



**İKLİM DEĞİŞİMİNİN ÇORUH VE SEYHAN
HAVZALARINDA SU KAYNAKLARI VE
YÖNETİMİNE ETKİSİ**

Doktora Tezi

Yusuf Oğulcan DOĞAN

Eskişehir 2024

**İKLİM DEĞİŞİMİNİN ÇORUH VE SEYHAN HAVZALARINDA SU
KAYNAKLARI VE YÖNETİMİNE ETKİSİ**

Yusuf Oğulcan DOĞAN

Doktora Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Haziran 2024

Bu tez çalışması YÖK 100/2000 Doktora Bursu ve BAP Komisyonu tarafından kabul edilen 22DRP190 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Yusuf Oğulcan DOĞAN'ın İKLİM DEĞİŞİMİNİN ÇORUH VE SEYHAN HAVZALARINDA SU KAYNAKLARI VE YÖNETİMİNE ETKİSİ başlıklı çalışması 26/06/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye

: Prof. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN

Üye

: Prof. Dr. Nermin ŞARLAK

Üye

: Prof. Dr. Ömer Lütfi ŞEN

Üye

: Doç. Dr. Gökçen UYSAL

Üye

: Doç. Dr. Mehmet Cüneyd DEMİREL

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

26/06/2024

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Doktora ğrencisi Yusuf Oğulcan DOğAN, İKLİM DEğİşİMİNİN ÇORUH VE SEYHAN HAVZALARINDA SU KAYNAKLARI VE YÖNETİMİNE ETKİSİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun grlmştir.

Tez Danişmanı

Prof. Dr. Aynur şENSOY şORMAN

ÖZET

İKLİM DEĞİŞİMİNİN ÇORUH VE SEYHAN HAVZALARINDA SU KAYNAKLARI VE YÖNETİMİNE ETKİSİ

Yusuf Oğulcan DOĞAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2024

Danışman: Prof. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN

İklim değişikliği küresel olarak insanları birçok açıdan olumsuz olarak etkileyen bir süreçtir. Su kaynakları, iklim koşullarına bağlı oldukları ve çeşitli amaçlarla (sulama, hidroelektrik vb.) işletildikleri için en hassas olan değerlerden biridir. Bu çalışmada, Türkiye'deki Çoruh Havzası'nın membası ve Seyhan Havzası'nın ana kollarından biri için iklim değişikliği senaryolarına dayalı olarak gelecekteki kar erimesi akımları ve su kaynaklarının işletilmesi ile hidroelektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. CORDEX-Europe veri tabanı, Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP) 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları altında beş farklı Küresel İklim Modeli'nden (GCM'ler) bir topluluk oluşturmak için kullanılmıştır. İklim veri setlerine bölgesel yanlılık düzeltmeleri uygulanmıştır. Ayrıca Paris İklim Anlaşması kapsamında belirlenen Küresel Isınma Seviyeleri (GWL) ile değerlendirmeler yapılmıştır. HBV-Light modeli, dağlık karla beslenen havzalarda gelecekteki (2020-2099) rezervuar giriş akımlarını tahmin etmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, sıcaklıklarda öngörülen artış ve yağış rejimlerindeki değişimler nedeniyle kar değişkenlerinde ve akımlarda önemli bir azalma olacağını göstermiştir. Aylık senaryo tabanlı Su Kaynakları Değerlendirme ve Planlama (WEAP) modeli ile rezervuar işletmesi yoluyla hidroelektrik üretimleri tahmin etmek için GCM ve GWL kullanılmıştır. Son yıllarda (2076-2099) Çoruh ve Seyhan Havzaları'nın membasında hidroelektrik üretiminin sırasıyla %4-9 ve %10-35 oranında azalacağı öngörülmüştür. Bununla birlikte, iklim değişikliği etkilerine maruz kalan ve buna karşı önlem alınması gereken rezervuarların işletme stratejilerinin yeniden gözden geçirilmesi için dört alternatif yönetim senaryosu da değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: İklim değişimi, Dağlık havzalar, Hidrolojik model, Rezervuar işletmesi, Hidroelektrik üretimi.

ABSTRACT

CLIMATE CHANGE IMPACT ON WATER RESOURCES AND MANAGEMENT IN CORUH AND SEYHAN BASINS

Yusuf Oğulcan DOĞAN

Department of Civil Engineering

Programme in Hydraulic

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, June 2024

Supervisor: Prof. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN

Climate change is a process that adversely affects people globally in many aspects. Water resources are one of the most vulnerable since they depend on climatic conditions and are operated for various purposes (irrigation, hydropower, etc.). In this study, future snowmelt runoff and operation of the water resources together with hydropower production were performed based on climate change scenarios for the upstream of Coruh Basin and one of the main tributaries of Seyhan Basin in Türkiye. The CORDEX-Europe database was employed to generate an ensemble of five different Global Climate Models (GCMs) under the Representative Concentration Pathways (RCP) 4.5 and RCP 8.5 scenarios. Climate data sets were adjusted for local bias corrections. Furthermore, evaluations were conducted with the Global Warming Levels (GWL) established within the scope of the Paris Climate Agreement. The HBV-Light model was used to predict future (2020-2099) reservoir inflows in mountainous snow-fed catchments. The results indicated a significant decrease in snow variables and inflows due to the projected increase in temperatures and changes in precipitation patterns. An ensemble of GCMs and GWL was used to estimate hydropower generation through reservoir operations with the monthly scenario-based Water Resources Assessment and Planning (WEAP) model. It is predicted that hydropower generation will decrease by 4-9% and 10-35% in the upstream of Çoruh and Seyhan Basins, respectively, over the last decades (2076-2099). In addition, four alternative management scenarios were also evaluated for revisiting the operational strategies of reservoirs that are exposed to climate change impacts and require measures to be taken against it.

Keywords: Climate change, Mountainous basins, Hydrological Model, Reservoir operation, Hydropower generation.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında katkı ve desteklerini esirgemeyen birçok kişiye teşekkürlerimi sunmak istiyorum.

Öncelikle, lisans eğitimimden doktora kadar olan sürecimde hep yanımda olan, her türlü zorluğa karşı akılcı çözümler üreten, yaptığım işi bana sevdiren, daima bilim ışığında ilerleyen, yol göstericiliği ve bütün emekleri için saygıdeğer hocalarımdan başta danışmanım Prof. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN olmak üzere Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmasını başından sonuna kadar takip eden, önemli katkılar sunan ve çalışma disiplini örnek aldığım değerli tez izleme komitesi üyelerinden başta Doç. Dr. Gökçen UYSAL'a ve Prof. Dr. Ömer Lütfi ŞEN'e çok teşekkür ederim.

Her koşulda yanımda olan, düştüğümde beni kaldıran, sabırla ve sevgiyle hep destekçim olan, hayatıma anlam katan ve varlığından güç aldığım kıymetli eşim Fatma YAPICI DOĞAN'a ve onun değerli ailesine çok teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük emeği olan, hayatımın her anında desteğini hissettiğim, varlığı ile güç aldığım canım babama; yardımseverliği, dürüstlüğü ve sonsuz sevgiyi öğreten, hayatımda her daim yanımda olan ve şimdi birer melek olarak iki yanımda olmaya devam eden canım annem ve canım kardeşime çok teşekkür ederim.

Desteklerini her zaman hissettiğim, hep yanımda olan, sevgili büyük aileme çok teşekkür ederim.

Hayatımdaki en büyük iyi kilerimden olan, sevgisi tarif edilemez canım köpeğim Hera'ma çok teşekkür ederim.

Yusuf Oğulcan DOĞAN

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

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

Yusuf Oğulcan DOĞAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XXI
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Konusu.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Çalışmanın İçeriği	3
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	5
2.1. İklim Değişikliği Etkileri	5
2.2. İklim Değişikliğinin Su Kaynakları ve Hidroelektrik Enerji Üretimi Üzerindeki Etkisi.....	7
2.3. Uygulama Alanlarına ait Çalışmalar ve Tezin Literatürdeki Yeri	11
3. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ ANALİZİ	14
3.1. Çoruh Havzası.....	14
3.1.1. Peterek havzasının karakterizasyonu.....	15
3.1.1.1. Alt havzalar	17
3.2. Seyhan Havzası.....	18
3.2.1. Göksu havzasının karakterizasyonu.....	19

3.2.1.1. Alt havzalar	21
3.3. Topografik Çalışmalar.....	22
3.4. Hidro-Meteorolojik Veri Analizi	23
3.4.1. Peterek havzası	23
3.4.1.1. Yağış	25
3.4.1.2. Sıcaklık.....	27
3.4.1.3. Akım	29
3.4.2. Göksu havzası	30
3.4.2.1. Yağış	31
3.4.2.2. Sıcaklık.....	33
3.4.2.3. Akım	35
3.5. Karla Kaplı Alan Verisi.....	36
3.5.1. IMS (Interactive multisensor snow and ice mapping system).....	37
3.6. İklim Projeksiyonları	38
3.7. Baraj ve HES'lerin Fiziksel Özellikleri ve Net Buharlaşma Verileri.....	40
3.7.1. Peterek havzası	40
3.7.2. Göksu havzası	43
3.8. Su Kullanımları ve Su Transferleri.....	46
3.8.1. Peterek havzası	46
3.8.1.1. Tarımsal su kullanımı.....	46
3.8.1.2. İçme ve kullanma suyu kullanımı.....	48
3.8.1.3. Su transferi.....	51
3.8.2. Göksu havzası	52
3.8.2.1. Tarımsal su kullanımı.....	52
3.8.2.2. Termik santral su kullanımı.....	54
3.9. Çevresel Akış	54
3.9.1. Peterek havzası	54
3.9.2. Göksu havzası	56
4. METODOLOJİ.....	58
4.1. İklim Projeksiyonları.....	59
4.1.1. İklim projeksiyonlarının yanlılık düzeltmesi.....	59
4.1.2. Küresel ısınma hedefleri (GWL).....	60

4.1.3. Mann-Kendall trend analizi	61
4.2. Karla Kaplı Alan Analizleri	61
4.3. Hidrolojik Modelleme	61
4.3.1. HBV-Light modeli	62
4.3.1.1. Kar modülü	63
4.3.1.2. Toprak nemi modülü	64
4.3.1.3. Akım modülü	64
4.3.1.4. Öteleme modülü	65
4.3.2. HBV-Light modelinin kurulması ve kalibrasyonu	65
4.4. Baraj İşletme Çalışmaları	68
4.4.1. WEAP modeli	68
4.4.2. Debi süreklilik eğrisi	69
5. ÇALIŞMANIN SONUÇLARI	70
5.1. İklim Projeksiyonu Çıktılarının Değerlendirilmesi	70
5.1.1. İklim projeksiyonlarının yanlışlık düzeltmesi	70
5.1.2. İklim projeksiyonlarının trend analizleri	72
5.1.3. Yağış projeksiyonları	77
5.1.4. Sıcaklık projeksiyonları	86
5.2. Hidrolojik Modelleme Sonuçları	95
5.2.1. Mevcut dönem sonuçları	95
5.2.1.1. Karla kaplı alan sonuçları	95
5.2.1.2. Akım sonuçları	100
5.2.2. Gelecek dönem sonuçları	104
5.2.2.1. Karla kaplı alan projeksiyonları	104
5.2.2.2. Kar su eşdeğeri projeksiyonları	120
5.2.2.3. Akım projeksiyonları	126
5.3. Baraj İşletme Çalışması Sonuçları	143
5.3.1. Mevcut dönem sonuçları	146
5.3.1.1. Peterek havzası	146
5.3.1.2. Göksu havzası	147
5.3.2. Gelecek dönem sonuçları	148
5.3.2.1. WEAP modelinde kullanılan işletme senaryoları	148

5.3.2.2. <i>Peterek havzası</i>	150
5.3.2.3. <i>Göksu havzası</i>	169
6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER	187
6.1. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	187
6.2. Gelecek Çalışmalar için Öneriler	194
KAYNAKÇA.....	196
ÖZGEÇMİŞ	



TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Peterek Havzası'nın karakteristik dağılımları.....	16
Tablo 3.2. Peterek Havzası alt havzaları	17
Tablo 3.3. Göksu Havzası'nın karakteristik dağılımları	20
Tablo 3.4. Göksu Havzası alt havzaları	21
Tablo 3.5. Peterek ve Göksu Havzası yükseklik zonları tablosu	23
Tablo 3.6. Peterek Havzası'nda ve yakın çevresindeki MGİ.....	24
Tablo 3.7. Göksu Havzası'nda ve yakın çevresindeki MGİ	30
Tablo 3.8. CORDEX-Europe veri tabanından yağış ve sıcaklık (maksimum ve minimum) için elde edilen modeller ve senaryolar.....	40
Tablo 3.9. Peterek Havzası'ndaki su yapılarına ait fiziksel özellikler (DSİ, 2018).....	41
Tablo 3.10. Göksu Havzası'ndaki su yapılarına ait fiziksel özellikler (DSİ, 2014)	43
Tablo 3.11. Peterek Havzası'nda bulunan iller ve alanları	49
Tablo 3.12. Peterek Havzası'nın nüfusu ile içme ve kullanma suyu kaynakları	50
Tablo 4.1. HBV-Light modelinin kullandığı parametreler ve değer aralıkları	67
Tablo 5.1. Ham ve düzeltilmiş iklim veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (R^2)	72
Tablo 5.2. Peterek Havzası alt havzalarına ait gelecek dönem toplam yağışların eğilimleri (2020-2099)	73
Tablo 5.3. Peterek Havzası alt havzalarına ait gelecek dönem ortalama sıcaklık eğilimleri (2020-2099)	73
Tablo 5.4. Göksu Havzası alt havzalarına ait gelecek dönem toplam yağışların eğilimleri (2020-2099)	74
Tablo 5.5. Göksu Havzası alt havzalarına ait gelecek dönem ortalama sıcaklık eğilimleri (2020-2099)	74
Tablo 5.6. Peterek Havzası'na ait gelecek dönem ortalama sıcaklık eğilimleri (2020-2099).....	75
Tablo 5.7. Göksu Havzası'na ait gelecek dönem ortalama sıcaklık eğilimleri (2020-2099).....	76
Tablo 5.8. Peterek Havzası alt havzalarına ait dönemlere göre yağış değişimleri (%).....	79

Tablo 5.9. Göksu Havzası alt havzalarına ait dönemlere göre yağış değişimleri (%).....	79
Tablo 5.10. Peterek ve Göksu Havzaları'nın dönemlere göre yağış değişimleri (%).....	81
Tablo 5.11. Peterek Havzası alt havzalarına ait dönemlere göre ortalama sıcaklık değişimleri (°C).....	88
Tablo 5.12. Göksu Havzası alt havzalarına ait dönemlere göre ortalama sıcaklık değişimleri (°C).....	88
Tablo 5.13. Peterek ve Göksu Havzaları'nın dönemlere göre sıcaklık değişimleri (°C).....	90
Tablo 5.14. Peterek Havzası HBV-Light model sonuçları	101
Tablo 5.15. Göksu Havzası HBV-Light model sonuçları	101
Tablo 5.16. Peterek Havzası alt havzalarına ait dönemlere göre KKA değişimleri (%).....	106
Tablo 5.17. Peterek Havzası'na ait dönemlere göre KKA değişimleri (%).....	109
Tablo 5.18. Göksu Havzası alt havzalarına ait dönemlere göre KKA değişimleri (%).....	114
Tablo 5.19. Göksu Havzası'na ait dönemlere göre KKA değişimleri (%)	118
Tablo 5.20. Peterek Havzası'na ait dönemlere göre KSE değişimleri (%).....	121
Tablo 5.21. Göksu Havzası'na ait dönemlere göre KSE değişimleri (%)	124
Tablo 5.22. Peterek Havzası alt havzalarına ait dönemlere göre akım değişimleri (%).....	128
Tablo 5.23. Peterek Havzası'na ait dönemlere göre akım değişimleri (%)	131
Tablo 5.24. Göksu Havzası alt havzalarına ait dönemlere göre akım değişimleri (%).....	136
Tablo 5.25. Göksu Havzası'na ait dönemlere göre akım değişimleri (%).....	139
Tablo 5.26. Peterek Havzası'ndaki HES'lerin model simülasyonları ile gerçek hidroelektrik üretimlerinin karşılaştırma sonuçları (2014-2017).....	146
Tablo 5.27. Göksu Havzası'ndaki HES'lerin model simülasyonları ile gerçek hidroelektrik üretimlerinin karşılaştırma sonuçları (2014-2017).....	147
Tablo 5.28. Peterek Havzası 30 yıllık dönemlere göre elektrik enerjisi karşılanan kişi sayısı değişimleri.....	169

Tablo 5.29. Göksu Havzası 30 yıllık dönemlere göre elektrik enerjisi karşılanan kişi sayısı değişimleri.....	186
--	-----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Peterek Havzası'nın konumu.....	15
Şekil 3.2. Peterek Havzası karakteristik haritaları (a) yükseklik, (b) eğim, (c) bakı, (d) arazi kullanımı)	17
Şekil 3.3. Peterek Havzası alt havzaları	18
Şekil 3.4. Göksu Havzası'nın konumu	19
Şekil 3.5. Göksu Havzası karakteristik haritaları (a) yükseklik, (b) eğim, (c) bakı, (d) arazi kullanımı)	21
Şekil 3.6. Göksu Havzası alt havzaları	22
Şekil 3.7. Peterek Havzası ve çevresindeki hidro-meteorolojik istasyonların konumları	24
Şekil 3.8. Peterek Havzası alt havzalarının yıllık toplam yağışları	25
Şekil 3.9. Peterek Havzası uzun yıllar ortalama yağış dağılımı	26
Şekil 3.10. Peterek Havzası alt havzalarının aylık ortalama toplam yağışları	26
Şekil 3.11. Peterek Havzası alt havzalarının yıllık ortalama sıcaklıkları	27
Şekil 3.12. Peterek Havzası uzun yıllar ortalama sıcaklık dağılımı	28
Şekil 3.13. Peterek Havzası alt havzalarının aylık ortalama sıcaklıkları.....	28
Şekil 3.14. Peterek Havzası alt havzalarının yıllık ortalama akımları.....	29
Şekil 3.15. Peterek Havzası alt havzalarının aylık ortalama akımları	30
Şekil 3.16. Göksu Havzası ve çevresindeki hidro-meteorolojik istasyonların konumları	31
Şekil 3.17. Göksu Havzası alt havzalarının yıllık toplam yağışları.....	32
Şekil 3.18. Göksu Havzası uzun yıllar ortalama yağış dağılımı.....	32
Şekil 3.19. Göksu Havzası alt havzalarının aylık ortalama toplam yağışları	33
Şekil 3.20. Göksu Havzası alt havzalarının yıllık ortalama sıcaklıkları.....	34
Şekil 3.21. Göksu Havzası uzun yıllar ortalama sıcaklık dağılımı.....	34
Şekil 3.22. Göksu Havzası alt havzalarının aylık ortalama sıcaklıkları	35
Şekil 3.23. Göksu Havzası alt havzalarının yıllık ortalama akımları	36
Şekil 3.24. Göksu Havzası alt havzalarının aylık ortalama akımları.....	36
Şekil 3.25. CORDEX Avrupa Bölgesi (http-4)	39
Şekil 3.26. Arkun barajı ve HES'in WEAP modeline girilen hacim-yükseklik eğrisi.....	42

Şekil 3.27. Peterek Havzası'ndaki depolama tesislerinin uzun yıllar aylık ortalama net buharlaşma değerleri	42
Şekil 3.28. Peterek Havzası'ndaki depolama tesislerinin yıllık toplam net buharlaşma değerleri	43
Şekil 3.29. Havzalardaki su yapılarının şematik haritası.....	44
Şekil 3.30. Köprü barajı ve HES'in WEAP modeline girilen hacim-yükseklik eğrisi.....	45
Şekil 3.31. Göksu Havzası'ndaki depolama tesislerinin uzun yıllar aylık ortalama net buharlaşma değerleri	45
Şekil 3.32. Göksu Havzası'ndaki depolama tesislerinin yıllık toplam net buharlaşma değerleri	46
Şekil 3.33. Peterek Havzası'ndaki sulama alanları (DSİ, 2018)	47
Şekil 3.34. Peterek Havzası'ndaki tarımsal su ihtiyaçları	48
Şekil 3.35. Peterek Havzası'ndaki iller ve ilçelerin gösterimi	49
Şekil 3.36. Peterek Havzası'ndaki içme ve kullanma suyu tüketimleri	51
Şekil 3.37. Peterek Havzası'ndaki su transferi	52
Şekil 3.38. Göksu Havzası'ndaki sulama alanları (DSİ, 2014).....	53
Şekil 3.39. Göksu Havzası'ndaki tarımsal su ihtiyaçları.....	54
Şekil 3.40. Peterek Havzası'ndaki uzun yıllar çevresel akış ihtiyaçları	56
Şekil 3.41. Göksu Havzası'ndaki uzun yıllar çevresel akış ihtiyaçları	57
Şekil 4.1. Metodoloji akış şeması	58
Şekil 4.2. HBV-Light modelinin ana yapısı (Seibert ve Vis, 2012).....	63
Şekil 5.1. 1971-2005 referans dönemi gözlenmiş, modellenmiş ve yanlılığı düzeltilmiş sıcaklık değerleri	70
Şekil 5.2. 1971-2005 referans dönemi gözlenmiş, modellenmiş ve yanlılığı düzeltilmiş yağış değerleri	71
Şekil 5.3. Peterek Havzası gelecek dönemler için yıllık toplam yağış ve ortalama sıcaklık eğilim grafiği	76
Şekil 5.4. Göksu Havzası gelecek dönemler için yıllık toplam yağış ve ortalama sıcaklık eğilim grafiği	76
Şekil 5.5. Peterek ve Göksu Havzası alt havzalarının 2020-2099 dönemi yıllık ortalama toplam yağış değerleri (a) AH:1, b) AH-2, c) AH-3)	78
Şekil 5.6. Peterek Havzası dönemlere göre yağış değişimleri.....	80

Şekil 5.7. Göksu Havzası dönemlere göre yağış değişimleri	80
Şekil 5.8. Peterek ve Göksu Havzası dönemlere göre ensemble yağış değişimleri haritası.....	82
Şekil 5.9. Peterek Havzası dönemlere göre özet yağış değişimleri	83
Şekil 5.10. Göksu Havzası dönemlere göre özet yağış değişimleri.....	84
Şekil 5.11. Peterek Havzası dönemlere göre mevsimlik yağış değişimleri.....	85
Şekil 5.12. Göksu Havzası dönemlere göre mevsimlik yağış değişimleri	85
Şekil 5.13. Peterek ve Göksu Havzası alt havzalarının 2020-2099 dönemi yıllık ortalama sıcaklık değerleri (a) AH:1, b) AH-2, c) AH-3).....	87
Şekil 5.14. Peterek Havzası dönemlere göre sıcaklık değişimleri.....	89
Şekil 5.15. Göksu Havzası dönemlere göre sıcaklık değişimleri	89
Şekil 5.16. Peterek ve Göksu Havzası dönemlere göre ensemble sıcaklık değişimleri haritası.....	91
Şekil 5.17. Peterek Havzası dönemlere göre özet sıcaklık değişimleri	92
Şekil 5.18. Göksu Havzası dönemlere göre özet sıcaklık değişimleri.....	93
Şekil 5.19. Peterek Havzası dönemlere göre mevsimlik sıcaklık değişimleri.....	94
Şekil 5.20. Göksu Havzası dönemlere göre mevsimlik sıcaklık değişimleri	94
Şekil 5.21. Peterek Havzası 20 Mart 2009 kar örtüsü	95
Şekil 5.22. Göksu Havzası 20 Mart 2009 kar örtüsü.....	96
Şekil 5.23. Peterek Havzası ve alt havzalarının uzun yıllar KKA ortalamaları (2000-2011).....	96
Şekil 5.24. Peterek Havzası uydu-model KKA karşılaştırması (2000-2011).....	97
Şekil 5.25. Göksu Havzası ve alt havzalarının uzun yıllar KKA ortalamaları (2000-2011).....	98
Şekil 5.26. Göksu Havzası uydu-model KKA karşılaştırması (2000-2011)	99
Şekil 5.27. Peterek Havzası alt havzalarına ait kalibrasyon ve validasyon-1 dönemi model sonuçları	102
Şekil 5.28. Göksu Havzası alt havzalarına ait kalibrasyon ve validasyon-1 dönemi model sonuçları	103
Şekil 5.29. Bayburt alt havzası dönemlere göre KKA değişimleri	104
Şekil 5.30. İspir alt havzası dönemlere göre KKA değişimleri	105
Şekil 5.31. Peterek alt havzası dönemlere göre KKA değişimleri	105

