerleri sırasıyla 0.77 ve 0.73 bulunmuştur. İklim değişikliği etkilerini değerlendirmek için Temsili Konsantrasyon Rotaları RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına ait 2025-2100 yılları arası iklim projeksiyon verileri kullanılmıştır. Bu verilerle 2100 yılına kadar yıllık maksimum akım, toplam su hacmi ve maksimum akım tarihi gibi hidrolojik parametrelerdeki değişimler analiz edilmiştir. Çalışmanın bulguları, gelecek dönemde yıllık maksimum akımda ve yıllık toplam su hacminde artış eğilimleri olduğunu, ayrıca akımın pik yaptığı günlerin daha erkene kaydığını göstermiştir.

2025, 80 sayfa

Anahtar Kelimeler: Palandöken Barajı, Hidrolojik modelleme, İklim değişikliği, CMIP, Akım tahmini

ABSTRACT

MS. Thesis

ASSESSMENT OF THE HYDROLOGICAL IMPACTS OF PALANDÖKEN DAM WATER POTENTIAL UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS

Nurullah GÜLAKAR

Erzurum Technical University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. M. Cansaran ERTAŞ

This thesis focuses on the impact of increasing global population and climate change on water resources management. The primary objective of the study is to develop a hydrological model of the Palandöken Dam Basin, located within the boundaries of Çat district in Erzurum Province, and to estimate the basin's future water potential using climate projection data produced under the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP). Accordingly, the study aims to assess the dam's capacity to meet the domestic water demand of Aziziye, Palandöken, and Yakutiye districts, as well as its ability to supply irrigation water to the Sakalikesik Plain. The hydrological model of the basin was developed using the HBV-Light software. The model was calibrated and validated using streamflow data from the Lezgi Stream gauging station (D21A116), precipitation and temperature data from the Erzurum Airport meteorological station (17096), and snow data from the Çat snow observation station (D21K008). The Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) coefficients for the calibration and validation periods were calculated as 0.77 and 0.73, respectively. To assess the effects of climate change, climate projection data for the period 2025–2100 were used under RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios. The analysis revealed increasing trends in annual peak flow and total water volume, along with a shift toward earlier peak flow dates throughout the 21st century.

2025, 80 page

Keywords: Palandöken Dam, Hydrological modeling, Climate change, CMIP, Streamflow prediction

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarımın her aşamasında, engin bilgi birikimi ve tecrübesiyle bana yol gösteren, hoşgörü ve sabırlarıyla beni destekleyen, bilime olan tutkusuyla motivasyonumu her daim yüksek tutan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi M. Cansaran ERTAŞ'a,

Yetişmemde ve hayatımın her karesinde sevgi ve sabırla yanımda olan, eğitim yolculuğumun her anında varlıklarından güç aldığım canım Aileme,

Hayatımın her anında desteğini hiç esirgemeyen canım eşim Fatma'ya, yaşama sevincim olan yavrularım Elif Begüm, Kerem ve Zehra'ya

tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Nurullah GÜLAKAR
Ağustos 2025

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	i
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Arka Planı ve Araştırma Sorusunun Tanımı	1
1.2. Araştırmanın Kapsamı ve Hedefleri	1
1.3. Çalışmanın Önemi ve Bilimsel Katkısı.....	3
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1. Çalışma Alanına İlişkin Genel Araştırmalar	4
2.2. HBV Hidrolojik Modeli Üzerine Yapılan Çalışmalar	14
2.3. İklim Verilerinin (CMIP vb.) Hidrolojik Modellemedeki Kullanımı	20
3. VERİ ve ÇALIŞMA ALANI	28
3.1. Çalışma Alanı.....	28
3.2. Veri Setleri	29
3.2.1. Akım (debi) verileri	29
3.2.2. Meteorolojik veriler (sıcaklık, yağış, buharlaşma)	32
3.2.3. Kar verileri	35
3.2.3. İklim projeksiyon verileri (CMIP senaryoları)	36
4. YÖNTEM	38
4.1. HBV Hidrolojik Modeli	38
4.2. GAP Optimizasyonu	42
4.3. RMSE (Root Mean Square Error).....	44
5. BULGULAR	45
5.1. Hidrolojik Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi	45
5.2. Kar Sonuçlarının Değerlendirilmesi	49
5.3. Yağış ve Sıcaklık Değerlendirmesi.....	53

5.3.1. Yaşanmış periyot yağış ve sıcaklık değerlendirilmesi (1968-2024).....	53
5.3.2. Gelecek periyot yağış ve sıcaklık değerlendirilmesi (2025-2100).....	58
5.4. Gelecek Akım Tahminleri.....	64
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR	75



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
%	Yüzde
cm	Santimetre
m	Metre
mm	Milimetre
°C	Santigrat derece
Σ	Toplam

Kısaltmalar

AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
Anonim	Yazar belirtilmeyen ulusal kaynaklarda kullanım
Anonymous	Yazar belirtilmeyen yurt dışı kaynaklarda kullanım
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CMIP	Coupled Model Intercomparison Project
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
ESGF	Earth System Grid Federation
GAP	Genetic Algorithm and Powell
GCM	Global Climate Model
GDM	Genel Dolaşım Modelleri
HBV	Hydrologiska Byrans Vattenavdelning
IPCC	The Intergovernmental Panel on Climate Change
KSE	Kar Su Eşdeğeri
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
NSE	Nash Sutcliffe Efficiency
OMGİ	Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
RCP	Representative Concentration Pathway
WCRP	World Climate Research Programme
WGCM	The Working Group on Coupled Modelling

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Tuzla ve Lezgi çayı havzası.....	28
Şekil 3.2. AGİ (Akım Gözlem İstasyonu) yerleri	30
Şekil 3.3. D21A226 kodlu istasyona ait akım verileri kullanılarak çizilmiş hidrograf ..	31
Şekil 3.4. D21A116 kodlu AGİ'ye ait akım verileri kullanılarak çizdirilmiş hidrograf.	32
Şekil 3.5. Otomatik meteoroloji gözlem istasyonlarının yerleri	33
Şekil 3.6. Çat Kar Gözlem Noktasının konumu	35
Şekil 4.1. HBV Light hidrolojik modelinin genel yapısı	39
Şekil 4.2. Örnek GAP optimizasyon ekranı.....	43
Şekil 5.1. Kalibrasyon periyodunda gözlemlenen ve modellenen akım verileri kullanılarak çizdirilmiş hidrograf.	48
Şekil 5.2. Validasyon periyodunda gözlemlenen ve modellenen akım verileri kullanılarak çizdirilmiş hidrograf	49
Şekil 5.3. Kalibrasyon periyodu gözlemlenen ve modellenen Kar Suyu Eşdeğerleri	51
Şekil 5.4. Validasyon periyodu gözlemlenen ve modellenen Kar Suyu Eşdeğerleri	52
Şekil 5.5. Kutu grafiği bileşenleri ve istatistiksel sınırlar.....	54
Şekil 5.6. 1968-2024 yılları arası yıllık toplam yağış miktarlarını 3 farklı tarihsel döneme göre karşılaştırıldığı kutu grafiği.	55
Şekil 5.7. 1968-2024 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklık verilerini 3 farklı tarihsel dönemde karşılaştırıldığı kutu grafiği.....	57
Şekil 5.8. RCP 4.5 senaryosuna göre 2025-2100 yılları arasındaki yıllık toplam yağış miktarlarını 3 farklı tarihsel döneme göre karşılaştırıldığı kutu grafiği.	58
Şekil 5.9. RCP 8.5 senaryosuna göre 2025-2100 yılları arasındaki yıllık toplam yağış miktarlarını 3 farklı tarihsel döneme göre karşılaştırıldığı kutu grafiği.....	60
Şekil 5.10. RCP 4.5 senaryosuna göre 2025-2100 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklık verilerinin 3 farklı tarihsel döneme göre karşılaştırıldığı kutu grafiği	61
Şekil 5.11. RCP 8.5 senaryosuna göre 2025-2100 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklık verilerinin 3 farklı tarihsel döneme göre karşılaştırıldığı kutu grafiği	63
Şekil 5.12. 1968-2100 yılları arasındaki yıllık maksimum akım verilerini 6 farklı tarihsel döneme göre karşılaştıran kutu grafiği	64

Şekil 5.13. 1968-2100 yılları arasındaki yıllık toplam su hacmi verilerini 6 farklı tarihsel periyoda göre karşılaştıran kutu grafiği.....	66
Şekil 5.14. 1968-2100 yılları arasındaki su yıllarına ait pik günleri 6 farklı tarihsel periyoda göre karşılaştıran kutu grafiği.....	69



ÇİZELGELER

Çizelge 3.1. AGİ'lere ait bilgiler	30
Çizelge 3.2. OMGİ'lere ait bilgiler.....	33
Çizelge 3.3. Palandöken Barajı Havzası aylık buharlaşma verisi.....	34
Çizelge 4.1. HBV hidrolojik modeli işleyişinde çalıştırılan parametreler ve bu parametrelerin değer aralıkları.....	40
Çizelge 4.2. Kalibrasyon ve validasyon tarih aralıkları.....	42
Çizelge 5.1. Kalibrasyon ve validasyon periyotları, elde edilen NSE değerleri.....	46
Çizelge 5.2. Hidrolojik Modelde kullanılan parametreler ve değerleri	47
Çizelge 5.3. Kalibrasyon periyodu RMSE sonuçları.....	50
Çizelge 5.4. Validasyon periyodu RMSE sonuçları.....	50
Çizelge 5.5. Yağış ve sıcaklık verileri için belirlenmiş tarihsel dönemler ve periyotlar.	53
Çizelge 5.6. Kutu grafiği temel bileşenlerinin tanımları.....	55
Çizelge 5.7. Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık toplam yağış verilerine ait sayısal bilgiler.....	56
Çizelge 5.8. Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık ortalama sıcaklık verilerine ait sayısal bilgiler.	57
Çizelge 5.9. Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık toplam yağış verilerine (RCP 4.5 senaryosuna göre) ait sayısal bilgiler.....	59
Çizelge 5.10. Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık toplam yağış verilerine (RCP 8.5 senaryosuna göre) ait sayısal bilgiler.	61
Çizelge 5.11. Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık ortalama sıcaklık verilerine (RCP 4.5 senaryosuna göre) ait sayısal bilgiler	62
Çizelge 5.12. Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık ortalama sıcaklık (RCP 8.5 senaryosuna göre) verilerine ait sayısal bilgiler.	63
Çizelge 5.13. Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık maksimum akım verilerine ait sayısal bilgiler.....	65

Çizelge 5.14. Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık su hacmi verilerine ait sayısal bilgiler.	68
Çizelge 5.15. Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış pik günü verilerine ait sayısal bilgiler.....	70



1. GİRİŞ

1.1. Araştırmanın Arka Planı ve Araştırma Sorusunun Tanımı

Su kaynaklarının etkin yönetimi, artan dünya nüfusu ve değişen insani ihtiyaçlar göz önüne alındığında günümüzde büyük önem taşımaktadır. Zira artan dünya nüfusu, küresel ısınma, taşkın ve kuraklık gibi faktörler su kaynakları yönetimi ve hidroloji bilimine olan ilgiyi artırmaktadır. Barajlar, su kaynakları yönetiminin temel bileşenlerinden olan içme suyu temini, tarımsal sulama ve enerji üretimi gibi hayati amaçlarla kullanılmaktadır. Bu bağlamda, Erzurum ili Çat ilçesi sınırları içerisinde yer alan Palandöken Barajı, Erzurum ili Aziziye, Palandöken ve Yakutiye ilçelerinin içme suyu ihtiyacını karşılamada ve Sakalikesik Ovası Sulamasına su temini sağlamakta kritik bir öneme sahiptir.

Palandöken Barajı'nın inşa edilme gerekliliğini açıklayan 1987 yılında Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından yayınlanan planlama raporunda, barajın Erzurum ili Aziziye, Palandöken ve Yakutiye ilçelerinin içme suyu ihtiyacını ve Sakalikesik Ovası Sulamasına su teminini 2025 yılına kadar karşılayabileceği öngörülmüştür.

Bu tez çalışmasında, Palandöken Barajı Havzasının hidrolojik modelini oluşturarak, iklim modelleme projelerinden elde edilen veriler ışığında havzanın gelecekteki su potansiyelinin ne kadar olabileceği, bölgenin içme suyu ve tarımsal sulama suyu ihtiyacını karşılamada baraj su potansiyelinin yeterli olup olamayacağı sorularına cevap aranmaktadır.

1.2. Araştırmanın Kapsamı ve Hedefleri

Bu tez çalışması kapsamında, Palandöken Barajı Havzasında su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için güvenilir bir hidrolojik modelleme altyapısı oluşturularak, Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi (CMIP) kapsamında üretilen iklim projeksiyon verileri de kullanılarak havzanın gelecekteki su potansiyeli tahmin edilmektedir.

Çalışmanın hedefleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- ❖ QGIS paket programı kullanılarak havza çevresi, hipsometrik yüksekliği, eğim sınıfları (Düz, Az Eğimli, Eğimli, Dik) ve bakı yönleri (Kuzey, Doğu, Güney, Batı, Düz) gibi havzanın karakteristik özelliklerini ortaya koymak.
- ❖ Palandöken Barajı havzasındaki mevcut akım gözlem verilerinin detaylı analizini yaparak, barajın su tutmaya başladığı 2005 yılı öncesi ve sonrası doğal akım rejimindeki değişimleri tespit etmek ve hidrolojik modelleme de kullanılacak akım veri setine, istasyonuna karar vermek.
- ❖ Bölgedeki Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonları (OMGİ) tarafından kaydı tutulan yağış ve sıcaklık verileri incelenerek, hidrolojik modelleme de kullanılacak en uygun veri setine ait istasyona karar vermek.
- ❖ HBV Light programına yağış, sıcaklık ve akım verileri girilerek havzanın hidrolojik modelini oluşturarak, oluşturulan modeli belli tarihler arasında kalibre ve valide etmek.
- ❖ CMIP kapsamında üretilen iklim projeksiyonları incelenerek, projeksiyonlara ait yağış ve sıcaklık verilerini elde etmek.
- ❖ İklim projeksiyonlarından elde edilen yağış ve sıcaklık değerlerini hazırlanmış hidrolojik modelde kullanarak, 2100 yılına kadar ki dönemde havzanın su potansiyeli hakkında tahminlerde bulunmak.
- ❖ Tahmin edilen su potansiyeline göre havzanın Erzurum ili Aziziye, Palandöken ve Yakutiye ilçelerinin içme suyu ihtiyacını karşılamada ve Sakalikesik Ovası Sulamasına su temini sağlamakta yeterli olup olmayacağına dair öngörülerde bulunmak.

1.3. Çalışmanın Önemi ve Bilimsel Katkısı

İklim değişikliği, fiziksel ve doğal çevre, şehir hayatı, kalkınma, ekonomi, teknoloji, insan hakları, tarım, gıda, temiz su ve sağlık dahil olmak üzere yaşamın her alanını etkileyen küresel ölçekteki en büyük sorunlardan biri olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, su kaynaklarının etkin yönetimi ve hidrolojik süreçlerin anlaşılması büyük önem arz etmektedir. Bu tez çalışması, su kaynakları yönetimi ve hidrolojik modelleme alanlarına önemli katkılar sağlamaktadır.

Geleceğe yönelik iklim tahmini için Dünya İklim Araştırma Programı'nın (WCRP) uluslararası bir iklim modelleme projesi olan Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi (CMIP) çerçevesinde hazırlanan Temsili Konsantrasyon Yolları (RCP) 4.5 ve 8.5 senaryoları tez kapsamında kullanılmıştır. Bu yaklaşım, uzun dönemli ve kaliteli verilerin hidrolojik modellerle entegrasyonu sayesinde bölgedeki su kaynakları yönetiminin gelecekteki iklim değişiklikleri ışığında daha sağlam temellere oturtulmasına katkı sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında, kar parametrelerinin akım modellemesi sürecine etkin bir şekilde dahil edilmesi ve iklim değişikliğine dikkat çekilmesi nedeniyle literatüre önemli bir bilimsel katkı sunmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Çalışma Alanına İlişkin Genel Araştırmalar

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında çalışma alanı olarak belirlenen Palandöken Barajı Havzası ile bu havzanın bağlı bulunduğu Fırat Havzasında daha önce yapılmış bilimsel araştırmaların özetlerinin sunulması amaçlanmaktadır. Palandöken Barajı özelinde literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunması nedeniyle, Fırat Havzası genelinde gerçekleştirilen çalışmalar incelenmiştir. Bu kapsamda, çalışma alanına özgü konular, karşılaşılan zorluklar, uygulanan yöntemler ve elde edilen temel bulgular ele alınarak mevcut bilgi birikimi ortaya konulmaktadır. Böylece, mevcut araştırma probleminin bağlamı güçlendirilmekte ve bu tez çalışmasının literatüre sağlayabileceği potansiyel katkı alanları belirlenmektedir.

Şengül (2005) tarafından hazırlanan çalışmada, Fırat Havzası'ndaki Karasu Nehri üzerindeki 2154 numaralı akım gözlem istasyonunun aylık akımlarının stokastik modellerle incelenmesi ve su kaynakları sistemlerinin güvenilir planlanması hedeflenmiştir. Çalışmada, Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nden alınan yıllık akım kayıtları kullanılarak Box-Jenkins metodolojisi ile sabit katsayılı periyodik otoregressif (AR) ve otoregressif-hareketli ortalama (ARMA) modelleri oluşturulmuştur. Analizler sonucunda, AR(1) modelinin rakip modeller arasında en uygun model olduğu Akaike Bilgi Kriteri (AIC) testi ile belirlenmiş, artık serilerin beyaz gürültü serisi olduğu Port Manteau ve otokorelasyon testleriyle doğrulanmıştır.

Gümüş (2006) tarafından hazırlanan çalışmada, Fırat Havzası'ndaki 22 akım gözlem istasyonunun yıllık ortalama, minimum ve maksimum akımlarında anlamlı trend varlığı ve nedenleri parametrik olmayan Mann-Kendall ve Spearman'ın Rho testleri ile incelenmiştir. Trend tespit edilen istasyonlarda trend başlangıç yılını belirlemek için Mann-Kendall Mertebe Korelasyon testi, trend eğimlerini belirlemek için ise Sen'in Trend Eğim metodu kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, yıllık ortalama akımlarda Aşağı Fırat Havzası'ndaki iki istasyonda azalan yönde anlamlı trend; minimum akımlarda ise havza genelinde 10 istasyonda azalan, bir istasyonda artan yönde anlamlı trend tespit edilmiş ancak maksimum akımlarda anlamlı bir trend gözlenmemiştir.

Albostan (2007) tarafından hazırlanan çalışmada, Orta Fırat Havzası'ndaki yüksek ve düşük akımların mevsimsellik analizi yapılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, taşkın, hidroelektrik potansiyeli ve kuraklık gibi su kaynakları yönetiminin kritik unsurlarına yönelik bilgi sağlamaktır. Fırat nehrinin Murat kolundaki 5 akım istasyonundan alınan 30 yıllık günlük akım değerleri kullanılarak, boyutsuzlaştırılmış debi süreklilik eğrileri oluşturulmuş; debilerin ortalama oluşma süresi ve doğrultusu yeni bir yöntemle belirlenmiştir. Mevsimsel istatistikler harita üzerinde analiz edilmiş, havza benzerlikleri coğrafi yakınlık ilişkisinde dahil olmak üzere Öklid mesafeleri ve rölatif frekanslar kullanılarak incelenmiştir.

Pekkan (2009) tarafından hazırlanan çalışmada, yılın yaklaşık 150 günü karla kaplı olan 242 km² drenaj alanına sahip Yukarı Karasu (Kırkgöze) Havzası'nda kar erimesinden kaynaklanan akışın SRM (Snowmelt Runoff Model) ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, karla kaplı alanların zamansal değişimi MODIS uydu görüntülerinden belirlenmiş; yağmur ve kar erimesine bağlı akış katsayılarını ayırmada toplam akımdaki yüzey suyu ve yeraltı suyu bileşenlerinin klorür derişimleri ile yüzey suyunun yağmur ve kar erimesi bileşenlerinin 18O izotopu içerikleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, izleyici tabanlı hidrograf ayrımı ile yapılan SRM uygulamasının tatmin edici bulunmadığı, bunun nedeninin birikmiş kar örtüsüne ait izotopik bileşimin gerçek erime suyunu tam olarak temsil etmeyişinden kaynaklandığı saptanmıştır. Ayrıca, kar erimesi izotop bileşimlerinin erime döneminde izotop takas süreçlerinden etkilendiği ve nehir izotopik bileşiminin zamanda durağan olmasının yüzeysel akış sırasında etkin karışmadan kaynaklandığı belirlenmiştir.

Erzurum Su ve Kanalizasyon İdaresi (2012) tarafından hazırlanan çalışmada, Erzurum'da 2008 yılına kadar yaşanan içme suyu kalitesi sorunları ve yüksek enerji giderlerine çözüm olarak, Palandöken Barajı Projesi hayata geçirildiği ve Lezgi ve Pisyan Dereleri üzerinde inşa edilen baraj, şehrin uzun vadeli içme ve sulama suyu ihtiyacını karşılayabilecek kapasitede ve kaliteli bir kaynak sunduğu belirtilmektedir.

Yamankurt (2010) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin dağlık doğu bölgelerindeki kar erimesi akımlarının yıllık toplam akım hacmindeki önemi vurgulanarak, özellikle Fırat Havzası'nda kış aylarında biriken kar miktarının alansal ve

zamansal takibi gerekliliği ele alınmıştır. Çalışma alanı olarak Keban Baraj Gölü'nü besleyen Yukarı Fırat (Karasu) Havzası seçilmiş, optik uydu görüntülerinde karla kaplı alanların belirlenmesindeki bulut etkisini azaltmak temel problem olarak belirlenmiştir. Bu amaçla, günlük MODIS Terra ve Aqua uydu görüntüleri çeşitli harmanlama işlemlerinden geçirilerek buluttan arındırılmış karla kaplı alan haritaları elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, harmanlama işlemlerinin karla kaplı alan haritalarındaki bulut etkisini önemli ölçüde azalttığı (%99'a kadar iyileşme) ve yer gözlemleriyle yüksek doğruluk oranları elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca, Karasu Havzası'na uygulanan HBV hidrolojik modelinin karla kaplı alan çıktıları uydu verileriyle kıyaslanmış ve modellenen akımların gözlenen akımlarla tutarlı olduğu görülmüştür.

Gözel (2011) tarafından hazırlanan çalışmada, Türkiye'nin dağlık doğu bölgelerindeki kar erimelerinden beslenen havzaların artan enerji ihtiyacı ve iklim değişikliği bağlamındaki önemi vurgulanmıştır. Bu bölgelerde kar erimelerinin yıllık akımın yaklaşık üçte ikisini oluşturduğu belirtilerek, Fırat Havzası'nda kar potansiyelinin takibinin ve akımların modellenmesinin büyük barajların verimli işletilmesi açısından kritik olduğu ifade edilmiştir. Tezin temel amacı, Keban Baraj Gölü'nü besleyen Karasu Nehri havzası için dönemsel kar suyu potansiyelinin belirlenmesi ve günlük akımların modellenmesi olarak ortaya konmuştur. Çalışmada, kar suyu potansiyeli hesaplamaları için Detrended Kriging (DK) yöntemi ve kar gözlem istasyonlarından elde edilen ölçümler kullanılmış, MODIS uydu görüntülerinden elde edilen karla kaplı alanlar maske olarak değerlendirilmiştir. Günlük akım modellemesi için ise kavramsal bir hidrolojik model olan Snowmelt Runoff Model (SRM), 2001-2011 su yılları için uygulanmıştır.

Şenocak (2011) tarafından hazırlanan çalışmada, Erzurum (Kırkgöze) havzasında Kar Erimesi Akış Modeli (SRM) Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Erzurum'un kuzeydoğusunda yer alan Kırkgöze havzası, 242,7 km² drenaj alanına ve 1823 m ile 3140 m arasında değişen dağlık bir kota sahiptir. Bölgedeki su kaynakları açısından kar erimelerinden meydana gelen akışların büyük önem taşıdığı belirtilmiştir. Havzanın Olgunluk evresinde olduğu hipsometrik eğri analizi ile belirlenmiştir.

Koday ve Kaya (2012) tarafından hazırlanan çalışmada, Erzurum şehrinin geçmişte içme suyu ihtiyacını karşılamak için kullanılan Erzurum Ovası'ndaki kuyularda nitrat oranının artması ve yüksek enerji maliyeti gibi önemli sorunlar yaşandığı belirtilmiştir. Bu problemlerin çözümü ve şehrin artan su ihtiyacının karşılanması amacıyla, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 1994 yılında yapımına başlanan ve 2001 yılında tamamlanan Palandöken Barajı'nın inşa edildiği aktarılmıştır. Çat ilçesi sınırları içerisinde Lezgi ve Pisyan dereleri üzerinde içme ve sulama amacıyla tesis edilen barajın, şehirden daha yüksek bir kotta (2080 m) kurulması sayesinde suların şehre kendi cazibesıyla ulaştığı ve bu durumun su temin maliyetini düşürdüğü vurgulanmıştır. Baraj suyunun kalitesinin ülkedeki baraj suları arasında yüksek olduğu ancak Erzurum halkının doğal kaynak sularına alışkın olması nedeniyle suyun tadının tartışma konusu olmaya devam ettiği ifade edilmiştir. Barajdan alınan ham suyun 4800 m uzunluğundaki isale tüneli ve yaklaşık 20 km uzunluğundaki çelik boru hattı aracılığıyla Erzurum İçmesuyu Arıtma Tesisine iletildiği belirtilmiştir.

Yıldırım (2012) tarafından hazırlanan çalışmada, Fırat Havzası'ndaki su kaynaklarının etkin yönetimi ve hidroelektrik potansiyelin değerlendirilmesi amacıyla düşük akımların analizi yapılmıştır. Çalışma kapsamında, Fırat Havzası'nın Murat Kolu üzerindeki Elektrik İşleri Etüd İdaresi'ne ait 5 akım gözlem istasyonundan (1970-2003 yılları arası) 34 yıllık günlük akım verileri incelenmiş, bu verilerle debi süreklilik eğrileri ve 7 günlük ortalama akımlar belirlenerek istatistiksel ve L-moment analizleri uygulanmıştır. Çeşitli olasılık dağılımları (Weibull 2, Üstel, Weibull 3, Genel Ekstrem Değer, Pearson Tip 3, Log-Pearson Tip 3) 2, 5 ve 10 yıllık dönüş aralıklarında düşük akım debilerinin tahmininde kullanılmıştır. Uygulanan Olasılık Çizgisi Korelasyon Katsayısı (PPCC) testi sonuçlarına göre, Pearson Tip III dağılımının tüm istasyonlar için en uygun dağılım olduğu (%100 uyumluluk) tespit edilmiştir.