Şekil 5.32. Bayburt alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KKA	
ortalamları	107
Şekil 5.33. İspir alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KKA ortalamları	107
Şekil 5.34. Peterek alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KKA	
ortalamları	108
Şekil 5.35. Peterek Havzası dönemlere göre KKA değişimleri	109
Şekil 5.36. Peterek Havzası dönemlere göre ensemble KKA değişim haritası.....	110
Şekil 5.37. Peterek Havzası dönemlere göre özet KKA değişimleri.....	111
Şekil 5.38. Peterek Havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KKA değişim	
ortalamları	111
Şekil 5.39. Çukurkışla alt havzası dönemlere göre KKA değişimleri.....	113
Şekil 5.40. Himmetli alt havzası dönemlere göre KKA değişimleri.....	113
Şekil 5.41. Gökdere alt havzası dönemlere göre KKA değişimleri.....	114
Şekil 5.42. Çukurkışla alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KKA	
ortalamları	115
Şekil 5.43. Himmetli alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KKA	
ortalamları	116
Şekil 5.44. Gökdere alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KKA	
ortalamları	116
Şekil 5.45. Göksu Havzası dönemlere göre KKA değişimleri.....	117
Şekil 5.46. Göksu Havzası dönemlere göre ensemble KKA değişim haritası	118
Şekil 5.47. Göksu Havzası dönemlere göre özet KKA değişimleri	119
Şekil 5.48. Göksu Havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KKA değişim	
ortalamları	120
Şekil 5.49. Peterek Havzası dönemlere göre KSE değişimleri.....	121
Şekil 5.50. Peterek Havzası dönemlere göre özet KSE değişimleri.....	122
Şekil 5.51. Peterek Havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KSE değişim	
ortalamları	123
Şekil 5.52. Göksu Havzası dönemlere göre KSE değişimleri	124
Şekil 5.53. Göksu Havzası dönemlere göre özet KSE değişimleri	125
Şekil 5.54. Göksu Havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KSE değişim	
ortalamları	125
Şekil 5.55. Bayburt alt havzası dönemlere göre akım değişimleri	127

Şekil 5.56. İspir alt havzası dönemlere göre akım değişimleri.....	127
Şekil 5.57. Peterek alt havzası dönemlere göre akım değişimleri	128
Şekil 5.58. Bayburt alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük akım ortalamaları	129
Şekil 5.59. İspir alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük akım ortalamaları	130
Şekil 5.60. Peterek alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük akım ortalamaları	130
Şekil 5.61. Peterek Havzası dönemlere göre akım değişimleri	131
Şekil 5.62. Peterek Havzası dönemlere göre ensemble akım değişim haritası.....	132
Şekil 5.63. Peterek Havzası dönemlere göre özet akım değişimleri	133
Şekil 5.64. Peterek Havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük akım ortalamaları.....	133
Şekil 5.65. Çukurkışla alt havzası dönemlere göre akım değişimleri	135
Şekil 5.66. Himmetli alt havzası dönemlere göre akım değişimleri.....	135
Şekil 5.67. Gökdere alt havzası dönemlere göre akım değişimleri	136
Şekil 5.68. Çukurkışla alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük akım ortalamaları	137
Şekil 5.69. Himmetli alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük akım ortalamaları	138
Şekil 5.70. Gökdere alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük akım ortalamaları	138
Şekil 5.71. Göksu Havzası dönemlere göre akım değişimleri.....	139
Şekil 5.72. Göksu Havzası dönemlere göre ensemble akım değişim haritası	140
Şekil 5.73. Göksu Havzası dönemlere göre özet akım değişimleri	141
Şekil 5.74. Göksu Havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük akım ortalamaları	142
Şekil 5.75. Peterek Havzası'nda kurulan WEAP modeli	145
Şekil 5.76. Göksu Havzası'nda kurulan WEAP modeli	146
Şekil 5.77. Debi süreklilik eğrisi değişimleri (Yanıkköprü HES).....	151
Şekil 5.78. Peterek Havzası'nda işletmede olan barajların senaryo-1 ve senaryo-2 için rezervuar hacim değişimleri (a) Demirözü Barajı, b) Güllübağ Barajı, c) Arkun Barajı)	153
Şekil 5.79. Peterek Havzası senaryo-1 hidroelektrik üretim değişimleri	156
Şekil 5.80. Peterek Havzası senaryo-1 ensemble hidroelektrik üretim değişimleri	156
Şekil 5.81. Peterek Havzası aylık senaryo-1 hidroelektrik üretim değişimleri	157

Şekil 5.82. Peterek Havzası senaryo-2 hidroelektrik üretim değişimleri	159
Şekil 5.83. Peterek Havzası senaryo-2 ensemble hidroelektrik üretim değişimleri	160
Şekil 5.84. Peterek Havzası aylık senaryo-2 hidroelektrik üretim değişimleri	161
Şekil 5.85. Peterek Havzası senaryo-3 hidroelektrik üretim değişimleri	162
Şekil 5.86. Peterek Havzası senaryo-3 ensemble hidroelektrik üretim değişimleri	163
Şekil 5.87. Peterek Havzası aylık senaryo-3 hidroelektrik üretim değişimleri	164
Şekil 5.88. Peterek Havzası senaryo-4 hidroelektrik üretim değişimleri	165
Şekil 5.89. Peterek Havzası senaryo-4 ensemble hidroelektrik üretim değişimleri	166
Şekil 5.90. Peterek Havzası aylık senaryo-4 hidroelektrik üretim değişimleri	166
Şekil 5.91. Peterek Havzası senaryolara göre ensemble hidroelektrik üretim değişimleri (2076-2099).....	168
Şekil 5.92. Debi süreklilik eğrisi değişimleri (Yamanlı-2 HES).....	170
Şekil 5.93. Göksu Havzası'nda işletmede olan barajların senaryo-1 ve senaryo-2 için rezervuar hacim değişimleri (a) Feke-2 Barajı, b) Menge Barajı, c) Köprü Barajı)	172
Şekil 5.94. Göksu Havzası senaryo-1 hidroelektrik üretim değişimleri.....	174
Şekil 5.95. Göksu Havzası senaryo-1 ensemble hidroelektrik üretim değişimleri.....	175
Şekil 5.96. Göksu Havzası aylık senaryo-1 hidroelektrik üretim değişimleri.....	176
Şekil 5.97. Göksu Havzası senaryo-2 hidroelektrik üretim değişimleri.....	177
Şekil 5.98. Göksu Havzası senaryo-2 ensemble hidroelektrik üretim değişimleri.....	178
Şekil 5.99. Göksu Havzası aylık senaryo-2 hidroelektrik üretim değişimleri.....	179
Şekil 5.100. Göksu Havzası senaryo-3 hidroelektrik üretim değişimleri.....	180
Şekil 5.101. Göksu Havzası senaryo-3 ensemble hidroelektrik üretim değişimleri.....	181
Şekil 5.102. Göksu Havzası aylık senaryo-3 hidroelektrik üretim değişimleri.....	182
Şekil 5.103. Göksu Havzası senaryo-4 hidroelektrik üretim değişimleri.....	183
Şekil 5.104. Göksu Havzası senaryo-4 ensemble hidroelektrik üretim değişimleri.....	183
Şekil 5.105. Göksu Havzası aylık senaryo-4 hidroelektrik üretim değişimleri.....	184
Şekil 5.106. Göksu Havzası senaryolara göre ensemble hidroelektrik üretim değişimleri (2076-2099).....	185

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CMIP	: Coupled Model Intercomparison Project (Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi)
CORDEX	: Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (Eşgüdümlü Bölgesel İklim Ölçek Düşürme Deneyi)
CORINE	: Coordination of Information on the Environment (Çevre Enformasyon Koordinasyonu)
DEM	: Digital Elevation Model (Sayısal Yükseklik Modeli)
DSİ	: T.C. Devlet Su İşleri
GCM	: Global Climate Model (Küresel İklim Modeli)
GEFC	: Global Environmental Flow Calculator (Küresel Çevresel Akış Hesaplayıcı)
GWL	: Global Warming Level (Küresel Isınma Hedefi)
HBV	: Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning
HES	: Hidroelektrik Enerji Santrali
IMS	: Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli)
İÖİ	: İl Özel İdaresi
KKA	: Karla Kaplı Alan
KSE	: Kar Su Eşdeğeri
MGİ	: Meteoroloji Gözlem İstasyonu
MK	: Mann Kendall Testi
NSE	: Nash and Sutcliffe Efficiency (Nash ve Sutcliffe Verimliliği)
RCM	: Regional Climate Model (Bölgesel İklim Modeli)
RCP	: Representative Concentration Pathways (Temsili Konsantrasyon Rotaları)
WEAP	: Water Evaluation and Planning System (Su Kaynakları Değerlendirme ve Planlama Sistemi)

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Konusu

Suyun varlığı, tüm canlıların yaşamını sürdürebilmesi için tarih boyunca ana faktörlerden biri olmuştur. Küresel ısınmaya bağlı olarak ortaya çıkan iklim değişikliği ve giderek artan dünya popülasyonu, su kaynaklarını birçok yönden olumsuz olarak etkilemektedir. Bu olumsuz etkilerin azaltılması için doğal kaynakların korunması ve etkin kullanılmasının önemi gün geçtikçe artmakta ve buna bağlı olarak hidroloji biliminin gerekliliği de önem kazanmaktadır. Özellikle, kar potansiyelinin yüksek olduğu bölgelerde, iklim değişimi etkileri, hidrolojik modelleme ve su kaynakları planlama çalışmaları, barajların verimli işletilmesine yarar sağlayacağı gibi doğal su kaynaklarının verimliliğinin artırılmasına da katkı sunacaktır.

Karmaşık topografyaya sahip olan bölgelerde hidro-meteorolojik verilerin toplanması, uydu görüntülerinin analizleri, hidrolojik modelleme ve baraj işletme çalışmalarının yürütülmesi zorlu bir görevdir ve büyük bir önem taşımaktadır. Bu çalışma için seçilen alanlar karmaşık bir topografyaya sahip dağlık memba havzaları olan Çoruh Havzası'nın Peterek Alt Havzası ve Seyhan Havzası'nın Göksu Alt Havzası'dır. Çoruh ve Seyhan Nehirleri'nin membaları, dar ve dik vadiler arasında kalmaktadır. Bu bölgelerdeki kar beslenimlerinin yoğun olması ve kar erimelerinin yıllık akımlar üzerindeki önemli katkısı bu havzalardaki su potansiyelini yüksek tutmakta, topografik koşullar da düşünüldüğünde bu durum hidroelektrik potansiyeli doğrudan etkilemekte ve enerji yönünden bu bölgeleri değerli kılmaktadır. Bu sebeple Türkiye'nin enerji üretim potansiyeli yüksek barajlarının önemli bir kısmı Çoruh ve Seyhan Havzaları'nda yer almaktadır. Öte yandan, Seyhan Havzası, iklim değişimi gözetildiğinde en çok etkilenecek bölgelerden biri olan Akdeniz İklim kuşağında yer almaktadır. Çoruh Nehri sınır aşan sular kategorinde yer almasından dolayı da çalışma bölgesi ayrı bir önem taşımaktadır, ayrıca iklim değişimi etkilerinin nispeten belirsiz bulunduğu bir coğrafya ve iklim kuşağında yer almaktadır.

Çalışma alanlarında bulunan su yapılarının iklim değişikliği etkileri ile birlikte geleceğe yönelik operasyonel işletme politikalarının değerlendirilebilmesi için entegre (hidroloji ve işletme) modelleme çalışmaları uygulanması bu çalışmanın temel konusu olarak belirlenmiştir. Farklı coğrafyalarda konumlanan fakat benzer topografik yapıya

sahip olan havzalarda gelecek yıllarda meteoroloji ve kar değişkenlerinde beklenen değişimin, su yapılarını besleyen akımların, hazne depolamalarının, hidroelektrik üretim projeksiyonlarının ve bu projeksiyonların birçok farklı senaryo çerçevesinde değerlendirilmesi bu çalışmanın genel kapsamını oluşturmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, ülkemizdeki kar potansiyeli yüksek engebeli topografyaya sahip havzalarda iklim değişiminin enerji üretimi üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi olarak belirlenmiştir. Çalışma alanları olarak akımların önemli kısmının kar erimesinden meydana gelen ve mansaplarında Türkiye'nin önemli enerji üretim tesislerinin bulunduğu Çoruh ve Seyhan Havzaları'nın memba bölümleri seçilmiştir. Bu çalışmayla birlikte kar ağırlıklı beslenen yüksek rakımlı havzalarda yağış-akış ilişkisinin modellenmesi ve iklim değişikliğinin enerji üretimleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi sağlanmıştır.

Öncelikle, uygulama havzalarının özelliklerini saptamak adına birçok topografik analiz gerçekleştirilmesi ve kar örtüsü karakterizasyonun yapılması hedeflenmiştir. Günlük uydu görüntüleri kullanılarak havzaların karla kaplı alan (KKA) analizleri ve dönemsel kar potansiyellerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma havzalarının yağış-akış ilişkisinin belirlenmesi için yarı dağılımlı kavramsal hidrolojik model olan HBV modelinin HBV-Light versiyonu seçilmiştir. Referans dönemde modelin kalibrasyonu ve validasyonu uzun yıllar gözlenmiş günlük ortalama akım verileriyle yapılmıştır. Ayrıca, hidrolojik modelin içsel işleyişinin ve kar parametrelerindeki güvenilirliğin saptanması için uydu görüntüleriyle yapılan analizler ile elde edilen karla kaplı alanlar model çıktıları ile karşılaştırılmıştır.

Literatürde kabul görmüş ve CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project) çıktılarından olan CORDEX-Europe (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) veri tabanından 5 küresel iklim modelinin bölgesel iklim modelleri ve farklı emisyon senaryoları seçilip, çalışma alanlarının referans ve projeksiyon dönemlerine ait projeksiyon günlük yağış ve sıcaklık verileri elde edilmiştir. İklim modellerinin ham çıktısı olarak elde edilen bu verilere, referans veriler ışığında yanlılık düzeltmeleri uygulanmıştır. Kalibrasyonu ve doğrulaması yapılan hidrolojik modele girdi oluşturan yağış ve sıcaklık projeksiyonları ile hidrolojik model tekrar çalıştırılmış ve böylece belirlenen gelecek periyotları için havzaların akımlarında ve kar değerlerindeki öngörülen

değişimler değerlendirilmiştir. Hesaplanan bu akım verileri, rezervuarların ve HES'lerin giriş akımları olduğundan su kaynaklarını işletme ve değerlendirme çalışmaları için girdi olarak kullanılmıştır. Havzalardaki karmaşık ve kaskat su kaynakları sistemini ayrıntılı olarak modelleyebilmek, gelecekteki hidroelektrik üretim potansiyelini tespit edebilmek ve depolamalı tesislerde beklenen hacim değişimlerini değerlendirebilmek amacıyla WEAP (Water Evaluation and Analysis Program) modeli uygulanmıştır. Çalışmanın nihai hedefi ise, gelecek projeksiyonlarının farklı işletme senaryoları ile değerlendirilmesidir. İklim değişikliği ile birlikte havzalardaki su kullanımlarının artması beklenmekte ve bu olumsuz durumlara direnç göstermek için de tesislerdeki kapasite ve verimlerdeki artışların olası yansımalarının incelenmesi amaçlanmıştır.

1.3. Çalışmanın İçeriği

Bu tez çalışması, geçmişte yapılan çalışmaları ele alıp bu çalışmaya ışık tutan literatür taraması ile başlamakta, metodoloji ve uygulama kısımlarını içermektedir. Giriş ve sonuç bölümleri sırasıyla 1. ve 6. bölümleri oluşturmak üzere şekillenmiştir. 2. Bölümde yer alan literatürde bulunan çalışmalar uygulamaları ile birlikte genelden özele doğru sunulurken, bu çalışma kapsamında elde edilen bulguların da literatüre katkısını ortaya koymaktadır. 3. Bölüm, çalışma alanlarının ve kullanılan bütün verilerin detaylı olarak analiz edildiği kısımdır. 4. Bölüm, bu tez çalışmasında uygulanan yöntemlerin aktarıldığı bölümdür. 5. Bölüm ise, hidrolojik modelleme ve baraj işletme çalışmaları ile gelecekte havzalarda beklenen hidroelektrik potansiyel değişimlerine ait sonuçları içermektedir. Bu çalışmanın 3, 4 ve 5. bölümlerine ait içerik açıklamaları aşağıda detaylandırılmıştır.

3. Bölüm bu çalışma için seçilen ve ülkemizin farklı bölgelerinde yer alan çalışma alanlarının detaylı olarak sunulduğu kısım ile başlamaktadır. Çoruh ve Seyhan Havzaları'nın bu çalışma kapsamında seçilen ilgili alt havzalarına ait karakteristik özellikleri birçok analiz ile birlikte değerlendirilmiştir. Bu bölgelerin içinde ve yakın çevresinde konumlanan ve uzun yıllar ölçülmüş veriye sahip olan Meteoroloji Gözlem İstasyonları (MGİ) ve Akım Gözlem İstasyonları'na (AGİ) ait veriler incelenmiş ve hidrometeorolojik analizler alt havzalar ölçeğinde gerçekleştirilmiştir. Bölümün devamında, çalışmada kullanılan ve günlük olarak karla kaplı alan görüntüsü elde edilen veri içeriklerinden bahsedilmiştir. Uzun yıllar boyunca alt havzalarda gözlenen kar birikimi ve kar erimesi dönemleri tespit edilerek kar karakterizasyonu bu bölümde

yapılmıştır. Yine bu alt başlıkta iklim değışikliği çalışmaları için kullanılan iklim modelleri, yanlılık düzeltmeleri, projeksiyon verilerinin analizleri ve bu verilerin gelecekteki eğilim yönleri yer almaktadır.

4. Bölüm, çalışmada uygulanan metodolojinin sunulduğu, kullanılan hidrolojik model ile su kaynakları değerlendirme ve planlama modelinin (WEAP) zellikleri ile çalışma prensiplerinin anlatıldığı kısımdır. Modellerin kurulum aşamaları ile kalibrasyon ve doğrulama çalışmaları yine bu bölümde aktarılmıştır.

5. Bölümde, gözlenmiş verilerle kurgulanan hidrolojik model çalıştırılarak akım ve kar sonuçları elde edilmiştir. Yer gözlemleri ve uydu verileriyle karşılaştırılan hidrolojik model sonuçlarının ardından, iklim verileri kullanılarak gelecek dönemlere ait öngörülen akım ve kar değerleri belirlenmiştir. WEAP modelinin girdi dosyalarının hazırlanmasına sonuçları elde edilen hidrolojik modelin akım ıktıları ile başlanmış ve akarsular üzerindeki farklı amaçlar için inşa edilmiş rezervuarların ve nehir tipi Hidroelektrik Enerji Santrallerin (HES) eklenmesiyle devam edilmiştir. Çalışma alanlarındaki birçok sektöre ait su talepleri, çevresel akışlar ve su transferlerinin de dahil edilmesiyle modelin mevcut periyot çerçevesindeki sonuçları elde edilmiş ve gözlenmiş verilerle doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Bununla birlikte, gelecek dönem model çalışmaları kapsamında ise havzalarda öngörülen hidroelektrik üretim değişimleri, farklı senaryolara göre zamansal ve bölgesel bazda incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Literatürde, iklim değişiminin hidrolojik sistemler, baraj işletme çalışmaları ve hidroelektrik üretimler üzerindeki etkileri birçok farklı veriyle ve yaklaşımla ele alınmıştır. Günümüzde iklim koşullarında öngörülen değişimlerin, artan nüfus ve enerji ihtiyaçları karşısında nasıl etki gösterebileceğine yönelik bulgular, Dünya'nın birçok farklı bölgesinde araştırmalar ile değerlendirilmektedir. Bu literatür araştırmasında, iki ana konu üzerinde durulmaktadır. İlkinde küresel bir problem olan iklim değişiminin genel etkileri, ikincisinde ise iklim değişiminin su kaynakları, planlanması, işletilmesi ve hidroelektrik enerji üretimi üzerindeki etkileridir.

2.1. İklim Değişikliği Etkileri

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), iklim değişikliğinin gelecekte öngörülen etkileri ve risklerine karşı azaltma ve uyum seçenekleri konusunda düzenli olarak değerlendirmeler yapmaktadır (IPCC, 2023). Yapılan araştırmalar, artan sera gazı salınımlarının küresel ölçekte sıcaklık artışlarına sebep olacağı ve bu koşulların kar ve buz miktarlarını azaltarak deniz seviyesinin günden güne yükselmesine yol açacağını değerlendirmektedir. Son yıllarda, iklim değişikliği ile birlikte yükselen sıcaklıklar ve değişen yağış paterni, hidrolojik sistem üzerinde büyük bir etki oluşturmaktadır (Watts vd., 2015). Bu etkiler; artması muhtemel kuraklık ve taşkın olayları (Giorgi vd., 2011), artan nüfus ve enerji ihtiyaçları ile suya erişimin zorlaşması koşulları altında giderek önem arz edecektir. Bu nedenle, su kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması, değişen iklim şartlarına uyum sağlanması açısından ön plana çıkmaktadır.

İklim değişikliğinin gelecekte beklenen etkileri, bölgeler bazında farklılıklar gösterebilmektedir. Ancak birçok çalışma, içinde bulunduğumuz yüzyılın sonuna kadar yağışlarda azalmaların olacağını belirtmektedir (Giorgi vd., 2001; Ulbrich vd., 2006). Özellikle Akdeniz Bölgesi'nin bulunduğu iklim kuşağı, sıcaklık artışlarına karşı en hassas bölgelerden biridir. Bu bölgedeki havzalar özelinde yapılan araştırmalar, iklim değişikliğinin özellikle şiddetli kuraklıklara sebep olabileceği üzerinde durmaktadır (Erkol, 2024). IPCC'nin altıncı değerlendirme raporunda, Güney Avrupa ve Akdeniz Bölgeleri'nin iklim değişikliğinin etkileri açısından önemli noktalar olduğu vurgulanmıştır. Bu bölgelerdeki sıcaklık artışlarının, yağış ve akımlarda azalmalara, ani su baskınları ve sıcak havza dalgaları gibi ekstrem olayların ise artmasına sebep olacağı belirtilmiştir (IPCC, 2023). Bu durum ile, Akdeniz Bölgesi'ndeki suya bağlı sektörler için

gelecekte ciddi tehditler oluşturması ve üretimde azalmalar ile ekonomik kayıpların artması öngörülmektedir (Georgopoulou vd., 2024). Giorgi ve Lionello, (2008) tarafından yapılan çalışmada ise, Akdeniz Bölgesi üzerindeki subtropikal yüksekliğin güçlenmesinin bir sonucu olarak Atlantik siklon izlerinin kuzeye doğru kayacağı öne sürülmektedir. Bu değişimin Karadeniz Bölgesi'ndeki yağışları artırması, Akdeniz Bölgesi'nde ise azaltması ön görülmektedir (Bozkurt vd., 2012). Bu sonuçların yanı sıra Bar vd. (2015) tarafından Karadeniz Bölgesi'ndeki havzalar üzerinde yapılan çalışmada, iklim değişikliği etkilerinin ülkeler bazında farklılık gösterebileceği belirtilmiştir. Gelecekteki iklim koşullarının tarım sektörü üzerindeki etkileri üzerine yapılan çalışmaları ile, Karadeniz Bölgesi'ne kıyısı olan ve ülkemizin de içinde bulunduğu birçok ülkenin değişen iklim koşullarından faydalanabileceğini tespit etmişlerdir.

Yenilenebilir enerji sektörü de meteorolojik değişkenlerden etkilenmektedir. Dünyadaki yenilenebilir enerjinin en büyük gücü olan hidroelektrik enerji üretimlerinin (IHA, 2022) ve ayrıca gelecekte artacak enerji ihtiyaçları için kritik öneme sahip olan suya bağlı enerjinin iklim değişikliğinden önemli ölçüde etkilenmesi beklenmektedir (Tortajada, 2014; Gernaat vd., 2017; Schaefli vd., 2019). Değişen iklim koşullarının yenilenebilir enerji üzerindeki olumsuz etkileri, küresel ölçekte endişeye neden olan konular arasında gösterilmektedir (Farinotti vd., 2019; Gernaat vd., 2017; Gernaat vd., 2021). Hidroelektrik üretim, iklim değişikliği ile mücadele ve uyum konusunda önemli bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Ancak aynı zamanda, su kaynaklarına bağlı olması sebebiyle de iklim değişikliğine karşı kırılgan bir yapıya sahiptir. Öyle ki, iklim koşulları üzerinde görülen en hassas değişimler bile, enerji üretimi yapan barajların haznelerindeki hacimleri etkileyebilecek önemli değişimlere neden olmaktadır (Chilkoti vd., 2017; Zhang et al., 2018; Obahoundje vd., 2022).

Değişen iklim şartları, havzaların hidrolojik sistemini etkilemektedir. Bu durum, barajların işletilmesini ve hidroelektrik üretim potansiyelinin etkilenmesine sebep olmaktadır (Chilkoti vd., 2017; Qin vd., 2020). İklim değişikliğine bağlı olarak meteorolojik koşulların değişmesi, depolamalı sistemlerin yanı sıra akarsular üzerinde kurulu olan enerji santrallerinin de giriş akımlarını etkileyerek enerji üretim verimliliğini değiştirebilecektir (Sun et al., 2022). İklim değişikliğinden rezervuarlara giren akımların ve hidroelektrik üretim değişimlerinin nasıl etkilenebileceğini öngörmek, su ve enerji alanında gelecek planlaması yapmak adına önemlidir. Son yıllarda bu konu giderek önem

kazanmış ve yapılan çalışmalar neticesinde, iklim değişikliği etkileri ile birlikte su ve enerji alanında gelecek dönem değerlendirmesi yapmanın en etkili yolunun, iklim modellerinin ürettiği senaryolarla yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (Dams vd., 2015; Liu vd., 2017; Li vd., 2018; Zhao vd., 2020).

2.2. İklim Değişikliğinin Su Kaynakları ve Hidroelektrik Enerji Üretimi Üzerindeki Etkisi

Küresel ölçekte artan sera gazı salınımları, genel olarak sıcaklık artışlarını tetiklemektedir. Bu durum, hem yağış rejiminde düzensizliğe sebep olabilmekte hem de hidrolojik döngü üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaktadır. İklim değişikliğine karşı hassas olan su kaynaklarını korumak ve verimli bir şekilde yönetmek, suya erişimin giderek zorlaştığı günümüz koşullarında oldukça önemli bir konudur. Günümüzde iklim değişikliğinin su kaynakları üzerine etkisi konusunda birçok ülkede farklı emisyon senaryoları kullanılarak yapılan araştırmalar literatürde yerini almıştır (Frei vd., 2018; Bekele vd., 2021; Mengistu vd., 2021; Chathuranika vd., 2022; Şensoy vd., 2023).

Kumar vd. (2022) tarafından yapılan bir araştırmada, iklim değişikliğinin Himalaya bölgesindeki kar erimesinden beslenen akımlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışma yapılırken yağış, sıcaklık ve karla kaplı alanlarda belirli artışların olması durumunda akımların zamansal ve miktarsal açıdan değişimleri değerlendirilmiştir. Türkiye’de kar ağırlıklı bir bölgede yapılan çalışmada ise Şensoy vd. (2023) iklim projeksiyonları kullanarak Fırat Havzası’nın dağlık memba bölgelerinde meteorolojik ve hidrolojik dinamiklerin 2024-2099 yılları arasında nasıl etkilenebileceği değerlendirmiştir. Birçok GCM verisinin birlikte kullanıldığı araştırmada, referans dönemin kalibrasyon ve validasyonu için HBV ve HEC-HMS hidrolojik modelleri kullanılmıştır. Akımların büyük bir kısmını kar erimesinin oluşturduğu havzada, artan sıcaklıklar etkisi ile birlikte kar dinamiklerinin azalacağı ve bu durumun akımları olumsuz yönde etkileyeceği belirlenmiştir. Özellikle 2075-2099 döneminde referansa göre 2-6°C derecelere varan sıcaklık artışları ile birlikte karla kaplı alanların %65 oranında azalacağı, havzanın ortalama kar su eşdeğerinin %50 oranında düşeceği ve bu koşulların da pik akımların süresini yaklaşık 1 ay öne çekeceği sonucuna ulaşılmıştır. Muhury vd. (2023) ise güneydoğu Avustralya bölgesinde tarım sektörünün oldukça yoğun olduğu Murray Darling Havzası’nda, iklim değişikliğinin bölgeye getirebileceği etkiler üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Havzanın 2100 yılına kadar projekte edilmiş

akımlarını, 3 farklı GCM'in 2 senaryosu ile entegre edilmiş SIMHYD hidrolojik modeliyle belirlemişlerdir. Bölgede beklenen iklim değişikliğinin özellikle 2045 yılına kadar etkili olacağını öngörmüşlerdir. Bu yıllarda yağışlarda %2-%62 aralığında azalmaların gerçekleşmesi beklenmektedir. Bu durum havzanın membasındaki akımlarda %58'lere varan azalmalara sebep olmakta iken, mansap akımlarında ise %87 ile %137 oranlarında artışların olacağı tahmin edilmiştir. Havzanın mansabındaki akımlarda öngörülen bu sonuçlar ile kurak dönemlerdeki tarımsal sulama yönetimi açısından sulama barajlarının işletmeye alınması gerekliliğini ortaya koymuşlardır.

İklim değişikliğinin etkileri konusunda son dönemlerde yayınlanan çalışmalardan da anlaşılacağı üzere, su kaynaklarına etkiler anlamında birçok farklı sonuç elde edilmektedir. Özellikle bölgelerin topografik koşulları, bulundukları coğrafya ve iklim kuşağı gibi faktörler, öngörülen etkiler açısından belirleyici faktörlerin başında gelmektedir. Bu etkiler ise canlıları ve su kullanan bütün sektörleri etkilemektedir.

Özellikle kar potansiyelinin yüksek olduğu havzalarda, iklim değişikliğine bağlı olarak hidrolojik sistem üzerinde gerçekleşmesi beklenen muhtemel değişimlerin birçok sektör üzerinde olumsuz etkilere yol açacağı öngörülmektedir (Bozkurt ve Sen, 2013; Şensoy vd., 2023). Bununla birlikte son zamanlarda dünyanın farklı bölgelerinde yapılan araştırmalar ile kar erimesinden önemli miktarda beslenen hidroelektrik santrallerin de artan sıcaklıklardan önemli ölçüde etkilenebileceği değerlendirilmiştir (Ranzani vd., 2018; Farinotti vd., 2019; Schaeffli vd., 2019; Bombelli vd., 2019). Bu nedenle havzaların hidrolojik rejiminin analiz edilmesi, su kaynaklarının korunması ve yönetilmesinde önemli ve belirleyici bir yaklaşımdır. Bu noktada modelleme çalışmalarının yeri kritiktir çünkü gerek taşkın hidrograflarının önceden hesaplanıp tasarım yapılması gerekse de mevcutta var olan su yapılarındaki durum koşullarına göre işletme kararları verilmesi giriş akımlarındaki değişkenliğe bağlıdır. Gelecek yıllarda öngörülen iklim değişikliği etkilerinin, geçmiş dönemde test edilmiş ve iyi sonuçlar üretebilen simülasyon sonuçlarına göre yorumlanabilmesi, belirsizlik durumunu azaltma yolunda önemli bir adımdır. Bu sayede hidrolojik döngü üzerindeki iklim değişikliği etkileri öngürülebilir ve elde edilen sonuçlara karşı önlem alınıp uyum stratejileri belirlenebilir. Hidrolojik modelleme, özellikle kar hakimiyetinin yüksek olduğu dağlık bölgelerdeki kar erimesinin beslediği havzalarda, baraj işletme çalışmalarının verimliliğini artırmaya yardımcı

olabilir (Jain vd., 2010; Anghileri vd., 2016; Şensoy vd., 2016; Sleziak vd., 2020; Kumar vd., 2022; Doğan vd., 2023).

İklim değişikliğinin baraj işletme çalışmaları ve hidroelektrik enerji üretimleri üzerindeki etkileri birçok farklı çalışma ile araştırılmıştır. Dünyada bu konuda yapılan ve bu çalışmaya ışık tutan benzer uygulamaların özellikle Çin ve Afrika Kıtası'ndaki bölgelerde yoğunlaştığı gözlenmiştir. Farklı karakteristiklere sahip bu alanlardaki iklim değişikliği sonuçları, tez çalışması için oldukça yararlı olmuştur. Son yıllarda literatürde yerini almış öncü çalışmalar incelendiğinde, Çin'deki yenilenebilir enerji potansiyelinin önemli bir kısmını oluşturan Yangtze Nehir Havzası'nın hidroelektrik potansiyelinin iklim değişikliğine karşı kırılganlığı farklı uzmanlar tarafından (Zhang vd., 2017; Qin vd., 2020; Zhong vd., 2020; Sun vd., 2022) değerlendirilmiştir. Zhang vd. (2017), tarafından WEAP modeli kullanılarak yapılan ve 2016-2050 yıllarını kapsayan araştırmada, yağışların artacağı ve bu durumun hidroelektrik üretim potansiyelini olumlu olarak etkileyeceği tespit edilmiştir. Ancak RCP 4.5 senaryosunda referansa göre enerji üretimlerinin kısa vadede azalacağı daha sonra artacağı beklenirken, RCP 8.5 senaryosunda ise yalnızca kademeli artışların oluşacağı öngörülmüştür. Bununla birlikte, enerji üretim kapasitesinde büyük dalgalanmaların oluşacağı tespit edilmiştir. Sonuç olarak hidroelektrik tedarik sistemlerinin iklim değişikliğiyle birlikte hassasiyetinin ve belirsizliklerinin artacağı belirtilmiştir. Qin vd. (2020) aynı bölgede 5 farklı GCM ile benzer sonuçlar üreterek çalışmayı desteklemişlerdir. Yüzyılın sonuna kadar analiz edilen projeksiyon sonuçlarına göre, yağışların artması ile birlikte hidroelektrik potansiyelin 2099'a kadar kademeli olarak artacağı tahmin edilmiştir. Zhong vd. (2020), aynı bölgede rezervuar işletme modeli ile dağılımlı hidrolojik modeli entegre ederek çalışmalar yapmışlardır. CanESM2 küresel iklim modelinin, 3 farklı emisyon senaryoları ile sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlara göre, hidroelektrik potansiyelin RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarında belirgin bir artışın olduğu, RCP 2.6 senaryosunda ise artış veya azalışın söz edilemeyeceği belirlenmiştir. Bu çalışmaya ek olarak Sun vd. (2022) elde ettikleri sonuçlarla 2030'lu yıllarda hidroelektrik potansiyelin azalacağını ancak 2070'li yıllarda ise potansiyelin artacağını tespit etmiştir.

Batı Afrika'daki Mono Havzası'nda bulunan barajların mevcut ve gelecekteki hidroelektrik üretim potansiyeli ve işletme durumları Obahoundje vd. (2021) tarafından yapılan bir çalışma ile değerlendirilmiştir. CORDEX-Africa veri setinden 3 farklı GCM

ve bu modellerin genel uyum ortalamaları alınarak 2 emisyon senaryosu için yağış ve sıcaklık değişimleri elde edilmiştir. WEAP modeli aracılığıyla yağış-akış modeli oluşturulup, gelecek yıllar için birçok senaryo kurgusuna göre rezervuar simülasyonu ile hidroelektrik enerji değişimleri belirlenmiştir. Bölgede sıcaklıkların artacağı ve yağışların ise belirsiz olduğu sonucu elde edilirken, bu meteorolojik etkilerin su kaynakları ve enerji üretimleri üzerinde azalmalara sebep olacağı vurgulanmıştır. Arazi kullanımlarında oluşabilecek değişim senaryolarını değerlendirdiklerinde, iklim değişikliği etkilerine rağmen hidroelektrik enerji üretiminin artabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmadaki en büyük dezavantaj, ham iklim modeli çıktılarının gözlenmiş verilerle yanlılık düzeltilmesi yapılmadan direkt kullanılmış olmasıdır. Etiyopya'daki Yukarı Mavi Nil Havzası'nda aynı veri seti ile hidrolojik model ve baraj işletme modelini entegre eden Asitatie ve Gebeyehu (2021), iklim değişikliğinin hidroloji ve su tahsisleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada bölgedeki su ihtiyaçlarına göre tahsis çalışmaları yapılmış ve iklim senaryolarına göre hazneden bırakılacak su projeksiyonu ve baraj işletme eğrisi oluşturulmuştur. Bir diğer çalışmada ise Nonki vd. (2023), tarafından Kamerun'da konumlanan Benue Nehir Havzası'nda iklim değişikliğinin hidroelektrik potansiyel üzerindeki etkisi incelenmiştir. 17 farklı GCM'in sonuçları ile 2 farklı hidrolojik model çalıştırılmış ve hidroelektrik potansiyel hesaplarında duyarlılık testi yapılmıştır. Ayrıca 1.5 ve 2.0°C'lik (GWL) sıcaklık hedefleri de hesaplamalara dahil edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda, iklim değişikliği etkilerinin birçok belirsizlik ile birlikte bölgedeki hidroelektrik potansiyelde azalmalara sebep olacağı tespit edilmiştir. Çalışmada uygulanan sıcaklık hedefi senaryolarının, belirsizliği düşürdüğü de elde edilen bulgular arasında gösterilmiştir.

Literatürde birçok çalışma ile farklı dinamiklere sahip bölgelerde iklim değişikliğinin su kaynakları ve hidroelektrik enerji üretimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmaların önemli bir kısmı, GCM'lerden elde edilen projeksiyonları kullanan modelleme entegrasyonu ile sonuçlar ortaya çıkarmıştır (Ospina-Norea vd., 2009; van Vliet vd., 2016; Zhang vd., 2017; Zhong vd., 2020; Huangpeng vd., 2021; Zhao vd., 2022). Bununla birlikte Paris İklim Anlaşması (UN, 2015) ve IPCC (2023) ile belirtilen Küresel Isınma Seviyeleri (GWL) kullanılarak gelecekteki sıcaklık senaryolarına göre de değişimler belirlenmiştir. Yenilenebilir enerji üretimlerindeki değişimler, günümüzde birçok çalışma ile GWL baz alınarak yapılmıştır (Donk vd., 2018;

Maure vd., 2018; Tobin vd., 2018; Meng vd., 2020; Ullah vd., 2020; Kumar vd., 2022; Qi vd., 2022; Nonki vd., 2023).

2.3. Uygulama Alanlarına ait Çalışmalar ve Tezin Literatürdeki Yeri

Bu kısımda uygulama alanı olarak seçilen Çoruh ve Seyhan Havzaları'nda geçmişten günümüze yapılan çalışmalar sunulmuş olup çalışmanın literatüre katkısı kısaca özetlenmiştir. Ancak öncesinde Türkiye geneli için SYGM (2016) tarafından kapsamlı olarak ele alınan iklim değişimi analiz sonuçları sunulmuştur. 3 GCM'in 10 km'lik çözünürlüğe sahip 2 senaryosu ile 2015-2100 projeksiyon döneminde Türkiye'de bulunan 25 nehir havzasında çalışma yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, gelecekte beklenen yağışların bölgesel olarak farklılık göstereceği tespit edilmiştir. Türkiye'nin güneyinde bulunan havzalarda yağışların azalacağı, kuzeyinde ise yağışların referansa göre artacağı öngörülmüştür. Sıcaklıklar da ise bütün havzalarda referansa göre artışların olacağı belirlenmiştir. En yüksek sıcaklık artışlarının, ülkenin güney bölgelerinde meydana geleceği tespit edilmiştir. Bu sonuçların, ülke genelindeki kar dinamiklerinin azalmasına neden olacağı öngörülmüştür. Dağlık alanlardaki kar örtüsü, hidrolojik döngüde önemli bir role sahiptir. Özellikle mansabında önemli barajların olduğu ve bu barajların ağırlıklı olarak kar erimelerinden beslendiği, Türkiye'nin en büyük havzası olan Fırat-Dicle Havzası'nın sıcaklık artışlarından önemli oranda etkileneceği belirlenmiştir. Bu bölgenin membasında uygulanan bir diğer çalışma ile iklim değişikliğinin kar erimelerine ve rezervuarları besleyen akımlardaki etkileri araştırılmıştır. SYGM (2019a) tarafından yürütülen bu çalışmada, sıcaklık artışlarının bölgedeki kar bileşenlerini zamansal ve miktarsal açıdan olumsuz etkileyebileceği belirlenmiştir. Bu etkilerin azalan yağışlar ile birlikte kar erimesi ile beslenen akımları membadan mansaba indikçe daha da artan bir oranda azaltacağı öngörülmüştür. Elde edilen bu bulgular, Türkiye'nin dağlık Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki kar erimesinden kaynaklanan akımların nasıl değiştiğini araştıran Yücel vd., (2014) sonuçlarıyla uyumludur. Yücel vd., (2014) ayrıca, Çoruh Havzası'ndaki yıllık yüzeysel akışın az da olsa artış gösterdiğini belirtmiştir. Çoruh Havzası'nın memba bölümünde gelecek yıllar için hidrometeorolojik kuraklık araştırmalarında bulunan Yılmaz vd. (2022), 13 farklı GCM'in 2 senaryosunu kullanmıştır. Bu çalışma ile bölgede öngörülen kuraklıklar ilk kez detaylı olarak analiz edilmiştir. Sonuçlarda, sıcaklıkların artacağı, yağışların ise %15 azalış ile %9 artış arasında değişeceği belirlenmiştir. Özellikle yağışlarda tahmin edilen bu farklı sonuçlarla hidrolojik ve meteorolojik kuraklığın bölgenin en önemli problemi

olacağına dair yeterli sonuç elde edilememiştir. Seyhan Havzası'nda ise bugüne kadar yapılan en kapsamlı iklim değişikliği araştırmalarının başında gelen Fujihara vd. (2008), elde ettikleri sonuçlar ile literatürde yerini almıştır. 2070'li yıllarda havzada beklenen iklim değişikliğinin etkilerini belirlemek için, iki farklı GCM'in emisyon senaryosunu kullanmışlardır. Sonuçlara göre, yıllık ortalama sıcaklıkların 2-2.7°C aralığında artması beklenirken, yıllık yağışlarda %25 ile %29 mertebelerinde azalma öngörülmüştür. Bu koşulların akımlarda %52 ile %61 arasında azalmaları tetikleyeceği tespit edilmiştir. Araştırmada, iklim değişikliği etkilerine rağmen havzadaki su kullanımlarının artmaması durumunda suya erişimin zor olmayacağı, ancak su tüketimlerinin artması durumunda ise su kıtlığının ortaya çıkacağı sonucuna varmışlardır. Bu sebeple su kullanımı ve yönetiminin iklim değişikliğinden daha etkin bir görevi olacağını vurgulamışlardır.

İklim değişikliğinin meteorolojik, hidrolojik ve hidroelektrik üretimler üzerindeki etkileri, birçok uygulama ile farklı bölgeler özelinde incelenmiştir. Hiç şüphesiz sıcaklık artışları, birçok faktör üzerindeki etkiyi beraberinde getirmektedir. Yağış rejimlerindeki değişimler kuraklık ve taşkın afetlerini tetiklemekte, bölgelerin bulunduğu coğrafya ve iklim kuşaklarına göre de etkileri değişmektedir. Bu çalışmada da benzer topografyaya ve sektörel faaliyetlere sahip ancak farklı bölgelerde yer alan havzaların seçilme nedenlerinin başında bu durum gelmektedir. Özellikle kar potansiyeli yüksek ve enerji amaçlı su yapılarına sahip çalışma havzalarında iklim değişikliğinin yaratacağı muhtemel risklerin değerlendirilmesinin iklim değişimi etkilerini azaltım ve uyum stratejileri için oldukça önemli olduğu görülmektedir. Uygulamalar için seçilen havzalardan biri iklim değişikliğinden olumsuz olarak etkileneceği öngörülen Akdeniz bölgesinde yer alırken, diğeri ise iklim değişikliği etkilerinin belirsiz olabileceği Doğu Karadeniz bölgesinde bulunmaktadır. Havzalar bazında iklim projeksiyonları 5 farklı GCM ile 2020-2099 yılları arasında analiz edilmiştir. Hidrolojik model kullanılarak akımlarda ve karla kaplı alanlarda referans döneme göre öngörülen değişimler incelenmiştir. Ardından su kaynakları değerlendirme ve planlama modeli kullanılarak; iklim değişikliğinin hacimsel ve zamansal olarak rezervuar depolama özelliklerini nasıl etkileyeceği, akım-süre eğrilerindeki değişimler, hidroelektrik enerji üretimlerinde beklenen etki doğrudan ve farklı senaryolara göre değerlendirilmiştir. Bu araştırma ile bölgedeki önemli su yapılarının gelecekte beklenen iklim şartlarına göre daha verimli işletilmesine katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, ilgili bölgelerde iklim değişimi etkilerinin özellikle baraj işletimi ve enerji üretimini

kapsayacak şekilde ele alınmadığı için, bu çalışmanın sonuçları bölgelerdeki sektör dinamiklerine ışık tutması açısından önemlidir. Dağlık ve karmaşık topografyaya sahip olan bu bölgelerdeki kar beslenimlerinin yoğun olması ve kar değişkenlerindeki gelecek dönem değişimlerinin de dahil edilmesi, bu çalışmayı daha özgün ve önemli kılmaktadır.

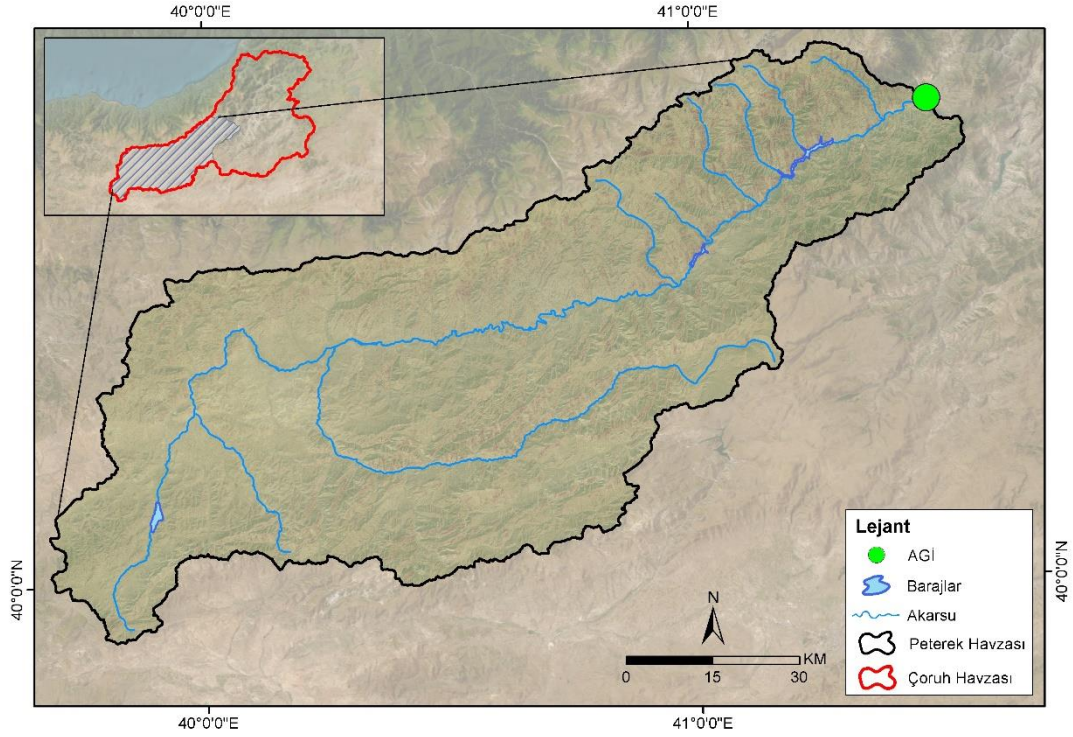


3. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ ANALİZİ

3.1. Çoruh Havzası

Çoruh Havzası, Türkiye'nin Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi'nde 39°52' ve 41°32' kuzey enlemleri ile 39°40' ve 42°35' doğu boylamları arasında yer alır. Yüzölçümü 20.265,48 km² olup Türkiye'nin yaklaşık %3'üne teşkil eder. Havzaya ismini veren Çoruh Nehri, Erzurum ili sınırları içerisinde bulunan Mescit Dağları'ndan doğar Bayburt ili sınırları içerisinde Kurt Çayı ile birleşerek Masat Çayı ismini aldıktan sonra Bayburt il merkezinden sonra Bayburt ovalarından gelen Büyükçay ile birleşir ve Çoruh ismini alır. Erzurum ili sınırları içerisinden geçtikten sonra Artvin iline geçer ve yaklaşık 50 m kotundan Türkiye sınırlarını terk ederek Gürcistan sınırları içerisinden Batum şehrinden Karadeniz'e dökülür. Toplamda 431 km uzunluğunda olan nehrin, 411 km'lik bölümü Türkiye sınırları içerisinde bulunmaktadır. Çoruh Nehri'nin sınır aşan sular kategorisinde olması önem teşkil etmekte ve üzerinde bulundurduğu farklı amaçlı su yapıları ise su kaynakları yönetiminde önemli bir planlama gerektirmektedir.