Kop (2016) tarafından Erzurum Palandöken Baraj suyunun batık hollow fiber mikrofiltrasyon (MF) membranlar kullanılarak arıtılması araştırılmıştır. Batık hollow fiber membran sisteminin klasik arıtma tesislerine göre daha az kimyasal madde dozlarında daha kaliteli çıkış suyu verdiği ve alan azlığı ile kolay işletilebilen bir sistem olarak tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Başak (2017) tarafından, Türkiye'nin Fırat havzasının güneydoğusunda yer alan Aşağı Fırat Bölgesi'ndeki Şanlıurfa, Adıyaman, Elâzığ, Malatya ve Mardin illerinin kuraklık durumu incelenmiş ve kuraklık indisinin Yapay Sinir Ağları (YSA) ile tahmini hedeflenmiştir. Aşağı Fırat Havzası'nda bu kadar istasyonu kapsayan güncel bir çalışma veya bölgeye özel kuraklık tahmin modellemesine rastlanmadığını belirterek, bu çalışmanın bölgedeki kuraklık riskini anlamak ve gelecekteki araştırmalar için temel oluşturmak açısından önemli olduğunu vurgulamıştır.

Özcan vd. (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Fırat Havzası'nda meydana gelen ekstrem yağış olaylarının hidrolojik bileşenler olan nehir debisi (Q) ve askıda katı madde (AKM) konsantrasyonlarının yıllar arası değişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada, Fırat Nehri boyunca yer alan 7 farklı istasyondan alınan ortalama 30 yıllık günlük debi ve AKM konsantrasyon verileri ile 1997-2011 dönemi Tropik Yağmur Ölçüm Misyonu (TRMM) 3B42 uydu yağış verileri kullanılmıştır. Aşırı yağış olaylarının iklimsel değerlendirmesi, AKM konsantrasyonunun en yüksek değerlere ulaştığı zamanlar dikkate alınarak yapılmıştır. Günlük akım verileri ile günlük taşınan sediment miktarları arasında pozitif korelasyon gözlemlenmiş, ancak yüksek debi durumlarında sediment tahmininin zorlaştığı belirtilmiştir. Ekstrem günlük yağış değerleri ile istasyon konumlarının temsil ettiği yüksekliğin artmasıyla ekstrem yağış değerlerinin düştüğü doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir.

Yurddaş (2018) tarafından hazırlanan çalışmada, Fırat Havzası'nda 1970-2011 dönemine ait sıcaklık ve yağış verilerindeki değişim ve eğilimleri belirlemek amacıyla 31 meteoroloji istasyonundan alınan veriler kullanılarak bir çalışma yapılmıştır. Yıllık, mevsimlik ve aylık trendler non-parametrik Mann-Kendall ve Sen-Slope testleri ile incelenmiştir. Yağış analizlerinde havzanın doğu ve kuzey kesimlerinde genel bir artış eğilimi gözlenirken, batı ve güney kesimlerinde azalma eğiliminin hakim olduğu belirlenmiş, bazı istasyonlarda (%95 güven aralığında Özalp ve Malazgirt gibi) anlamlı artış trendleri tespit edilmiştir. Sıcaklık analizlerinde ise, havzanın büyük bölümünde yıllık ortalama sıcaklıklarda genel bir artış trendinin hakim olduğu görülmüş, ancak bazı istasyonlarda azalma eğilimi de gözlemlenmiştir. Özellikle 1990'lı yıllardan itibaren sıcaklıklarda belirgin bir artış başladığı saptanmıştır.

Yiğit ve Çakmak (2018) tarafından hazırlanan çalışmada, Fırat Havzası'ndaki sulama şebekelerinde 2016 yılına ilişkin tarımda su kullanım performansı, Uluslararası Su Yönetimi Enstitüsü (IWMI) göstergeleriyle değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, havzadaki sulama şebekelerinin çoğunda ihtiyaçtan fazla su kullanılmasına rağmen, suyun etkin kullanılmadığı ve birim alan ile birim sudan elde edilen üretim değerinin düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durumun nedenleri olarak planlı su dağıtımının uygulanamaması, şebekedeki su kayıpları ve bilinçsiz sulama uygulamaları gösterilmiştir.

Güler (2019) tarafından hazırlanan çalışmada, iklim değişikliğinin etkileri bağlamında, Türkiye'nin en büyük su havzası olan Yukarı Fırat Havzası'nda, 10-14 Mart 2004 tarihleri arasında Atatürk Barajı'nın inşasından bu yana ilk defa dolu savak kapaklarının açılmasına neden olan anormal kar erimesine etki eden meteorolojik koşulların incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, WRF-ARW sınırlı alan modelinin 3.9.1 versiyonu kullanılarak 15 Ekim 2003 - 30 Nisan 2004 dönemini kapsayan ve Noah-LP Kara Yüzeyi Modeli ile yapılandırılan bir simülasyon gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları ERA-513, MSWEP14, MODIS Uydu verileri ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin (EİE) akım gözlem istasyonu (AGİ) verileri ile karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda, 22-23 Şubat 2004 tarihlerindeki ekstrem kar yağışı sonrası, ortalama sıcaklıktaki belirgin artış ve 05 Mart 2004'te mevsim normalleri üzerinde gerçekleşen yağmurun, yüksek kotlarda biriken kar örtüsünün beklenenden önce (Mart ayında) hızla erimesine yol açtığı tespit edilmiştir.

Güven (2019) tarafından hazırlanan çalışmada, Yukarı Fırat Havzası'ndaki hidrometeorolojik verilerin trend analizi amacıyla 28 istasyondan alınan yıllık ve aylık akım, buharlaşma, nisbi nem, sıcaklık ve yağış verileri kullanılmıştır. Verilerin homojenliği Run testi ile incelenmiş, homojen olan istasyonlara Mann-Kendall ve Spearman Rho testleri uygulanmış, değişim eğimleri Sen'in metodu ile belirlenmiştir. Yıllık ortalama akım, buharlaşma ve yağışta anlamlı trend bulunamazken, yıllık ortalama nisbi nemde artan/azalan ve yıllık ortalama sıcaklıkta artan yönde trendler gözlenmiştir. Aylık akımda çoğunlukla artan trendler tespit edilmiş (bazı aylar hariç), aylık buharlaşmada ilkbahar ve sonbaharda negatif anlamlı trendler görülmüş, aylık nisbi nemde azalan yönde trendler baskın olmuş, aylık sıcaklıkta kış ayları dışında artan

trendler gözlenmiştir. Aylık yağışta ise mevsimsel veya istasyon bazında baskın bir trend yönü belirlenememiştir.

Yıldız (2019) tarafından hazırlanan çalışmada, Türkiye'nin doğu ve güneydoğusunda konumlanan, Ortadoğu coğrafyasının en önemli su kaynaklarını barındıran ve sınır aşan sular kapsamındaki Fırat Havzası'nın hidrolojik kuraklık durumu incelenmiştir. Türkiye'nin en büyük havzası olan Fırat Havzası'nda, on altı (16) akım gözlem istasyonuna ait aylık akım verileri kullanılarak Akım Kuraklık İndeksi (AKİ) yöntemi ile 1, 3, 6 ve 12 aylık kuraklık analizleri yapılmıştır. Başta 1968-2011 dönemi arasındaki kesintisiz verilere odaklanılan çalışmada, neredeyse tüm zaman ölçekleri için 1990-2011 yılları arasındaki kuraklığın, 1968-1989 yılları arasındaki kuraklıktan daha fazla olduğu ve havzada kuraklığın artma eğilimi sergilediği belirlenmiştir.

Yılmaz (2019) tarafından hazırlanan çalışma da, iklim değişikliği etkisiyle sıklığı ve şiddeti artması beklenen hidrolojik ekstrem olayların su kaynakları yönetimindeki önemini vurgulayarak, Türkiye akarsu havzalarındaki yıllık anlık maksimum akımların (YAMA) trend analizini incelemiştir. Çalışmada, Türkiye genelindeki 26 havzada bulunan 153 istasyondan elde edilen 1961-2014 dönemi YAMA verileri kullanılmıştır. Geleneksel Mann Kendall (MK) ve Spearman Rho (SR) testleri ile Sen'in Eğim Metodu uygulanmıştır. Tezin özgün katkısı, verilerin dağılım, uzunluk ve serisel bağımsızlık kısıtları olmayan Şen trend testinin Türkiye maksimum akımlarına ilk kez uygulanmasıdır. MK ve SR testleri 6 istasyonda artan, 57-59 istasyonda azalan trendler gösterirken Şen yöntemi, geleneksel metotların tespit edemediği durumlarda dahi düşük, orta ve yüksek akımlar için daha fazla anlamlı azalan veya artan trend bulguları ortaya koymuştur.

İfşaat (2020) tarafından hazırlanan çalışmada, Türkiye'nin önemli su havzalarından Fırat Havzası'nda yağış ile akış arasındaki ilişkinin yapay zekâ yöntemleriyle modellenmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada aylık akım verileri, Thiessen çokgenleri kullanılarak eşleştirilen aylık toplam yağış verileriyle birlikte değerlendirilmiştir. Bu ilişkiyi kurmak için Yapay Sinir Ağları (YSA), Gen Ekspresyon Programlama (GEP) ve Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) yöntemleri kıyaslanmıştır. Modellerin performansı Ortalama Karesel Hata (OKH), Ortalama Mutlak

Göreceli Hata (OMGH) ve belirlilik katsayısı (R^2) gibi parametrelerle değerlendirilmiştir. Toplam 28 istasyon için yapılan akım tahminlerinde ÇDR yöntemi, GEP yöntemi 12 ve YSA yöntemi 14 istasyonda en başarılı model olarak belirlenmiştir. Özellikle lineer olmayan ilişkileri modelleyen YSA ve GEP yöntemlerinin yağış ile akış arasındaki ilişkiyi belirlemede ÇDR'ye kıyasla oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda, özellikle arazi bilgisinin kısıtlı olduğu yerlerde YSA ve GEP yöntemlerinin akım tahmininde alternatif olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Ertaş (2020) tarafından hazırlanan çalışmada, Türkiye'nin dağlık doğu kesimindeki Yukarı Fırat Havzası'nda kar bileşenlerinin ölçülmesi, uzaktan algılama ile doğrulanması ve modellenmesi amacıyla bir doktora çalışması yapılmıştır. Çalışmada münferit, otomatik (SPA) ve kar çukuru gibi arazi ölçümleri, çoklu uydu ürünleriyle (KKA ve KSE) kar takibi ve tam dağılımlı SNOW-17 kar modeli kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, kar derinliği-kar su eşdeğeri ilişkileri ile modelin yer gözlemleri ve uydu verileriyle başarılı bir şekilde kalibre ve doğrulandığını göstermiştir.

Katipoğlu (2020) tarafından hazırlanan çalışmada, Fırat Havzası'ndaki meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların zamansal ve mekânsal değişimleri ile risk durumu incelenmiştir. Çalışmada, 16 meteoroloji ve 18 akım gözlem istasyonuna ait veriler kullanılarak beş meteorolojik (SYİ, ZSİ, YAI, KKI, SYEI) ve iki hidrolojik (SAİ, KSM) kuraklık indeksi ile analizler yapılmış; kuraklık şiddet haritaları Kriging, Radyal Tabanlı Fonksiyon (RTF) ve Ters Mesafe Ağırlıklandırma (TMA) gibi enterpolasyon yöntemleriyle oluşturulmuştur. Analizler sonucunda, Fırat Havzası'nda azalan kuraklık trendlerinin ve şiddetli/olağanüstü kuraklıkların hâkim olduğu, bölgenin yüksek kuraklık riski taşıdığı belirlenmiştir.

İraz (2021) tarafından hazırlanan çalışmada, dünya nüfusundaki artış ve iklim değişikliği gibi faktörler nedeniyle temiz su kaynaklarının korunması ve etkin kullanımının artan önemi bağlamında, Fırat havzasındaki 2008-2019 yılları arasındaki su ayak izinin detaylı olarak hesaplanması amaçlanmıştır. Çalışmada, uzun yıllar iklim verisi, evapotranspirasyon tahmini, kişi başı su tüketimi ve 11 yıllık ortalama yağış verileri kullanılarak, havzadaki bitkisel ve hayvansal üretimin ile evsel ve endüstriyel su kullanımlarının mavi, yeşil ve gri su ayak izleri ilçe bazında hesaplanmıştır. Tarımsal

üretimin mavi ve toplam su ayak izinin en yüksek Akçakale ilçesinde, yeşil ve gri su ayak izinin ise en yüksek Siverek ilçesinde tespit edildiği ifade edilmiştir.

Nazimi (2021) tarafından hazırlanan çalışmada, su kaynaklarının etkin yönetimi ve geleceğe yönelik doğru akım tahminlerinin kritik önemi vurgulanmıştır. Çalışmada, Türkiye'nin en büyük havzalarından biri olan Fırat Havzası'nın aylık akım tahminleri için, 1981-2011 yılları arasındaki verilere dayanarak İleriye Beslemeli Yapay Sinir Ağları (FFNN), Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Uzun Kısa Vadeli Hafıza Ağları (LSTM) olmak üzere üç yapay zekâ (AI) modeli uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ANFIS modelinin genel olarak diğer modellere göre daha iyi tahmin sonuçları verdiği, LSTM'nin ikinci sırada, FFNN'nin ise üçüncü sırada yer aldığı belirlenmiştir.

Bazancir (2021) tarafından hazırlanan çalışmada, Yukarı Fırat Havzası Karasu Alt Havzası'ndaki biriktirme haznelerinin kapasite tayini için kritik dönem yöntemleri değerlendirilmiştir. Dört akım gözlem istasyonunun aylık ve yıllık akım verileri kullanılarak, Rippl, Eklenik Farklar, Ardışık Tepeler, Minimum Akımlar gibi risk tanımlamayan geleneksel yöntemler ile Alexander, Dinçer, Gould Gama, McMahon ve Gould Sentetik Veri gibi risk tanımlayan yöntemler kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda, risk tanımlamayan yöntemlerin daha büyük hazne hacimleri hesapladığı, kapasitenin düzenleme oranı ve yinleme süresiyle arttığı, riskle azaldığı belirlenmiştir.

Mohammed (2021) tarafından hazırlanan çalışmada, sınırı aşan sular yönetiminin uluslararası hukuk perspektifinden, özellikle Dicle-Fırat ve Nil Nehri Havzaları vakaları üzerinden karşılaştırmalı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Niteliksel araştırma metodolojisi ve kapsamlı literatür taraması kullanılarak, nehir havzalarının yönetimindeki yasal rejimler ve idari kurumsal yapılar değerlendirilmiştir.

Ergüven (2022) tarafından hazırlanan çalışmada, Yukarı Fırat Havzası'na ait yağış, akış, nispi nem ve sıcaklık verilerindeki trend varlığı; Mann-Kendall (MK), Spearman's Rho, Şen Yenilikçi Trend Analiz (ITA) ve Yenilikçi Poligon Trend Analiz (IPTA) yöntemleri kullanılarak incelenmiş ve yöntemler kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda, ITA ve IPTA metotlarının, Mann-Kendall ve Spearman's Rho'ya kıyasla trendleri tespit

etmede daha duyarlı olduğu, özellikle IPTA ile trendlerin artan/azalan geçişleri, uzunlukları ve eğimlerinin belirlenebildiği tespit edilmiştir.

Kum (2022) tarafından hazırlanan makalede, Tarım sektöründe suyun etkin kullanımının önemi vurgulanmış ve bitkinin su ihtiyacını karşılamada doğal yağışın faydalı kısmını ifade eden etkin yağışın bilinmesinin gerekliliği belirtilmiştir. Bu bağlamda, tarımsal potansiyeli yüksek ancak yarı kurak stepik Akdeniz iklimi özelliklerinin görüldüğü Orta Fırat Havzası için etkin yağış miktarını hesaplamak ve USDA-SCS, FAO/AGLW Güvenilir Yağış ve Ampirik Formül olmak üzere üç farklı yöntemi karşılaştırmak amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Orta Fırat Havzası gibi yarı kurak alanlar için en uygulanabilir yöntemin USDA-SCS metodu olduğu belirlenmiştir. FAO/AGLW metodunun, yağışın büyük bir kısmını kayıp olarak gördüğü ve özellikle aylık yağışın 70 mm'nin altında olduğu durumlarda etkin yağışı oldukça düşük hesapladığı, ampirik formülün ise bazı aylarda mevcut yağış değerlerinden daha yüksek etkin yağış değerleri verebildiği ve yarı kurak sahalar için geçerliliğinin düşük olduğu ifade edilmiştir.

Yılmaz (2023) tarafından hazırlanan çalışmada, iklim değişikliği etkisi altında düşük akımların durağan olmayan frekans analizi üzerine odaklanmıştır. Su kaynaklarındaki düşük akımların trendleri araştırılmış ve bu değişimlere neden olabilecek sıcaklık, yağış ve Kuzey Atlantik Salınımı (NAO), Güneyli Salınım (SO), Pasifik Decadal Salınımı (PDO) ve Batı Akdeniz Salınımı (WeMO) gibi iklim değişkenleri belirlenmeye çalışılmıştır. Belirlenen iklim değişkenleri açıklayıcı olarak kullanılarak, Konum Ölçek ve Şekil için Genelleştirilmiş Aditif Modelleri (GAMLSS) yaklaşımı ile düşük akımlar için tarihsel ve gelecek dönemlerde (2030-2060 ve 2070-2100) durağan olmayan frekans analizi çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Aytaç (2023), Yukarı Fırat Havzası'nın birbirine bağlı su temini altyapısının hidroekonomik optimizasyon modelini geliştirmek ve iklim değişikliği adaptasyon stratejilerini belirlemek amacıyla bir doktora tezi çalışması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, havzanın hidrolojik ve ekonomik yönlerini entegre eden Fırat Havzası Hidroekonomik Modeli (FEHEM) geliştirilmiştir. Çalışma ayrıca, 2116 yılına kadar iklim değişikliği ve küresel ısınmanın hidrolojik verilere olacak etkisini düşük ve yüksek

emisyonlu iklim senaryolarına göre belirlemiştir. Elde edilen bulgulara göre, iklim değişikliği ile birlikte yağış miktarının azalması ve akış zamanlamasının değişmesi beklenmektedir. Bu hidrolojik değişikliklerin sonucu olarak, yakın gelecekte havzada toplam enerji üretim miktarının ve dolayısıyla hidroelektrik gelirin azalacağı belirtilmiştir.

2.2 HBV Hidrolojik Modeli Üzerine Yapılan Çalışmalar

Hidrolojik modelleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan HBV (Hydrologiska Byråns Vattenavdelning) modeli, havzadaki akışın modellenmesi amacıyla Sten Bergström tarafından İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü (SMHI) bünyesinde 1970'li yıllarda geliştirilen kavramsal bir yağış-akış modelidir. Bu bölümde HBV Hidrolojik Modeli kullanılarak hazırlanmış bilimsel çalışmaların bazıları kronolojik olarak aşağıda listelenmiştir.

Seibert (1997) tarafından yapılan çalışmada, HBV hidrolojik modelindeki parametre belirsizliği detaylı bir şekilde incelenmiştir. Model yapısındaki ve gözlemlenen verilerdeki hatalar ile parametreler arası etkileşimler nedeniyle benzersiz bir parametre setinin bulunmasının zor olduğu belirtilmiştir. Bu belirsizliği değerlendirmek amacıyla, Monte Carlo optimizasyonu kullanılarak 500.000 rastgele parametre seti ile model çalıştırılmış ve farklı amaç fonksiyonlarını birleştirmeye olanak tanıyan bulanık bir model iyilik ölçütü tanıtılmıştır. Çalışmanın sonuçları, az sayıda parametrenin iyi tanımlanmış olduğunu, oysa çoğu parametre için geniş aralıklarda iyi sonuçlar elde edilebildiğini göstermiştir.

Bergström (2006) tarafından sunulan çalışmada, HBV hidrolojik modelinin 1970'lerden bu yana 50'den fazla ülkede geniş uygulama alanları ve özellikle ölçüm istasyonu bulunmayan havzalardaki (PUB - Prediction in Ungauged Basins) kullanımı detaylandırılmıştır. Modelin başlangıçta kalibrasyon aralığı için tasarlanmasına rağmen, hidrolojik bilgiye olan güçlü talep nedeniyle kalibrasyon dışı ve ölçüm istasyonu olmayan havzalarda dahi yaygın bir araç haline geldiği belirtilmiştir. Modelin taşkın uyarıları, hidroelektrik akış tahminleri, iklim değişikliği etkileri ve çevresel analizler gibi çeşitli operasyonel hidroloji alanlarında kullanıldığı belirtilirken, ölçüm istasyonu olmayan

havzalarda akış tahmini için genelleştirilmiş parametre değerleri, bölgesel kalibrasyonlar ve tutarlı meteorolojik veri tabanlarına dayalı pragmatik yaklaşımların başarılı olduğu gösterilmiştir.

Normand vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, Doğu Nepal'deki Tamor Havzası'nda akım tahmini için HBV hidrolojik modeli uygulanmıştır. Model, ölçümlü havzalarda kalibre edildikten sonra ölçüm istasyonu bulunmayan Tapethok'a uyarlanmıştır. Modelin tek bir yeraltı suyu haznesi gibi basitleştirilmiş yapısı nedeniyle, düşük ve yüksek akımlara odaklanan iki ayrı parametre seti kullanılmıştır. Sonuçlar, HBV'nin düşük akımları iyi simüle ettiğini gösterirken, ön-muson ve muson dönemlerinde tepe akışlarında sorunlar yaşandığı tespit edilmiştir. Bu durum, modelin basitleştirilmiş depolama temsiline ve havzanın hızlı boşalmasına bağlanmıştır.

Seibert ve Vis (2012) tarafından hidrolojik modellemeyi öğretmek amacıyla geliştirilen kullanıcı dostu HBV-light yazılım paketi sunulmuştur. Kavramsal ve yarı dağıtık bir havza modeli olan HBV'nin, sezgisel grafik kullanıcı arayüzü (GUI) sayesinde karmaşık hidrolojik süreçlerin anlaşılmasını kolaylaştırdığı ve eğitim için özellikle uygun olduğu belirtilmiştir. Yazılım, otomatik kalibrasyon (Monte Carlo, Genetik Algoritma ve Powell optimizasyonu) gibi özelliklerin yanı sıra, manuel kalibrasyondan arazi kullanımı değişiklikleri, tasarım taşkınları ve parametre belirsizliği analizlerine kadar uzanan çeşitli modelleme optimizasyonlarına imkan tanımaktadır.

Klose vd. (2013) tarafından yürütülen çalışmada, Çek Cumhuriyeti'nin dağlık bölgelerindeki kar örtüsü modellemesi için HBV-ETH hidrolojik modelinin mekansal olarak dağıtılmış bir versiyonu oluşturulmuştur. Bu kapsamda, modelin mevcut sıcaklık-indeksi tabanlı kar erimesi modülü, minimal meteorolojik girdilerle enerji dengesi terimlerini tahmin eden basit enerji-dengesi prensibine dayalı yeni bir kar erimesi rutini ile genişletilmiştir. Jizera Dağları'ndaki deneysel havzalarda yapılan testlerde, enerji-dengesi yönteminin akım simülasyonlarında ortalama Nash-Sutcliffe katsayısı değerlerinin sıcaklık-indeksi yöntemine göre azda olsa daha iyi olduğu, ancak istatistiksel olarak anlamlı bir farkın bulunmadığı tespit edilmiştir.

Ertaş (2014) tarafından yürütülen yüksek lisans tez çalışmasında, Türkiye'nin Yukarı Fırat (Karasu) Havzası'nda HBV kavramsal hidrolojik modeli kullanılarak, bahar ve erken yaz dönemi (Mart-Haziran 2008-2012) akımlarının olasılık odaklı, orta vadeli (1-9 gün) tahmini amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, Avrupa Orta Ölçekli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) tarafından üretilen 51 farklı hava tahminini içeren Ensemble Tahmin Sistemi (EPS) verileri girdi olarak kullanılmıştır. EPS verilerinin yer gözlemleriyle tutarlılığını artırmak amacıyla hata düzeltme (bias correction) çalışmaları yapılmış, bu düzeltmelerin meteorolojik tahminlerde (özellikle sıcaklıkta %50'ye varan RMSE iyileşmesi) ve dolayısıyla akım tahminlerinde (1. gün RMSE'de yaklaşık %30, 5. ve 9. günler için yaklaşık %35 iyileşme) önemli performans artışları sağladığı tespit edilmiştir.

COWI AS of Norway (2015) tarafından yapılan çalışma, Güney Doğu Avrupa'da bulunan Sava Nehri Havzası'nın hidrolojik tepkisini gelecekteki iklim senaryolarına göre değerlendirmek amacıyla geliştirilen bir hidrolojik modeli sunmaktadır. Çalışma, daha önce Slovenya ve Sırbistan'daki Kolubara Nehri havzasında sel tahmini gibi amaçlarla HBV hidrolojik modelinin kullanıldığını belirtse de, bu projede veri kıtlığı ve sürekli simülasyon ihtiyacı nedeniyle HEC-HMS yazılımı modelleme platformu olarak seçilmiştir. Geliştirilen HEC-HMS modeli, kar erimesi süreçlerini de kapsayacak şekilde havzayı alt havzalara ayırarak kalibre ve doğrulanmış, 1961-1990 referans dönemi ile 2011-2040 ve 2041-2070 iklim senaryoları kullanılarak ortalama yıllık ve mevsimsel akışlardaki değişiklikleri tahmin etmek için uygulanmıştır.

Akkol (2016) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin Yukarı Fırat Havzası'ndaki Karasu Havzası'nda akım tahminlerini iyileştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada, Delft-FEWS platformuna entegre edilen HBV hidrolojik modeli, Moving Horizon Estimation (MHE) tabanlı veri asimilasyonu (DA) tekniği ile kullanılmıştır. Bu teknikte, modelin başlangıç koşulları ile birlikte MODIS, MSG-SEVIRI (H10) karla kaplı alan (SCA) ve SSMI/S (H13) kar suyu eşdeğeri (SWE) gibi uydu kar ürünleri ve sayısal hava tahmini (NWP) verileri entegre edilmiştir.

Uğurluoğlu (2017) tarafından hazırlanan çalışmada, HBV-Light hidrolojik modelinin Manyas Gölü Yukarı Havzası'nda taşkın ve ekolojik su ihtiyacının

modellenmesine yönelik uygulanabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada, 2003-2015 yılları arası günlük hidro-meteorolojik veriler kullanılarak model, 2007-2011 döneminde beş farklı amaç fonksiyonuyla kalibre edilmiş ve 2003-2006 ile 2012-2015 dönemlerinde valide edilmiştir. Genel kalibrasyon döneminde Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) model verimi 0.75 olarak bulunurken, validasyon dönemlerinde sırasıyla 0.55 ve 0.54 değerleri elde edilmiştir. Model sonuçları ayrıca uzaktan algılama ile elde edilen toprak nemi ve %80-97 doğrulukla tahmin edilen karla kaplı alan verileriyle doğrulanmıştır.

Killingtveit ve Adera (2017) tarafından yapılan çalışmada, Romanya'nın Karpat bölgesindeki Vanatori Neamt'ta iklim değişikliğinin su kaynakları ve hidroelektrik potansiyeli üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma, Euro-CORDEX projesinden elde edilen iklim verilerini HBV Yağış-Akış modelini kullanarak akım zaman serilerine dönüştürme metodolojisiyle gerçekleştirilmiştir. İklim projeksiyonları, yüzyıl sonuna kadar sıcaklıkta belirgin bir artış (RCP8.5 senaryosu için 3.5°C'ye kadar) öngörürken, yağışta daha az belirgin eğilimler ve mevsimsel farklılıklar (Ocak-Nisan ve Ekim-Aralık arası artış, Mayıs-Eylül arası azalış) saptanmıştır. Akımdaki bu önemli azalmanın, artan sıcaklıklar nedeniyle buharlaşmadaki yükselişten kaynaklandığı vurgulanmıştır. Hidroelektrik potansiyelindeki düşüşün de akım trendini yakından takip ettiği ve yüzyıl sonunda %21'e ulaşabileceği belirtilmiştir.

Freund vd. (2017) tarafından hazırlanan çalışmada, Karadeniz Havzası'nda (BSC) iklim ve arazi kullanım değişikliklerinin su kaynakları üzerindeki potansiyel etkileri değerlendirilmiştir. Gelecekteki iklim değişikliği projeksiyonlarında "Sıcak Nokta" olarak tanımlanan bu havzada bütüncül bir uzun vadeli değerlendirme eksikliğini gidermeyi amaçlayan çalışma, daha önce kalibre edilmiş SWAT hidrolojik modelini kullanmıştır. Danimarka Bölgesel İklim Modeli (HIRHAM) tarafından üretilen IPCC'nin A2 ve B2 senaryoları ile dört farklı arazi kullanım senaryosu entegre edilerek analizler yapılmıştır. Bulgular, havzanın önemli bir kısmında tatlı su kaynaklarında %30 ila %50 arasında bir azalma beklendiğini göstermiştir. Genel olarak, mavi su (akım ve derin akifer beslenmesi) ve yeşil su depolama (toprak nemi) kaynaklarında azalma öngörüldürken, yeşil su akışında (evapotranspirasyon) bölgesel değişiklikler gözlemlenmiştir.

Şorman vd. (2020) tarafından hazırlanan çalışmada, Türkiye'nin doğusundaki dağlık Aras Havzası'nın memba sularında HBV ile birlikte HEC-HMS hidrolojik modelinin performansı karşılaştırılmıştır. Bu araştırma, Aras Havzası'nda gerçekleştirilen ilk kavramsal hidrolojik modelleme ve karşılaştırma uygulamasıdır. 2008-2015 su yılları arasındaki sekiz yıllık hidro-meteorolojik veriler kullanılarak, HBV-Light versiyonu Genetik Algoritma yöntemiyle kalibre edilmiş ve doğrulanmıştır. Çalışma, her iki modelin de başarılı sonuçlar verdiğini, ancak HBV'nin kalibrasyonda HEC-HMS'ye göre daha iyi, doğrulamada ise daha düşük performans gösterdiğini ve havzada daha fazla kar biriktirme eğiliminde olduğunu ortaya koymuştur.

Dawadi vd. (2020) tarafından hazırlanan makalede, HBV hidrolojik modelinin Asya yüksek dağ havzalarındaki geliştirilmesi ve uygulamaları incelenmiştir. İklim değişikliğinin kar birikimi ve erimesi üzerindeki etkileri nedeniyle hidrolojik modellemenin önemine dikkat çekilerek, HBV modelinin günlük akım simülasyonları için özellikle yüksek dağ havzalarında son derece popüler olduğu belirtilmiştir. Çalışma, model yapısının, kalibrasyon süreçlerinin, model denklemlerinin ve istasyon verilerine ek olarak uydu veya radar tabanlı yağış verilerinin kullanılmasının genel akım simülasyonunu ve tahminini önemli ölçüde iyileştirebileceği sonucuna varmıştır. Makale, HBV modelinin küçük ayarlamalarla Asya yüksek dağ havzaları için oldukça uygun olduğunu, ancak veri kısıtlı dağlık alanlarda aşırı akım olaylarının simülasyon performansını artırmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğunu belirtmektedir.

Pervin vd. (2021) tarafından yürütülen çalışmada, Kanada'nın en büyük havzası olan Mackenzie Nehri'nin gelecekteki su seviyelerini projeksiyonlamak amacıyla HBV hidrolojik modeli kullanılmıştır. Bu amaçla, Global İklim Modeli (GCM) verileri Weather Research and Forecasting (WRF) modeliyle bölgesel ölçeğe indirilerek HBV modeline girdi sağlanmış ve model havzadaki istasyonlarda gözlemlenen akım verileriyle başarıyla kalibre ve valide edilmiştir. Bias düzeltilmesi yapılan WRF çıktıları (CanESM2 RCP 4.5 ve RCP 8.5 iklim senaryoları altında) kullanılarak 2041-2070 dönemi için gelecekteki akım ve su seviyeleri simüle edilmiştir. Projeksiyonlar, 2050'li yıllarda Fort Simpson istasyonunda ortalama ve pik akımlarda yaklaşık %5 ile %12 arasında düşüşler öngörürken, Arctic Red River istasyonunda da pik akımda azalma ve erken kayma beklenmiştir.

Uysal vd. (2021) tarafından yürütülen çalışmada, kar erimesinin etkili olduğu dağlık Fırat ve Seyhan Havzaları'nda kısa dönemli (1-2 günlük) akım tahmin sisteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, dağlık bölgeler için yaygın olarak kullanılan HBV hidrolojik modeli, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından üretilen MM5 ve WRF Sayısal Hava Tahmin (SHT) verileri ile beslenmiştir. Hidrolojik model parametreleri gözlenen verilerle kalibre edildikten sonra, sistem Delft-FEWS platformunda gerçek zamanlı ve kapalı döngü şeklinde kurgulanmıştır. Elde edilen bulgular, WRF modelinden alınan sıcaklık verilerinin MM5'e kıyasla daha yüksek tutarlılık sergilediğini ve akım tahminlerinin özellikle WRF kullanılan 2013-2015 yıllarında gözlenen akımlarla daha yüksek uyum gösterdiğini ortaya koymuştur.

Jansen vd. (2021) tarafından yürütülen çalışmada, HBV hidrolojik modelinin taklit yeteneği ("model mimicry") yedi farklı HBV model uygulamasının yapısı ve çıktıları HBV-light kıyaslama modeliyle karşılaştırılmıştır. Araştırma sonucunda, aynı ismi taşıyan modellerin dahi sayısal ve matematiksel yapısal farklılıklar gösterdiği, bu farklılıkların simüle edilmiş akımda sayısal uygulamalar nedeniyle 0.15'e, matematiksel farklılıklar nedeniyle ise 0.27'ye varan Kling-Gupta verimlilik (KGE) metrik farklarına yol açtığı belirlenmiştir.

Seibert ve Bergström (2022) tarafından sunulan çalışmada, HBV hidrolojik modelinin yaklaşık yarım asırlık gelişim ve uygulama tecrübeleri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. İlk olarak 1970'lerde İsveç'te uygulanan kavramsal (kova tipi) ve yarı dağıtık modelin, uluslararası başarısı "sadelik (parsimony)", "yüksek performans" ve "yaygın kullanım (persistence)" olarak nitelendirilen üç temel prensibine bağlanmıştır. HBV, taşkın uyarıları, hidroelektrik akış tahminleri, iklim değişikliği etkileri değerlendirmesi ve ölçüm istasyonu bulunmayan havzalardaki akış tahminleri gibi operasyonel ve araştırma tabanlı birçok alanda kullanılmıştır.

Jabiyeva ve Gudratzade (2025) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'deki Manyas Gölü Yukarı Havzası'nda HBV hidrolojik modelinden elde edilen toprak nemi ve karla kaplı alan verilerinin uzaktan algılama (UA) yöntemleriyle doğrulanabilirliği araştırılmıştır. GIS platformunda yürütülen bu çalışma kapsamında, model çıktıları ile ECMWF'den alınan toprak nemi ve NOAA'dan elde edilen karla kaplı alan uydu verileri

2012-2015 su yılları için karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, hidrolojik model çıktıları ile uydu verileri arasında yüksek düzeyde bir uyum olduğunu göstermiş; karla kaplı alan verilerinde %93-%98 doğruluk oranlarına ulaşılırken, toprak nemi verilerinde de özellikle kış ve ilkbaharda tutarlı trendler saptanmıştır.

2.3 İklim Verilerinin (CMIP vb.) Hidrolojik Modellemedeki Kullanımı

Günümüzde küresel ölçekte yaşanan iklim değişikliğinin etkileriyle birlikte, su kaynaklarının planlanması ve yönetimi çalışmalarında hidrolojik modellemelerin kullanımı büyük önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, iklim koşullarını tahmin etmek için en gelişmiş araçlar olarak kabul edilen Genel Dolaşım Modelleri (GDM) ve Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi (CMIP) verileri, özellikle CMIP senaryoları (örneğin Temsili Konsantrasyon Rotası (RCP) 4.5 ve RCP 8.5 gibi) kullanılmaktadır. Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi (CMIP) ile diğer iklim verileri kullanılarak hazırlanmış hidrolojik modelleme çalışmalarının bazıları kronolojik olarak aşağıda listelenmiştir.

Oh vd. (2014) tarafından yapılan çalışma, Doğu Asya'daki Koordineli Bölgesel İklim Ölçek Küçültme Deneyi (CORDEX) alanı üzerinde, mevcut (1986–2005) ve gelecekteki (2031–2050) dönemlerdeki yağışın mekansal ve zamansal değişimlerini Bölgesel İklim Modeli sürüm 4 (RegCM4) kullanarak incelemiştir. RegCM4 için meteorolojik sınır koşulları olarak Hadley Center Global Environmental Model sürüm 2'nin (HadGEM2-AO) Temsili Konsantrasyon Patikaları (RCP) 4.5 ve 8.5 senaryoları çerçevesinde üretilen gelecek meteorolojisi kullanılmıştır. Gelecek iklim simülasyonları, Doğu Asya kıtasal bölgelerinin daha sıcak ve daha nemli olacağını, özellikle yaz aylarında artan yağış miktarlarına yol açacağını öngörmektedir. Doğu Asya alanı üzerinde ortalama yaz yağış miktarının yaklaşık %5 artması beklenirken, çoğu alt bölgede %5-15, Güney Kore bölgesinde ise RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için sırasıyla %44 ve %24 oranında artışlar beklenmektedir.

Chou vd. (2014) tarafından yapılan çalışma, Güney Amerika üzerindeki iklim değişikliğini değerlendirmek amacıyla, Eta Bölgesel İklim Modeli'ni (RCM), HadGEM2-ES ve MIROC5 küresel iklim modellerinden (GCM) elde edilen verilerle ve Temsilci Konsantrasyon Patikaları (RCP) 4.5 ile 8.5 emisyon senaryoları altında, 2011-2040,

2041-2070 ve 2071-2100 dönemleri için aşağı ölçekleme simülasyonları gerçekleştirmiştir. Simülasyonlar, kıtanın tamamında ısınma eğilimi olduğunu göstermiş, özellikle Eta-HadGEM2-ES senaryosunda Brezilya'nın orta ve güneydoğu bölgelerinde yoğunlaşan ve 21. yüzyılın sonuna doğru RCP 8.5 altında 9°C'ye varan sıcaklık artışları kaydedilmiştir. Yağış değişimleri açısından, orta ve güneydoğu Brezilya'da önemli azalmalar öngörülürken, Güney Amerika'nın güneydoğu kısımlarında (SESA) artışlar tahmin edilmiştir.

Demir (2018) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin iklim değişikliği ile mücadelesinde kullanabileceği iktisadi araçları, yani karbon vergileri ve emisyon ticaret sistemlerini değerlendirmiştir. Tez, sanayi devrimi sonrası artan sera gazı emisyonlarının küresel iklim değişikliğini tetiklediğini ve Paris Anlaşması gibi uluslararası gelişmeler ışığında Türkiye'nin mevcut pasif iklim politikasının sürdürülemez olduğunu savunmaktadır.

Sar vd. (2019) tarafından hazırlanan çalışmada, Türkiye'nin İç Batı Anadolu Bölümü'ndeki 15 meteoroloji istasyonundan alınan sıcaklık verileri kullanılarak vejetasyon (bir bitkinin tohumdan çıkıp gelişerek tekrar tohum verecek hale gelene kadar geçen süreyi ifade eder.) dönemi incelenmiştir. Vejetasyon dönemi, günlük ortalama sıcaklıkların 8°C ve üzerinde olduğu gün sayısına göre belirlenmiştir. Çalışma, IPCC'nin Beşinci Değerlendirme Raporu'nda (AR5) belirtilen RCP 4.5 ve RCP 8.5 iklim değişimi senaryolarına göre günlük ortalama sıcaklıkların sırasıyla 2.6°C ve 4.8°C arttırılmasıyla vejetasyon dönemindeki olası değişiklikleri değerlendirmiştir. Mevcut iklim koşullarına göre araştırma alanında kısa (180-195 gün), orta (210-220 gün) ve uzun (225 gün üzeri) olmak üzere üç farklı vejetasyon süresi tespit edilmiştir. Gelecek senaryolarına göre, vejetasyon süresinde RCP 4.5 senaryosuna göre 15-20 gün, RCP 8.5 senaryosuna göre ise 40 günden fazla bir artış olabileceği öngörülmektedir.

Boroujerdy vd. (2019) tarafından yapılan çalışma, yüksek topoğrafya ve farklı iklim bölgelerine sahip İran üzerinde yedi CMIP5 modelinin aşırı yağış olaylarını simüle etme yeteneği, 1983-2005 dönemi için PERSIANN-CDR uydu tabanlı veri seti referans alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma, modeller arasında HadGEM2-ES'in genel olarak en iyi, MIROC5'in ise en zayıf performansı gösterdiğini; ancak BCC-CSM1-1-M'in ardışık

kuru günler (CDD) indisini diğer modellerden daha iyi yakaladığını ortaya koymuştur. Modellerin günlük yağış verileri, Olasılık Eşleştirme Metodu (PMM) kullanılarak sapma düzeltilmesine tabi tutulmuş ve bu düzeltme sonrasında tüm modellerin performansında kayda değer bir iyileşme gözlenmiştir. Sapma düzeltmesi yapılmış simülasyonlardan Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR) ile oluşturulan model topluluğu (ensemble), yıllık ortalama yağış ve aşırı indislerin simülasyonunda tekil modellere göre üstün performans sergilemiştir.

Akgül ve Dino (2020) tarafından yapılan çalışmada, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından tanımlanan RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları esas alınarak, WeatherShift™ aracı kullanılarak küresel iklim modelleri (CMIP5) verilerinden türetilmiş 2060 yılına ait İstanbul iklim verileri oluşturulmuştur. Bu projeksiyon verileri, tipik birçok katlı konut binasının enerji performansı, karbon ayak izi ve kullanıcı ısıl konforu üzerindeki iklim değişikliği etkilerini simülasyon tabanlı değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, öngörülen sıcaklık artışlarının binaların soğutma yüklerinde belirgin artışlara yol açacağı ve doğal havalandırmanın esas alındığı durumlarda kullanıcı ısıl konforunun olumsuz etkileneceği tespit edilmiştir.

Özdemir vd. (2020) tarafından yapılan çalışma, küresel ısınmanın artan etkileriyle iklim değişikliğinin, özellikle bitki ve yaban hayvanları üzerindeki ciddi sonuçlarına dikkat çekilerek, türlerin potansiyel dağılım alanlarını belirlemek ve geleceğe yönelik simülasyonlar yapmak için Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından WorldClim veri tabanında sunulan iklim verilerinin kritik önemi vurgulanmaktadır. Araştırmada, IPCC raporlarının tarihsel gelişimi ele alınmış; SRES (Emisyon Senaryoları Özel Raporu) senaryo gruplarının sıralı yaklaşımla oluşturulduğu, RCP (Temsilci Konsantrasyon Yolları) senaryolarının paralel değerlendirme metoduyla ışımsal zorlama seviyelerine göre dört farklı yol sunduğu ve SSP (Ortak Sosyo-Ekonomik Rotalar) senaryolarının ise RCP hedeflerini sosyo-ekonomik modellemelerle (nüfus, ekonomik büyüme, teknolojik gelişim vb.) birleştirilerek beş farklı gelecek yolu sunduğu belirtilmiştir.

Nacar (2020) tarafından hazırlanan çalışmada, Doğu Karadeniz Havzası'ndaki sıcaklık ve yağış parametreleri üzerindeki iklim değişikliği etkilerini Çok Değişkenli

Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (ÇDURE) yöntemiyle istatistiksel ölçek indirgeme kullanarak detaylı bir şekilde incelemiştir. Çalışmada, 1981-2005 referans dönemi ve 2021-2100 gelecek dönemleri için NCEP/NCAR ve ERA-Interim yeniden analiz verileri ile CMIP5'ten seçilen dört küresel iklim modeli (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, GFDL-ESM2M, CNRM-CM5.1) kullanılarak Temsili Konsantrasyon Patikaları (RCP) 4.5 (iyimser) ve 8.5 (kötümser) senaryoları altında iklim projeksiyonları üretilmiştir. Elde edilen sonuçlar, havzanın güney bölgelerinde ortalama sıcaklıkların iyimser senaryoda 2,5 °C, kötümser senaryoda 3,5 °C'ye, kuzeyde ise sırasıyla 2,0 °C ve 3,0 °C'ye kadar artabileceğini göstermiş olup, özellikle HadGEM modeli RCP8.5 senaryosunda yaz aylarında sıcaklıkların 10 °C'ye, havzanın güney bölgelerinde ise yıllık ortalamada 7 °C'ye varan artışlar öngörülmektedir.

Ruosteenoja ve Jylhä (2021) tarafından hazırlanan çalışma, Birleşmiş Milletler Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) Altıncı Değerlendirme Raporu'nda kullanılan yaklaşık 30 küresel iklim modelinden (GCM) elde edilen verilerle, Finlandiya'nın 21. yüzyıldaki üç farklı 30 yıllık dönem için (2020-2049, 2040-2069, 2070-2099) temel iklim değişkenlerinin (yüzey hava sıcaklığı, yağış, güneş radyasyonu vb.) 1981-2010 temel periyoduna göre değişimleri incelenmiştir. Çalışma, sıcaklık artışlarının kış mevsiminde yaz mevsiminden daha güçlü olacağını, yıllık yağış toplamının artacağını ancak yaz aylarındaki değişimin Güney Finlandiya'da belirsiz olacağını ve yoğunlaşan buharlaşma nedeniyle yaz kuraklığı riskinin artabileceğini ortaya koymuştur.

Anil vd. (2021) tarafından hazırlanan alınan çalışma, Çok Modelli Karşılaştırma Projesi Aşama 6 (CMIP6) tabanlı Küresel İklim Modellerinin (GDM'ler) gözlemlenen iklimi taklit etme becerilerini değerlendirmede ve sıralamada mevcut olan öznelliğin etkisi incelenmiştir. Çalışma, her iklim bölgesi için en uygun GDM kümesi olarak, 16 farklı sıralama prosedürü arasında en sık iyi performans gösteren ilk beş GDM'den oluşan bir topluluk çıkarmıştır.

Gaddam (2021) tarafından hazırlanan çalışmada, Kanada'daki büyük kentsel alanlarda artan sıcaklıkların etkilerini değerlendirmek ve kentsel planlama çalışmalarına yardımcı olmak amacıyla on iki adet yüksek çözünürlüklü CMIP6 modeli ve dört ana

emisyon senaryosu (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5) kullanılarak aşırı sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Çalışmanın bulguları, iyimser senaryo (SSP1-2.6) dışında tüm Kanada şehirlerinde ortalama sıcaklıkların artacağını ve özellikle yüksek emisyon senaryolarında (SSP3-7.0 ve SSP5-8.5) daha hızlı ısınma oranları olacağını öngörmektedir. Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) tarafından belirlenen sekiz seçili indeks kullanılarak analiz edilen aşırı sıcaklık olaylarında, Prairies ve Great Lakes bölgelerindeki şehirlerde mutlak sıcaklık indekslerinde en yüksek artış eğilimleri gözlemlenirken, Kanada kıyı şehirlerinde yüzdesel ve süre indekslerinde daha belirgin artışlar kaydedilmiştir.

Üyük (2022) Peyzaj mimarlığı meslek disiplini için önemli bir bitkisel materyal olan *Platanus orientalis* L. türünün mevcut ve gelecekteki dağılım alanlarının makine öğrenimi tekniğiyle modellenmesi amacını taşımaktadır. Çalışmada, türlerin varlık verileri ve biyoiklimsel değişkenler kullanılarak, MaxEnt programı aracılığıyla CMIP6 iklim modellerinden CanESM5, MIROC6 ve IPSL-CM6A-LR'nin SSP1 2.6, SSP2 4.5, SSP3 7.0 ve SSP5 8.5 senaryolarına göre 2021-2100 yılları arasındaki potansiyel yayılış alanları karşılaştırmalı olarak belirlenmiştir. Tez bulgularına göre, *Platanus orientalis* L. türünün CanESM5 ve IPSL-CM6A-LR modellerine göre SSP3 7.0 ve SSP5 8.5 senaryolarında Ege bölgesinden uzaklaşacağı tahmin edilirken, MIROC6 modelinde SSP5 8.5 senaryosunda bu durumun diğer modellere karşı farklılık göstereceği belirtilmiştir.

Medeiros vd. (2022) tarafından hazırlanan çalışmada, Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi'nin (CMIP) CMIP3, CMIP5 ve CMIP6 nesillerinden seçilen 40 Dünya Sistemi Modelinin (ESM) Brezilya üzerindeki aşırı yağış iklim göstergelerini (ETCCDI indisleri) 1981-2000 tarihsel döneminde simüle etme performansı değerlendirilmiş; ayrıca orta (2046-2065) ve uzak gelecek (2081-2100) için bu göstergelerin en kötü durum senaryoları altındaki beklenen değişiklikleri tahmin edilmiştir. Çalışma, Brezilya'nın tüm bölgelerinde aşırı yağış iklim koşullarının temsilinde kayda değer bir iyileşmeye yol açmadığını belirtmiştir. Ancak gelecek projeksiyonları, Brezilya genelinde aşırı yağış olaylarının daha şiddetli, sık ve uzun süreli olacağı tahmin etmektedir.

Prouse (2022) tarafından hazırlanan çalışmada, Afrika'daki Sahel bölgesinde CMIP6 modellerinin yağış değişkenliğini ve gelecekteki projeksiyonlarını değerlendirmiştir. Çalışma, CMIP6 modellerinin geçmişteki yağışlı ve kurak dönemleri simüle etmede zorlansada, gözlemlenen deniz yüzeyi sıcaklıkları (SST) ile yönlendirilen atmosfer-sadece (AMIP-Hist) modellerinin, yağış değişkenliğini daha iyi temsil ettiğini ortaya koymuştur. Bu durum, Sahel yağışını simüle etmede okyanus süreçlerinin önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Antropojenik etkilerin gözlemlenen değişkenliği yakalamada önemli rol oynadığını ve okyanus temsili ile SST etkisinin, güvenilir gelecek projeksiyonları için kritik olduğunu vurgulamıştır.

Nacar vd. (2022) tarafından kaleme alınan makalede, Doğu Karadeniz Havzası'nda (DKH) geçmiş (1981-2010) ve gelecek (2021-2050) dönem meteorolojik kuraklık analizlerini, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) ve Yenilikçi Eğilim Analizi (YEA) yöntemlerini kullanarak gerçekleştirmiştir. Gelecek dönem projeksiyonları için CMIP5 arşivindeki GFDL-ESM-2M küresel dolaşım modelinin (GDM) iyimser (RCP4.5) ve kötümser (RCP8.5) senaryolar altında bölgesel ölçeğe indirgenmiş çıktıları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, geçmiş dönemde Akçaabat istasyonu hariç SYİ değerlerinde genellikle anlamlı artış eğilimi (kuraklıkta azalma) gözlemlenirken, gelecek dönem RCP senaryolarında ise çoğunlukla azalan yönde eğilimler (kuraklıkta artış) belirlenmiştir.

Gümüş (2023) tarafından hazırlanan çalışmada, Birleşik Model Karşılaştırma Projesi Aşama 6 (CMIP6) küresel iklim modellerinin en son sürümleri, 2015-2100 dönemi için Türkiye'deki aşırı iklim koşullarının hidrometeorolojik etkilerini değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. CMIP6 verileri, SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 gibi gelecek senaryoları altında, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Yeniden Analizi 5-Land (ERA5-Land) veri seti referans alınarak kantil haritalama, trendsizleştirilmiş kantil haritalama ve kantil delta haritalama gibi istatistiksel ölçek küçültme teknikleriyle yaklaşık 9 km'lik uzamsal çözünürlüğe indirgenmiştir. Bu ölçek küçültülmüş ve düzeltilmiş iklim verileri, Türkiye genelinde 12 aşırı yağış endeksi (EPI) ve 12 aşırı sıcaklık endeksinin (ETI) gelecekteki sıklık ve şiddet değişimlerini analiz etmek için kullanılmış, sonuçlar artan kuraklık riski, aşırı yağış olaylarının yoğunlaşması ve genel

sıcaklık artışları (yüzyıl sonuna kadar 7.5 °C'ye kadar) gibi önemli bulgular ortaya koymuştur.

Seddiqe (2023) tarafından hazırlanan çalışmada, Yukarı Fırat Havzası'nda değişen iklim koşulları altında akımlar ve kar erimeleri, EURO-CORDEX'ten elde edilen bölgesel iklim modelleri (CNRM-CM5/RCA4, EC-EARTH/RACMO22E, NorESM1-M/HIRHAM5) kullanılarak RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları altında incelenmiştir. İklim projeksiyon verileri CMhyd ile sapma düzeltmesine tabi tutulduktan sonra, HEC-HMS ve HBV-Light hidrolojik modelleriyle simülasyonlar yapılmıştır. Çalışma, sıcaklık artışlarının akımlarda genel bir artışa yol açacağını, ancak kar su eşdeğeri, karla kaplı alanlar ve karlı gün sayılarında belirgin azalmalar beklediğini ortaya koymuştur. Yağışların kar yerine yağmur olarak düşmesi nedeniyle akım piklerinin 2 ila 42 gün erken geleceği de belirtilmiştir.