Bu çalışmada, Çoruh Havzası'nın 7.222,7 km²'lik Peterek Alt Havzası uygulama havzalarından biri olarak seçilmiştir. Peterek Havzası, Türkiye'nin en yüksek barajı olarak işletilen Yusufeli Barajı'na Çoruh Nehri'nden katılan suları toplamakta ve çıkışında Devlet Su İşleri'nin (DSİ) işlettiği E23A005 Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) bulunmaktadır. Peterek Havzası'nın Çoruh Havzası üzerindeki konumu Şekil 3.1 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.1. *Peterek Havzası'nın konumu*

Peterek Alt Havzası'nda işletmede olan 2 enerji barajı ve 1 sulama barajı bulunmaktadır. Havzanın membasında 1 baraj inşaat aşamasında olup, 2 baraj ise planlama aşamasındadır. Belirtilen barajların özellikleri Bölüm 3.7'de detaylı olarak verilmiştir.

3.1.1. Peterek havzasının karakterizasyonu

Çalışma alanının karakteristik özelliklerini daha iyi tanımak adına Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) platformunda çeşitli yüzey analizleri gerçekleştirilmiştir. Peterek Havzası'nın ASTER-GDEM (<http-1>) kullanılarak üretilen 30 m çözünürlüğündeki Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) (Digital Elevation Model-DEM) oluşturulmuştur. Hipsometrik kotu 2.025 metre olan havzanın yükseklik değerleri 654 ile 3.768 metre aralığında değişmektedir.

Havzadaki eğim, yeryüzü şekillerinin ne kadar sarp veya düze yakın olduğunu ifade etmektedir. Peterek Havzası'nın eğimi CBS üzerinde 30 m çözünürlükte DEM kullanılarak üretilmiş olup, havzanın eğimi 5 sınıfa ayrılarak değerlendirilmiştir. Buna göre, Peterek Havzası'nın ortalama eğiminin yaklaşık %35 olduğu tespit edilmiştir.

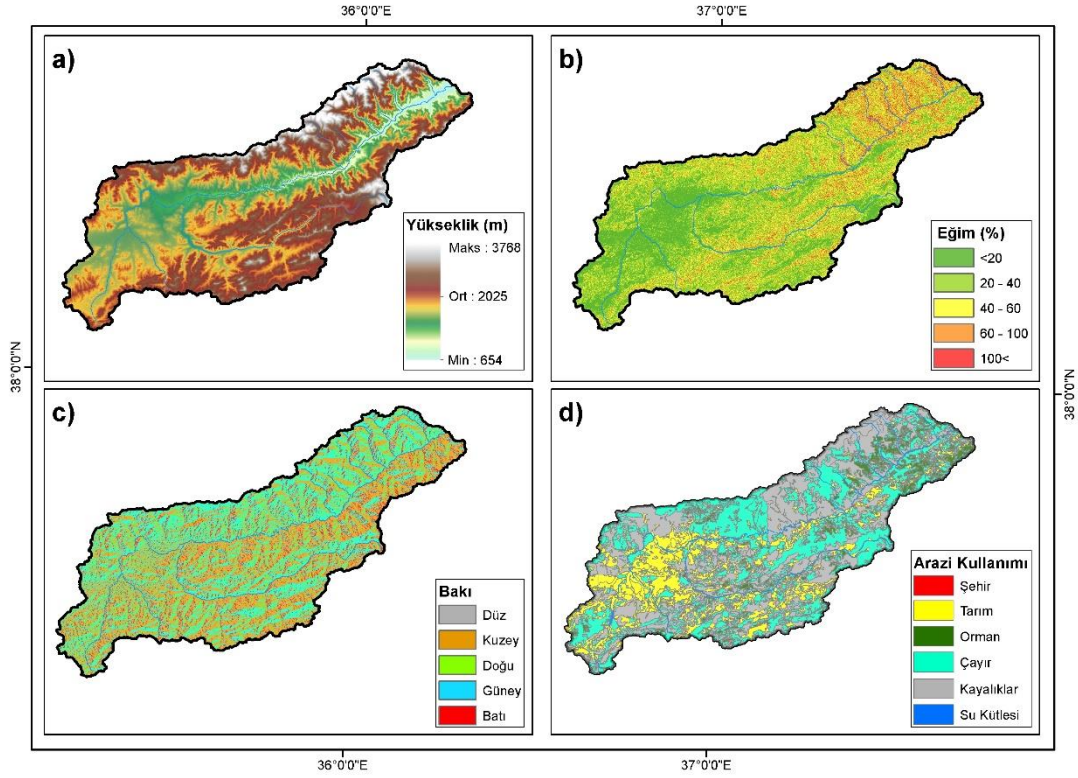
Ayrıca havzanın %34,4 oranında orta eğimli, %29,3 oranında az eğimli ve %22,3 oranında ise çok eğimli olduğu belirlenmiştir.

Bakı, havza yüzeyinin güneş ışınlarını alış yönünü belirler. Havzadaki dağlık arazinin bakışı ise kar erimesi ve buharlaşmayı etkilemektedir. Peterek Havzası'nın bakışı CBS üzerinde 30 m çözünürlükte DEM kullanılarak üretilmiş olup 5 sınıfa ayrılarak değerlendirilmiştir. Buna göre, Peterek Havzası'nın %38,5 oranında güneye bakışı, %36,6 oranında da kuzeye bakışı olduğu belirlenmiştir.

Havzanın arazi kullanımı, havzaya düşen yağışın akıma dönüşmesi ve sızma kapasitesinin hesaplanmasında önemli bir rolü bulunmaktadır. Bu çalışmada arazi kullanımını incelemek için CORINE 2018 (Coordination of Information on the Environment) (http-2) verileri kullanılmıştır. CORINE, Avrupa Çevre Ajansı tarafından uydu verileri ile üretilen arazi örtüsü ve kullanımını sınıflandıran veridir. Peterek Havzası'nın mevcut durum arazi kullanımı CBS üzerinde CORINE 2018 verileri kullanılarak üretilmiş ve havzanın arazi kullanımı 6 sınıfa ayrılarak değerlendirilmiştir. Buna göre, Peterek Havzası'nın yaklaşık %70'inin çayır ve kayalık alanlardan oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca ormanlık alanların %6,2 oranında kaldığı ve şehirleşmenin %0,3 oranında olduğu belirlenmiştir. Bu durum, Peterek Havzası'nın doğal bir havza olduğunu göstermektedir. Havzanın analiz edilen ve yukarıda özetlenen karakterizasyonuna ait sayısal değerler Tablo 3.1 ile verilmiş olup, bu değerlerin havzadaki alansal dağılımı ise Şekil 3.2 ile sunulmuştur.

Tablo 3.1. *Peterek Havzası'nın karakteristik dağılımları*

Eğim		Bakı		Arazi Kullanımı	
Eğim (%)	Alan (%)	Bakı	Alan (%)	Arazi Sınıfı	Alan (%)
Az Eğimli (<20)	29,3	Düz	0,0	Şehir	0,3
Orta Eğimli (20-40)	34,4	Kuzey	36,6	Tarım	23,7
Çok Eğimli (40-60)	22,3	Doğu	12,4	Orman	6,2
Dik (60-80)	10,1	Güney	38,5	Çayır	37,0
Çok Dik (80<)	3,9	Batı	12,5	Kayalık	32,6
				Su Kütlesi	0,2



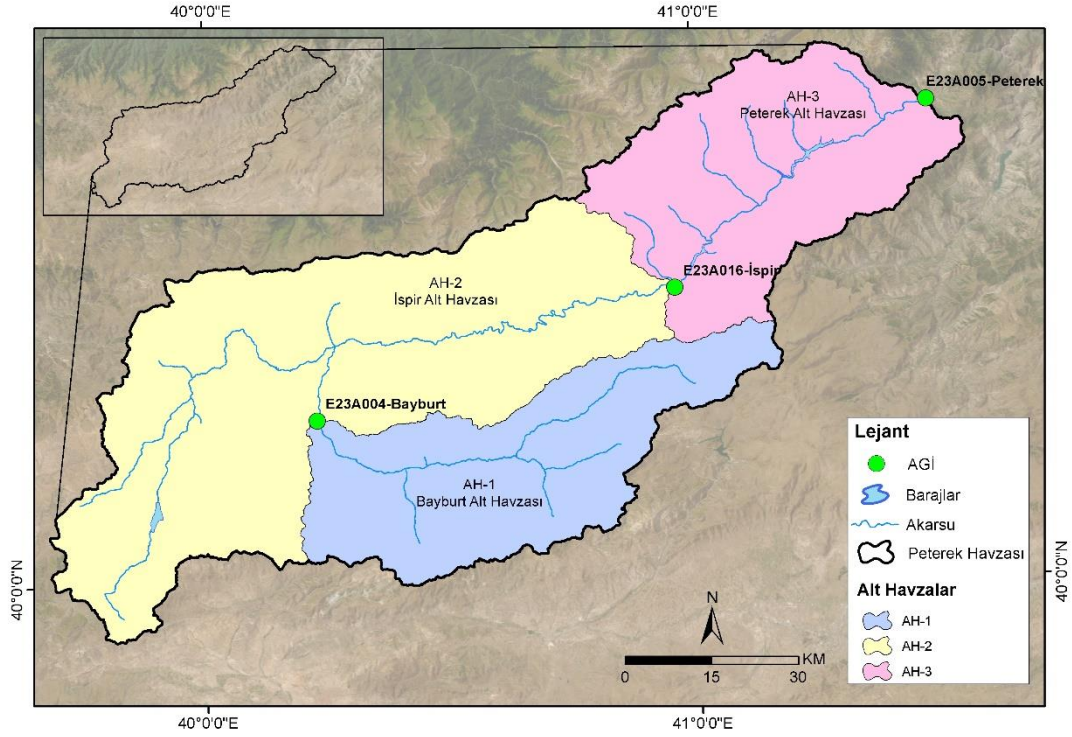
Şekil 3.2. Peterek Havzası karakteristik haritaları (a) yükseklik, (b) eğim, (c) bakı, (d) arazi kullanımı)

3.1.1.1. Alt havzalar

Çalışma kapsamında modelleme çalışmalarının yapılacağı Peterek Havzası'na ait alt havzalar belirlenmiştir. Peterek Havzası'nı temsil edecek şekilde uzun yıllar akım gözlemi bulunan istasyonlar alt havzaların çıkış noktaları olacak şekilde belirlenmiş olup, toplamda 3 alt havza tanımlanmıştır. Bu alt havzaların çıkışlarında bulunan AGİ'ler, alt havzaların isimleri ve yağış alanları Tablo 3.2 ile verilirken harita üzerindeki gösterimleri ise Şekil 3.3 ile sunulmuştur.

Tablo 3.2. Peterek Havzası alt havzaları

İstasyon No	Alt Havza No	Alt Havza Adı	Yağış Alanı (km ²)
E23A004	AH-1	Bayburt Alt Havzası	1.761,7
E23A016	AH-2	İspir Alt Havzası	3.645,1
E23A005	AH-3	Peterek Alt Havzası	1.815,9
TOPLAM			7.222,7

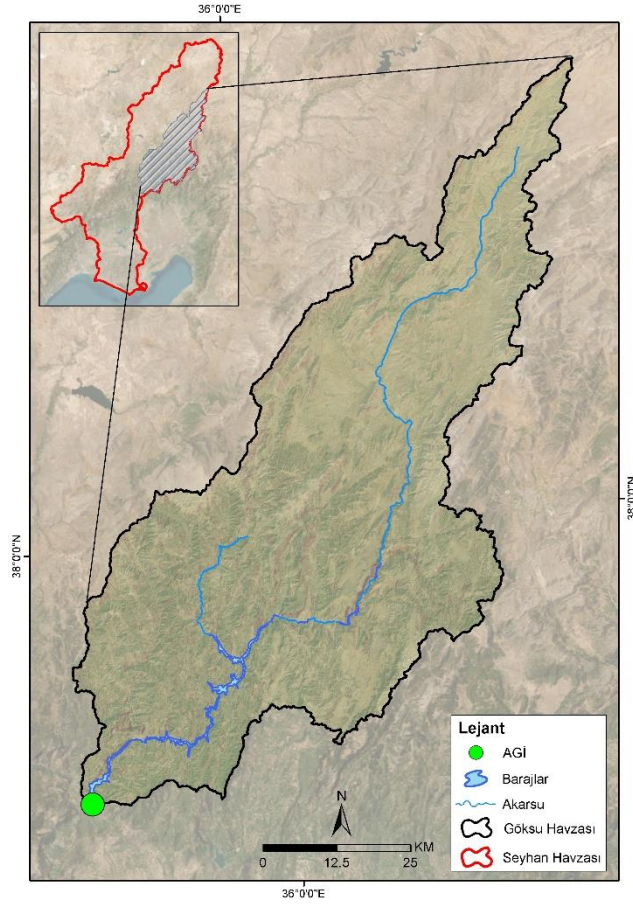


Şekil 3.3. Peterek Havzası alt havzaları

3.2. Seyhan Havzası

Seyhan Havzası Çukurova'dan kuzeye doğru kama biçiminde uzanmakta olup yukarı bölümü İç Anadolu, orta ve aşağı bölümü Akdeniz Bölgesi'nde yer alır. Seyhan Havzası 36° 30' ile 39° 15' kuzey enlemleri ve 34° 45' ile 37° 00' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Havza, Seyhan Nehri ile Göksu ve Zamantı kollarının su toplama alanlarını içine alır. 22.042 km²'lik yüzölçümü ile Türkiye'nin %3'ünü kapsayan Seyhan Havzası, doğuda Ceyhan, batıda Konya ve Berdan, kuzeyde Develi Havzası ve Kulmaç Dağları, güneyde ise Akdeniz'e kadar uzanmaktadır.

Bu çalışmada, Seyhan Havzası'nın 4.242 km²'lik Göksu Alt Havzası uygulama havzalarından ikincisi olarak seçilmiştir. Göksu Nehri'nin üzerinde bulunan farklı amaçlı su yapıları, ulusal su kaynakları yönetiminde önemli bir planlama gerektirmektedir. Göksu Havzası, yaklaşık 200 km uzunluğunda olan Göksu Nehri'nin sularını toplamakta ve çıkışında DSİ'nin işlettiği E18A005 Gökdere AGİ bulunmaktadır. Göksu Havzası'nın Seyhan Havzası üzerindeki konumu Şekil 3.4 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Göksu Havzası'nın konumu

Göksu Alt Havzası'nda işletmede olan 9 enerji tesisi (baraj/regülatör) bulunmaktadır. Havzanın membasında 1 baraj inşaat aşamasında olup, 1 baraj ise planlama aşamasındadır. Belirtilen barajların özellikleri Bölüm 3.7'de detaylı olarak verilmiştir.

3.2.1. Göksu havzasının karakterizasyonu

Çalışma alanının karakteristik özelliklerini daha iyi tanımak adına CBS platformunda çeşitli yüzey analizleri gerçekleştirilmiştir. Göksu Havzası'nın ASTER-GDEM kullanılarak üretilen 30 m çözünürlüğündeki SYM'si oluşturulmuştur. Hipsometrik kotu 1.494 metre olan havzanın yükseklik değerleri 305 ile 2.978 metre aralığında değişmektedir.

Göksu Havzası'nın eğimi CBS üzerinde 30 m çözünürlükte DEM kullanılarak üretilmiş olup, havzanın eğimi 5 sınıfa ayrılarak değerlendirilmiştir. Buna göre, Göksu Havzası'nın ortalama eğiminin yaklaşık %35 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca havzanın

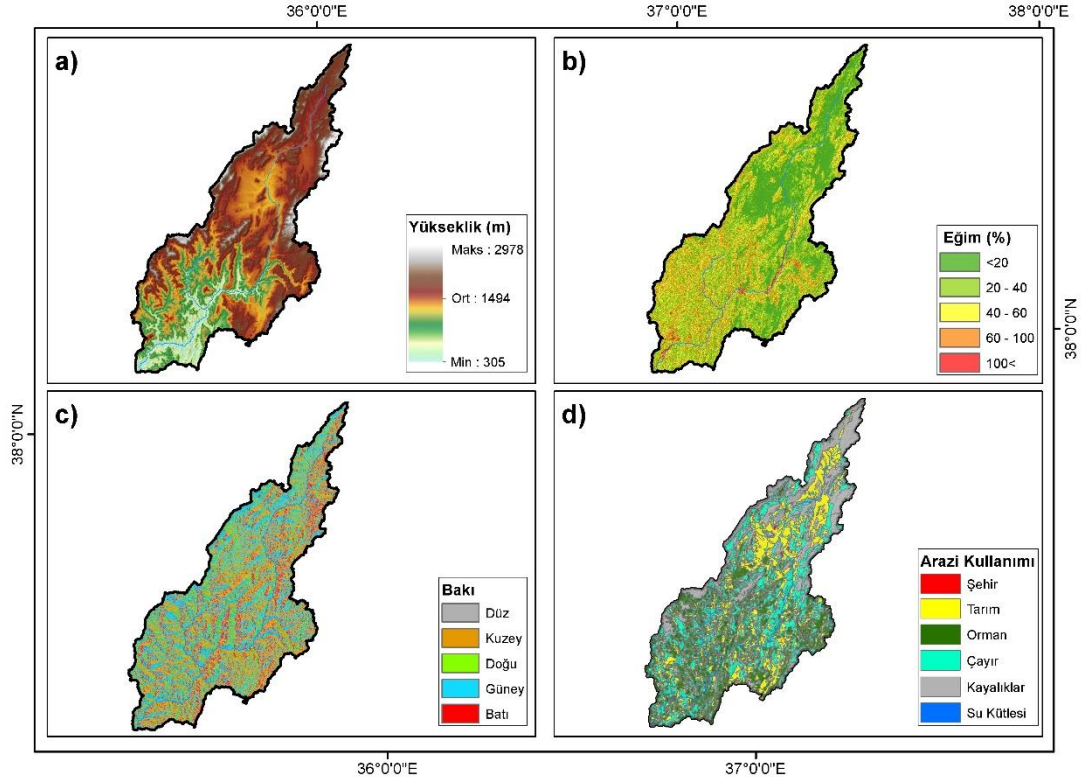
%32,2 oranında orta eğimli, %31,2 oranında az eğimli ve %23,2 oranında ise çok eğimli olduğu belirlenmiştir.

Göksu Havzası'nın bakışı CBS üzerinde 30 m çözünürlükte DEM kullanılarak üretilmiş olup 5 sınıfa ayrılarak değerlendirilmiştir. Buna göre, Göksu Havzası'nın %38,8 oranında güneye bakışı, %33,0 oranında da kuzeye bakışı olduğu belirlenmiştir.

Göksu Havzası'nın mevcut durum arazi kullanımı CBS üzerinde CORINE 2018 verileri kullanılarak üretilmiş ve havzanın arazi kullanımı 6 sınıfa ayrılarak değerlendirilmiştir. Buna göre, Göksu Havzası'nın yaklaşık %33'ünde çayır alanları olduğu görülmüştür. Tarım alanları ve ormanlık alanların birbirlerine yakın alanlar kapladığı ve toplamda yaklaşık olarak havzanın yarısına tekabül ettiği belirlenmiştir. Şehirleşme oranının %0,5'te kaldığı havzada, kayalıkların ve çıplak arazilerin %18,9 oranında yer kapladığı tespit edilmiştir. Şehirleşmenin ve dolayısıyla nüfusun bu kadar az olması, Göksu Havzası'nın doğal bir havza olduğunu göstermektedir. Havzanın analiz edilen ve yukarıda özetlenen karakterizasyonuna ait sayısal değerler Tablo 3.3 ile verilmiş olup, bu değerlerin havzadaki alansal dağılımı ise Şekil 3.5 ile sunulmuştur.

Tablo 3.3. Göksu Havzası'nın karakteristik dağılımları

Eğim		Bakı		Arazi Kullanımı	
Eğim (%)	Alan (%)	Bakı	Alan (%)	Arazi Sınıfı	Alan (%)
Az Eğimli (<20)	31,2	Düz	0,4	Şehir	0,5
Orta Eğimli (20-40)	32,2	Kuzey	33,0	Tarım	24,1
Çok Eğimli (40-60)	23,2	Doğu	13,6	Orman	23,7
Dik (60-80)	12,4	Güney	38,8	Çayır	32,5
Çok Dik (80<)	1,0	Batı	14,2	Kayalık	18,9
				Su Kütlesi	0,3



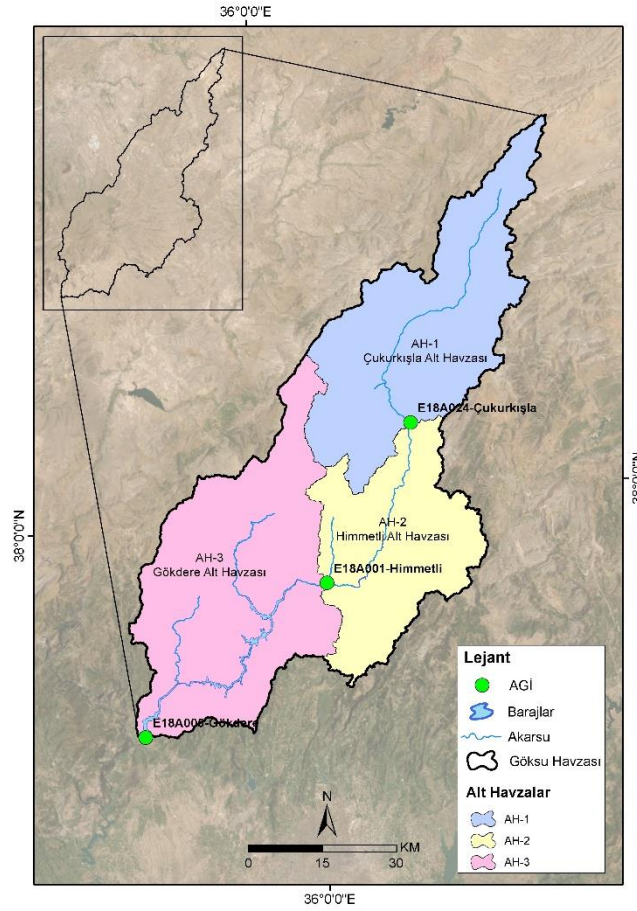
Şekil 3.5. Göksu Havzası karakteristik haritaları (a) yükseklik, (b) eğim, (c) bakı, (d) arazi kullanımı)

3.2.1.1. Alt havzalar

Çalışma kapsamında modelleme çalışmalarının yapılacağı Göksu Havzası'na ait alt havzalar belirlenmiştir. Göksu Havzası'nı temsil edecek şekilde uzun yıllar akım gözlemi yapan istasyonlar alt havzaların çıkış noktaları olacak şekilde belirlenmiş olup, toplamda 3 alt havza tanımlanmıştır. Bu alt havzaların çıkışlarında bulunan AGİ'ler, alt havzaların isimleri ve yağış alanları Tablo 3.4 ile verilirken harita üzerindeki gösterimleri ise Şekil 3.6 ile sunulmuştur.