Bağcı (2023) tarafından hazırlanan çalışmada, Türkiye ve Doğu Akdeniz Karadeniz (EMBS) bölgesinin mevcut ve gelecek iklim projeksiyonlarını en son Akuple Model Karşılaştırma Projesi Aşama 6 (CMIP6) küresel iklim modelleri (GDM'ler) ve yeniden analiz verileriyle hem kaba hem de yüksek çözünürlüklerde (4 km) kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Çalışma, CMIP6'nın orta (SSP2-4.5) ve yüksek (SSP5-8.5) emisyon senaryoları altında Türkiye'nin güneybatısında kış yağışlarında istatistiksel olarak anlamlı azalmalar, kuzeydoğusunda ise artışlar öngörmüş, yüksek emisyon senaryosundaki daha sıcak projeksiyonların neden olduğu konvektif etkinin, Türkiye'deki yaz yağışı düşüşlerini kısmen dengelediğini belirtmiştir.

Ferguglia (2024) tarafından hazırlanan çalışma, aşırı yağışlardaki değişikliklere ve yüksek irtifa bölgelerindeki İrtifaya Bağımlı Yağış Değişimi (EDPC) fenomenine odaklanarak, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki potansiyel etkileri hakkında kritik bilgiler sağlamaktadır. Çalışmanın ilk bölümünde, CMIP3/CMIP5 modelleriyle test edilmiş dört Ortaya Çıkan Kısıtlar (Emergent Constraints - ECs) metodolojisinin CMIP6 modellerindeki sağlamlığı değerlendirilmiş, ancak çoğu EC'nin model topluluğu bileşimindeki değişikliklere karşı dayanıklılığını yitirdiği ve aşırı yağışlara uygulanmasında sınırlamalar olduğu tespit edilmiştir. Tezin ikinci bölümünde ise, ERA5 verileri ve CMIP6 iklim modelleri kullanılarak Tibet Platosu, Büyük Alp Bölgesi, ABD

Kayalık Dağları ve And Dağları gibi çeşitli dağlık bölgelerde EDPC incelenmiştir. Analizler, bu bölgelerde ortalama ve aşırı yağış eğilimlerinde bir EDPC sinyali olduğunu göstermiş, CMIP6 modellerinin tarihsel EDPC'yi simüle etme yetenekleri değerlendirildiğinde ise, özellikle küçük veya dar alanlarda modellerin uzamsal çözünürlüğünün bu fenomeni simüle etmede kritik bir rol oynadığı vurgulanmıştır.

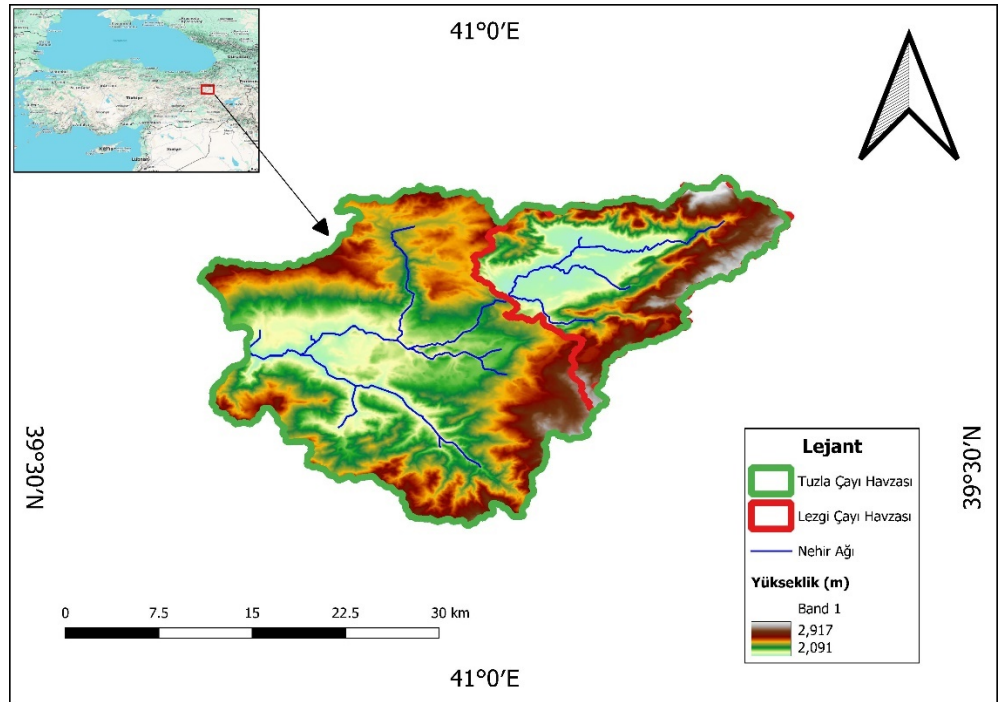
Ablak vd. (2025) tarafından yapılan çalışmada, Batı Karadeniz Havzası'ndaki Bartın ilinin 1970-2020 yılları arasındaki meteorolojik kuraklıkları incelenmiştir. Bu çalışma, iklim verilerini esas alan Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI), Standartlaştırılmış Yağış ve Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ve Standartlaştırılmış Yağış ve Sıcaklık İndisi (SPTI) gibi standartlaştırılmış kuraklık indis yöntemlerini kullanarak, yağış, sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyon değişimlerinin kuraklık süreçleri üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Analizler sonucunda, tüm kuraklık sınıflarının farklı zaman dilimlerinde gözlemlendiği, en şiddetli kuraklık döneminin 1981-1982 yılları arasında yaşandığı ve 2001 yılından sonra çok şiddetli kuraklık olaylarının sıklığında artış olduğu belirlenmiştir.

3. VERİ ve ÇALIŞMA ALANI

3.1. Çalışma Alanı

Bu tez çalışmasında, Türkiye'nin topoğrafik olarak dağlık ve engebeli doğu bölgesinde yer alan Erzurum ili Çat ilçesi sınırları içerisinde ki Palandöken Barajı çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bölgenin iklimi, şiddetli karasal iklim şartları ile karakterize edilmekte olup, sert ve uzun kışlar ile kısa ve serin yazlar görülmektedir. Karasal iklimin etkisiyle ilkbahar ve sonbahar gibi geçiş mevsimlerinin süresi oldukça kısadır.

Çalışma havzasının sınırlarını belirlemek ve havza karakteristiklerini detaylı olarak analiz etmek amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımlarından QGIS paket programı kullanılmıştır (Anonymous 2025). Havza çıkarma işlemleri için Palandöken Barajı havzasını besleyen Lezgi ve Tuzla Çayı havza çıkış noktaları olarak belirlenmiştir. Lezgi Çayı üzerindeki havza çıkış noktası, baraj gövdesinin bulunduğu noktayı temsil etmektedir. Tuzla Çayı havzasının bir bölümünü Lezgi çayı havzası oluşturmaktadır. QGIS programı kullanılarak hazırlanan havza çalışması Şekil-3.1.'de sunulmaktadır.



Şekil-3.1. Tuzla ve Lezgi çayı havzası

3.2. Veri Setleri

Hidrolojik modelleme çalışmalarında, bölgenin iklimsel özelliklerini ve su kaynaklarını doğru bir şekilde yansıtmak amacıyla verilerin seçimi ve kullanımı kritik öneme sahiptir. Bu tez çalışmasında, Palandöken Barajı Havzası çalışma alanı olarak belirlenmiş ve akım gözlem verileri, meteorolojik gözlem verileri (yağış ve sıcaklık ölçümleri), kar gözlem verileri, iklim projeksiyon veri setleri kullanılmıştır. Türkiye'deki su kaynaklarının plânlanması, yönetimi, geliştirilmesi ve işletilmesinden sorumlu Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü tarafından akım verileri sağlanmaktadır. Meteorolojik veriler ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından toplanmaktadır. Kar verileri de yine MGM ve DSİ tarafından toplanmaktadır.

3.2.1. Akım (debi) verileri

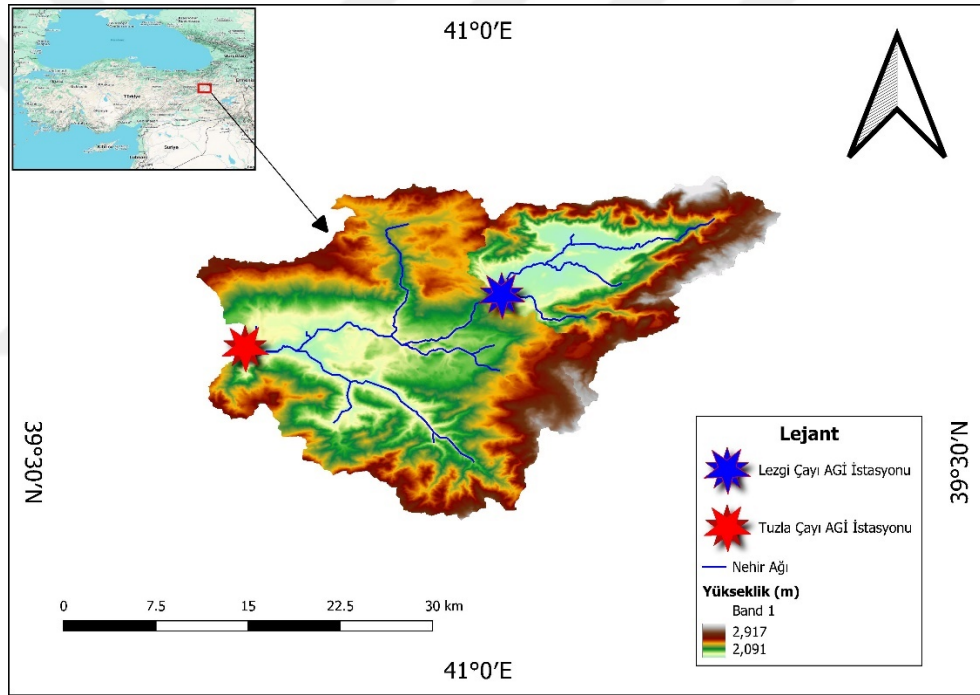
Hidrolojik modelleme çalışmalarında, akım gözlem verileri su kaynaklarının hacmi, akım rejimi, mevsimsel değişimleri ve uzun vadeli trendlerinin analiz edilmesi için temel veri setlerinden birini oluşturmaktadır. Bu verilerin doğruluğu ve kapsamı, modelin güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir. Türkiye'de su kaynaklarının plânlanması, yönetimi, geliştirilmesi ve işletilmesinden sorumlu kurum Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü'dür. Akım (debi) verileri de yine bu kurum tarafından sağlanmaktadır ve kaydedilmektedir.

Çalışma alanı olarak belirlenen Palandöken Barajı Havzası'nda, havzayı besleyen Lezgi Çayı ve Tuzla Çayı üzerine Devlet Su İşleri 8. Bölge Müdürlüğü tarafından kurulmuş akım gözlem istasyonlarının (AGİ) verileri kullanılmıştır. Palandöken Barajı gövdesinin bulunduğu noktada Lezgi Çayı üzerindeki istasyon D21A116 kodlu AGİ, daha alt kotta bulunan Tuzla Çayı üzerindeki istasyon ise D21A226 kodlu AGİ'dir. Akım Gözlem İstasyonlarına ait bilgiler aşağıdaki çizelgede sunulmaktadır.

Çizelge-3.1 AGİ'lere ait bilgiler

İstasyon Kodu	Su Adı	İstasyon Adı	Koordinat (x,y)	Yükseklik (m)	Ölçüm Aralığı
D21A116	Lezgi Çayı	Aşağı Çat	41.02, 39.66	2075	1967-1998
D21A226	Tuzla Çayı	Gökçeşeyh	40.78, 39.61	1660	1986- 2025

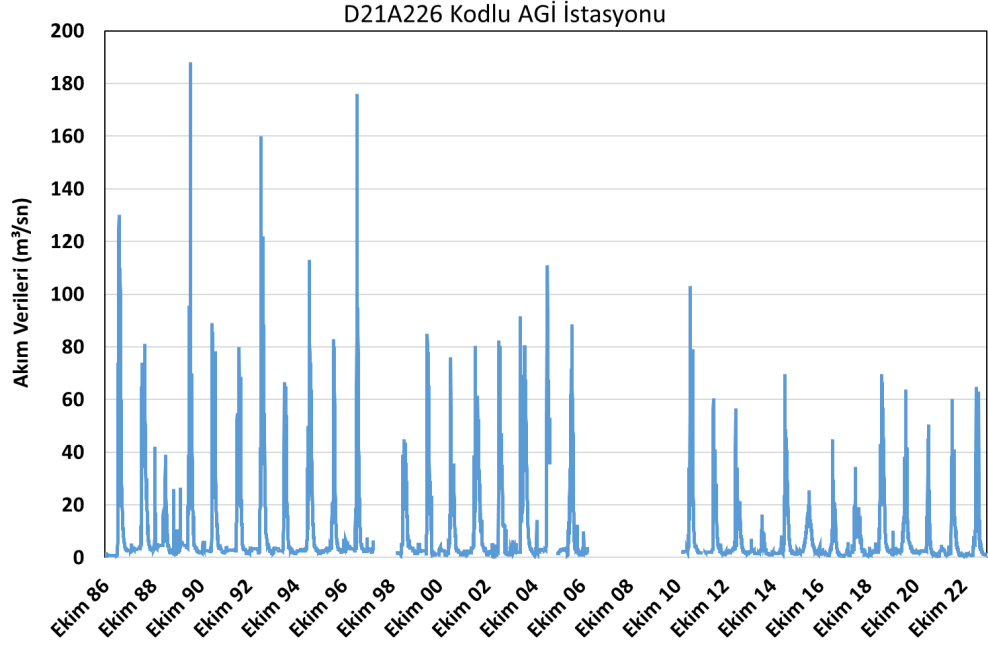
D21A116 kodlu AGİ'nin yeri mavi yıldız ile D21A226 kodlu AGİ'nin yeri ise kırmızı yıldız ile işaretlenerek Şekil-3.2.'de sunulmaktadır.



Şekil-3.2. AGİ (Akım Gözlem İstasyonu) yerleri

Hidrolojik modelleme için başlangıçta daha güncel veri setine sahip olması nedeniyle D21A226 kodlu AGİ'ye ait akım verilerinin kullanılması düşünülmüştür ancak, Palandöken Barajı'nın 2005 yılında su tutmaya başlamasıyla birlikte, D21A226 kodlu AGİ'ye ait akım verisi kullanılarak çizdirilen hidrografta akım boylarında belirgin bir kısalma olduğu gözlemlenmiştir.

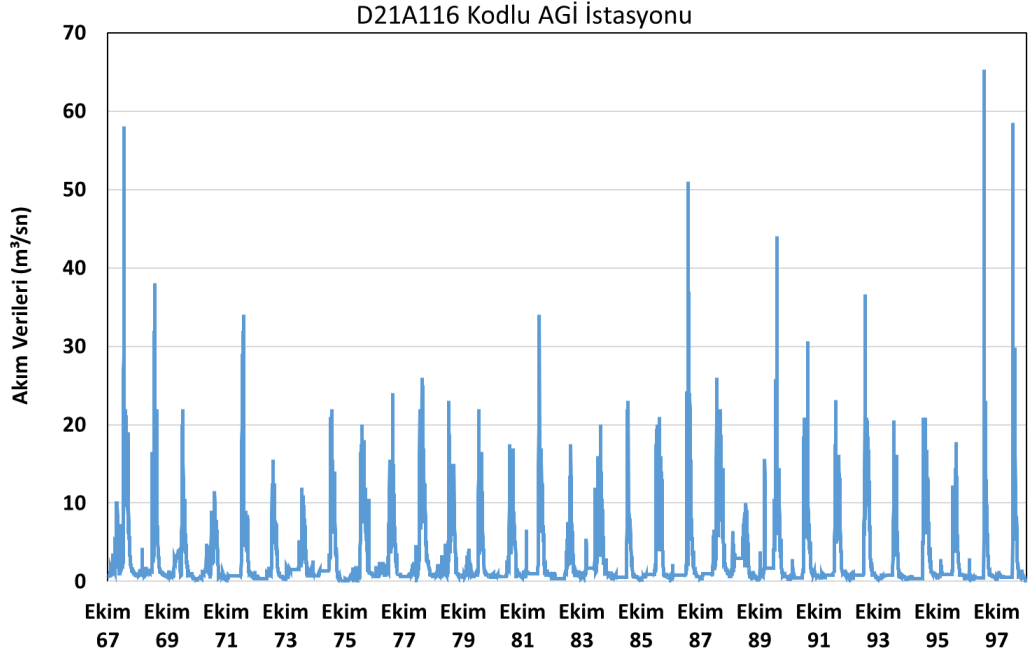
Şekil 3.3.'te bulunan hidrografta akım boylarında 2005 yılından sonra ki kısalma belirgin olarak görülmektedir.



Şekil 3.3. D21A226 kodlu istasyona ait akım verileri kullanılarak çizilmiş hidrograf

Palandöken Barajı'nın su tutmasıyla, Tuzla Çayına gelen suya müdahale edilmesinin hidrolojik modellemeye yanıltıcı sonuçlar verebileceğinin değerlendirilmesi ayrıca 1998,2007,2008,2009,2010 ve 2011 yıllarına ait akım verilerinin de bulunmaması sebebiyle hidrolojik modellemeye D21A226 kodlu AGİ'ye ait akım verileri yerine, D21A116 kodlu AGİ'nin 1967-1998 yılları arasındaki eksiksiz akım verilerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

D21A116 kodlu AGİ'ye ait akım verileri kullanılarak çizdirilmiş hidrograf Şekil 3.4' te sunulmaktadır.



Şekil 3.4. D21A116 kodlu istasyona ait akım verileri kullanılarak çizilmiş hidrograf

3.2.2. Meteorolojik veriler (sıcaklık, yağış, buharlaşma)

Hidrolojik modelleme çalışmalarında meteorolojik veriler, su kaynaklarının davranışını anlamak ve tahmin etmek için temel girdileri oluşturmaktadır. Özellikle yağış, sıcaklık ve buharlaşma verileri, model için temel zorunlu girdilerdir. Yağış verileri bölgedeki su kaynaklarının hacmini ve akışını tahmin etmede kullanılırken, sıcaklık verileri ise buharlaşma ve kar erimesi süreçlerini etkileyerek akış rejiminin tahmin edilmesinde önemli bir yer tutmaktadır.

Türkiye'de meteorolojik veriler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilen Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarından (OMGİ) elde edilmektedir. Çalışma alanına yakın OMGİ'lere ait bilgiler Çizelge 3.2'de sunulmaktadır.

3. VERİ ve ÇALIŞMA ALANI

Bu tez çalışmasında, Palandöken Barajı Havzası için Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü tarafından aylık olarak hesaplanan buharlaşma verileri kullanılmıştır. Bu veriler, modelin su döngüsündeki buharlaşma süreçlerini doğru bir şekilde simüle etmesini sağlamak adına kritik öneme sahiptir. Palandöken Barajı Havzası için hesaplanan aylık buharlaşma verileri Çizelge 3.3'te sunulmaktadır.

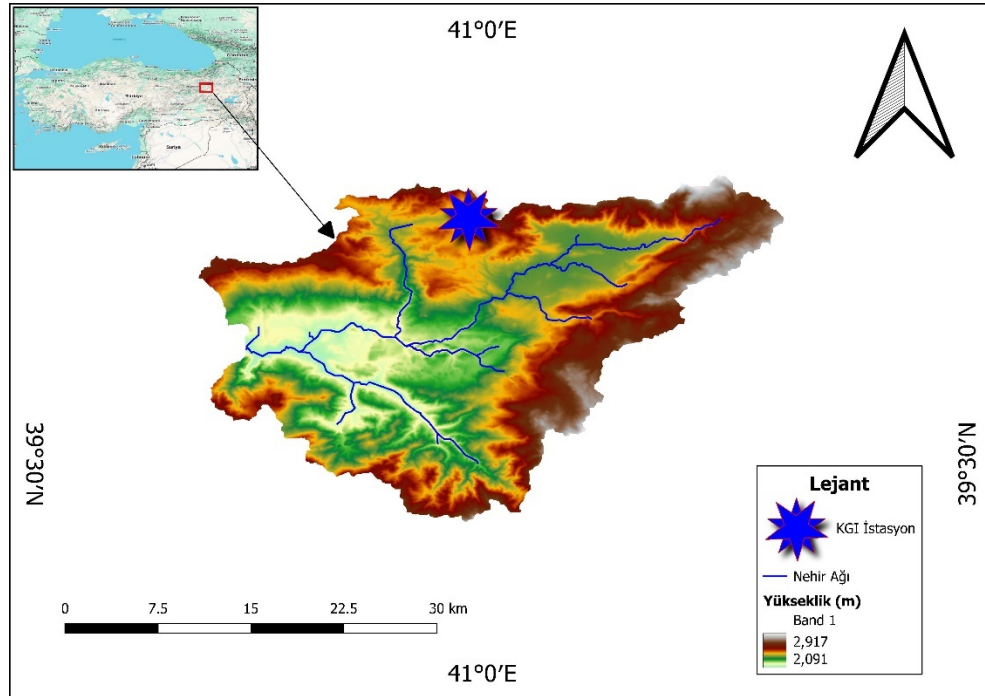
Çizelge 3.3 Palandöken Barajı Havzası aylık buharlaşma verisi

Aylık Buharlaşma (hm ³)											
Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
0	0	0	53.6	128.8	172.9	240.6	239.6	180.3	97.7	0	0

3.2.3. Kar verileri

Kar, özellikle Türkiye gibi ortalama yükseltisi fazla ve dağlık bölgelere sahip ülkelerde, su döngüsünün kritik bir bileşenidir. Kış aylarında dağlık alanlarda biriken kar örtüsü, ilkbahar ve yaz aylarında eriyerek yıllık toplam akımın önemli bir bölümünü oluşturur. Bu durum, kar erimesinden kaynaklanan akımların su kaynakları yönetimi, baraj işletmeciliği ve doğal afet (taşkın/kuraklık) tahminleri için hayati önem taşıdığını göstermektedir. Bu nedenle, kar örtüsünün mekânsal ve zamansal değişkenliklerinin takip edilmesi ve modellenmesi gereklidir.

Türkiye'de kar verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) gibi kurumlar tarafından toplanmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan kar verisi, Devlet Su İşleri 8. Bölge Müdürlüğü tarafından işletilen D21K008 istasyon numaralı Çat Kar Gözlem Noktasına aittir. Bu istasyondan temin edilen veriler 1968 su yılı ile 2024 su yılı arasını kapsamakta olup kar derinliği (mm) ve kar suyu miktarı (mm) verileridir. Çat Kar Gözlem Noktasının konumu Tuzla Çayı Havzası içerisinde bulunmakta olup istasyonun konumunu gösteren harita Şekil 3.6'da sunulmaktadır.



Şekil 3.6 Çat Kar Gözlem Noktasının konumu

3.2.4 İklim projeksiyon verileri (CMIP senaryoları)

İklim değişikliğinin geçmiş, şimdiki ve gelecekteki değişimlerini daha iyi anlamak için Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi (CMIP) gibi uluslararası iklim modelleme projelerinden elde edilen verilere ihtiyaç duyulmaktadır Anonymous (2025). CMIP, Dünya İklim Araştırma Programı'nın (WCRP) bir projesidir. Bu çoklu model yaklaşımı, model simülasyonlarında iyileşmelere yol açmakta ve iklim hakkında daha iyi bir anlayış sağlamaktadır. Genel Dolaşım Modelleri (GDM) iklim koşullarını tahmin etmek için kullanılan en gelişmiş araçlardandır.

CMIP projesi, yıllar içinde farklı aşamalardan geçmiştir. 1995'te WCRP Eşleştirilmiş Modelleme Çalışma Grubu (WGCM) tarafından başlatılan CMIP'in ilk iki aşaması, 18 İklim Modelleme Grubu (GCM) içeren deneyleri kapsıyordu. CMIP3 (2005-2006), veri çıktısını önemli ölçüde genişletmiştir. Bu büyüme eğilimi, her biri selefinden daha fazla model ve deney içeren CMIP5 ve CMIP6 ile devam etmiştir. CMIP6, modelleme çıktı verilerini genel kullanım için yayınlayan en son aşamadır, CMIP7 ise henüz planlama aşamasındadır.

CMIP'in amacı, iklim modelleme topluluğunun çeşitli iklim modelleri ve simülasyon sonuçları arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları anlamak için sistematik bir çerçeve sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda farklı iklim modellerinin sonuçlarını karşılaştırarak modellerin güçlü ve zayıf yönlerini belirlemek, gelecek iklim değişikliklerini tahmin etmek için daha iyi ve güvenilir simülasyonlar üretmek, elde edilen verilerin uluslararası araştırmacılar tarafından erişilebilir olmasını sağlayarak bilimsel iş birliğini teşvik etmek, iklim politikalarının oluşturulmasına yardımcı olmak için bilimsel veriler sunmak ve iklim sisteminin doğasını daha iyi anlamak hedeflenmektedir. CMIP modelleri, iklim sisteminin çeşitli bileşenlerini ve süreçlerini simüle eder. CMIP6 verilerine erişim için ESGF (Earth System Grid Federation) gibi çeşitli platformlar mevcuttur. CMIP6, yaklaşık 100 farklı iklim modelinin verilerini içerir ve 33 farklı modelleme grubunun katkılarıyla bir araya getirilmiştir (Üyük 2022).

İklim değişikliğinin gelecekteki etkilerini değerlendirmek için CMIP6 çalışmaları kapsamında hazırlanan çeşitli emisyon senaryoları geliştirilmiştir. Emisyon senaryoları

gelecekte meydana gelmesi muhtemel ekonomik durum, nüfus durumu, teknolojik gelişme ve diğer faktörlere göre şekillendirilen varsayımlara dayanmaktadır (Nacar 2020). IPCC (Hükümetler arası iklim değişikliği paneli)'nin 5. Değerlendirme Raporu'nda sunulan ve günümüzde sıklıkla kullanılan senaryolar Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP) olarak adlandırılmaktadır (Nacar 2020). RCP'ler, 2100 yılı sonundaki olası ışımsal zorlama seviyelerine göre tanımlanır (Nacar 2020). Başlıca RCP senaryoları RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 ve RCP8.5'tir. RCP 2.6 en iyimser senaryo olması ve günümüzde sera gazı emisyonları dikkate alındığında gerçekleşmesi pek mümkün olmayacak bir senaryo olması nedeniyle tezde kullanılmamıştır. Orta düzeyde emisyon öngören RCP 4.5 ise RCP 6 senaryolarında birbirine yakın sonuçlar elde edilmesi nedeniyle RCP 6 senaryosu tezde kullanılmamıştır. Tez de bu senaryolardan sadece RCP 4.5 ve RCP 8.5 kullanılmıştır.

RCP4.5 senaryosu, emisyonların azaltılması politikalarının uygulandığı bir gelecek yolunu temsil eder ve ışımsal zorlamanın 2100'de 4,5 W/m² civarında stabilize olmasını ve küresel ortalama sıcaklığın 1.5-2.0 °C artmasını öngörür. Bu, orta düzeyde bir emisyon senaryosu olarak kabul edilir.

RCP8.5 senaryosu ise yüksek emisyon yoğunluğunu ve sıkı bir iklim değişikliği mücadelesi politikasının olmadığı durumu temsil eder (Demir 2018). Işımsal zorlamanın 2100'de 8,5 W/m²'nin üzerine çıkmasını ve 7.5 °C'ye varan sıcaklık artışını öngörür. Bu, kötümser veya yüksek emisyon senaryosu olarak kabul edilir.

İklim senaryolarının farklı çeşitte projeksiyonları bulunmaktadır. **Ec-Earth3-Veg-LR** projeksiyonun RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için hazırlanan yağış ve sıcaklık verileri 17096 Erzurum Havalimanı OMGİ'nin bulunduğu yer için ayrı ayrı indirilerek tez çalışmasında kullanılmıştır.

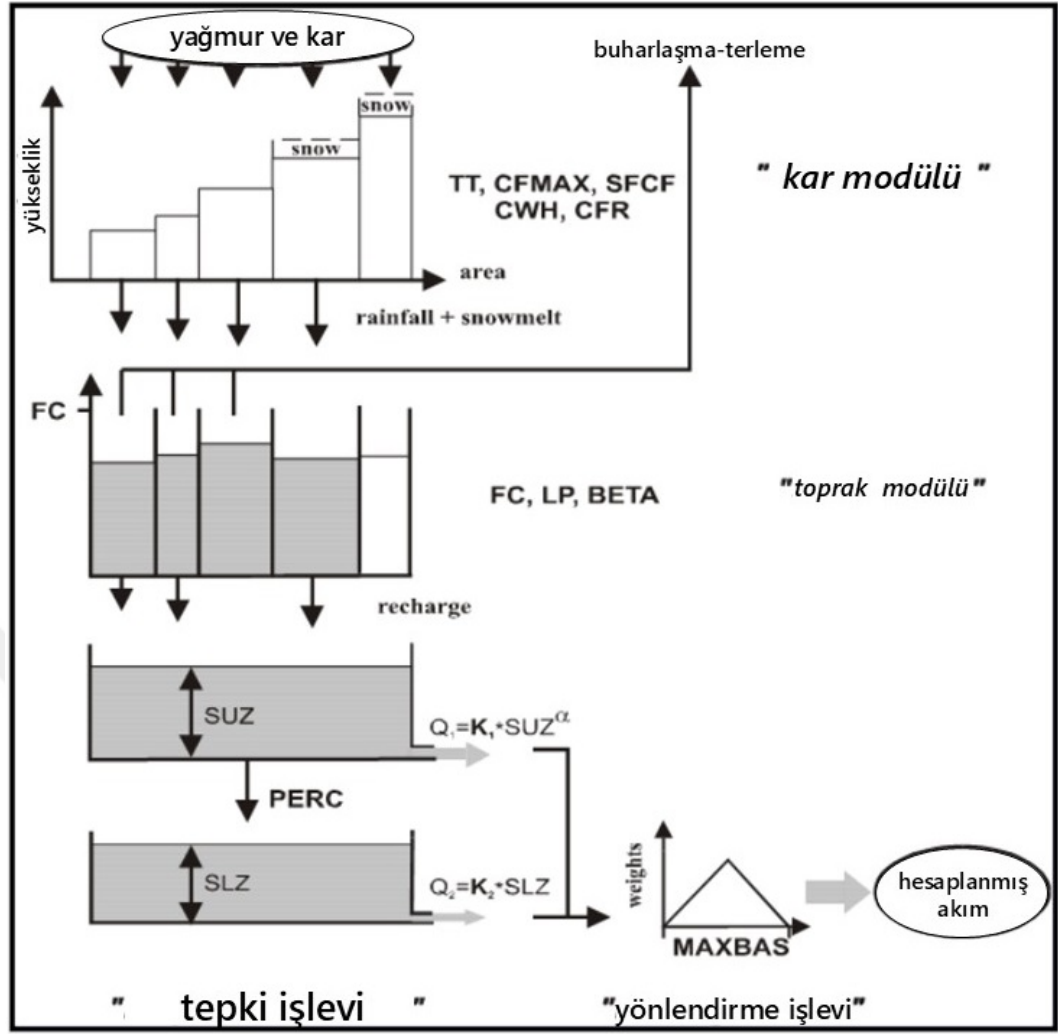
4. YÖNTEM

4.1. HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning) Hidrolojik Modeli

Hidrolojik modeller, bir havzanın hidrolojik döngüsünü nicel olarak temsil eden ve özellikle akış, yeraltı suyu, toprak nemi ve buharlaşma gibi süreçleri simüle etmeye yarayan sayısal araçlardır. Bu modeller, su kaynaklarının yönetimi, taşkın tahmini, kuraklık analizi ve iklim değişikliğinin etkilerinin değerlendirilmesi gibi pek çok alanda karar vericilere bilimsel temel sağlamaktadır. Özellikle veri eksikliğinin yaygın olduğu bölgelerde, hidrolojik modeller ölçülemeyen bileşenlerin tahmin edilmesinde kritik rol oynamaktadır. Model seçimi ise çalışmanın amacına, veri yoğunluğuna ve bölgesel özelliklere bağlı olarak değişmektedir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan temel hidrolojik model HBV Light modelidir. HBV, yaygın olarak kullanılan kavramsal ve yarı dağılımlı bir hidrolojik model olarak tanımlanmaktadır. Özellikle dağlık alanlarda kar erimesinden kaynaklanan akışın modellenmesinde sıklıkla tercih edilir. Model, bir havzayı yükseklik aralıklarına veya alt havzalara bölerek yarı dağılımlı bir yaklaşım sunmakta; bu sayede havzanın yükseklik-alan dağılımı gibi fiziksel özelliklerinin modellemede belirleyici olmasını sağlamaktadır.

HBV modeli; kar modülü, toprak nemi modülü, yeraltı suyu modülü ve akım modülü gibi birbiriyle etkileşimli çalışan ana bileşenlerden oluşmaktadır. Modelin girdileri genellikle yağış, sıcaklık ve buharlaşma gibi hidro-meteorolojik verilerdir. Bu çalışmada, modelin girdisi günlük verileri olarak yağış, sıcaklık, akım ve aylık veri olarak buharlaşma kullanılmıştır. HBV Light hidrolojik modelinin genel yapısı Çizelge 4.1’de sunulmuştur.



Şekil-4.1. HBV Light hidrolojik modelinin genel yapısı

Kavramsal modellerin güvenilir sonuçlar üretebilmesi için kalibrasyon ve validasyon süreçlerinden geçmesi kritik öneme sahiptir. Kalibrasyon, model parametrelerinin, gözlem verileriyle model çıktılarının uyumunu en iyi hale getirmek için ayarlanması işlemidir. Validasyon ise, kalibrasyon sonucu belirlenen parametrelerin, farklı bir zaman dilimindeki gözlem verileriyle test edilmesi anlamına gelir. Model performansını değerlendirmek için $-\infty$ ile 1 arasında değer alan Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) kullanılır. $Q_{göz}$, gözlenen akımı, Q_{mod} ise modellenen akımı temsil etmektedir. En iyi model performansı ise 1 değeridir. NSE hesabı için kullanılan formül aşağıdadır.

$$NSE = 1 - \frac{\sum (Q_{göz} - Q_{mod})^2}{\sum (Q_{göz} - \bar{Q}_{göz})^2}$$

4. YÖNTEM

HBV hidrolojik modeli işleyişinde çalıştırılan parametreler ve bu parametrelerin değer aralıkları Çizelge 4.1’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.1. HBV hidrolojik modeli işleyişinde çalıştırılan parametreler ve bu parametrelerin değer aralıkları (Ertaş 2014)

Parametreler	Birimi	Değer Aralıkları	Parametrelerin İngilizce Anlamları	Parametrelerin Türkçe Anlamları
ECORR	----	0.8 - 2.0	Evaporation Correction	Buharlaştırma katsayısı
ALPHA	----	0.0 - 0.3	Recession coefficient in $Q=k \times UZ^{(\alpha+1)}$ formula	$Q=k \times UZ^{(\alpha+1)}$ formülünde geciktirme katsayısı
BETA	----	1.0 - 3.0	Exponent in Formula for drainage from soil	Akım modülüne katılım katsayısı
CFLUX	mm/gün °C	0.2 - 0.8	Maximum capillary flow from upper box to soil moisture	Üst zondan toprak modülüne maksimum kapilal akım
CFMAX	mm/gün °C	0.3 - 4.0	Degree-day factor	Derece-gün faktörü
CFR	----	0.02 - 0.1	Refreezing factor in the snow routine	Kar modülünde donma faktörü
FC	mm	50 - 250	Field capacity	Arazi kapasitesi
LP	----	0.2 - 0.9	Limit for potential evaporation	Potansiyel buharlaşma limiti

PERC	mm/gün	0.4 - 6.0	Percolation capacity from upper to lower box	Üst zondan alt zon derin sızıntı kapasitesi
RFCF	----	0.8 - 1.3	Rainfall correction factor	Yağmur düzeltme faktörü
SFCF	----	0.7 - 1.3	Snowfall correction factor	Kar düzeltme faktörü
TT	°C	—1.5 - +2.0	Threshold temperature (rain or snow)	Yağış tipi için kritik sıcaklık (yağmur veya kar)
TTI	°C	0.0 - 3.0	Total length of a temperature interval	Yağış tipi için sıcaklık aralığı
CWH	----	0.01 - 0.1	Water holding capacity of snow	Karın tutma kapasitesi
TM	°C	—1.5 - +0.5	Temperature for melting	Erime sıcaklığı
ETF	----	0.0 - 0.012	Temperature correction factor	Sıcaklık düzeltme katsayısı
K	1/gün	0.2 - 0.4	Recession coefficient	Geciktirme katsayısı
K1	1/gün	0.001 - 0.1	Recession coefficient for lower box	Alt zon için geciktirme katsayısı
LIC	----	0.0 - 2.0	Maximum interception storage	Maksimum tutma kapasitesi

Tez için hazırlanan hidrolojik modelde kalibrasyon ve validasyon periyotları Çizelge 4.2.'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.2. Kalibrasyon ve validasyon tarih aralıkları

Akım Gözlem İstasyonu İsmi ve Kodu	Akım Verisinin Ölçüldüğü Tarih Aralığı	Kalibrasyon Periyodu	Validasyon Periyodu
Lezgi Çayı (D21A116)	1967-1998	1968 -1982 Yılları Arası (14 Yıl)	1983-1998 Yılları Arası (15 Yıl)

4.2. Genetic Algorithm and Powell (GAP) Optimizasyonu

Genetic Algorithm and Powell (GAP), özellikle HBV-Light yazılımı içerisinde bulunan ve model kalibrasyonunun otomatik olarak yapılmasına olanak tanıyan bir optimizasyon modülüdür. HBV-Light yazılımında yer alan GAP optimizasyon ekranı Şekil-4.2'de sunulmaktadır.

Population Settings

Number of parameter sets: 100

Number of populations: 1

Frequency of exchange: 0

Number of PSs which exchange: 0

Reproduction Settings

Probability for optimization between sets: 0.05

Probability for mutation: 0.05

Probability for optimized value: 0.1

Probability for random value between the old values: 0.25

Probability for taking one of the old values: 0.6

Portion of range for small change (if random between and both values equal): 0

Value of C: 2

Model Settings

No of model runs: 5000

No of runs for local optimization (Powell): 1500

☒ Calibrate 100 times

Goodness of Fit Measure

Population_1

Obj. Function	Weight
Reff	1
*	

Vegetation zone parameters

Parameter	Lower Limit	Upper Limit
TT	-2	2
CFMAX	0.5	4
SP	0	1
SFCF	0.5	1.5
CFR	0.05	0.1
CWH	0.1	0.2
FC	100	550
LP	0.3	1
BETA	1	5

Catchment parameters

Parameter	Lower Limit	Upper Limit
PERC	0	4
UZL	0	70
K0	0.1	0.5
K1	0.01	0.2
K2	5E-05	0.1
MAXBAS	1	2.5
Cet	0	0.3
PCALT	5	15
TCALT	0.4	0.8
Elev. of P	1760	1760
Elev. of T	1760	1760

Progress

Calibration: 0 Best fit so far: 0

Population: 0 Done so far: 0

Generation: 0 Done so far (Powell): 0

Estimated endtime:

Load Settings Save Settings

Close Start calibration

Şekil-4.2. Örnek GAP optimizasyon ekranı

GAP'in temel amacı, doğadaki doğal seçim sürecine benzer bir mantıkla en iyiyi arayarak bütünsel en iyi çözümü bulmaktır. Hidrolojik modellemede GAP, model parametrelerinin simüle edilen model çıktılarından (akım gibi) gözlem verileriyle uyumunu en üst düzeye çıkaracak şekilde otomatik olarak ayarlanması için kullanılır. Tez çalışması kapsamında oluşturulmuş hidrolojik modeli en iyi şekilde kalibre edebilmek için GAP optimizasyonu 100 kere çalıştırılmış ve 43. optimizasyon da elde edilen değerler en başarılı kabul edilerek model de kullanılmıştır.

4.3. RMSE (Root Mean Square Error)

Hidrolojik modelden çalıştırıldıktan sonra modelin tahmin ettiği değerler ile istasyonlar vasıtasıyla ölçülmüş gerçek değerler arasında oluşan farkların ne kadar olduğunu ölçen önemli bir istatistiksel kriterdir. Özellikle hidrolojik modelleme ve iklim tahmin çalışmalarında, modelin gözlem verilerine ne kadar yaklaştığını anlamak için yaygın olarak kullanılır. RMSE'nin temel özelliği, hataların karelerini alarak pozitif ve negatif hataların birbirini götürmesini engellemesi ve böylece hataların mutlak büyüklüğünü daha doğru bir şekilde yansıtan bir değer sunmasıdır. Düşük RMSE değerleri, modelin gözlemlenen verilere daha iyi uyum sağladığını ve daha doğru tahminler ürettiğini göstermektedir.

RMSE, modellenen (tahmin edilen) ve gözlemlenen değerler arasındaki farkların karelerinin ortalamasının karekökü alınarak hesaplanır. Modelin performansının sayısal olarak ifade edilmesini sağlayan bu metrik, aşağıdaki matematiksel formülde gösterilmektedir:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum((\text{Modellenen Kar Su Eşdeğeri}) - (\text{Gözlemlenen Kar Su Eşdeğeri}))^2}{n}}$$

Formülde ki n değeri gözlem sayısını temsil etmektedir. RMSE, hataların karelerini içerdiği için, diğer hata metriklerine kıyasla büyük hatalara daha fazla ağırlık verme eğilimindedir.

5. BULGULAR

5.1. Hidrolojik Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde, hidrolojik modelleme çalışmaları sonucunda elde edilen bulgular ve sonuçlar detaylı bir şekilde sunulmaktadır. Özellikle Palandöken Barajı Havzası'nda HBV-Light modeli kullanılarak gerçekleştirilen hidrolojik modelleme uygulamasının çıktıları, kalibrasyon ve validasyon dönemleri boyunca elde edilen performans göstergeleri ele alınmıştır. HBV Light programında hidrolojik model oluşturulabilmesi için yağış, sıcaklık, akım ve buharlaşma verilerinin programa girilmesi gerekmektedir.

Yağış ve sıcaklık verisi olarak, çalışma alanına yakın durumda bulunan Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilen Aşkale, Aziziye/Ilıca Havzası, Çat, Erzurum Havalimanı, Karlıova, Tekman ve Yedisu isimli Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonları (OMGİ) incelenmiş ve 1960 yılı ile 2024 yıllarını kapsayan çok geniş bir tarih aralığında yağış ve sıcaklık verisi sunması, verilerde hidrolojik modellemeyi etkileyebilecek ciddi kesintiler olmaması nedeniyle tez çalışması kapsamında hazırlanan hidrolojik modelleme de 17096 kodlu Erzurum Havalimanı OMGİ'ye ait yağış ve sıcaklık verilerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Akım verisi olarak, Palandöken Barajı Havzası içerisinde bulunan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından işletilen D21A116 istasyon kodlu Lezgi Çayı ve D21A226 istasyon kodlu Tuzla Çayı üzerine kurulu Akım Gözlem İstasyonları (AGİ) incelenmiş ve başlangıçta daha güncel veri setine sahip olması nedeniyle D21A226 kodlu AGİ'ye ait akım verilerinin hidrolojik modelleme de kullanılması düşünülmüştür ancak, Palandöken Barajı'nın 2005 yılında su tutmaya başlamasıyla birlikte akım trendlerinin değişmesi ayrıca 1998,2007,2008,2009,2010 ve 2011 yıllarına ait akım verilerinin de bulunmaması sebebiyle hidrolojik modellemede D21A226 kodlu AGİ'ye ait akım verileri yerine, D21A116 kodlu AGİ'nin 1967-1998 yılları arasındaki eksiksiz akım verilerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Buharlaşma verisi olarak, DSİ tarafından Palandöken Barajı Havzası için aylık olarak hesaplanan buharlaşma verisi temin edilerek hidrolojik modellemede kullanılmıştır.

D21A116 kodlu AGİ'nin akım verilerinin kullanılmasına karar verilmesinden sonra 1967-1998 yılları arasını kapsayan veriler için kalibrasyon ve validasyon tarih aralıkları ile elde edilen Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) değerleri Çizelge 5.1'de sunulmaktadır.

Çizelge 5.1 Kalibrasyon ve validasyon periyotları, elde edilen NSE değerleri

	Periyodu	NSE değeri
Kalibrasyon	1968 -1982 su yılları arası (14 Yıl)	0.77
Validasyon	1983-1998 su yılları arası (15 Yıl)	0.73

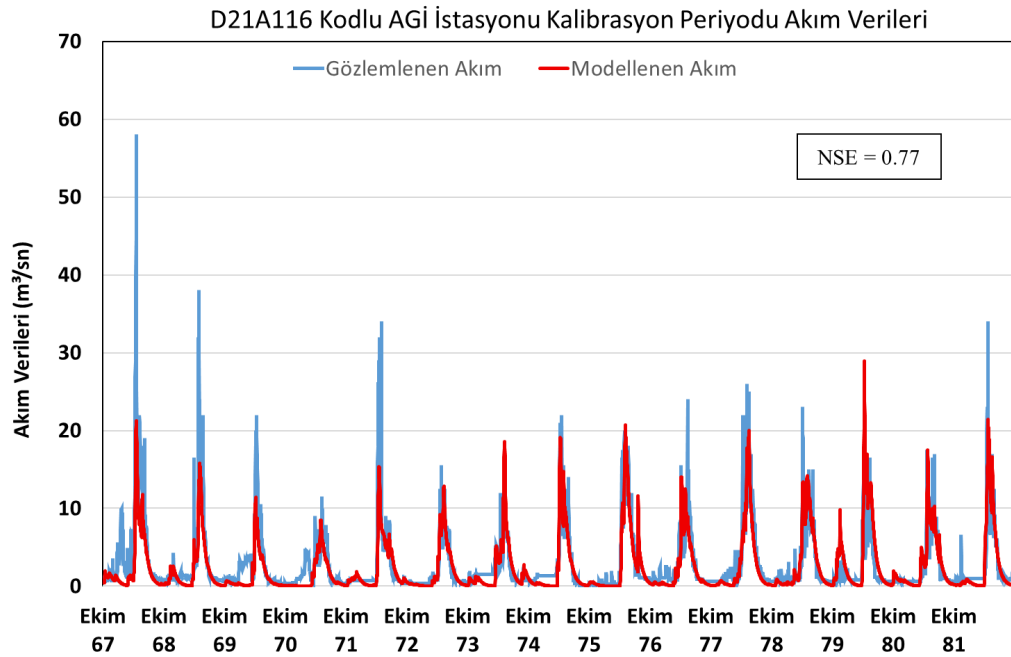
Çizelge 5.1'de belirtilen su yılı terimi hidrolojik döngüyü ve su kaynaklarını daha iyi anlamak, yönetmek ve tahmin etmek amacıyla kullanılan, genellikle takvim yılından farklı başlangıç ve bitiş tarihlerine sahip (bir önceki yılın 1 ekiminde başlar), belirli bir 12 aylık dönemi ifade etmektedir.

Model parametrelerinin belirlenebilmesi için Genetic Algorithm and Powell (GAP) optimizasyonu 100 kere çalıştırılmıştır ve 43. optimizasyon da elde edilen değerler en başarılı kabul edilerek model de kullanılmıştır. Model parametre değerleri Çizelge 5.2' de sunulmaktadır.

Çizelge 5.2 Hidrolojik Modelde kullanılan parametreler ve değerleri

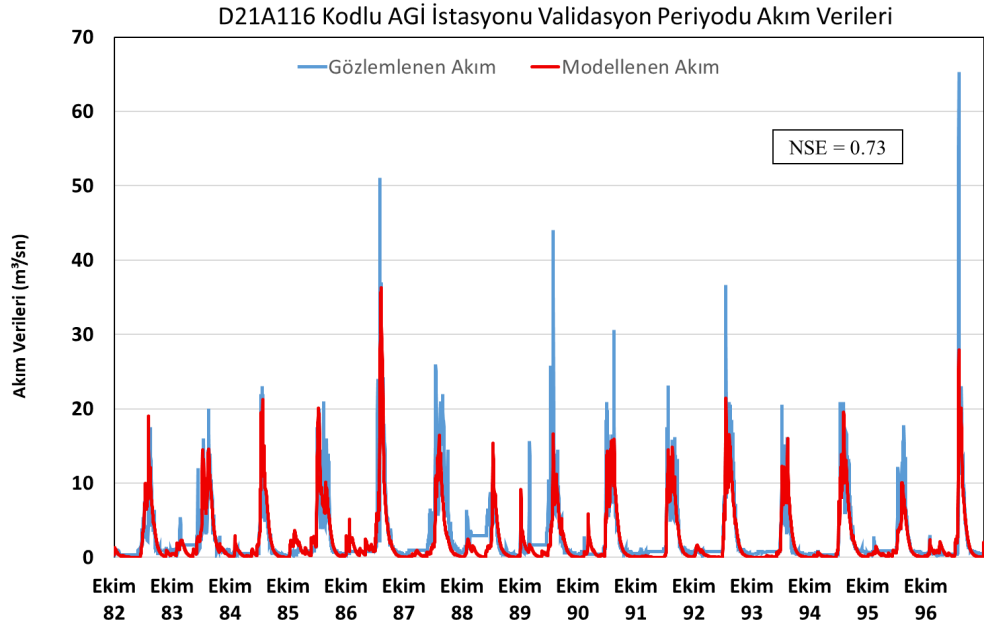
Parametre	Değer
PERC	4.00
UZL	65.68
K0	0.10
K1	0.08
K2	0.04
MAXBAS	1.00
Cet	0.00
PCAL	5.00
TCAL	0.84
Pelev	1760.00
Telev	1760.00
TT	-3.00
CFMAX	4.00
SP	0.00
SFCF	1.11
CFR	0.10
CWH	0.10
FC	50.48
LP	0.75
BETA	3.37

Çizelge 5.1’de belirtilen kalibrasyon periyodunda (1968-1982 su yılları arası), D21A116 kodlu AGİ’nin gözlemlenen akım verileri kullanılarak çizdirilmiş mavi renkli hidrograf ile HBV-Light modeli kullanılarak gerçekleştirilen hidrolojik modellemenin çıktısı olan modellenen akım verileri kullanılarak çizdirilmiş kırmızı renkli hidrograf Şekil 5.1’de sunulmaktadır.



Şekil 5.1 Kalibrasyon periyodunda gözlemlenen ve modellenen akım verileri kullanılarak çizdirilmiş hidrograf

Çizelge 5.1’de belirtilen validasyon periyodunda (1983-1998 su yılları arası), D21A116 kodlu AGİ’nin gözlemlenen akım verileri kullanılarak çizdirilmiş mavi renkli hidrograf ile HBV-Light modeli kullanılarak gerçekleştirilen hidrolojik modellemenin çıktısı olan modellenen akım verileri kullanılarak çizdirilmiş kırmızı renkli hidrograf Şekil 5.2’de sunulmaktadır.



Şekil 5.2 Validasyon periyodunda gözlemlenen ve modellenen akım verileri kullanılarak çizdirilmiş hidrograf

5.2. Kar Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde, hidrolojik modelleme çalışmalarının kritik bir bileşeni olan model kar sonuçları detaylı bir şekilde değerlendirilmektedir. Hidrolojik modelleme de kullanılan Lezgi Çayı üzerine kurulu D21A116 kodlu AGİ'ye ait akım verisinin 1998 yılında son bulması nedeniyle kar sonuçları modellemenin günümüz tarihine kadar valide edilmesinde çok önemli bir yer tutmaktadır.

Bu tez çalışmasında kullanılan gözlemlenen kar verisi Devlet Su İşleri 8. Bölge Müdürlüğü tarafından işletilen D21K008 istasyon numaralı Çat Kar Gözlem Noktasına aittir. Hidrolojik modelleme sonucunda elde edilen kar verileri her 100 metre rakım için toplamda 10 banda bölünmüştür. Çat Kar Gözlem Noktasına ait gözlemlenmiş Kar Su Eşdeğerleri (KSE) ile modelleme Kar Su Eşdeğerleri (KSE), RMSE (Root Mean Square Error) performans değerlendirilmesine tabi tutulmuştur. RMSE istatistiksel modelleme ve tahmin çalışmalarında model performansını değerlendirmek ve hata analizi yapmak için kullanılan önemli bir ölçüttür. Tahmin edilen değerler ile gözlemlenen gerçek değerler arasındaki hataların büyüklüğünü ölçer. Daha düşük RMSE değerleri, modelin veya tahminin gerçek değerlere daha yakın olduğunu ve dolayısıyla daha iyi performans

5. BULGULAR

gösterdiğini belirtir. Çizelge 5.1’de belirtilen kalibrasyon periyodu için (1968-1982 su yılları arası) RMSE performans değerlendirme sonuçları aşağıdaki Çizelge 5.3’te sunulmaktadır.

Çizelge 5.3 Kalibrasyon periyodu RMSE sonuçları

Kalibrasyon Periyodu RMSE Sonuçları									
KSE Band 1 (2150 rakım)	KSE Band 2 (2250 rakım)	KSE Band 3 (2350 rakım)	KSE Band 4 (2450 rakım)	KSE Band 5 (2550 rakım)	KSE Band 6 (2650 rakım)	KSE Band 7 (2750 rakım)	KSE Band 8 (2850 rakım)	KSE Band 9 (2950 rakım)	KSE Band 10 (3050 rakım)
126.36	109.57	87.91	68.01	61.19	61.88	65.52	70.95	77.71	89.58

Çizelge 5.1’de belirtilen validasyon periyodu için (1968-1982 su yılları arası) RMSE performans değerlendirme sonuçları aşağıda ki Çizelge 5.4’te sunulmaktadır.