Tablo 3.4. Göksu Havzası alt havzaları

İstasyon No	Alt Havza No	Alt Havza Adı	Yağış Alanı (km ²)
E18A024	AH-1	Çukurkişla Alt Havzası	1.496,0
E18A001	AH-2	Himmetli Alt Havzası	1.061,4
E18A005	AH-3	Gökdere Alt Havzası	1.789,0
TOPLAM			4.346,4



Şekil 3.6. Göksu Havzası alt havzaları

3.3. Topografik Çalışmalar

Çalışma kapsamında kullanılan fiziksel tabanlı kavramsal hidrolojik model için havzanın yükseklik dağılımı önemli bir veri sağlamaktadır. Meteorolojik değişkenler ile kar örtüsü, havzalardaki yükseklik değişiminden etkilenmektedir. Bu nedenle modelleme çalışmalarından önce havzalar çeşitli yükseklik aralıklarına (zon) bölünmüştür. Yükseklik aralıkları, havzalar bazında ve her bir alt havza için belirlenmiştir. Alansal olarak temsil edilen yükseklik aralıklarına göre oluşturulan bu işlemler CBS platformunda gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan yükseklik aralıklarına ait topografik özellikler Tablo 3.5 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.5. *Peterek ve Göksu Havzası yükseklik zonları tablosu*

Peterek			Göksu		
Zon	Yükseklik Aralığı (m)	Alan Oranı (%)	Zon	Yükseklik Aralığı (m)	Alan Oranı (%)
1	654-1150	1,5	1	305-650	2,0
2	1150-1400	3,0	2	650-900	6,7
3	1400-1550	5,1	3	900-1050	5,9
4	1550-1650	7,2	4	1050-1200	6,9
5	1650-1750	10,1	5	1200-1300	5,0
6	1750-1850	10,3	6	1300-1400	7,9
7	1850-1900	4,5	7	1400-1500	12,3
8	1900-2000	9,9	8	1500-1600	13,3
9	2000-2100	9,0	9	1600-1700	11,3
10	2100-2200	9,7	10	1700-1800	9,8
11	2200-2400	13,7	11	1800-1900	6,3
12	2400-2600	7,6	12	1900-2100	7,4
13	2600-3000	6,5	13	2100-2300	3,2
14	3000-3768	1,9	14	2300-2500	1,2
TOPLAM		100	15	2500-2978	0,8
			TOPLAM		100

3.4. Hidro-Meteorolojik Veri Analizi

Havzalardaki hidrolojik çalışmaları yürütebilmek için hidro-meteorolojik verilerin analiz edilmesi gerekmektedir. Verilerin miktar ve kalite açısından gerekli öngörünün yapılmasına olanak tanıyacak yeterlilikte olması önem arz etmektedir. Çalışma havzaları içinde ve yakın çevrelerinde bulunan hidro-meteorolojik istasyonlara ait uzun yıllar gözlenmiş günlük yağış ve sıcaklık verileri ile aylık buharlaşma verileri işlenip, eksikleri giderilerek analizlere tabi tutulmuştur. Gözlem verileri ile çalışma havzalarındaki; yağış, sıcaklık, buharlaşma ve akım durumları analiz edilerek aşağıdaki başlıklarda değerlendirilmiştir.

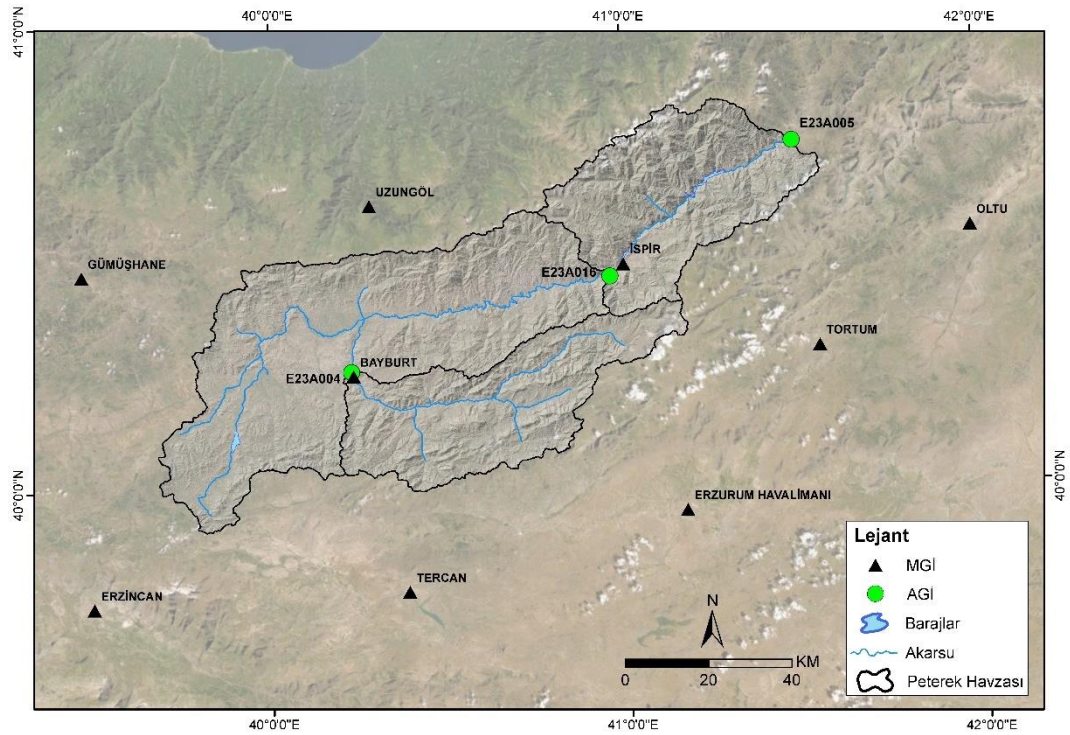
3.4.1. Peterek havzası

Peterek Havzası'nın içinde ve yakın çevresinde bulunan Meteoroloji Gözlem İstasyonları'nın (MGİ) özellikleri Tablo 3.6 ile gösterilmiş olup, konumları ise Şekil 3.7 ile verilmiştir. Uzun yıllar gözlenmiş verisi olan istasyonlar, alt havzaların mevcut durum analizinde ve günlük ölçekte hidrolojik modele girdi olarak kullanılmıştır. Meteorolojik verilerin alt havzalar bazında değerlendirmesi, istasyon verilerinin alansal olarak

dağıtılması ile sağlanmıştır. Thiessen Polygon yöntemiyle, her bir istasyonun alt havzalardaki temsil ettiği alanlar değerlendirilmiş ve bu alansal oranlar yardımıyla yağış analizleri gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık analizleri için de istasyon verileri kullanılmış, azaltma faktörü (lapse rate) gözetilerek her alt havzanın ortalama yüksekliğindeki günlük ortalama sıcaklık değerleri belirlenmiştir.

Tablo 3.6. *Peterek Havzası'nda ve yakın çevresindeki MGI*

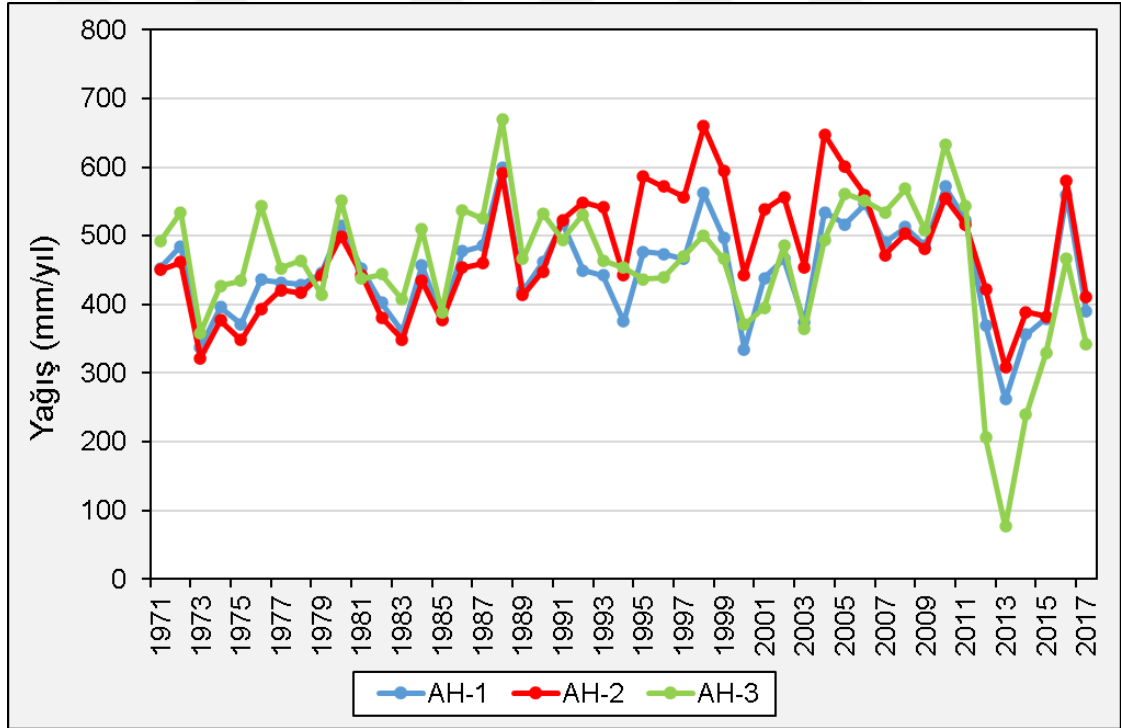
No	Adı	Enlem	Boylam	Kotu (m)	Gözlem Periyodu
17089	Bayburt	40° 15'	40° 13'	1583	1959-2017
17666	İspir	40° 29'	40° 59'	1222	1959-2017
17088	Gümüşhane	40° 27'	39° 27'	1219	1931-2014
17094	Erzincan	39° 45'	39° 29'	1218	1930-2017
17096	Erzurum H.	39° 57'	41° 11'	1757	1930-2017
17718	Tercan	39° 46'	40° 23'	1425	1962-2017
17688	Tortum	40° 18'	41° 32'	1672	1970-2017
17668	Oltu	40° 32'	41° 59'	1322	1965-2017
1962	Uzungöl	40° 37'	40° 17'	1450	1970-2005



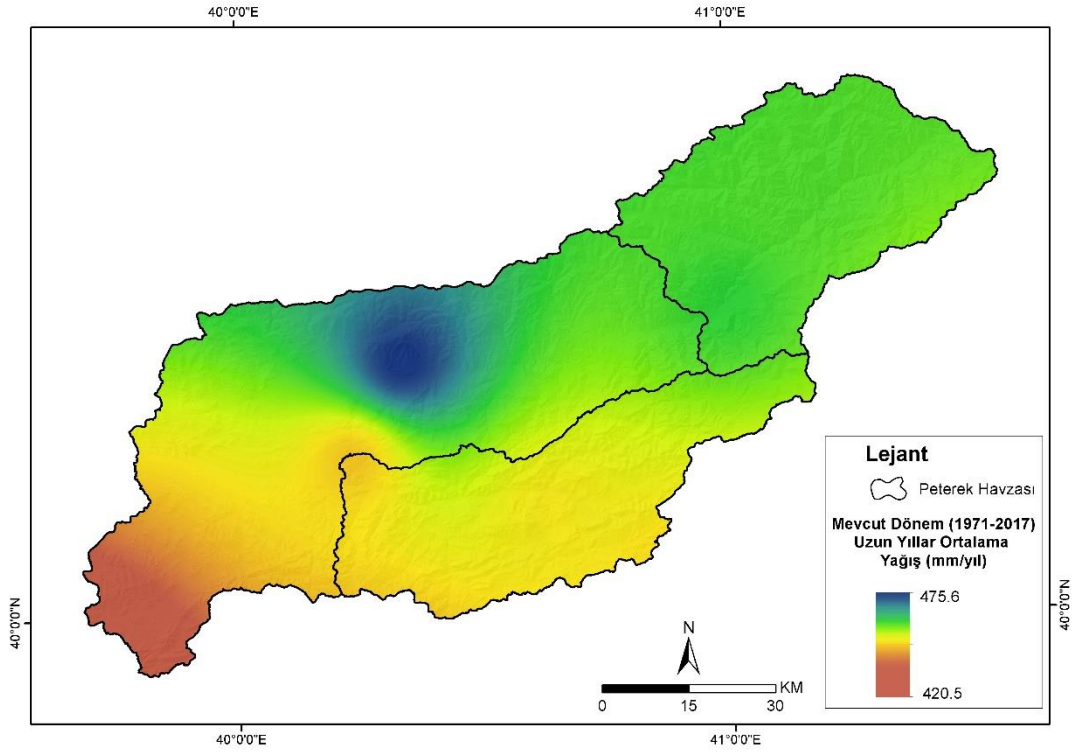
Şekil 3.7. *Peterek Havzası ve çevresindeki hidro-meteorolojik istasyonların konumları*

3.4.1.1. Yağış

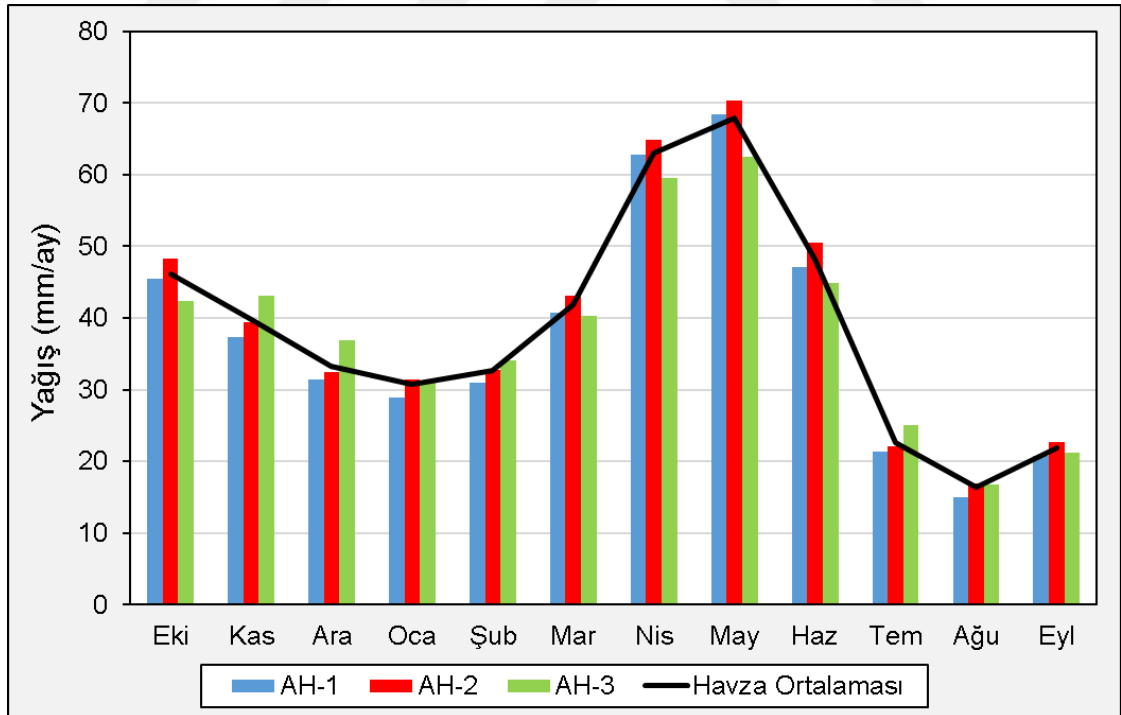
Peterek Havzası alt havzalarının 1971-2017 yılları arası yıllık toplam yağış değerlendirmesi Şekil 3.8 ile verilmiştir. Peterek Havzası için uzun yıllar yağış ortalamasının dağılımı Şekil 3.9 ile sunulmuştur. Havzada yıllık ortalama yağış 465 mm olup, çalışma yılları içerisinde en düşük yağışlar 2013 yılında gözlenmiştir. Alansal olarak yağışların dağılımı incelendiğinde, havzanın güney ve güneybatı kesimlerin daha az yağış aldığı belirlenmiştir. Havzanın kuzeyinde ise Karadeniz iklimi ve Kaçkar Dağları'nın etkisi ile birlikte yağışların ortalamadan fazla olduğu tespit edilmiştir. Aynı periyottaki aylık ortalama toplam yağış değerleri Şekil 3.10 ile sunulmuştur. Buna göre, havzadaki yağışların Nisan-Mayıs aylarında en yüksek olduğu, Temmuz-Eylül ayları arasında ise en düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.8. Peterek Havzası alt havzalarının yıllık toplam yağışları



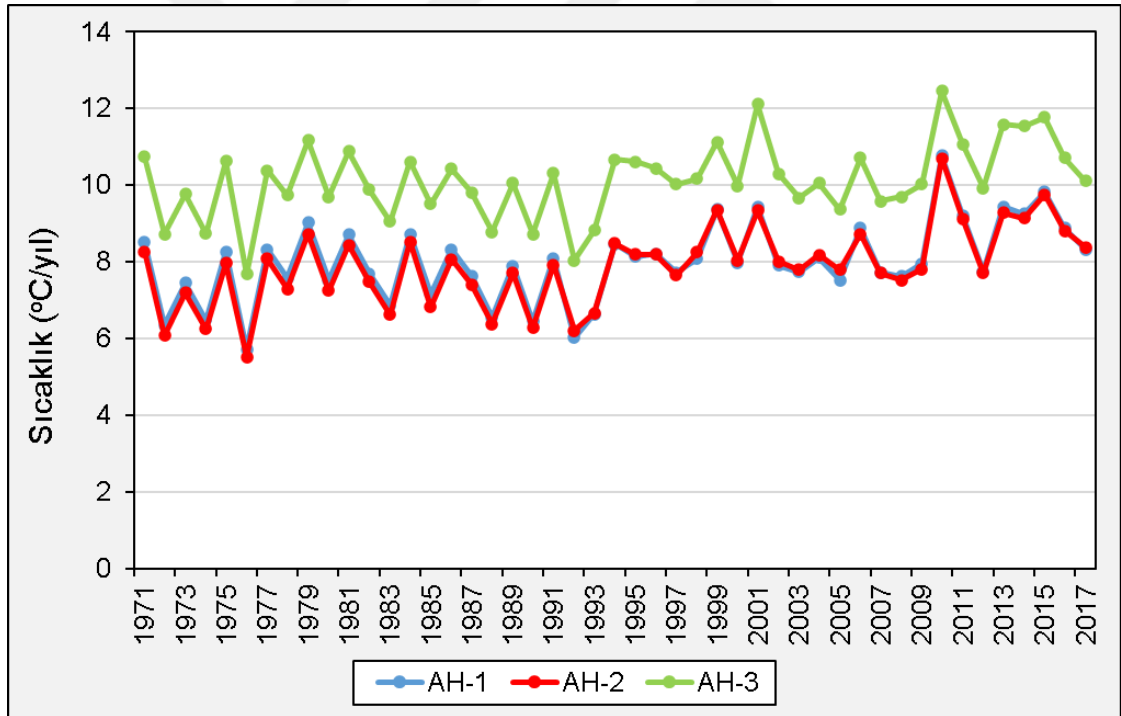
Şekil 3.9. Peterek Havzası uzun yıllar ortalama yağış dağılımı



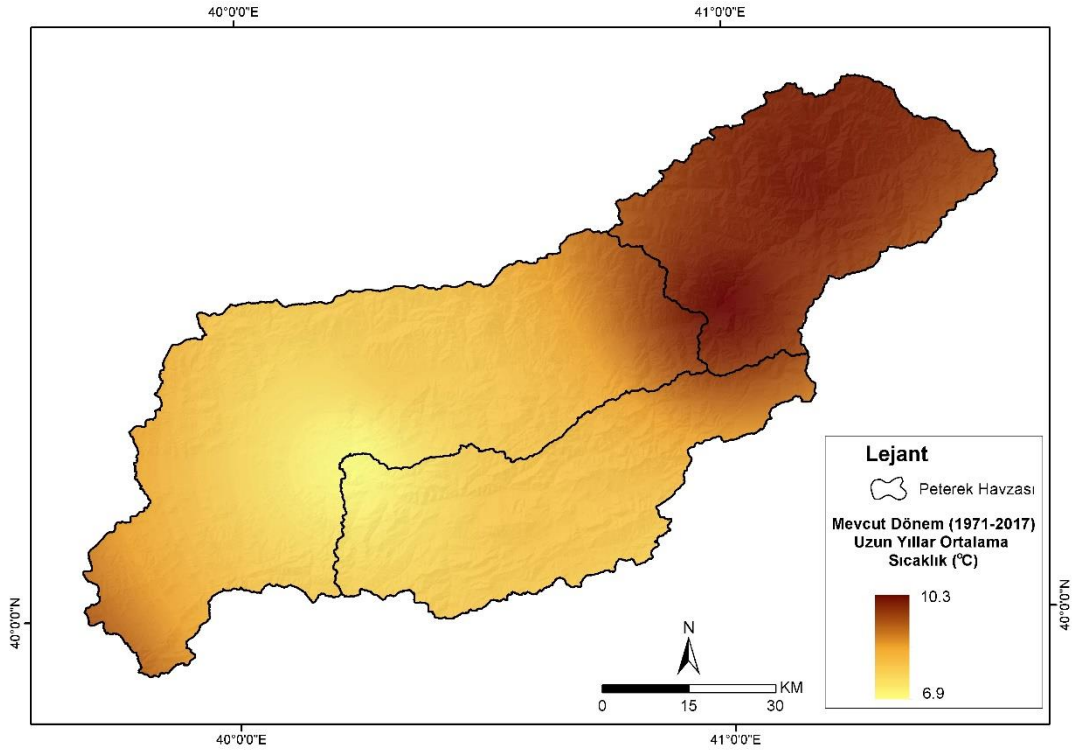
Şekil 3.10. Peterek Havzası alt havzalarının aylık ortalama toplam yağışları