Çizelge 5.4 Validasyon periyodu RMSE sonuçları

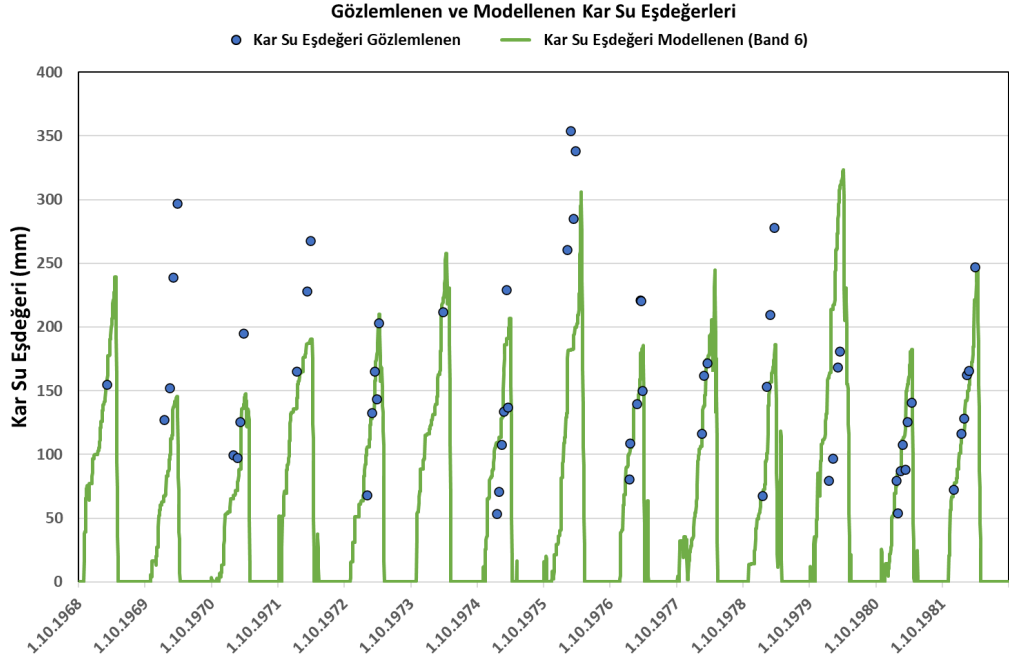
Validasyon Periyodu RMSE Sonuçları									
KSE Band 1 (2150 rakım)	KSE Band 2 (2250 rakım)	KSE Band 3 (2350 rakım)	KSE Band 4 (2450 rakım)	KSE Band 5 (2550 rakım)	KSE Band 6 (2650 rakım)	KSE Band 7 (2750 rakım)	KSE Band 8 (2850 rakım)	KSE Band 9 (2950 rakım)	KSE Band 10 (3050 rakım)
160.34	143.03	114.56	87.90	65.16	50.23	58.97	86.15	123.52	186.83

Kalibrasyon ve validasyon periyotları için ayrı ayrı RMSE performans değerlendirmesi sonucunda band 6 (2650 metre rakım) ortalamada en az hataya sahip olan band olduğu anlaşılmıştır.

Modellenen ve gözlemlenen kar verileri karşılaştırılırken Kar Su Eşdeğerlerine (KSE) bakılmıştır. KSE, karın tamamen eridiğinde oluşturacağı su derinliğini ifade eden kritik bir hidrolojik parametredir. Bu değer, karın içindeki sıvı su miktarını tanımlar ve genellikle milimetre (mm), santimetre (cm) veya metrekare başına düşen kilogram (kg) birimleriyle ifade edilir. Çizelge 5.1’de belirtilen kalibrasyon periyodu için (1968-1982 su yılları arası), D21K008 istasyon numaralı Çat Kar Gözlem Noktasına ait KSE değerleri

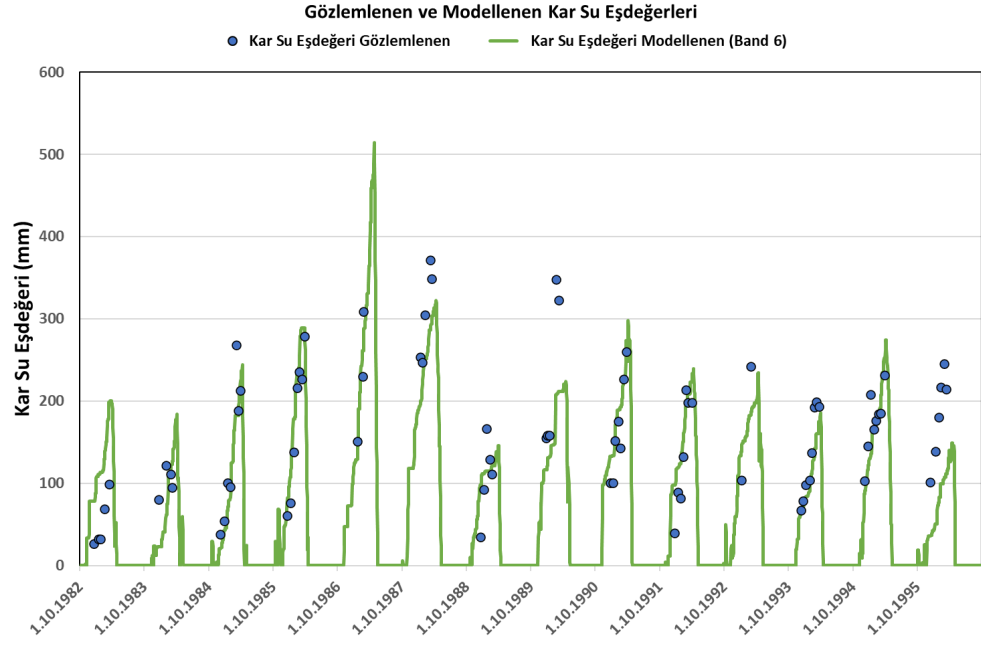
5. BULGULAR

mavi renkli noktalar ile HBV-Light modeli kullanılarak gerçekleştirilen hidrolojik modellemenin kar verisi çıktısı olan KSE modellenen yeşil renkli grafikte gösterilerek Şekil 5.3'te sunulmaktadır.



Şekil 5.3 Kalibrasyon periyodu gözlemlenen ve modellenen Kar Suyu Eşdeğerleri

Çizelge 5.1'de belirtilen validasyon periyodu için (1983-1998 su yılları arası), D21K008 istasyon numaralı Çat Kar Gözlem Noktasına ait KSE değerleri mavi renkli noktalar ile HBV-Light modeli kullanılarak gerçekleştirilen hidrolojik modellemenin kar verisi çıktısı olan KSE modellenen yeşil renkli grafikte gösterilerek Şekil 5.4'te sunulmaktadır.



Şekil 5.4 Validasyon periyodu gözlemlenen ve modellenen Kar Suyu Eşdeğerleri

5.3. Yağış ve Sıcaklık Değerlendirmesi

Yağış ve sıcaklık, hidrolojik döngünün temel bileşenleri olup, özellikle kar erimesi ve su kaynakları yönetimi açısından kritik öneme sahip temel hidrolojik parametrelerdir. Tez çalışmasında kullanılan yağış ve sıcaklık verileri 1968 su yılı ile 2024 su yılını kapsayan uzun bir dönemi kapsamaması nedeniyle aşağıda sunulan Çizelge 5.5'te belirtilen isimlerdeki tarihsel dönemlere ve periyotlara ayrılarak değerlendirme yapılmıştır.

Çizelge 5.5 Yağış ve sıcaklık verileri için belirlenmiş tarihsel dönemler ve periyotlar

Tarihsel Dönem	Tarihsel Dönem İsmi	
1968-1987	Uzak geçmiş dönem	Yaşanmış Periyot
1988-2006	Yakın geçmiş dönem	
2007-2024	Güncel dönem	
2025-2050	Yakın gelecek dönem	Gelecek Periyot
2050-2075	Orta gelecek dönem	
2075-2100	Uzak gelecek dönem	

Uzak geçmiş dönem, yakın geçmiş dönem ve güncel dönemi kapsayan yağış ve sıcaklık verileri (1968-2024) Yaşanmış Periyot, iklim projeksiyonlarından elde edilen yakın gelecek dönem, orta gelecek dönem ve uzak gelecek dönem yağış ve sıcaklık verileri (2025-2100) Gelecek Periyot konu başlıkları altında ayrı ayrı değerlendirilecektir.

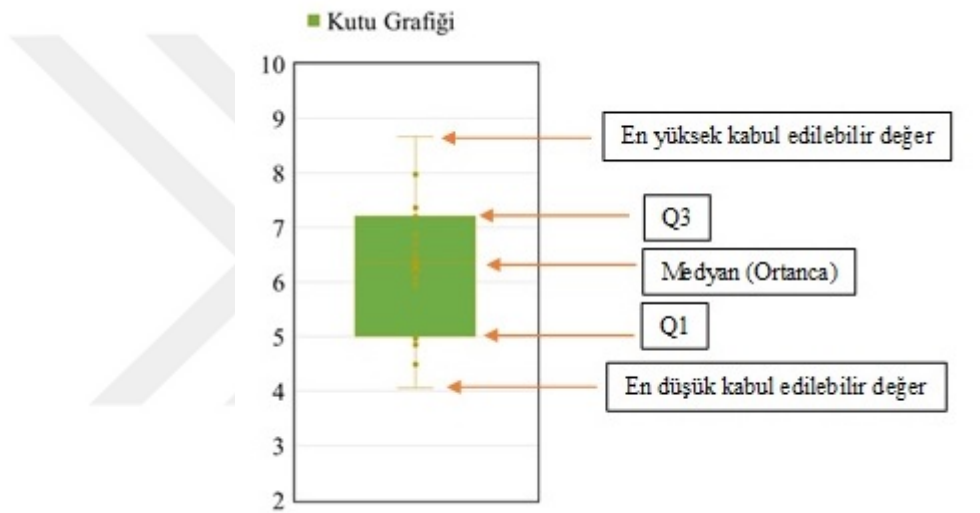
5.3.1. Yaşanmış periyot yağış ve sıcaklık değerlendirilmesi (1968-2024)

Yaşanmış periyotta, 17096 kodlu Erzurum Havalimanı OMGI'nin, yağış ve sıcaklık verileri 1960 yılından itibaren başlamış olmasına rağmen akım verileri ile uyum sağlanabilmesi için yaşanmış periyot olarak 1968 su yılı başlangıç kabul edilerek 1968-2024 su yılları arası yağış ve sıcaklık verileri değerlendirilmiştir. Yağış ve sıcaklık değerlendirmesi yapılırken yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri Çizelge 5.5' te belirtilen tarihsel dönemlere ayrılarak ve kutu grafiği tekniği kullanılarak karşılaştırılmıştır.

5. BULGULAR

Yıllık toplam yağış, bir akarsu havzasında veya belirli bir bölgede, bir su yılı boyunca düşen toplam su miktarını ifade eder. Yıllık ortalama sıcaklık ise belirli bir bölgede veya akarsu havzasında, bir yıl boyunca ölçülen sıcaklık değerlerinin ortalamasıdır.

Kutu grafiği, bir veri setinin istatistiksel dağılımını beş temel bileşen üzerinden görselleştiren çok kullanışlı bir grafik türüdür. Bu bileşenler, en düşük kabul edilebilir değer, Q1 (Birinci çeyrek), medyan (ortanca), Q3 (Üçüncü çeyrek) ve en yüksek kabul edilebilir değerdir. Kutu grafiği bileşenleri ve istatistiksel sınırları Şekil 5.5’te sunulmaktadır.



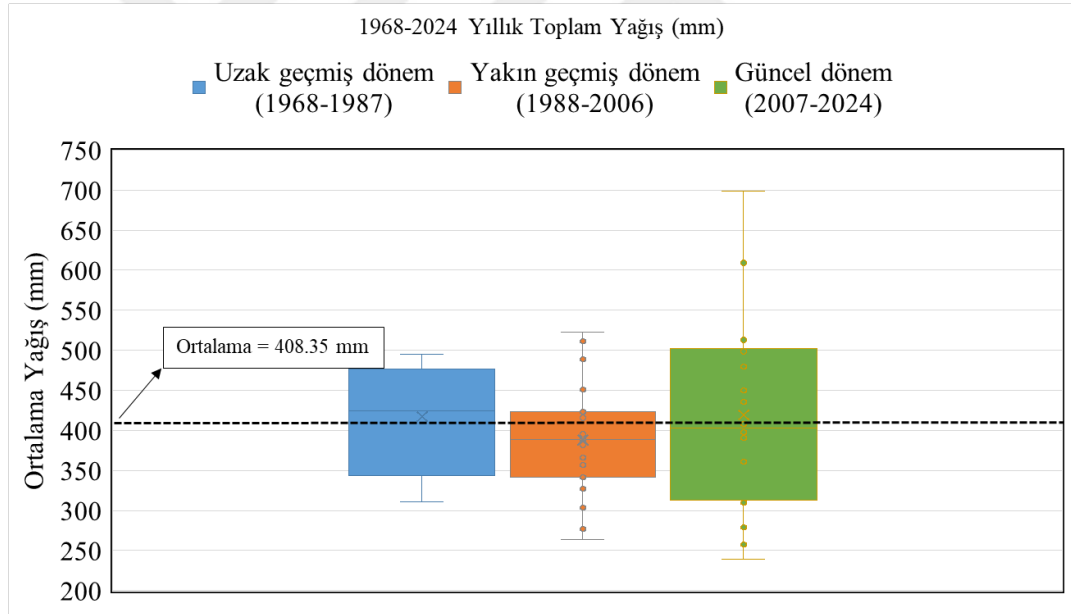
Şekil 5.5 Kutu grafiği bileşenleri ve istatistiksel sınırlar

Kutu grafiğinin temel bileşenlerinin açıklamaları Çizelge 5.6'da sunulmaktadır.

Çizelge 5.6 Kutu grafiği temel bileşenlerinin tanımları

Kutu Grafik Bileşeninin Adı	Kutu Grafik Bileşeninin Tanımı
En düşük kabul edilebilir değer	Veri setinde ki en düşük değerdir.
Q1 (Birinci çeyrek)	Verileri küçükten büyüğe sıraladığımızda, ilk çeyreğin (en düşük %25) başladığı sınırdır.
Medyan (ortanca)	Tüm verileri küçükten büyüğe sıraladığımızda, tam ortada kalan değerdir.
Q3 (Üçüncü çeyrek)	Verileri küçükten büyüğe sıraladığımızda, son çeyreğin (en yüksek %25) başladığı sınırdır.
En yüksek kabul edilebilir değer	Veri setinde ki en yüksek değerdir.

1968-2024 yılları arasında ölçülen yıllık toplam yağış miktarının, Çizelge 5.5'te belirtilen uzak geçmiş (1968-1987), yakın geçmiş (1988-2006) ve güncel (2007-2024) tarihsel dönemlerine göre karşılaştırıldığı kutu grafiği Şekil 5.6' da sunulmaktadır.



Şekil 5.6 1968-2024 yılları arası yıllık toplam yağış miktarlarını 3 farklı tarihsel döneme göre karşılaştırıldığı kutu grafiği

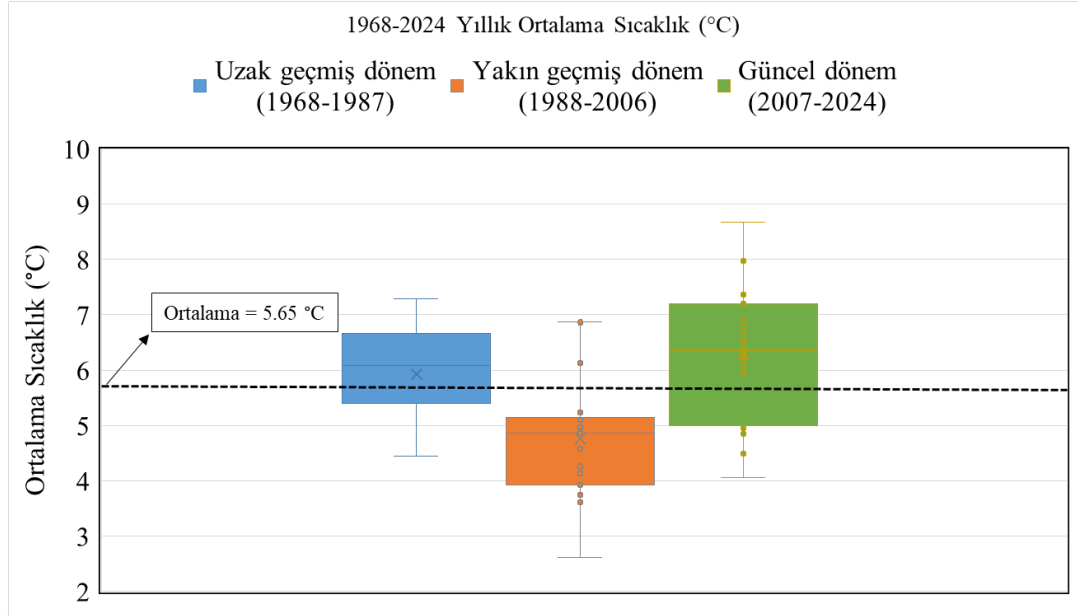
Çizelge 5.5'te belirtilen tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık toplam yağış verilerine ait sayısal bilgiler Çizelge 5.7'de sunulmaktadır.

Çizelge 5.7 Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık toplam yağış verilerine ait sayısal bilgiler

Tarihsel Dönem	Yıllık Toplam Yağış		
	En Düşük	Dönem Ortalaması	En Fazla
Uzak Geçmiş (1968-1987)	310.80 mm	417.42 mm	495.50 mm
Yakın Geçmiş (1988-2006)	263.60 mm	388.17 mm	522.20 mm
Güncel (2007-2024)	239.40 mm	419.57 mm	698.70 mm
Tüm (1968-2024 su yılları arası)	239.40 mm	408.35 mm	698.70 mm

Aritmetik ortalama, bir sayı dizisindeki elemanların toplamının eleman sayısına bölünmesi ile elde edilir. Örnek verilirse, uzak geçmiş dönemdeki (1968-1987) 20 yılın yıllık toplam yağışların toplamı 8348.3 mm'dir. 8348.3'ü dönemdeki yıl sayısı olan 20'ye böldüğümüzde dönemin aritmetik ortalaması 417.42 mm olarak bulunmuş olur.

1968-2024 yılları arasında ölçülen yıllık ortalama sıcaklık verilerinin, Çizelge 5.5'te belirtilen uzak geçmiş (1968-1987), yakın geçmiş (1988-2006) ve güncel (2007-2024) tarihsel dönemlere göre karşılaştırıldığı kutu grafiği Şekil 5.7' de sunulmaktadır.



Şekil 5.7 1968-2024 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklık verilerini 3 farklı tarihsel dönemde karşılaştırıldığı kutu grafiği

Çizelge 5.5'te belirtilen tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık ortalama sıcaklık verilerine ait sayısal bilgiler Çizelge 5.8'de sunulmaktadır.

Çizelge 5.8 Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık ortalama sıcaklık verilerine ait sayısal bilgiler

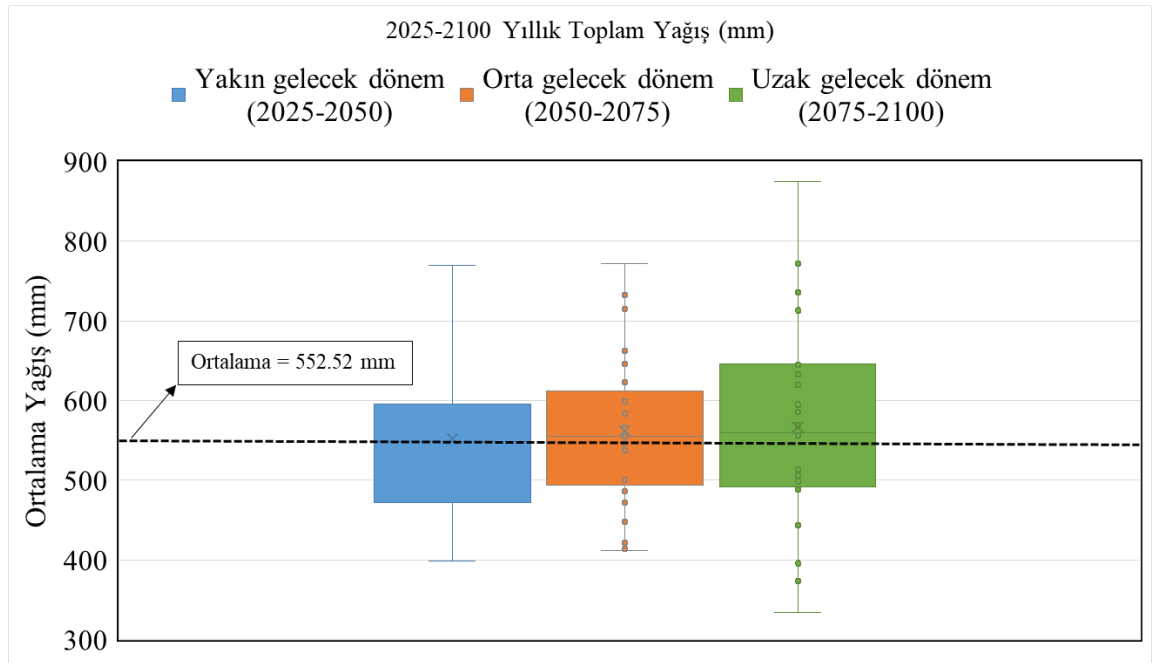
Tarihsel Dönem	Yıllık Ortalama Sıcaklık		
	En Düşük	Dönem Ortalaması	En Fazla
Uzak Geçmiş (1968-1987)	4.44 °C	5.93 °C	7.29 °C
Yakın Geçmiş (1988-2006)	2.62 °C	4.77 °C	6.88 °C
Güncel (2007-2024)	4.06 °C	6.27 °C	8.67 °C
Tüm (1968-2024 su yılları arası)	2.62 °C	5.65 °C	8.67 °C

5.3.2. Gelecek periyot yağış ve sıcaklık değerlendirilmesi (2025-2100)

Gelecek periyot için Ec-Earth3-Veg-LR projeksiyonunun RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için hazırlanan yağış ve sıcaklık verileri 17096 Erzurum Havalimanı OMGI'nin bulunduğu yer için ayrı ayrı indirilerek 2025-2100 su yılları arası yağış ve sıcaklık değerlendirmesi yapılmıştır. Yağış ve sıcaklık değerlendirmesi yapılırken yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri Çizelge 5.5' te belirtilen dönemlere ayrılarak ve kutu grafiği tekniği kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Yıllık toplam yağış, yıllık ortalama sıcaklık ve kutu grafiği ifadelerine ait tanımlamalar bir önceki bölüm olan “5.3.1 Yaşanmış Periyot Yağış ve Sıcaklık Değerlendirilmesi (1968-2024)” başlığı altında yapılmıştır.

RCP 4.5 senaryosuna göre 2025-2100 yılları arasında öngörülen yıllık toplam yağış miktarının, Çizelge 5.5'te belirtilen yakın gelecek (2025-2050), orta gelecek (2050-2075) ve uzak gelecek (2075-2100) tarihsel dönemlerine göre karşılaştırıldığı kutu grafiği Şekil 5.8' de sunulmaktadır.



Şekil 5.8 RCP 4.5 senaryosuna göre 2025-2100 yılları arasındaki yıllık toplam yağış miktarlarını 3 farklı tarihsel döneme göre karşılaştırıldığı kutu grafiği

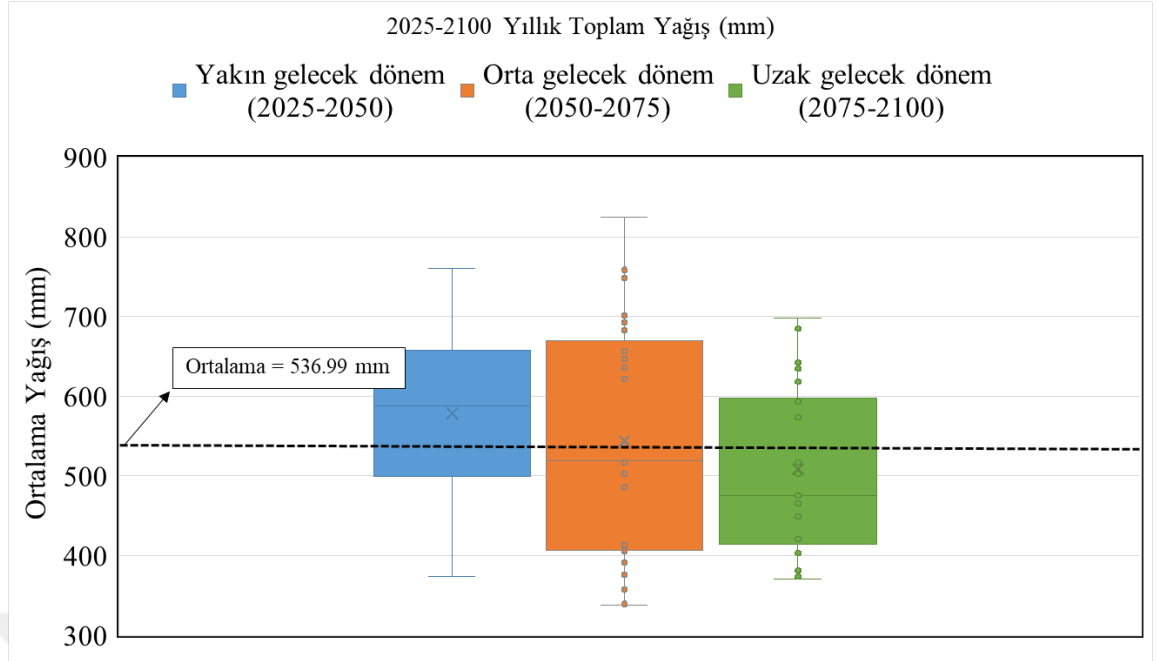
5. BULGULAR

Çizelge 5.5'te belirtilen tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık toplam yağış verilerine (RCP 4.5 senaryosuna göre) ait sayısal bilgiler Çizelge 5.9'da sunulmaktadır.

Çizelge 5.9 Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık toplam yağış verilerine (RCP 4.5 senaryosuna göre) ait sayısal bilgiler

Tarihsel Dönem	Yıllık Toplam Yağış (RCP 4.5)		
	En Düşük	Dönem Ortalaması	En Fazla
Yakın Gelecek (2025-2050)	398.90 mm	551.82 mm	769.65 mm
Orta Gelecek (2050-2075)	411.53 mm	561.51 mm	771.86 mm
Uzak Gelecek (2075-2100)	334.44 mm	566.36 mm	875.27 mm
Tüm (2025-2100 su yılları arası)	334.44 mm	552.52 mm	875.27 mm

RCP 8.5 senaryosuna göre 2025-2100 yılları arasında öngörülen yıllık toplam yağış dağılımları, Çizelge 5.5'te belirtilen yakın gelecek (2025-2050), orta gelecek (2050-2075) ve uzak gelecek (2075-2100) tarihsel dönemlerine göre karşılaştırıldığı kutu grafiği Şekil 5.9' da sunulmaktadır.



Şekil 5.9 RCP 8.5 senaryosuna göre 2025-2100 yılları arasındaki yıllık toplam yağış miktarlarını 3 farklı tarihsel döneme göre karşılaştırıldığı kutu grafiği

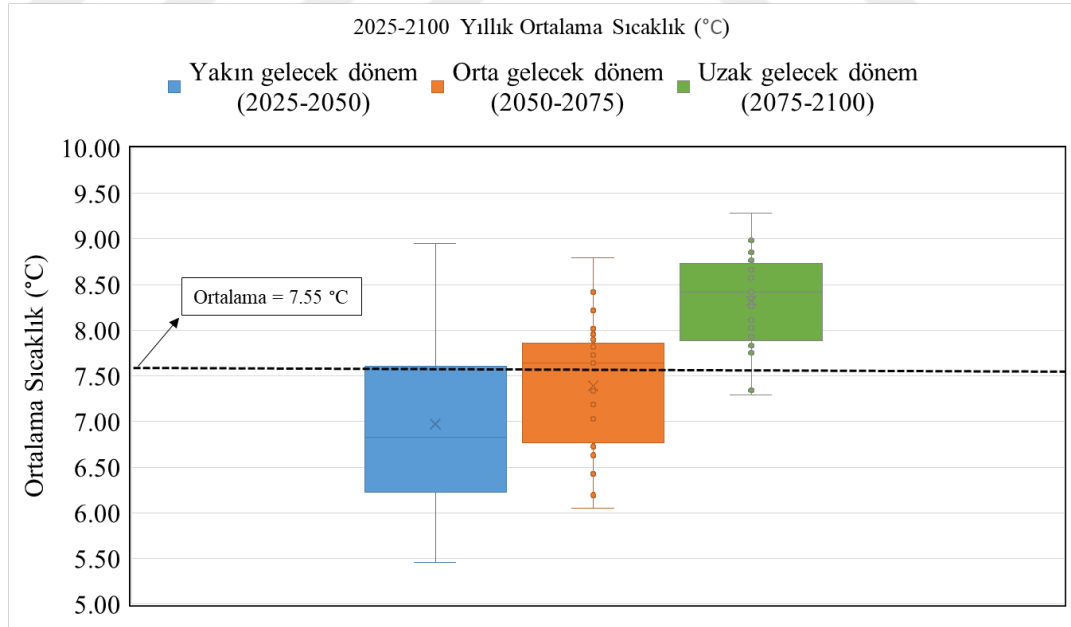
Çizelge 5.5'te belirtilen tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık toplam yağış verilerine (RCP 8.5 senaryosuna göre) ait sayısal bilgiler Çizelge 5.10'da sunulmaktadır.

5. BULGULAR

Çizelge 5.10 Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık toplam yağış verilerine (RCP 8.5 senaryosuna göre) ait sayısal bilgiler

Tarihsel Dönem	Yıllık Toplam Yağış (RCP 8.5)		
	En Düşük	Dönem Ortalaması	En Fazla
Yakın Gelecek (2025-2050)	374.24 mm	578.22 mm	760.35 mm
Orta Gelecek (2050-2075)	337.57 mm	543.95 mm	824.39 mm
Uzak Gelecek (2075-2100)	370.27 mm	508.63 mm	697.84 mm
Tüm (2025-2100 su yılları arası)	337.57 mm	536.99 mm	824.39 mm

RCP 4.5 senaryosuna göre 2025-2100 yılları arasında öngörülen yıllık ortalama sıcaklık dağılımları, Çizelge 5.5'te belirtilen yakın gelecek (2025-2050), orta gelecek (2050-2075) ve uzak gelecek (2075-2100) tarihsel dönemlerine göre karşılaştırıldığı kutu grafiği Şekil 5.10' da sunulmaktadır.



Şekil 5.10 RCP 4.5 senaryosuna göre 2025-2100 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklık verilerinin 3 farklı tarihsel döneme göre karşılaştırıldığı kutu grafiği

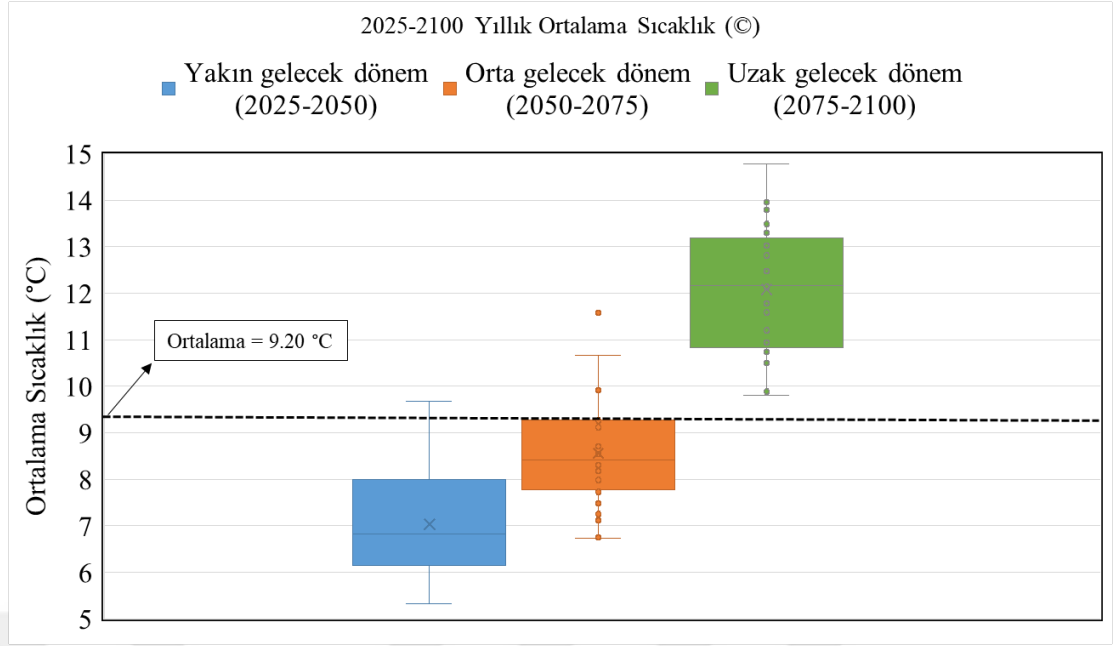
5. BULGULAR

Çizelge 5.5'te belirtilen tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık ortalama sıcaklık verilerine (RCP 4.5 senaryosuna göre) ait sayısal bilgiler Çizelge 5.11'de sunulmaktadır.

Çizelge 5.11 Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık ortalama sıcaklık verilerine (RCP 4.5 senaryosuna göre) ait sayısal bilgiler

Tarihsel Dönem	Yıllık Ortalama Sıcaklık (RCP 4.5)		
	En Düşük	Dönem Ortalaması	En Fazla
Yakın Gelecek (2025-2050)	5.46 °C	6.97 °C	8.95 °C
Orta Gelecek (2050-2075)	6.05 °C	7.39 °C	8.79 °C
Uzak Gelecek (2075-2100)	7.29 °C	8.32 °C	9.28 °C
Tüm (2025-2100 su yılları arası)	5.46 °C	7.55 °C	9.28 °C

RCP 8.5 senaryosuna göre 2025-2100 yılları arasında öngörülen yıllık ortalama sıcaklık dağılımları, Çizelge 5.5'te belirtilen yakın gelecek (2025-2050), orta gelecek (2050-2075) ve uzak gelecek (2075-2100) tarihsel dönemlerine göre karşılaştırıldığı kutu grafiği Şekil 5.11'de sunulmaktadır.



Şekil 5.11 RCP 8.5 senaryosuna göre 2025-2100 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklık verilerinin 3 farklı tarihsel döneme göre karşılaştırıldığı kutu grafiği

Çizelge 5.5'te belirtilen tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık ortalama sıcaklık (RCP 8.5 senaryosuna göre) verilerine ait sayısal bilgiler Çizelge 5.12'de sunulmaktadır.

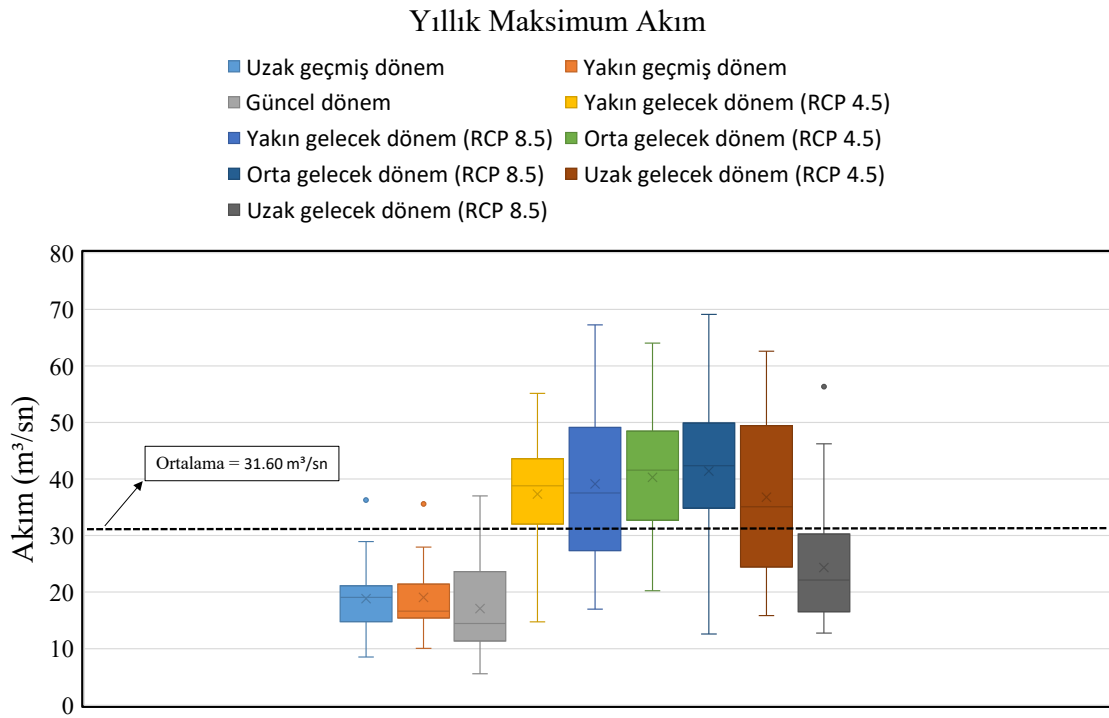
Çizelge 5.12 Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık ortalama sıcaklık (RCP 8.5 senaryosuna göre) verilerine ait sayısal bilgiler

Tarihsel Dönem	Yıllık Ortalama Sıcaklık (RCP 8.5)		
	En Düşük	Dönem Ortalaması	En Fazla
Yakın Gelecek (2025-2050)	5.33 °C	7.03 °C	9.67 °C
Orta Gelecek (2050-2075)	6.73 °C	8.56 °C	11.58 °C
Uzak Gelecek (2075-2100)	9.80 °C	12.09 °C	14.77 °C
Tüm (2025-2100 su yılları arası)	5.33 °C	9.20 °C	14.77 °C

5.4. Gelecek Akım Tahminleri

Bu bölümde hidrolojik modelleme sonucunda elde edilmiş simülasyon akım verileri kullanılarak hazırlanmış ve Çizelge 5.5' te belirtilen dönemlere göre ayrılmış yıllık maksimum akım, yıllık toplam su hacmi ve su yılı içerisinde akımın pik yaptığı günlere ait kutu grafikleri sunulacaktır.

Yıllık maksimum akım, bir su yılı içerisinde meydana gelen en yüksek su akışı değerini ifade eder. 1968-2100 yılları arasında hidrolojik modelleme sonucunda elde edilmiş simülasyon akım verileri kullanılarak hazırlanmış, su yılı içerisinde meydana gelen en yüksek su akışı değeri olan yıllık maksimum akımların, 6 farklı tarihsel döneme göre karşılaştırmalı kutu grafiği Şekil 5.12' de sunulmaktadır.



Şekil 5.12 1968-2100 yılları arasındaki yıllık maksimum akım verilerini 6 farklı tarihsel döneme göre karşılaştıran kutu grafiği

1968 ile 2024 su yılları arası yaşanmış periyot için 1968 -1998 su yılları arası kalibre ve valide edilerek hazırlanmış hidrolojik modellemeye 17096 kodlu Erzurum Havalimanı OMGI'ye ait yağış ve sıcaklık verileri girilmiştir. Hidrolojik modelleme

çıktısı olan simülasyon akım verileri kullanılarak hazırlanmış yıllık maksimum akımlar Çizelge 5.5’ te belirtilen dönemler olan uzak geçmiş (1968-1987), yakın geçmiş (1988-2006) ve güncel dönem (2007-2024) periyotlarına ayrılarak yukarıda bulunan Şekil 5.12’ teki kutu grafikler çizdirilmiştir.

2025 ile 2100 su yılları arası gelecek periyodunda tahmin yürütebilmek için 1968 -1998 su yılları arası kalibre ve valide edilerek hazırlanmış hidrolojik modellemeye Ec-Earth3-Veg-LR projeksiyonun RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için hazırlanan 17096 Erzurum Havalimanı OMGI’nin bulunduğu yer için ayrı ayrı indirilmiş yağış ve sıcaklık verileri girilmiştir. Hidrolojik Modelleme çıktısı olan simülasyon akım verileri kullanılarak hazırlanmış yıllık maksimum akımlar, Çizelge 5.5’ te belirtilen yakın gelecek (2025-2050), orta gelecek (2050-2075) ve uzak gelecek dönem (2075-2100) tarihsel periyotlarına ayrılarak RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre yukarıda bulunan Şekil 5.12’ teki kutu grafikler çizdirilmiştir.

Çizelge 5.5’te belirtilen tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış simülasyon akım verileri kullanılarak hazırlanmış, yıllık maksimum akım verilerine ait sayısal bilgiler Çizelge 5.13’te sunulmaktadır.

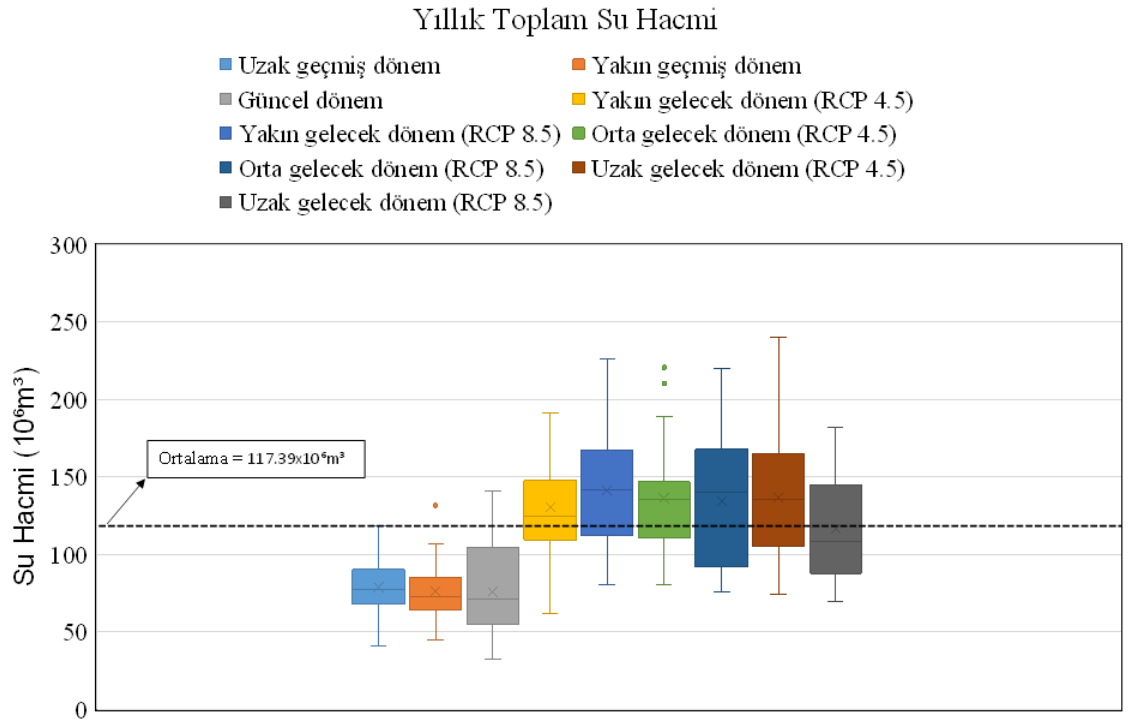
Çizelge 5.13 Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık maksimum akım verilerine ait sayısal bilgiler

Tarihsel Dönem	Yıllık Maksimum Akım		
	En Düşük	Dönem Ortalaması	En Fazla
Uzak Geçmiş (1968-1987)	8.52 m ³ /sn	18.84 m ³ /sn	36.28 m ³ /sn
Yakın Geçmiş (1988-2006)	10.04 m ³ /sn	19.06 m ³ /sn	35.57 m ³ /sn
Güncel (2007-2024)	5.57 m ³ /sn	17.08 m ³ /sn	37 m ³ /sn
Yakın Gelecek (2025-2050) (RCP 4.5)	14.75 m ³ /sn	37.33 m ³ /sn	55.13 m ³ /sn
Yakın Gelecek (2025-2050) (RCP 8.5)	16.98 m ³ /sn	39.13 m ³ /sn	67.24 m ³ /sn
Orta Gelecek (2050-2075) (RCP 4.5)	20.23 m ³ /sn	40.28 m ³ /sn	64.04 m ³ /sn
Orta Gelecek (2050-2075) (RCP 8.5)	12.58 m ³ /sn	41.41 m ³ /sn	69.09 m ³ /sn

5. BULGULAR

Uzak Gelecek (2075-2100) (RCP 4.5)	15.85 m ³ /sn	36.76 m ³ /sn	62.60 m ³ /sn
Uzak Gelecek (2075-2100) (RCP 8.5)	12.74 m ³ /sn	24.33 m ³ /sn	56.31 m ³ /sn
Tüm (1968-2100 su yılları arası)	5.57 m ³ /sn	31.60 m ³ /sn	69.09 m ³ /sn

Yıllık toplam su hacmi, bir akarsu havzasında bir su yılı boyunca akan veya toplanan toplam su miktarını ifade eder. 1968-2100 yılları arasında hidrolojik modelleme sonucunda elde edilmiş simülasyon akım verileri kullanılarak hazırlanmış, bir su yılı boyunca akan veya toplanan toplam su miktarı değeri olan yıllık toplam su hacimlerinin, 6 farklı tarihsel periyoda göre karşılaştırıldığı kutu grafiği Şekil 5.13' te sunulmaktadır.



Şekil 5.13 1968-2100 yılları arasındaki yıllık toplam su hacmi verilerini 6 farklı tarihsel periyoda göre karşılaştıran kutu grafiği

1968 ile 2024 su yılları arası yaşanmış dönem için 1968 -1998 su yılları arası kalibre ve valide edilerek hazırlanmış hidrolojik modellemeye 17096 kodlu Erzurum Havalimanı OMGİ'ye ait yağış ve sıcaklık verileri girilmiştir. Modelleme çıktısı simülasyon akım verileri kullanılarak hazırlanmış yıllık toplam su hacimleri Çizelge 5.5' te belirtilen dönemler olan uzak geçmiş (1968-1987), yakın geçmiş (1988-2006) ve

güncel dönem (2007-2024) periyotlarına ayrılarak yukarıda bulunan Şekil 5.13' teki kutu grafikler çizdirilmiştir.

2025 ile 2100 su yılları arası gelecek periyodunda tahmin yürütebilmek için 1968 -1998 su yılları arası kalibre ve valide edilerek hazırlanmış hidrolojik modellemeye Ec-Earth3-Veg-LR projeksiyonun RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için hazırlanan 17096 Erzurum Havalimanı OMGI'nin bulunduğu yer için ayrı ayrı indirilmiş yağış ve sıcaklık verileri girilmiştir. Hidrolojik Modelleme çıktısı olan simülasyon akım verileri kullanılarak hazırlanmış yıllık toplam su hacimleri, Çizelge 5.5' te belirtilen yakın gelecek (2025-2050), orta gelecek (2050-2075) ve uzak gelecek dönem (2075-2100) tarihsel periyotlarına ayrılarak RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre yukarıda bulunan Şekil 5.13' teki kutu grafikler çizdirilmiştir.

Çizelge 5.5'te belirtilen tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış simülasyon akım verileri kullanılarak hazırlanmış, yıllık su hacmi verilerine ait sayısal bilgiler Çizelge 5.14'te sunulmaktadır.

5. BULGULAR

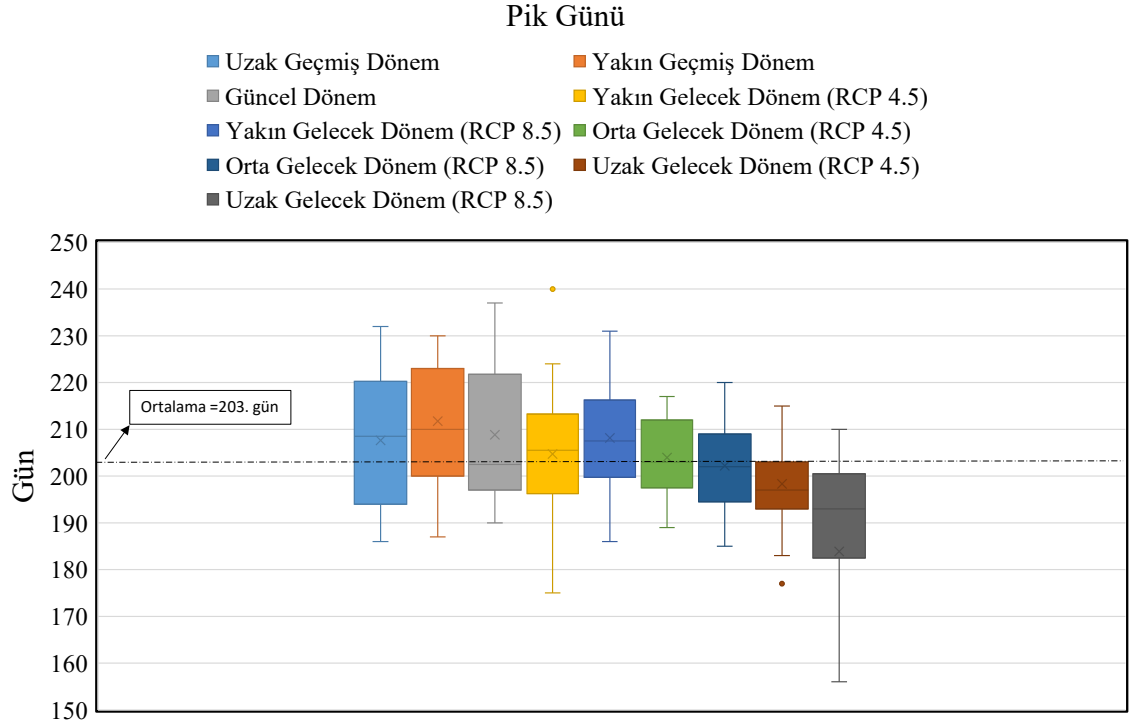
Çizelge 5.14 Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış yıllık su hacmi verilerine ait sayısal bilgiler

Tarihsel Dönem	Yıllık Su Hacmi		
	En Düşük	Dönem Ortalaması	En Fazla
Uzak Geçmiş (1968-1987)	40.99x10 ⁶ m ³	78.79x10 ⁶ m ³	118.01x10 ⁶ m ³
Yakın Geçmiş (1988-2006)	44.86x10 ⁶ m ³	76.23x10 ⁶ m ³	131.5x10 ⁶ m ³
Güncel (2007-2024)	32.25 x10 ⁶ m ³	75.67 x10 ⁶ m ³	140.80x10 ⁶ m ³
Yakın Gelecek (2025-2050) (RCP 4.5)	61.93x10 ⁶ m ³	130.26x10 ⁶ m ³	191.26x10 ⁶ m ³
Yakın Gelecek (2025-2050) (RCP 8.5)	80.09x10 ⁶ m ³	141.43x10 ⁶ m ³	225.72x10 ⁶ m ³
Orta Gelecek (2050-2075) (RCP 4.5)	80.62x10 ⁶ m ³	136.21x10 ⁶ m ³	220.53x10 ⁶ m ³
Orta Gelecek (2050-2075) (RCP 8.5)	75.69x10 ⁶ m ³	134.19x10 ⁶ m ³	219.72x10 ⁶ m ³
Uzak Gelecek (2075-2100) (RCP 4.5)	73.87x10 ⁶ m ³	136.61x10 ⁶ m ³	240.33x10 ⁶ m ³
Uzak Gelecek (2075-2100) (RCP 8.5)	69.30x10 ⁶ m ³	116.67x10 ⁶ m ³	182.30x10 ⁶ m ³
Tüm (1968-2100 su yılları arası)	32.25x10 ⁶ m ³	117.39x10 ⁶ m ³	240.33x10 ⁶ m ³

Hidrolojik modelleme çalışmalarında, akım tahminlerinde hidrografların yükselme zamanlarını ve eğilimlerini yakalamak önemlidir. Bu, akımın en yüksek seviyeye ulaştığı zamanı, yani "pik"ini ifade eder.

Hidrografın pik günü, akımın su yılı içerisindeki en yüksek değerine ulaştığı tarihtir. Örneğin 2024 su yılında simülasyon akım verisinin pik yaptığı tarih 19.04.2024'tür ve her su yılı 1 ekimde başlamaktadır. 2024 su yılı 01.10.2023 tarihinde başlaması nedeniyle 19.04.2024 tarihi 2024 su yılının 201. günü olmaktadır. Bu nedenle 2024 su yılı pik günü 201. gündür.

1968-2100 yılları arasında hidrolojik modelleme sonucunda elde edilmiş simülasyon akım verileri kullanılarak hazırlanmış, pik günlerini 6 farklı tarihsel periyotta karşılaştırıldığı kutu grafiği Şekil 5.14' te sunulmaktadır.