3.4.1.2. Sıcaklık

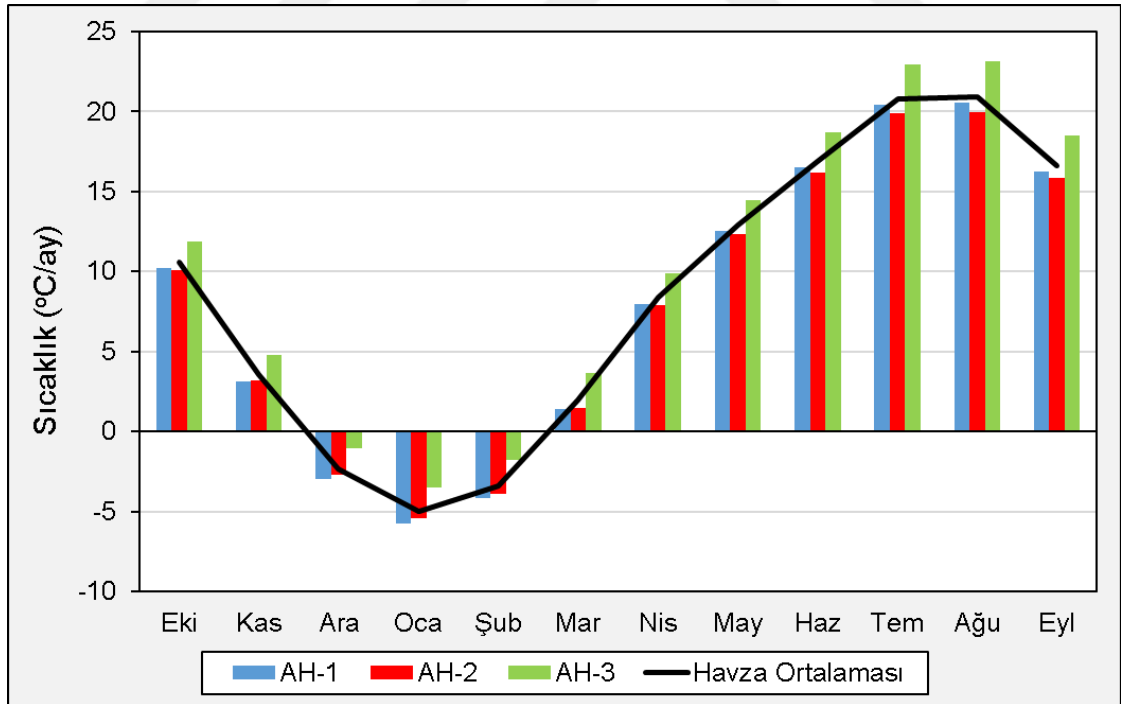
Peterek Havzası alt havzalarının 1971-2017 yılları arası yıllık ortalama sıcaklık değerlendirmesi Şekil 3.11 ile verilmiştir. Havzada yıllık ortalama sıcaklık 8,5°C olup, 2011 yılı her bir alt havza için en sıcak yıl olmuştur. Sıcaklıkların uzun yıllar verisi incelendiğinde, 1. ve 2. Alt Havzalarda sıcaklıkların birbirlerine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Bunun temel sebebi, belirtilen alt havzalardaki hipsometrik kotlarının birbirine yakın olmasıdır. Peterek Havzası için uzun yıllar ortalama sıcaklık dağılımı Şekil 3.12 ile sunulmuştur. Sıcaklıklar alansal olarak değerlendirildiğinde, havzanın nispeten yüksek kotlu olan güney ve orta bölgelerindeki sıcaklıklar düşük, düşük kotlu olan kuzeydoğu kesimlerinde ise sıcaklıkların yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aynı dönemdeki aylık ortalama sıcaklık değerleri Şekil 3.13 ile sunulmuştur. Buna göre, havzadaki sıcaklıkların Temmuz-Ağustos aylarında en yüksek olduğu, Aralık-Şubat ayları arasında ise en az olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.11. Peterek Havzası alt havzalarının yıllık ortalama sıcaklıkları



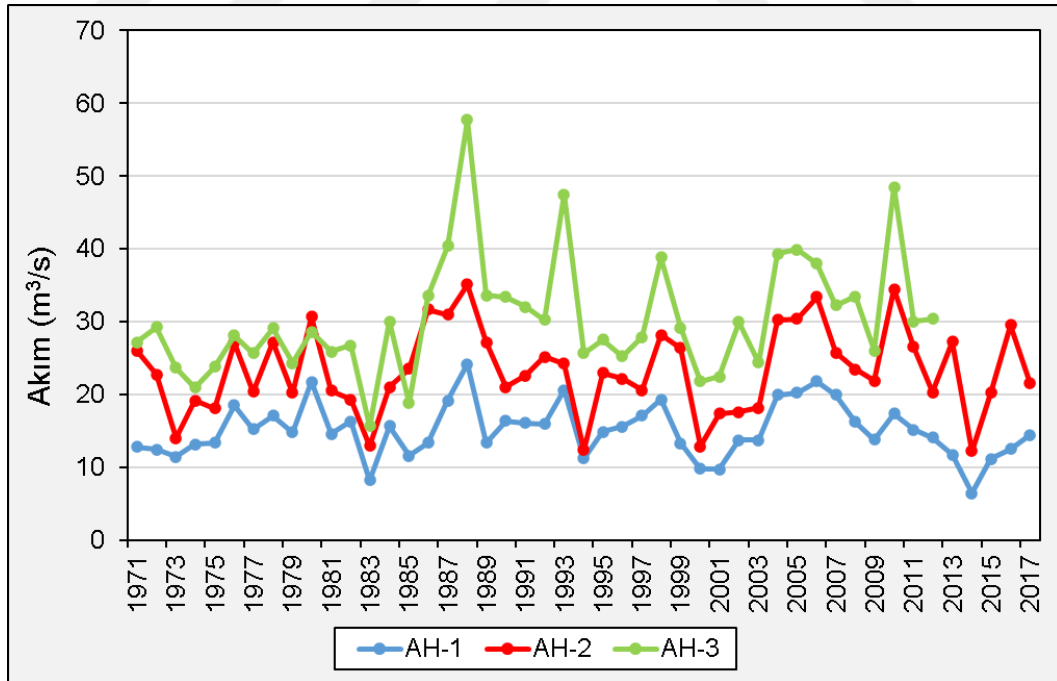
Şekil 3.12. Peterek Havzası uzun yıllar ortalama sıcaklık dağılımı



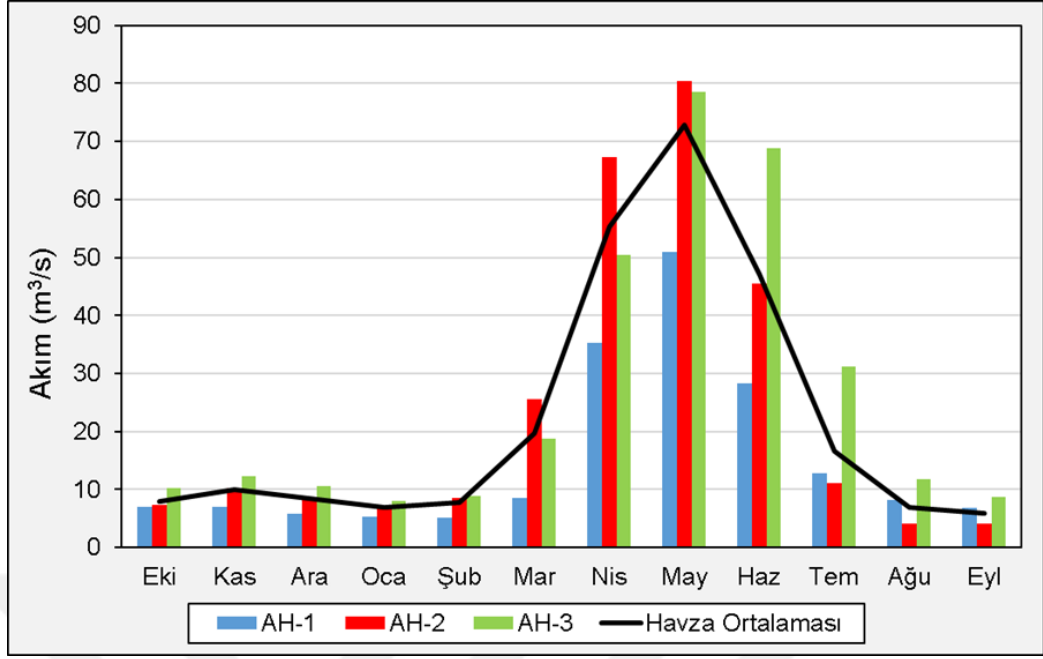
Şekil 3.13. Peterek Havzası alt havzalarının aylık ortalama sıcaklıkları

3.4.1.3. Akım

Peterek Havzası alt havzalarının 1971-2017 yılları arası yıllık ortalama akım değerlendirmesi Şekil 3.14 ile verilmiştir. 3. Alt Havzanın çıkışında bulunan AGİ kapatılmış olduğundan 2011 yılından sonra bu istasyonda akım gözlem verisi bulunmamaktadır. Bu nedenle, 3. Alt Havza akımlarının değerlendirmesi 1971-2011 yılları arasını kapsamaktadır. Havzada yıllık ortalama akım $70 \text{ m}^3/\text{s}$ olup, 1988 yılı havzadaki en yüksek akımın gözlemlendiği yıl olmuştur. Akımlardaki yıllık dağılıma bakıldığında, bütün alt havzalar için en ıslak yılın 1988 yılı olduğu tespit edilmiştir. Belirtilen dönemlerdeki aylık ortalama akım değerleri Şekil 3.15 ile sunulmuştur. Buna göre, havzadaki en yüksek akımların her bir alt havza için de Mayıs ayında geldiği görülmüştür. Mayıs ayından sonra gelen en yüksek akım değerleri arasında ise alt havzalar arasında farklılıklar gözlenmiştir. 1. ve 2. Alt Havzalarda Nisan-Mayıs ayları arasında akım değerlerinin yüksek olduğu, ancak 3. Alt Havzada ise Mayıs-Haziran ayları arasında akım değerlerinin diğer aylara göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durumun farklı yüksekliklerdeki kar erimesinin zamansal farkından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.14. Peterek Havzası alt havzalarının yıllık ortalama akımları



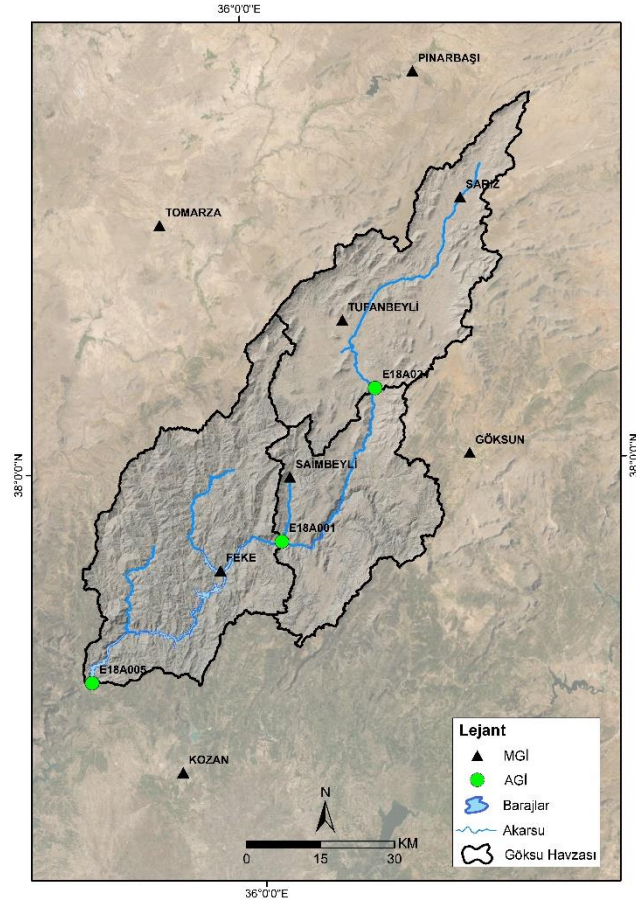
Şekil 3.15. Peterek Havzası alt havzalarının aylık ortalama akımları

3.4.2. Göksu havzası

Göksu Havzası'nın içinde ve yakın çevresinde bulunan Meteoroloji Gözlem İstasyonları'nın (MGİ) özellikleri Tablo 3.7 ile gösterilmiş olup, konumları ise Şekil 3.16 ile verilmiştir. Uzun yıllar gözlenmiş verisi olan istasyonlar, alt havzaların mevcut durum analizinde ve günlük ölçekte hidrolojik modele girdi olarak kullanılmıştır. Meteorolojik verilerin alt havzalar bazında değerlendirmesi, istasyon verilerinin alansal olarak dağıtılması ile sağlanmıştır. Thiessen Polygon yöntemiyle, her bir istasyonun alt havzalardaki temsil ettiği alanlar değerlendirilmiş ve bu alansal oranlar yardımıyla yağış analizleri gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık analizleri için de istasyon verileri kullanılmış, azaltma faktörü (lapse rate) gözetilerek her alt havzanın ortalama yüksekliğindeki günlük ortalama sıcaklık değerleri belirlenmiştir.

Tablo 3.7. Göksu Havzası'nda ve yakın çevresindeki MGİ

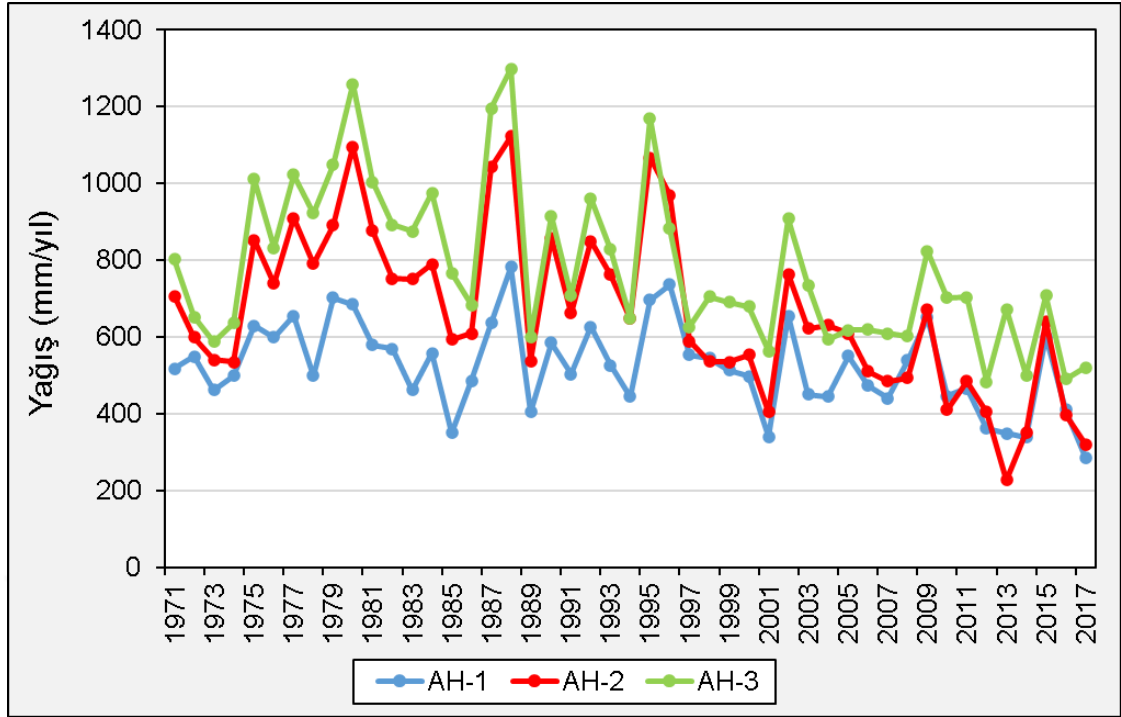
No	Adı	Enlem	Boylam	Kot (m)	Gözlem Periyodu
17840	Sarız	38° 29'	36° 30'	1500	1951-2016
6204	Tufanbeyli	38° 16'	36° 13'	1400	1957-2016
6902	Feke	37° 49'	35° 55'	620	1941-1994
6560	Saimbeyli	37° 59'	36° 05'	1100	1957-1995
17802	Pınarbaşı	38° 43'	36° 24'	1500	1950-2016
17837	Tomarza	38° 27'	35° 48'	1397	1962-2016
17908	Kozan	37° 27'	35° 49'	109	1951-2016
17866	Göksun	38° 01'	36° 30'	1344	1953-2016



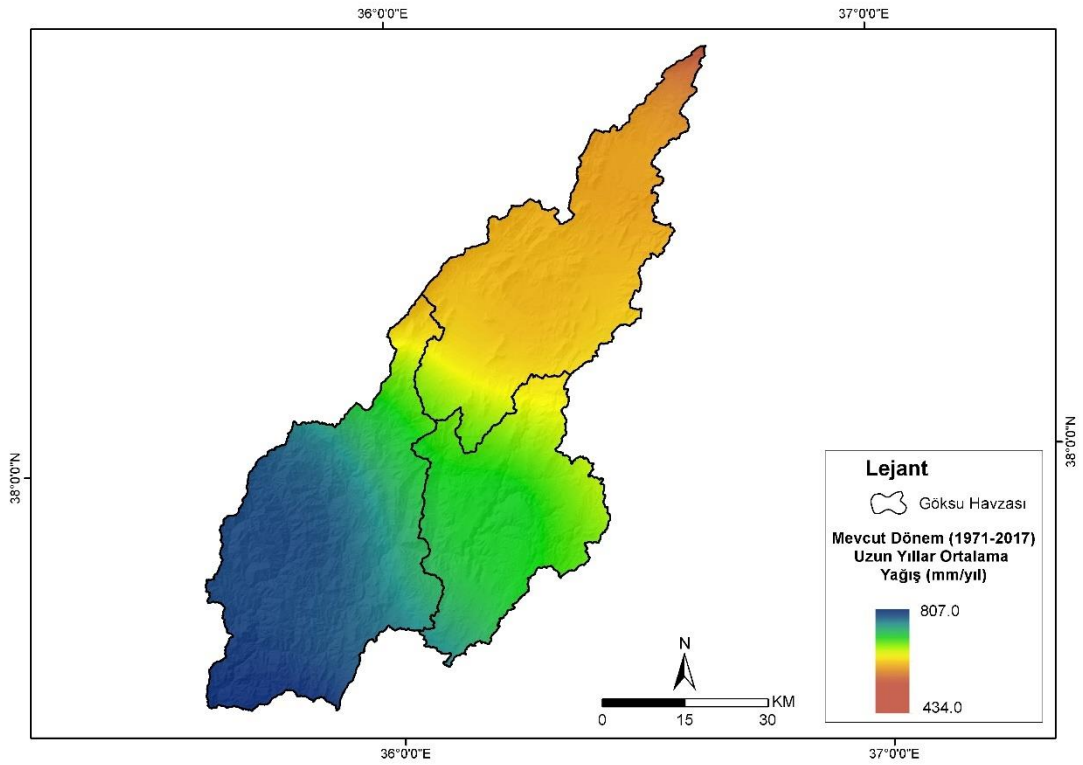
Şekil 3.16. Göksu Havzası ve çevresindeki hidro-meteorolojik istasyonların konumları

3.4.2.1. Yağış

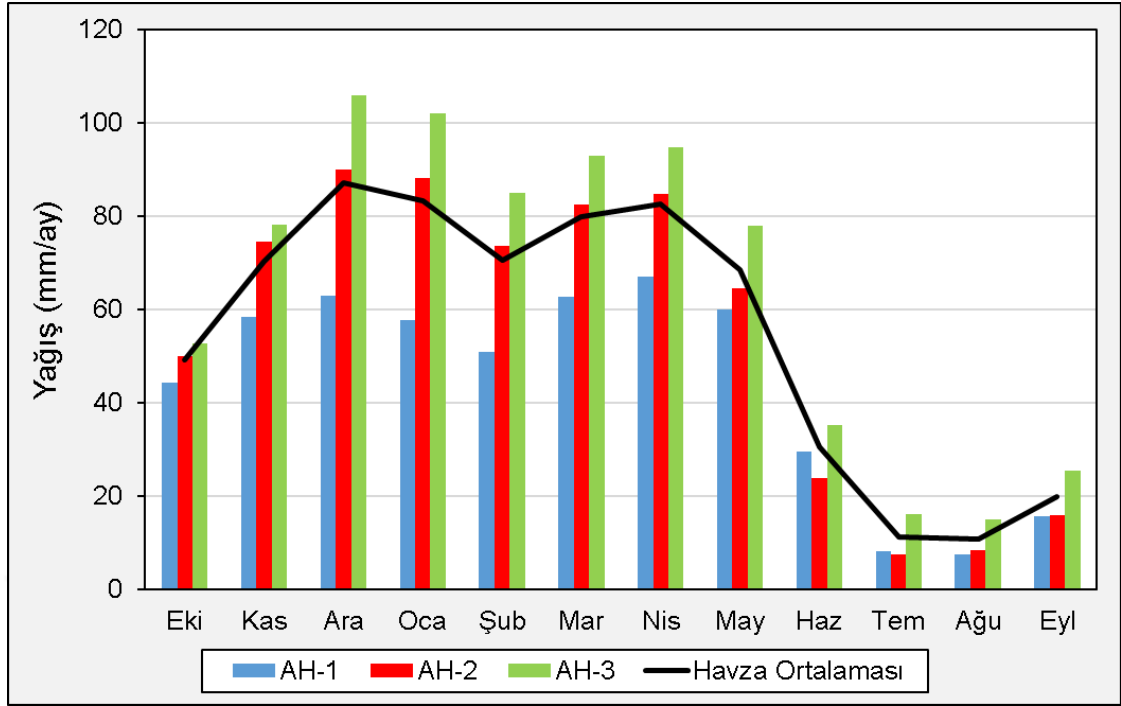
Göksu Havzası alt havzalarının 1971-2017 yılları arası yıllık toplam yağış değerlendirmesi Şekil 3.17 ile verilmiştir. Havzada yıllık ortalama yağış 664 mm olup, 2013 yılının her bir alt havza için en az yağışlı geçen yıl olduğu tespit edilmiştir. Göksu Havzası için uzun yıllar yağış ortalamasının dağılımı Şekil 3.18 ile sunulmuştur. Alansal olarak yağışların dağılımına bakıldığında, havzanın membasında ortalamanın altında yağış olduğu belirlenmiştir. Havzanın güneybatı bölgesinde ise yağışların ortalamaya göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aynı periyottaki aylık ortalama toplam yağış değerleri Şekil 3.19 ile sunulmuştur. Buna göre, havzadaki yağışların Temmuz-Ağustos ayları arasında en az olduğu, kış ve bahar aylarında ise en yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.17. Göksu Havzası alt havzalarının yıllık toplam yağışları



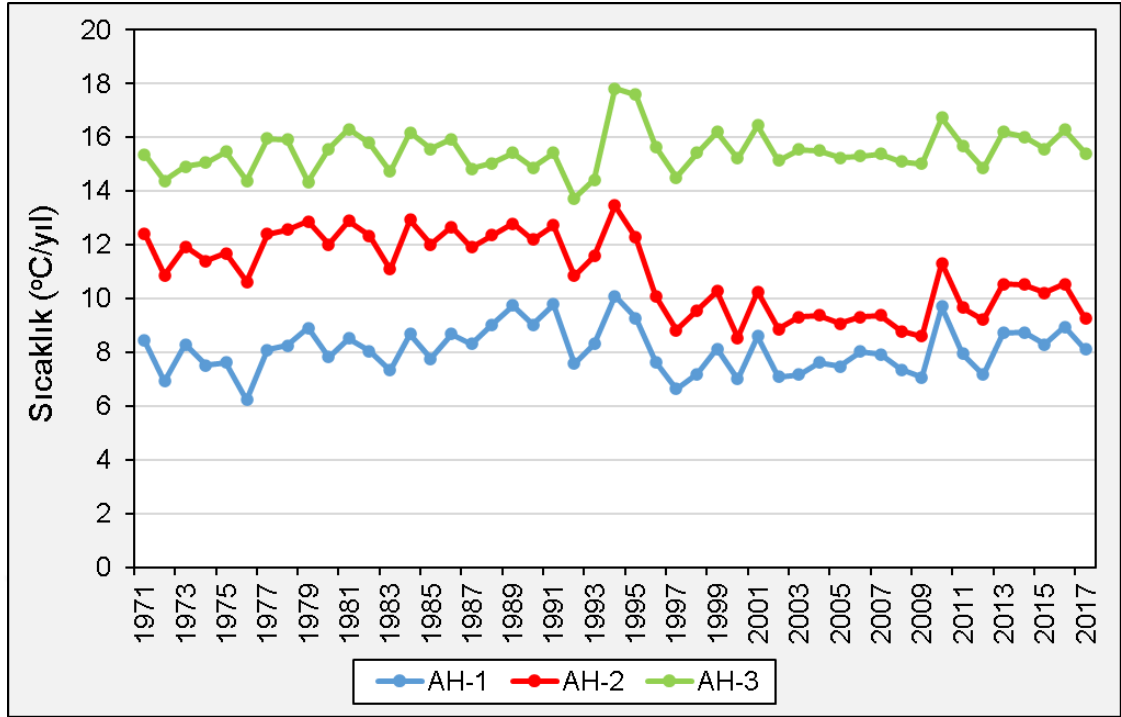
Şekil 3.18. Göksu Havzası uzun yıllar ortalama yağış dağılımı



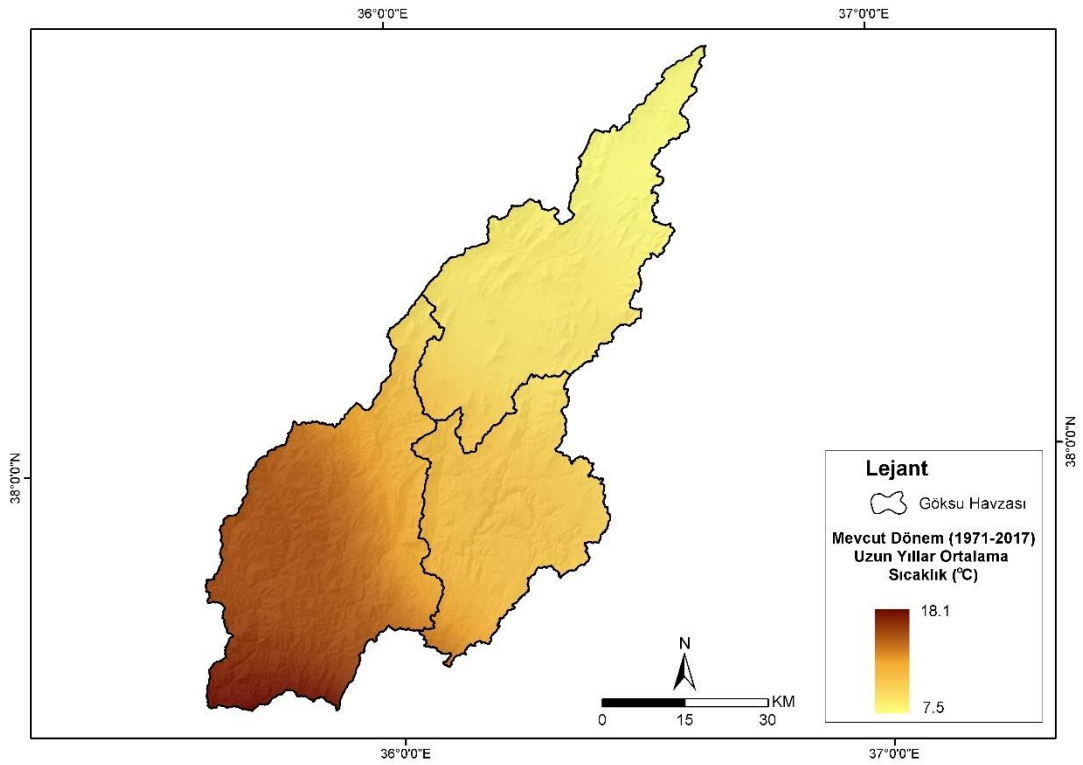
Şekil 3.19. Göksu Havzası alt havzalarının aylık ortalama toplam yağışları

3.4.2.2. Sıcaklık

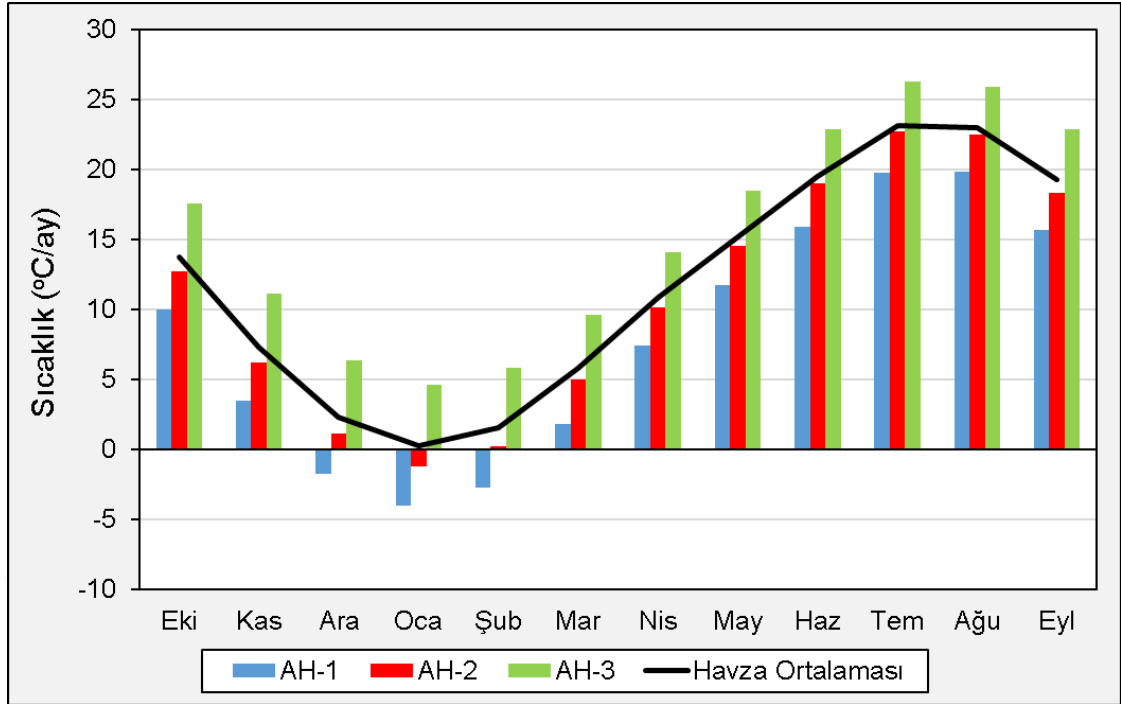
Göksu Havzası alt havzalarının 1971-2017 yılları arası yıllık ortalama sıcaklık değerlendirmesi Şekil 3.20 ile verilmiştir. Havzada yıllık ortalama sıcaklık 12,0°C olup, 1995 yılı her bir alt havza için en sıcak yıl olmuştur. Sıcaklıklardaki yıllık dağılıma bakıldığında, membadan mansaba doğru sıcaklıkların genel olarak arttığı gözlenmiştir. Göksu Havzası için uzun yıllar ortalama sıcaklık dağılımı Şekil 3.21 ile sunulmuştur. Sıcaklıklar alansal olarak incelendiğinde, havzanın güney ve güneybatı bölgelerindeki sıcaklıkların en fazla olduğu, havzanın kuzeyi ve kuzey doğu kesimlerinde ise sıcaklığın ortalamaya göre daha düşük kaldığı tespit edilmiştir. Aynı dönemdeki aylık ortalama sıcaklık değerleri Şekil 3.22 ile sunulmuştur. Buna göre, havzadaki sıcaklıkların Temmuz-Ağustos aylarında en yüksek olduğu, Aralık-Şubat ayları arasında ise en az olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, 3. Alt Havza'nın aylık ortalama sıcaklıklarında negatif değerler gözlenmemiştir.



Şekil 3.20. Göksu Havzası alt havzalarının yıllık ortalama sıcaklıkları



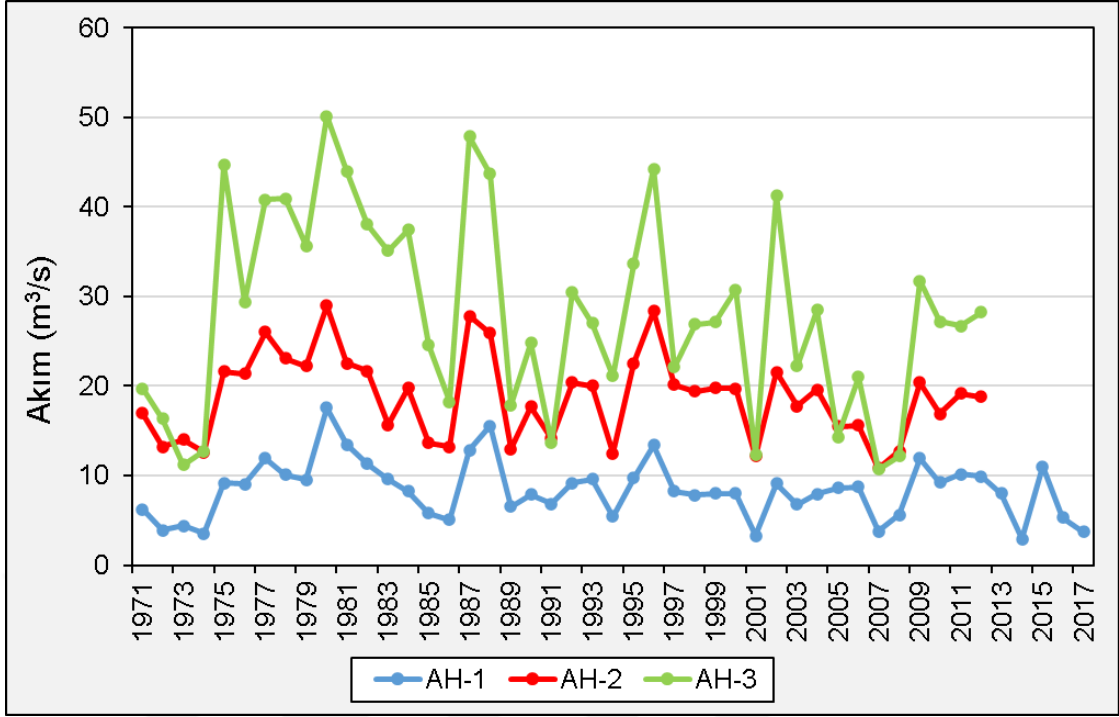
Şekil 3.21. Göksu Havzası uzun yıllar ortalama sıcaklık dağılımı



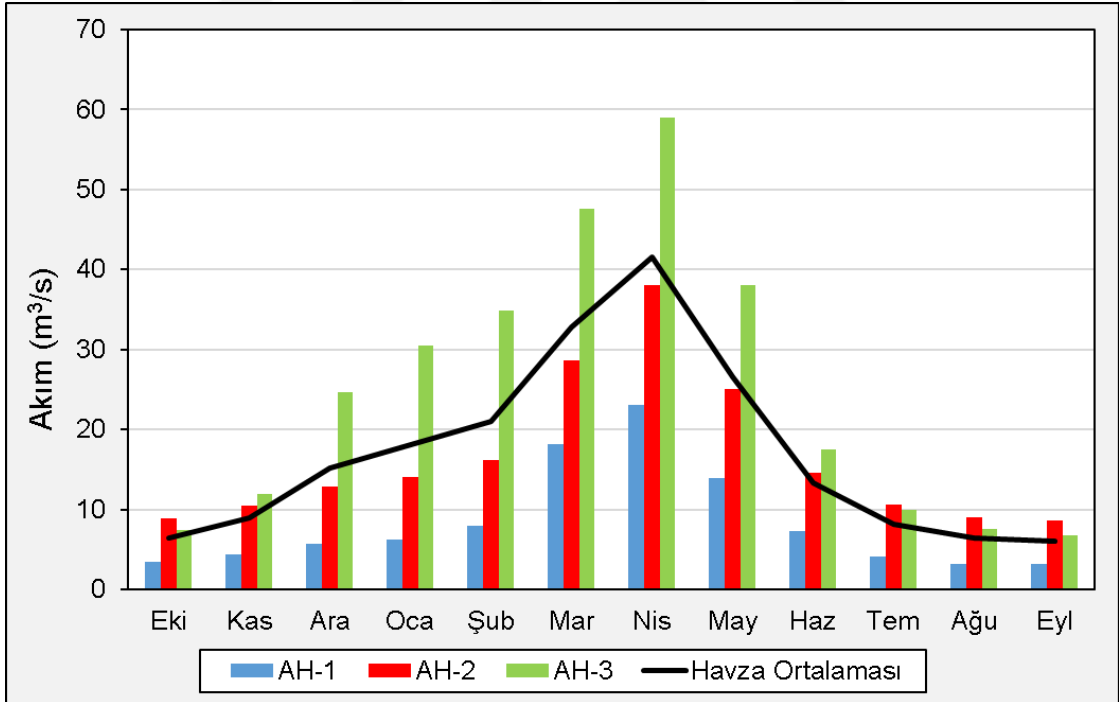
Şekil 3.22. Göksu Havzası alt havzalarının aylık ortalama sıcaklıkları

3.4.2.3. Akım

Göksu Havzası alt havzalarının 1971-2017 yılları arası yıllık ortalama akım değerlendirmesi Şekil 3.23 ile verilmiştir. 2. ve 3. Alt Havzanın çıkışında bulunan AGİ kapatılmış olduğundan 2011 yılından sonra bu istasyonda akım gözlem verisi bulunmamaktadır. Bu nedenle, 2. ve 3. Alt Havza akımlarının değerlendirilmesi 1971-2011 yılları arasını kapsamaktadır. Havzada yıllık ortalama akım $56 \text{ m}^3/\text{s}$ olup, 1980 yılı havzadaki en yüksek akımın gözlemlendiği yıl olmuştur. Akımlardaki yıllık dağılıma bakıldığında, bütün alt havzalarda 1980, 1987 ve 1988 yıllarının en ıslak geçen yıllar olduğu belirlenmiştir. Belirtilen dönemlerdeki aylık ortalama akım değerleri Şekil 3.24 ile sunulmuştur. Buna göre, havzadaki en yüksek akımların her bir alt havza için nisan ayında geldiği görülmüştür. Bütün alt havzaların aylık bazda akım değişimlerinin benzer olduğu belirlenmiştir. Havzadaki en düşük akımların Temmuz-Kasım ayları arasında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.23. Göksu Havzası alt havzalarının yıllık ortalama akımları



Şekil 3.24. Göksu Havzası alt havzalarının aylık ortalama akımları

3.5. Karla Kaplı Alan Verisi

Uzaktan algılama teknolojisi, nokta verisine karşılık gelen mekansal veriyi sağlayabildiği, dünyanın geniş ve uzak alanlarının durumunu ölçebildiği için pek çok bilimsel ve mühendislik amaçlı çalışmalarda kullanılmaktadır. Hidroloji alanında da su

kaynakların modellenmesi, yönetilmesi, işletilmesi ve çeşitli tahmin çalışmalarında mekansal veriye ihtiyaçtan dolayı yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle kar hidrolojisi çalışmalarında, kar örtüsünün havza içerisindeki dağılımını ve zamanla değişimini belirlemek amacıyla uydu görüntülerinden faydalanılmaktadır.

Yer gözlem istasyonları noktasal olup, yakın çevresini temsil ettiğinden dolayı kar kaplı alanların günlük değişimlerini gözlemlemek zordur. Bu nedenle uydu verileri, karın yansıma özelliğinden dolayı kar hidrolojisi ve günlük hava durumu tahmini için zamana bağlı mekansal değişimi takip etmeyi kolaylaştırmaktadır.

Dağlık arazide kar ölçümlerinin manuel veya otomatik şekilde yapılması ancak ölçülen nokta ve yakın civarını temsil edebilmektedir. Daha geniş alansal bazda yakın gerçek zamanlı kar örtüsü değişimini takip etmenin en etkili yolu uydu görüntüleri kullanmaktır (Parajka & Blöschl, 2012).

Rango (1993), mevsimsel karla kaplı alan değişimini gözlemlemenin en etkili yolu uzaktan algılama tekniklerinin kullanılması olduğunu ifade etmektedir. Özellikle kış aylarında biriken karın kapladığı alan ile bahar ve ilk yaz ayları sırasında eriyen karın farklı alan ve kotlarda değişiminin en kolay takibi uydu görüntüleri kullanılarak yapılabilmektedir. Dünyadaki gelişmeler çeşitli çözünürlüklerde yeni uyduların kullanımına olanak tanımaktadır. Erime ve birikme dönemlerinde kar örtüsü değişiminin izlenmesinde, yüksek zamansal çözünürlükteki uydular oldukça önemlidir.

Bu çalışmada alt havzalar bazında günlük kar kaplı alan analizleri için kullanılan uydu ürünü, IMS (Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System)'tir ve aşağıdaki başlıkta detayları açıklanmıştır.

3.5.1. IMS (Interactive multisensor snow and ice mapping system)

Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi Ulusal Çevre Uydu Veri ve Bilgi Servisi (National Oceanic and Atmospheric Administration's National Environmental Satellite Data and Information Service, NOAA/NESDIS) tarafından 1966'dan itibaren sağlanan Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS) verisi olan haftalık kar ve buzul haritaları, kuzey yarımküreye ait kar örtüsünün izlenmesinde en uzun süreli uydu kaynaklı çevresel veri olarak kabul edilir (Robinson, 1993).

IMS geniş coğrafi sistem ile çeşitli veri kaynakları kullanılarak karla kaplı alanın üretilmesini sağlamaktadır (Helfrich, 2007). Başlıca girdi uyduları NOAA'nın kutupsal

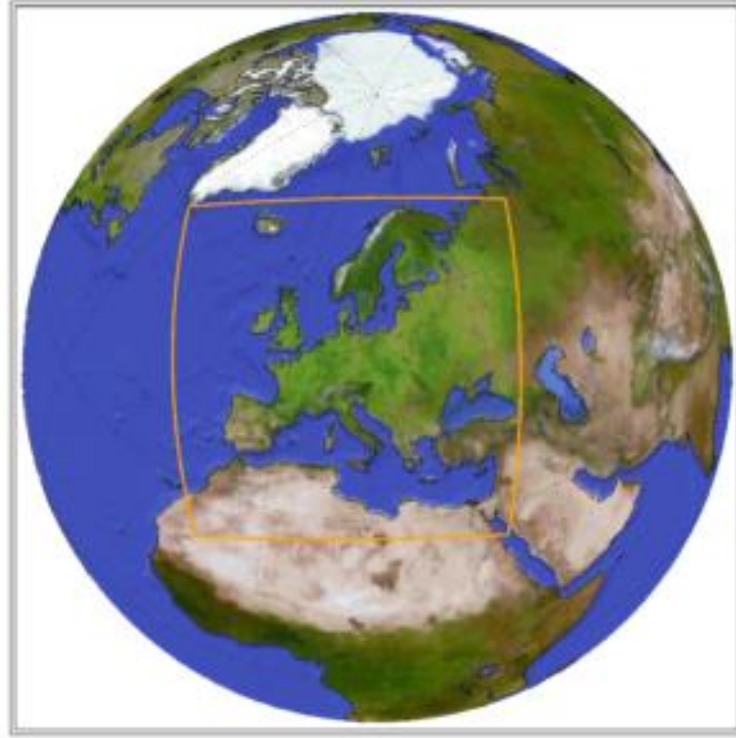
yörüngeli ve sabit konumlu uyduları (POES ve GOES), sabit yörüngeli Japon meteorolojik uyduları (GMS), sabit yörüngeli Avrupa meteorolojik uyduları (METEOSAT), Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU), Birleşik Devletler Savunma Bakanlığı kutupsal yörüngeli uyduları ve Savuma Meteoroloji Uydu Programı (DMSP) uydularıdır. Dolaylı olarak kullanılan kaynaklar ise haftalık Ulusal Buz Merkezi (National Ice Center, NIC) verileri, Birleşik Devletler Hava Kuvvetleri (USAF) günlük kar derinlikleri ve buz kaplı alan verileri, çeşitli radarlar, uydular, modeller ve yer ölçümleridir. Ürün algoritmasında bu kadar farklı ve çeşitli özelliklerde veri kullanılmasının sonucu olarak IMS kar ürünü buluttan arındırılmış olarak servis edilmektedir.

IMS ürünü olan kar ve buz haritaları 190 km mekânsal çözünürlüklü haftalık veriler olarak 1966'dan itibaren 30 yılı aşkın süre üretilmiştir. Kullanıcıların daha yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüklü veri ihtiyacı IMS verisinin geliştirilmesine sebep olmuştur ve 1997'de verinin mekânsal çözünürlüğü 24 km olurken zamansal çözünürlük de günlük olmuştur. IMS verisinin ulaşılabilir üç farklı sürümü vardır. İlk sürüm olan 24 km mekânsal ve haftalık zamansal çözünürlüklü ürün 4 Şubat 1997'den itibaren üretilmektedir. Mekânsal çözünürlüğü 4 km, zamansal çözünürlüğü de günlük olarak iyileştirilen ürünün ikinci sürümü 23 Şubat 2004 tarihinde sağlanmaya başlamıştır. Fakat mevcut çalışmaların veri sıkıntısına uğramaması için 24 km mekânsal çözünürlüklü verinin temini de devam etmektedir. IMS'in en son ve yeni sürümündeki değişiklik (Aralık 2014 sonrası) ise mekânsal çözünürlüğün 1 km olarak iyileştirilmesidir ([http-3](http://3)). Her üç sürümün üretilmesinde kullanılan girdiler uydulardaki ve veri kaynaklarında değişimlere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu çalışma 2000-2011 yıllarını kapsadığı için IMS'in 1. ve 2. sürümleri kullanılmıştır.

3.6. İklim Projeksiyonları

İklim değişikliği analizleri için çalışılan veriler, CMIP5 (The downscaled Climate Model Inter Comparison Project) çıktısı 5 farklı küresel iklim modelinin (GCM) 3 farklı bölgesel iklim modelinin (RCM) RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları olup, bu veriler CORDEX (Coordinate Regional Climate Downscaling Experiment) veri tabanından alınacaktır. CORDEX Dünya İklim Araştırma Programı tarafından desteklenen, bölgesel iklim değişikliği adaptasyon ve etkilerinin değerlendirildiği çalışmalarda kullanılan

yüksek çözünürlüklü iklim projeksiyonları üretmek amacıyla oluşturulmuş bir projedir (Giorgi vd., 2009; Giorgi ve Gutowski, 2015). CORDEX kapsamında dünya 13 farklı bölgeden oluşan ilgili alana bölünmüştür. Bu alanlardan, çalışma kapsamında kullanılmak üzere Avrupa Bölgesi (CORDEX-Europe) (Jacob, 2014) seçilmiştir. Belirtilen bölgenin kapsadığı alan Şekil 3.25 ile sunulmuştur.



Şekil 3.25. CORDEX Avrupa Bölgesi (<http-4>)

CORDEX veri tabanından günlük bazda Avrupa kıtasını 12,5 km (11°) mekânsal ölçekte kapsayan yağış ve sıcaklık (maksimum ve minimum) verilerinin iki farklı emisyon senaryosu bu çalışma kapsamında indirilmiş ve gelecek projeksiyonları için hazır hale getirilmiştir. Belirtilen verilen, NetCDF veri formatında olup bütün Avrupa için günlük bazda ham veri olarak (ESGF, 2021) adresinden indirilmiştir. İndirilen veriler ile meteorolojik istasyonların konumları (noktasal) ölçeğinde çalışılmış olup bu ham verilerin yanlışlık düzeltmeleri gerçekleştirilmiştir.

İklim değişikliği projeksiyonları için CORDEX-Europe veri tabanından elde edilen küresel iklim modelleri (GCM) ve dinamik ölçek küçültme uygulanan bölgesel iklim modelleri (RCM) ile periyotları Tablo 3.8 ile sunulmuştur.

Tablo 3.8. CORDEX-Europe veri tabanından yağış ve sıcaklık (maksimum ve minimum) için elde edilen modeller ve senaryolar

Veri Seti	GCM	RCM	Referans	RCP 4.5	RCP 8.5
CORDEX	CNRM-CM5	RCA4	1970-2005	2020-2100	2020-2100
	EC-EARTH	RACMO22E	1950-2005	2020-2100	2020-2100
	IPSL-CM5A-MR	RCA4	1970-2005	2020-2100	2020-2100
	MPI-ESM-LR	RCA4	1970-2005	2020-2100	2020-2100
	NorESM1-M	HIRHAM5	1951-2005	2020-2100	2020-2100

Toplamda 5 farklı küresel iklim modelinin 3 farklı bölgesel iklim modelinin referans dönem, RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına ait yağış ve sıcaklık çıktıları çalışma kapsamında elde edilmiştir.

3.7. Baraj ve HES’lerin Fiziksel Özellikleri ve Net Buharlaşma Verileri

3.7.1. Peterek havzası

Peterek Havzası için kurgulanan WEAP modelinde öncelikle havzadaki nehirlerin tanımlanması gerekmektedir. Alt havzalar ve hidrolojik model kurgusu ile günlük olarak kalibrasyonu ve validasyonu yapılan nehirler, aylık toplam akımlar halinde WEAP modeline tanımlanmaktadır. Bu çalışmadan sonra nehirler üzerinde mevcut durumda işletmede, inşaat ve proje aşamasında ve planlama aşamasında olan nehir tipi ve depolamalı HES’ler, koordinatlarına göre yerleştirilmektedir. Ayrıca, tesislerin fiziksel özelliklerini ve amaçlarına göre karakteristiklerini modele tanımlamak gerekmektedir. Peterek Havzasında işletmede, inşaat aşamasında, proje ve planlama aşamalarında toplamda depolamalı olarak 7 baraj ve HES ile 19 nehir tipi HES bulunmaktadır. Bununla birlikte 1 işletmede ve 1 inşaat aşamasında olan sulama barajları havzanın membasında konumlanmaktadır. Bu tesislerin WEAP modeline girdi olarak kullanılan fiziksel özellikleri Tablo 3.9 ile gösterilmiştir. Peterek Havzası’ndaki su yapılarının şematik haritası ise ile sunulmuştur.

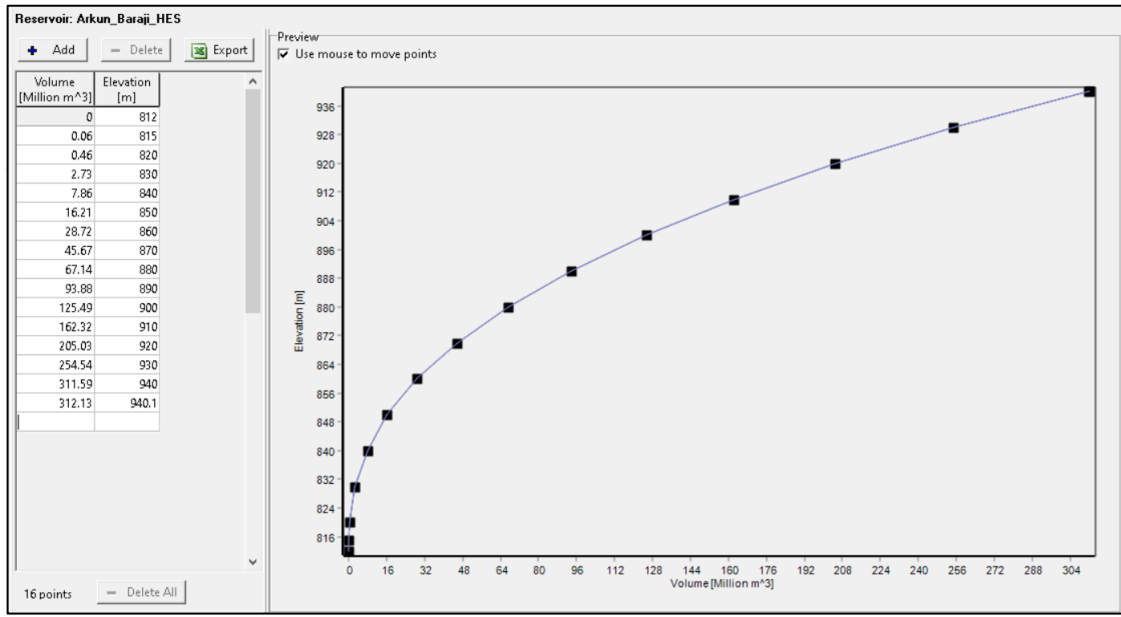
Tablo 3.9. *Peterek Havzası'ndaki su yapılarına ait fiziksel özellikler (DSİ, 2018)*

Tesis Adı	Akarsu Adı	Kurulu Güç (MW)	Yıllık Üretim Kapasitesi (GWh)	Depolama Kapasitesi	İşletmeye Açılma Yılı	Aşaması
Yanikköprü HES	Masat Ç.	9,2	28,21	-	2016	İşletme
Yıldırım HES	Masat Ç.	11	33,21	-	2013	İşletme
Bayburt HES	Masat Ç.	12,588	44,52	-	2013	İşletme
Gençosman HES	Masat Ç.	6,02	19,19	-	-	Proje
Aydıntepe HES	Masat Ç.	8,86	23,02	-	-	Planlama
Kırklartepe Barajı	Balca D.	-	-	20,88	-	İnşaat
Demirözü Barajı	Lori Ç.	-	-	61,8	2012	İşletme
Laleli 2 Barajı ve HES	Çoruh N.	28,10	83,42	198,870	-	Planlama
Laleli 1 Barajı ve HES	Çoruh N.	66,9	147,32	82,050	-	Planlama
İspir 1 Barajı ve HES	Çoruh N.	97	272,35	46,392	-	Planlama
İspir 2 Barajı ve HES	Çoruh N.	35	86,72	0,325	-	Planlama
Çayırözü HES	Çapans D.	10,2	24,55	-	-	Planlama
Özlüce HES	Çapans D.	35,45	81,54	-	2016	İşletme
Güllübağ Barajı ve HES	Çoruh N.	96	280,69	20,751	2012	İşletme
Yazyurdu HES	Tiknasur D.	14,9	41,01	-	2016	İşletme
Yıldırım-2 HES	Yıldız D.	24,8	58,92	-	-	Planlama
Başyurt HES	Aksu D.	14,20	36,71	-	-	Planlama
Yedigöl HES	Aksu Ç.	22,4	60,09	-	2013	İşletme
Aksu HES	Aksu Ç.	27,88	86,39	-	2013	İşletme
Aksu Barajı ve HES	Çoruh N.	180,6	364,36	159,464	-	Proje
Hunut-1 HES	Çamlıkaya D.	7	4,16	-	-	Planlama
Hunut-2 HES	Çamlıkaya D.	15	41,9	-	-	Planlama
Hunut-3 HES	Çamlıkaya D.	13,5	38,42	-	-	Planlama
Sırakonaklar HES	Sırakonaklar D.	12	44,53	-	2016	İşletme
Arkun Barajı ve HES	Çoruh N.	244,17	786,98	283,065	2014	İşletme
Çağlar HES	Cala D.	12	33,42	-	-	Planlama
Koçaklar HES	Cala D.	3,24	10,23	-	-	Planlama
Cala HES	Cala D.	15,64	38,35	-	-	İnşaat

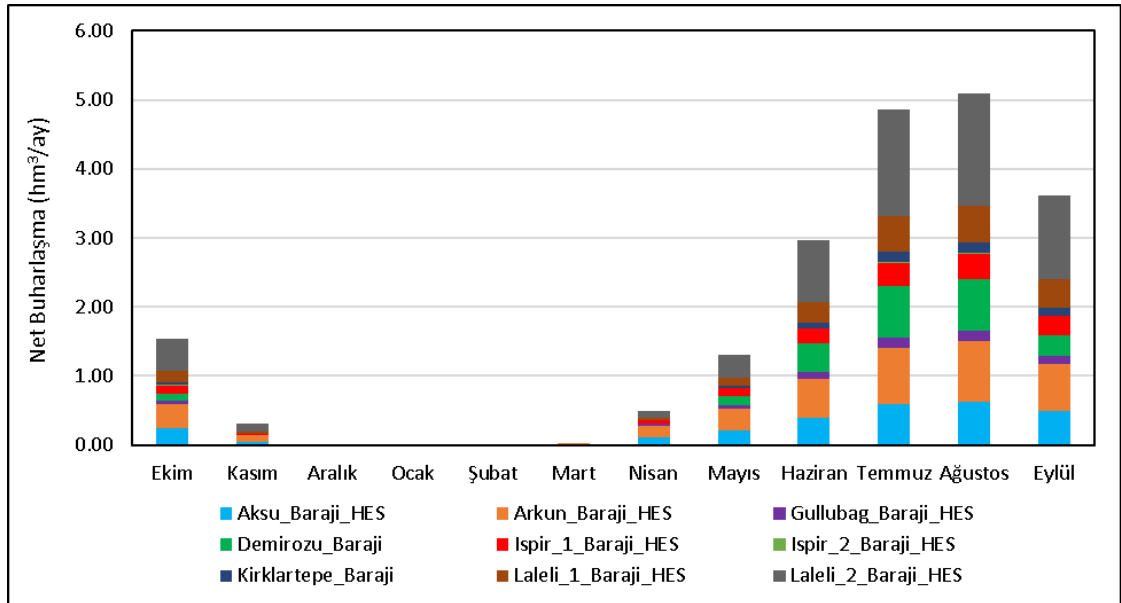
Bununla birlikte tesislerin çalışma kapasiteleri ile verimleri de modele girilmektedir. Depolama tesisler için ayrıca hacim-yükseklik eğrileri ve net buharlaşma değerleri modele tanımlanmaktadır. Modele girdi olarak kullanılan hacim-yükseklik grafiği için örnek olarak Şekil 3.26 ile Arkun Barajı ve HES'in grafiği gösterilmiştir.

Modelde ayrıca depolamalı HES'ler için net buharlaşma değerleri aylık olarak girilmektedir. Bu hesaplama yapılırken hidrolojik modelleme çalışmasında kullanılan buharlaşma verileri ile Çoruh Havzası Master Plan Raporu kapsamında barajlar için hesaplanan net buharlaşma yöntemi esas alınmıştır. WEAP modelinde net buharlaşma verileri, baraj yerinde ölçülen buharlaşmadan baraj yerindeki yağışların farkları alınarak

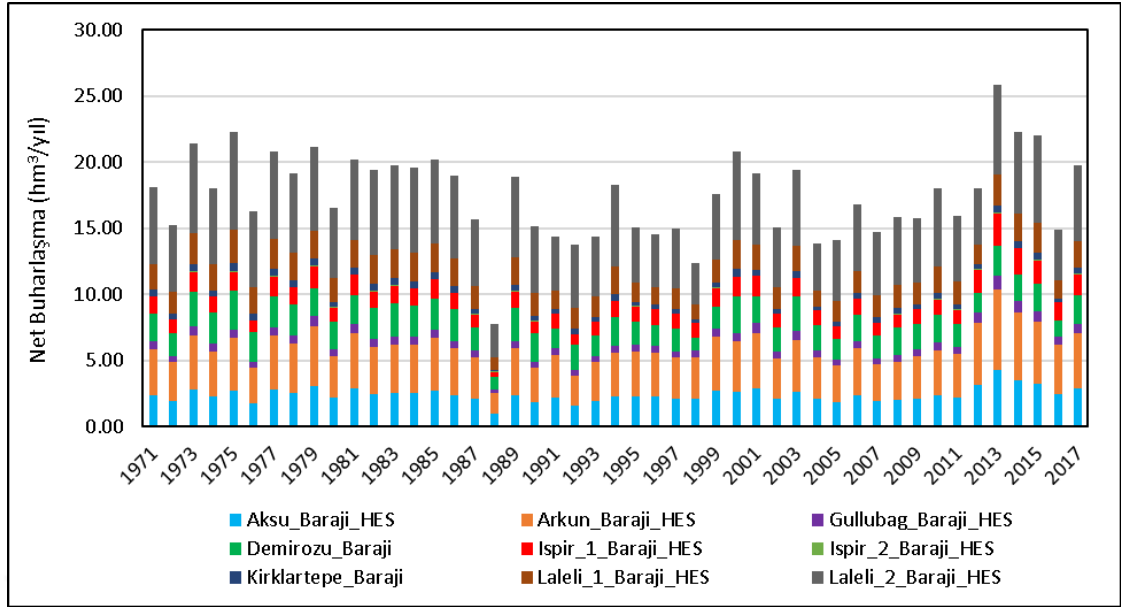
girilmiştir. Böylece buharlaşma ve yağış farklarından oluşabilecek negatif değerleri de model kabul edip, depolamada pozitif değer olarak işletilmektedir. Modelleme çalışması için havzadaki 9 depolama tesisinin modele girilen uzun yıllar aylık ortalama net buharlaşma değerleri Şekil 3.27 ile verilirken, yıllık toplam net buharlaşma verileri ise Şekil 3.28 ile sunulmuştur. Gelecek dönem çalışmaları için net buharlaşma değerlerini girdi dosyaları hazırlanırken de aynı yöntem, iklim modeli çıktılarından elde edilen buharlaşma verileriyle uygulanmıştır.



Şekil 3.26. Arkun barajı ve HES'in WEAP modeline girilen hacim-yükseklik eğrisi



Şekil 3.27. Peterek Havzası'ndaki depolama tesislerinin uzun yıllar aylık ortalama net buharlaşma değerleri



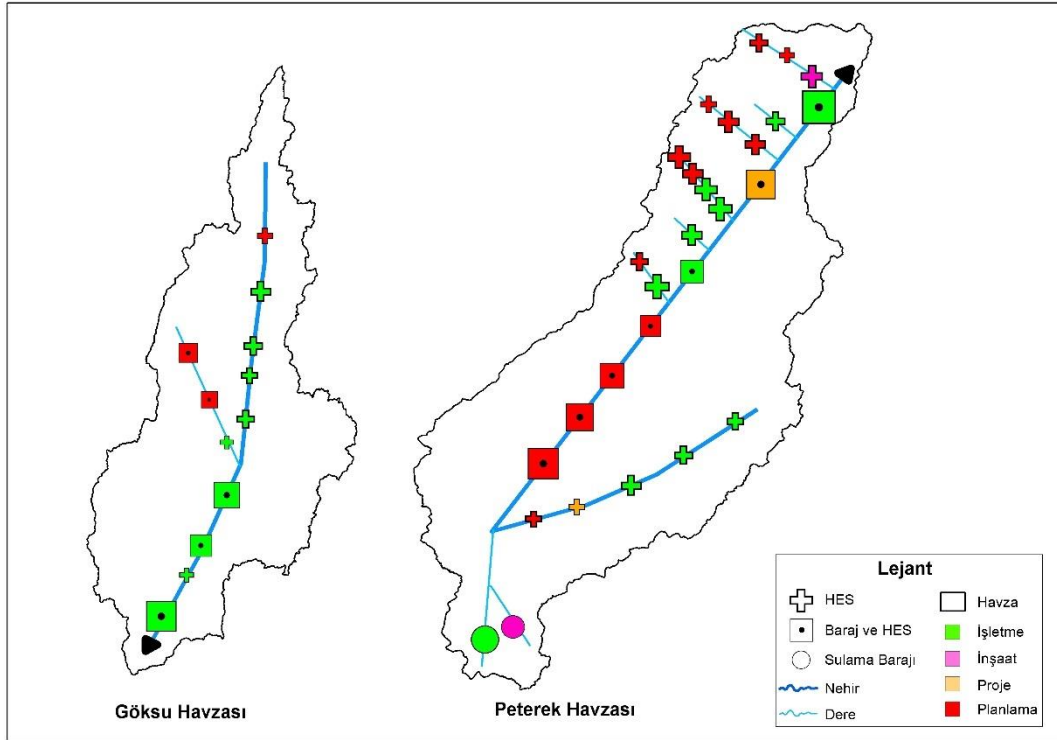
Şekil 3.28. Peterek Havzası'ndaki depolama tesislerinin yıllık toplam net buharlaşma değerleri

3.7.2. Göksu havzası

Göksu Havzasında işletmede ve planlama aşamasında toplamda depolamalı olarak 5 baraj ve HES ile 7 nehir tipi HES bulunmaktadır. Bu tesislerin WEAP modeline girdi olarak kullanılan fiziksel özellikleri Tablo 3.10 ile gösterilmiştir. Göksu Havzası'ndaki su yapılarının şematik haritası ise Şekil 3.29 ile sunulmuştur.

Tablo 3.10. Göksu Havzası'ndaki su yapılarına ait fiziksel özellikler (DSİ, 2014)

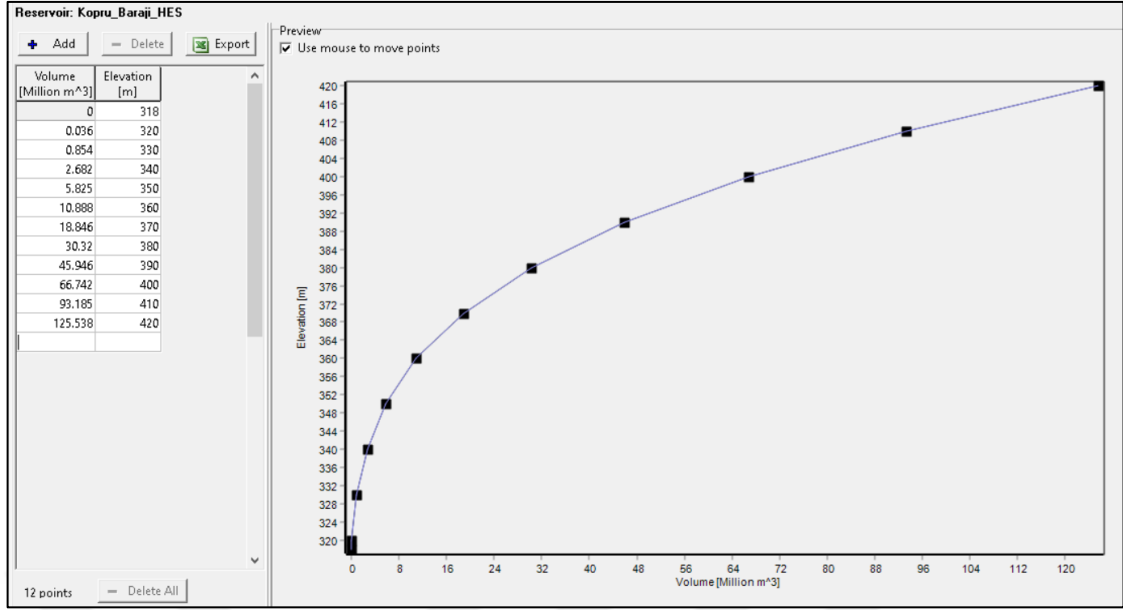
Tesis Adı	Akarsu Adı	Kurulu Güç (MW)	Yıllık Üretim Kapasitesi (GWh)	Depolama Kapasitesi	İşletmeye Açılma Yılı	Aşaması
Yamanlı 1 HES	Göksu Ç.	24,2	-	-	-	Planlama
Yamanlı 2 HES	Göksu Ç.	49,7	234	-	2015	İşletme
Gökkaya HES	Göksu Ç.	28,5	95,26	-	2012	İşletme
Himmetli HES	Göksu Ç.	27,4	110	-	2012	İşletme
Feke 1 HES	Göksu Ç.	28,2	117	-	2012	İşletme
Süphantere Barajı ve HES	Asmaca Ç.	8,2	-	9,72	-	Planlama
Asmaca Barajı ve HES	Asmaca Ç.	31,1	-	4,88	-	Planlama
Sarıtepe HES	Asmaca Ç.	5	13	-	2010	İşletme
Feke 2 Barajı ve HES	Göksu Ç.	70	223	63,070	2010	İşletme
Menge Barajı ve HES	Göksu Ç.	85	203,1	50,797	2011	İşletme
Kuşaklı HES	Göksu Ç.	19,5	47,7	-	2013	İşletme
Köprü Barajı ve HES	Göksu Ç.	145	383,9	93,185	2013	İşletme



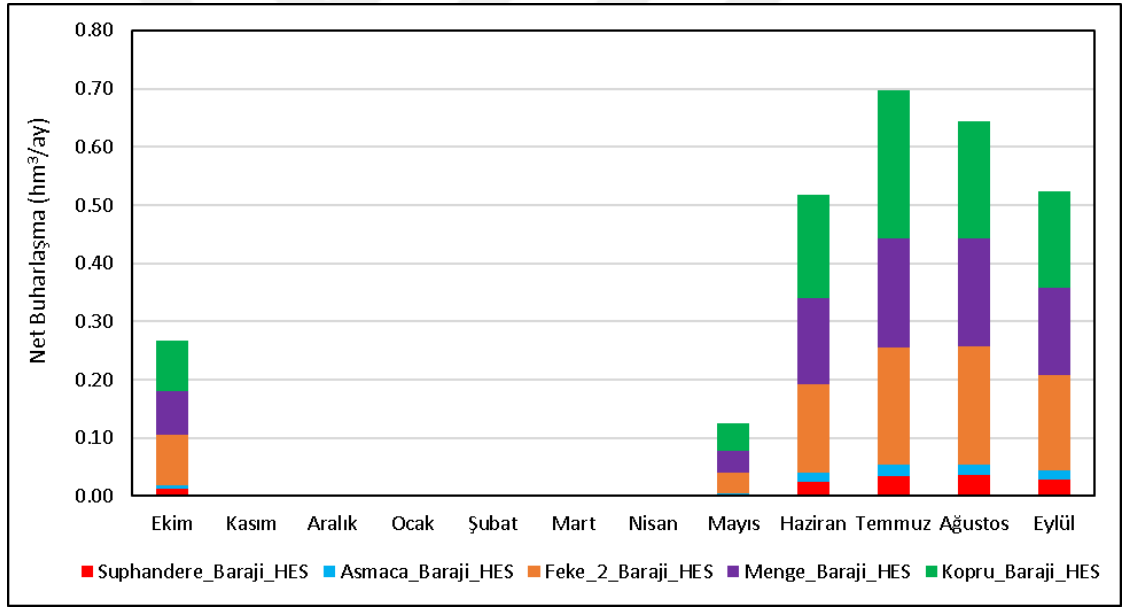
Şekil 3.29. Havzalardaki su yapılarının şematik haritası

Bununla birlikte tesislerin çalışma kapasiteleri ile verimleri de modele girilmiştir. Depolama tesisler için ayrıca hacim-yükseklik eğrileri ve net buharlaşma değerleri modele tanımlanmıştır. Modele girdi olarak kullanılan hacim-yükseklik grafiği için örnek olarak Şekil 3.30 ile Köprü Barajı ve HES'in grafiği gösterilmiştir.

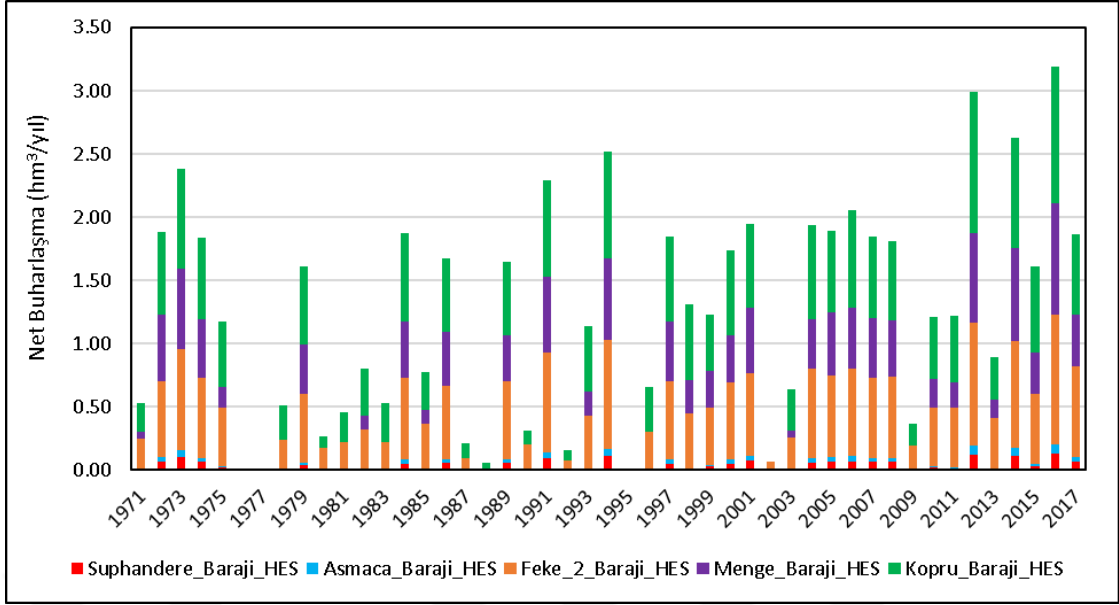
Modelde ayrıca depolamalı HES'ler için net buharlaşma değerleri aylık olarak girilmektedir. Bu hesaplama yapılırken hidrolojik modelleme çalışmasında kullanılan buharlaşma verileri ile Seyhan Havzası Master