Şekil 5.14 1968-2100 yılları arasındaki su yıllarına ait pik günleri 6 farklı tarihsel periyoda göre karşılaştıran kutu grafiği

1968 ile 2024 su yılları arası yaşanmış dönem için 1968 -1998 su yılları arası kalibre ve valide edilerek hazırlanmış hidrolojik modellemeye 17096 kodlu Erzurum Havalimanı OMGİ'ye ait yağış ve sıcaklık verileri girilmiştir. Modelleme çıktısı olan simülasyon akım verileri kullanılarak hazırlanmış her su yılında akımın pik yaptığı gün Çizelge 5.5' te belirtilen dönemler olan uzak geçmiş (1968-1987), yakın geçmiş (1988-2006) ve güncel dönem (2007-2024) periyotlarına ayrılarak yukarıda bulunan Şekil 5.14' teki kutu grafikler çizdirilmiştir.

2025 ile 2100 su yılları arası gelecek periyodunda tahmin yürütebilmek için 1968 -1998 su yılları arası kalibre ve valide edilerek hazırlanmış hidrolojik modellemeye Ec-Earth3-Veg-LR projeksiyonun RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için hazırlanan 17096 Erzurum Havalimanı OMGİ'nin bulunduğu yer için ayrı ayrı indirilmiş yağış ve sıcaklık verileri girilmiştir. Hidrolojik Modelleme çıktısı olan simülasyon akım verileri kullanılarak hazırlanmış her su yılında akımın pik yaptığı gün, Çizelge 5.5' te belirtilen yakın gelecek (2025-2050), orta gelecek (2050-2075) ve uzak gelecek dönem (2075-2100) tarihsel periyotlarına ayrılarak RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre yukarıda bulunan Şekil 5.14' teki kutu grafikler çizdirilmiştir.

5. BULGULAR

Çizelge 5.5'te belirtilen tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış simülasyon akım verileri kullanılarak hazırlanmış, her su yılında akımın pik yaptığı güne ait sayısal bilgiler Çizelge 5.15'te sunulmaktadır.

Çizelge 5.15 Tarihsel dönemlere ayrılarak en düşük, en fazla ve aritmetik ortalaması alınmış pik günü verilerine ait sayısal bilgiler

Tarihsel Dönem	Pik Günü		
	En Düşük	Dönem Ortalaması	En Fazla
Uzak Geçmiş (1968-1987)	186. gün	208. gün	232. gün
Yakın Geçmiş (1988-2006)	187. gün	211. gün	230. gün
Güncel (2007-2024)	190. gün	208. gün	237. gün
Yakın Gelecek (2025-2050) (RCP 4.5)	175. gün	205. gün	240. gün
Yakın Gelecek (2025-2050) (RCP 8.5)	186. gün	208. gün	231. gün
Orta Gelecek (2050-2075) (RCP 4.5)	189. gün	204. gün	217. gün
Orta Gelecek (2050-2075) (RCP 8.5)	185. gün	202. gün	220. gün
Uzak Gelecek (2075-2100) (RCP 4.5)	177. gün	198. gün	215. gün
Uzak Gelecek (2075-2100) (RCP 8.5)	156. gün	191. gün	210. gün
Tüm (1968-2100 su yılları arası)	156. gün	203. gün	240. gün

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde, tez çalışmasından elde edilen temel sonuçlar kısa ve anlaşılır bir biçimde sunulmuş, bu sonuçlara bağlı olarak bilimsel katkılar ve yenilikler özetlenmiş ve gelecekte yapılacak çalışmalara yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Bu tez çalışması, iklim değişikliğinin Erzurum ili Çat ilçesi sınırları içerisinde yer alan Palandöken Barajı Havzası'nın su potansiyeli üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, havzanın hidrolojik modelini oluşturarak, Dünya İklim Araştırma Programı (WCRP) bünyesindeki Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi (CMIP) kapsamında üretilen iklim projeksiyon verileri ışığında havzanın gelecekteki su potansiyelini tahmin etmektir. Bu çalışma ile barajın, Erzurum ili Aziziye, Palandöken ve Yakutiye ilçelerinin içme suyu ihtiyacını karşılamada ve Sakalikesik Ovası Sulamasına su temininde yeterliliğine dair öngörülerde bulunulması hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında, bir havzanın hidrolojik döngüsünü nicel olarak temsil eden ve dağlık alanlarda kar erimesinden kaynaklanan akışın modellenmesinde sıklıkla tercih edilen **HBV-Light kavramsal ve yarı dağılımlı hidrolojik modeli** kullanılmıştır. Modelin güvenilir sonuçlar üretebilmesi için detaylı veri seçimi ve optimizasyon süreçleri uygulanmıştır. Akım verisi olarak, Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından işletilen Palandöken Barajı Havzası'nda bulunan Tuzla Çayı üzerindeki D21A226 kodlu Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) verileri başlangıçta düşünülmüş olsa da, Palandöken Barajı'nın 2005 yılında su tutmaya başlamasıyla akım rejimlerinde müdahale edildiği ve eksik veriler (1998, 2007, 2008, 2009, 2010 ve 2011 yılları) olduğu anlaşılmıştır. Bu durumun hidrolojik modellemede yanıltıcı sonuçlar verebileceği değerlendirilmiş ve bu nedenle, doğal akım rejimini yansıtan Lezgi Çayı üzerindeki **D21A116 kodlu AGİ'ye ait 1967-1998 yılları arasındaki eksiksiz akım verilerinin kullanılmasına karar verilmiştir.**

Meteorolojik veri olarak ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından sağlanan Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarından (OMGİ) **17096 kodlu Erzurum Havalimanı OMGİ verileri** tercih edilmiştir; çünkü bu istasyon, 1960-2024 yıllarını kapsayan çok geniş ve kesintisiz yağış ve sıcaklık verisi sunmaktadır ve verilerde

modellemeyi etkileyecek ciddi kesintiler bulunmamaktadır. Buharlaşma verisi ise DSİ tarafından Palandöken Barajı Havzası için aylık olarak hesaplanan değerlerden temin edilmiştir.

Kar verileri de MGM ve DSİ tarafından toplanmakta olup, bu tez çalışmasında DSİ 8. Bölge Müdürlüğü tarafından işletilen D21K008 istasyon numaralı Çat Kar Gözlem Noktasına ait 1968-2024 su yılları arasındaki veriler kullanılmıştır.

Hidrolojik modelin performansı, kalibrasyon (1968-1982 su yılları arası) ve validasyon (1983-1998 su yılları arası) periyotlarında sırasıyla **0,77 ve 0,73 Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) değerleri** ile değerlendirilmiştir. Bu yüksek NSE değerleri, modelin bölge hidrolojisini güvenilir bir şekilde temsil ettiğini göstermektedir. Model parametrelerinin belirlenmesi için HBV-Light yazılımı içerisinde bulunan Genetic Algorithm and Powell (GAP) optimizasyonu 100 kez çalıştırılmış ve 43. optimizasyonda elde edilen değerler en başarılı kabul edilerek kullanılmıştır.

Kar erimesinden kaynaklanan akımların modellenmesindeki kritik önemi nedeniyle, kar parametreleri modelleme sürecine etkin bir şekilde dahil edilmiştir. Gözlemlenen Kar Su Eşdeğerleri (KSE) ile modellenen KSE değerleri karşılaştırılmış ve yapılan RMSE (Root Mean Square Error) performans değerlendirmesi sonucunda, hem kalibrasyon hem de validasyon periyodunda **Band 6 (2.650 metre rakım) için ortalamada en az hata** elde edildiği belirlenmiştir. Modellenen ve gözlemlenen KSE değerlerinin uyumlu olması, modelin bölge hidrolojisini güvenilir bir şekilde temsil ettiğini bir kez daha göstermektedir.

Gelecekteki iklim değişikliklerini değerlendirmek amacıyla, uluslararası iklim modelleme projesi olan Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi (CMIP) çerçevesinde hazırlanan **Temsili Konsantrasyon Yolları (RCP) 4,5 ve 8,5 senaryoları** kullanılmıştır. Özellikle, Ec-Earth3-Veg-LR projeksiyon verilerinin 17096 Erzurum Havalimanı OMGİ konumuna ayrı ayrı indirilerek kullanılması, bölgedeki su kaynakları yönetiminin gelecekteki iklim değişiklikleri ışığında daha sağlam temellere oturtulmasına önemli katkı sağlamaktadır.

Çalışmanın bulgularına göre Palandöken Barajı Havzası'nın su potansiyelinde gelecekte önemli değişiklikler beklenmektedir. Yaşanmış periyotta (1968-2024) yıllık toplam yağış ortalaması 408,35 mm iken, gelecek dönemde (2025-2100) RCP 4,5 senaryosuna göre ortalama **552,52 mm** ve RCP 8,5 senaryosuna göre ortalama **536,99 mm** olarak **artış öngörülmektedir**. Yıllık ortalama sıcaklık ise yaşanmış periyotta (1968-2024) 5,65 °C iken, gelecek periyotta (2025-2100) RCP 4,5 senaryosuna göre ortalama **7,55 °C** ve RCP 8,5 senaryosuna göre ortalama **9,20 °C** olarak **önemli bir sıcaklık artışı beklenmektedir**.

Akım değerlerine bakıldığında, güncel tarih döneminde (2007-2024) yıllık maksimum akım ortalaması **17,08 m³/sn** iken, yakın gelecek tarih döneminde (2025-2050) RCP 4,5 senaryosuna göre ortalama **37,33 m³/sn** ve RCP 8,5 senaryosuna göre ortalama **39,13 m³/sn** olarak **önemli bir artış beklenmektedir**. Yıllık toplam su hacminde de benzer bir artış öngörülmüştür; 2007-2024 arası **75,67x10⁶m³** iken, 2025-2050 arasında RCP 4,5 senaryosuna göre ortalama **130,26x10⁶m³** ve RCP 8,5 senaryosuna göre ortalama **141,43x10⁶m³** olarak hesaplanmıştır. Genel olarak 1968-2100 su yılları arası yıllık toplam su hacmi ortalaması 117,39x10⁶m³ olarak hesaplanmıştır. Akımın en yüksek seviyeye ulaştığı pik günlerinin gelecek dönemde daha erkene kayacağı tespit edilmiştir; 2007-2024 arası ortalama **208. gün** iken, 2025-2050 arası RCP 4,5 senaryosuna göre ortalama **205. gün** ve RCP 8,5 senaryosuna göre ortalama **208. gün** olması beklenmektedir.

Elde edilen bu sonuçlar, Palandöken Barajı'nın Erzurum ili içme suyu ve Sakalikesik Ovası'nın ve tarımsal sulama suyu ihtiyacını karşılama potansiyeline yönelik güncel ve bölgesel ölçekte önemli öngörüler sağlamıştır. Gelecek yağış ve akım verilerinde artış öngörülmesi gelecekte beklenen yıllık maksimum akım ve toplam su hacmindeki artışlar, barajın su temini potansiyelinin iklim değişikliği senaryoları altında dahi artabileceğini göstermektedir. Bu durum Palandöken Barajı'nın Erzurum ili içme suyu ve Sakalikesik Ovası'nın ve tarımsal sulama suyu ihtiyacını karşılamada uzun yıllar daha yeterli olacağı sonucunu doğurmaktadır.

Gelecek sıcaklık ortalamalarında artış öngörülmesi, kar erimeleri yıl içerisinde daha erken tarihlerde gerçekleşmesine ve akımın pik yaptığı günlerinin daha erken

olmasına sebebiyet verecektir. Buda su kaynakları yönetimi açısından suyun depolanması ve dağıtımında yeni stratejilerin geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Palandöken Barajı'nın uzun vadeli işletme planlarının, bu tez çalışmasında elde edilen gelecek akım tahminleri ışığında revize edilmesi ve iklim değişikliğine uyum önlemlerinin belirlenmesi önerilmektedir. Özellikle, suyun depolanması ve ani akış artışlarının yönetimi için mevcut altyapının kapasitesi yeniden değerlendirilmelidir. Pik akım günlerinin erkene kayması, tarımsal sulama sezonlarının başlangıcının yeniden gözden geçirilmesini ve ekim takvimlerinin bu değişikliğe göre ayarlanmasını gerektirebilir.

Bu çalışmada kullanılan iklim projeksiyon verileri güncel olmakla birlikte, daha farklı Genel Dolaşım Modelleri (GDM) ve CMIP6 kapsamında daha farklı projeksiyonlar ile gelecekteki CMIP senaryoları kullanılarak benzer hidrolojik modelleme çalışmalarının tekrarlanması, tahminlerin sağlamlığını artıracaktır.

Havza içerisinde daha fazla ve yüksek çözünürlüklü otomatik meteoroloji gözlem istasyonlarının kurulması, modelleme girdilerinin doğruluğunu ve dolayısıyla model performansını daha da iyileştirecektir. Kar erimesi süreçlerinin hidrolojik döngüdeki kritik rolü göz önüne alındığında, kar örtüsü dinamiklerinin uydu verileri ve gelişmiş uzaktan algılama teknikleri kullanılarak daha detaylı izlenmesi ve modelleme çalışmalarına entegre edilmesi gelecek araştırmalar için önem arz etmektedir.

Son olarak, sıcaklık artışlarının buharlaşma üzerindeki etkileri, su kaybı potansiyelini artırabileceğinden, gelecekteki çalışmalarda buharlaşma modellerinin ve arazi örtüsü değişikliklerinin akım rejimi üzerindeki etkilerinin daha ayrıntılı incelenmesi faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Ablak, E., Tuncer Uysal, E. ve Kumanlıoğlu, A. A. 2025. Farklı standartlaştırılmış indis yöntemleri ile Bartın ilinin meteorolojik kuraklıklarının analizi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(1), 382-391.
- Akgül, Ç. M. ve Dino, İ. 2020. Climate change impact assessment in residential buildings utilizing RCP4.5 and RCP8.5 scenarios. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 35(3), 1665-1683.
- Akkol, B. 2016. Improving Runoff Prediction by Data Assimilation in HBV Hydrological Model for Upper Euphrates Basin. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 83, Eskişehir.
- Albostan, A. 2007. Yüksek ve düşük akımların mevsimselliği Orta Fırat Havzası uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilimi ve Teknolojileri Programı, 64, İstanbul.
- Anil, S., Manikanta, V., Pallakury, A.R. 2021. Unravelling the influence of subjectivity on ranking of CMIP6 based climate models: A case study. International Journal of Climatology, 1-19.
- Anonim. 2012. Erzurum Su ve Kanalizasyon İdaresi içmesuyu tanıtım. Erzurum Su ve Kanalizasyon İdaresi, 13, Erzurum.
- Anonymous, 2025. Web Sitesi: <https://qgis.org/>, Erişim Tarihi: 01.12.2024.
- Anonymous, 2025. Web Sitesi: <https://wcrp-cmip.org/>, Erişim Tarihi: 15.05.2025
- Aytaç, A. 2023. Yukarı Fırat Havzası hidroekonomik modelinin geliştirilmesi ve iklim değişikliği adaptasyon stratejilerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 119, Elazığ.
- Bağcı, S.Ç. 2023. The Analysis of Current and Future Climate Projections of Türkiye and the Large-Scale Eastern Mediterranean Black Sea Region in the Coarse and High Resolutions. Doktora Tezi, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Civil Engineering, 116, Ankara.
- Başak, A. 2017. Aşağı Fırat Havzasında bulunan beş ilin kuraklık analizi ve kuraklık indisinin yapay sinir ağları ile tahmini. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 141, Şanlıurfa.
- Bazancir, S. 2021. Kritik Dönem Yöntemleri ile Hazne kapasitesi tayini ve Yukarı Fırat Havzası uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 73, Erzurum.
- Bergström, S. 2006. Experience from applications of the HBV hydrological model from the perspective of prediction in ungauged basins. In: Large Sample Basin Experiments for Hydrological Model Parameterization: Results of the Model Parameter Experiment—MOPEX. IAHS Publ. 307. IAHS Press, 97–107, Wallingford, UK.

- Chou, S.C., Lyra, A., Mourão, C., Dereczynski, C., Pilotto, I., Gomes, J., Bustamante, J., Tavares, P., Silva, A., Rodrigues, D., Campos, D., Chagas, D., Sueiro, G., Siqueira, G., and Marengo, J. 2014. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. *American Journal of Climate Change*, 3, 512–525.
- Cow1 AS. 2015. Development of the Hydrologic Model for the Sava River Basin. In: *Water & Climate Adaptation Plan for the Sava River Basin*. The World Bank, 1-92, Washington DC, USA.
- Dawadi, A., Dotel, J., Aryal, D., Khadka, N., Ghimire, B. 2020. Development of HBV Model and its application in Asian High Mountain Basins. *North American Academic Research*, 3(06), 55-76.
- Demir, E. 2018. Türkiye'nin iklim değişikliği ile mücadelede kullanabileceği iktisadi araçların değerlendirilmesi: Karbon vergileri ve emisyon ticaret sistemleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İklim Değişikliği Anabilim Dalı, 158, İstanbul.
- Ergüven, R. 2022. Küresel iklim değişikliğinin Yukarı Fırat Havzası hidrometeorolojik verileri üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 72, Elazığ.
- Ertaş, M.C. 2014. Dağlık Fırat Havzasında Ensemble Tahmin Sistemine dayalı hidrolojik modelleme. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 118, Eskişehir.
- Ertaş, M.C. 2020. Yukarı Fırat Havzası'nda kar bileşenlerinin ölçülmesi, doğrulanması ve modellenmesi. Doktora Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 152, Eskişehir.
- Ferguglia, O. 2024. Understanding climate mechanisms and future projections using state-of-the-art Earth-system models: a focus on extreme precipitation and hot-spot regions. Doktora Tezi, Università degli Studi di Torino, Scuola di Dottorato, Fizik Anabilim Dalı, 141, Torino.
- Freund, E. R., Abbaspour, K. C. ve Lehmann, A. 2017. Water Resources of the Black Sea Catchment under Future Climate and Landuse Change Projections. *Water*, 9, 598.
- Gaddam, R.K. 2021. Analysis of Temperature extremes in Canadian Cities using CMIP6 Data. Yüksek Lisans Tezi, University of Saskatchewan, College of Graduate and Postdoctoral Studies, Civil, Geological and Environmental Engineering Anabilim Dalı, 274, Saskatoon.
- Gözel, E. 2011. Yukarı Fırat Havzasında kar suyu potansiyelinin dönemsel ve akımların günlük modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 119, Eskişehir.
- Güler, E. 2019. Yukarı Fırat Havzası'ndaki mevsimsel kar erimesinin WRF-ARW Simülasyonu ve uydu verileri kullanılarak incelenmesi: Mart 2004 örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 79, İstanbul.
- Gümüş, B. 2023. Exploring The Impacts Of Climate Change On Extreme Climate Indices In Türkiye: Insights From Statistically Downscaled CMIP6 Models. Yüksek

- Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 128, Ankara.
- Gümüş, V. 2006. Fırat Havzası akımlarının Trend Analizi ile değeriendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 75, Şanlıurfa.
- Güven, L. 2019. Yukarı Fırat Havzasındaki hidrometeorolojik verilerin trend analizi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 172, Erzurum.
- İfşaat, İ. H. 2020. Yapay zekâ yöntemleri ile Fırat Havzası yağış-akış ilişkisinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 187, Şanlıurfa.
- İraz, E. 2021. Fırat Havzasının su ayak izinin hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 89, Batman.
- Jabiyeva, T. ve Gudratzade, Sh. 2025. Use of GIS and UA Techniques in Hydrological Modelling. Norwegian Journal of development of the International Science, 2025(154), 149-153.
- Jansen, K. F., Teuling, A. J., Craig, J. R., Dal Molin, M., Knoben, W. J. M., Parajka, J., Vis, M., and Melsen, L. A. 2021. Mimicry of a Conceptual Hydrological Model (HBV): What's in a Name?. Water Resources Research, 57, e2020WR029143.
- Katipoğlu, O.M. 2020. Fırat Havzası'ndaki meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların analizi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 291, Erzurum.
- Boroujerdy, K. Sima, P., Asanjan, A. A., Chavoshian, A., Hsu, K., Sorooshian, S. 2019. Assessment of seven CMIP5 model precipitation extremes over Iran based on a satellite-based climate data set. Int J Climatol., 1-18.
- Killingtveit, Å. ve Adera, A. G. 2017. Climate Change and impact on Water Resources and Hydropower The case of Vanatori Neamt in the Carpathian region of Romania. Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, 40, Trondheim, Norway.
- Klose, Z., Pavlásek, J., Juras, R. ve Roubínek, J. 2013. Spatial distribution of HBV-ETH model. International Snow Science Workshop Grenoble – Chamonix Mont-Blanc, 2013, 3, Grenoble – Chamonix Mont-Blanc.
- Koday, Z. ve Kaya, G. 2012. Erzurum şehrinin su ihtiyacının karşılanması Palandöken Barajının yeri ve önemi. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 16(2), 285-301.
- Kop, A. 2016. Erzurum Palandöken Baraj Gölü suyunun batık hollow fiber membran mikrofiltasyon yöntemiyle arıtılması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 93, Erzurum.
- Kum, G. 2022. Etkin yağış metotlarının kıyaslaması: Orta Fırat Havzası örneği. Coğrafi Bilimler Dergisi, 20(2), 433-449.

- Medeiros, F. J., Oliveira, C. P., Avila-Diaz, A. 2022. Evaluation of extreme precipitation climate indices and their projected changes for Brazil: From CMIP3 to CMIP6. *Weather and Climate Extremes*, 38, 100511.
- Mohammed, Y. A. 2021. The Transboundary Watercourse Management Under International Law: The Comparative Cases of Tigris-Euphrates and Nile River Basin. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Hukuku Anabilim Dalı, 107, Ankara.
- Nacar, S. 2020. İklim değişikliğinin Doğu Karadeniz Havzası sıcaklık ve yağış parametreleri üzerindeki olası etkilerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 277, Trabzon.
- Nacar, S., Şan, M., Kankal, M., Okkan, U. 2022. Farklı iklim değişikliği senaryoları için Doğu Karadeniz Bölgesindeki meteorolojik kuraklıkların eğilim analizi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(2), 843-856.
- Nazimi, N. 2021. FFNN, ANFIS ve LSTM modelleri kullanarak Fırat Havzası'nın aylık akım tahmini. Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 68, Erzincan.
- Normand, S., Konz, M. ve Merz, J. 2010. An application of the HBV model to the tamor basin in Eastern Nepal. *Journal of Hydrology and Meteorology*, 7(1), 49-58.
- Oh, S.-G., Park, J.-H., Lee, S.-H., and Suh, M.-S. 2014. Assessment of the RegCM4 over East Asia and future precipitation change adapted to the RCP scenarios. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 2913–2927.
- Özcan, O., Bookhagen, B. ve Musaoğlu, N. 2017. Ekstrem Yağış Olaylarının Fırat Havzası'ndaki Hidrolojik Bileşenlerin Yıllar Arası Değişimi Üzerine Etkisi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 26(1), 35-46.
- Özdemir, S., Özkan, K. ve Mert, A. 2020. An ecological perspective on climate change scenarios. *Biological Diversity and Conservation*, 13(3), 361-371.
- Pekkan, E. 2009. Yukarı Fırat havzası'nda kar erimesi sürecinin uydu görüntüsü analizleri ve izleyici teknikleri ile incelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı, 83, Ankara
- Pervin, L., Gan, T. Y., Scheepers, H. ve Islam, M. S. 2021. Application of the HBV model for the future projections of water levels using dynamically downscaled global climate model data. *Journal of Water and Climate Change*, 12(6), 2364-2377.
- Prouse, L. 2022. Evaluating CMIP6 simulations of historical Sahelian precipitation variability and potential links to future projections. Yüksek Lisans Tezi, University of Bristol, School of Geographical Sciences, Global Environmental Challenges Anabilim Dalı, 121, Bristol.
- Ruosteenoja, K. ve Jylhä, K. 2021. Projected climate change in Finland during the 21st century calculated from CMIP6 model simulations. *Geophysica*, 56(1), 39–69.
- Sar, T., Avci, S., Avci, M. 2019. Evaluation of the Vegetation Period According to Climate Change Scenarios: A Case Study in the Inner West Anatolia Subregion of Turkey. *Coğrafya Dergisi – Journal of Geography*, 39(39), 29-39.

- Seddiqe, K. H. 2023. Yukarı Fırat Havzası'nda değişen iklim koşulları altında akımların tahmini için hidrolojik modelleme. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 100, Eskişehir.
- Seibert, J. 1997. Estimation of Parameter Uncertainty in the HBV Model. *Nordic Hydrology*, 28(4/5), 247-262.
- Seibert, J. and Vis, M. J. P. 2012. Teaching hydrological modeling with a user-friendly catchment-runoff-model software package. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 9, 5905–5930.
- Seibert, J. ve Bergström, S. 2022. A retrospective on hydrological catchment modelling based on half a century with the HBV model. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 26, 1371–1388.
- Şengül, S. 2005. Fırat Havzası'nda 2154 numaralı Akım Gözlem İstasyonunun aylık akımlarının stokastik modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 87, Erzurum.
- Şenocak, S. 2011. Kar Erimesi Akış Modelinin (SRM), Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri de kullanılarak dağlık bölgelerde uygulaması ve Erzurum Kırkgöze Havzası örneği. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 172, Erzurum.
- Şorman, A., Taş, E. ve Doğan, Y. O. 2020. Comparison of hydrological models in upper Aras Basin. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(6), 1015-1022.
- Uğurluoğlu, A. 2017. Su havzalarında hidrolojik modelleme: Manyas Gölü Yukarı Havzası uygulaması. Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 136, Ankara.
- Uysal, G., Şensoy, A., Şorman, A. A., Ertaş, M. C. 2021. Kısa dönemli hidrolojik tahmin sistemi uygulaması. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 338-353.
- Üyük, A. 2022. *Platanus orientalis* L. (Doğu Çınarı)'ın CMIP6 İklim Modelleri ile Yayılış Alanlarının Karşılaştırmalı Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, 114, Isparta
- Yamankurt, E. 2010. Harmanlanan uydu görüntülerinin karla kaplı alanlar üzerindeki etkisi ve Türkiye'nin Yukarı Fırat Havzası'nda dönemsel kar potansiyelinin modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 85, Eskişehir.
- Yıldırımlar, O. 2012. Fırat Havzası'nda düşük akımların analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, 61, İstanbul.
- Yıldız, M.S. 2019. Akım kuraklık indeksi yöntemi ile Fırat Havzasının hidrolojik kuraklık analizi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 129, Şanlıurfa.

- Yılmaz, M. 2019. Türkiye Akarsu Havzalarındaki yıllık anlık maksimum akımların trend analizi. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 91, Erzurum.
- Yılmaz, M. 2023. İklim değişikliği altında düşük akımların durağan olmayan frekans analizi. Doktora Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 214, Erzurum.
- Yiğit, Y. ve Çakmak, B. 2018. Fırat Havzası sulama şebekelerinde tarımda su kullanımının değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 13(1), 103-108.
- Yurddaş, K. 2018. Fırat Havzası sıcaklık ve yağışlarında görülen değişim ve eğilimler. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Ana Bilim Dalı, 84, Kahramanmaraş.

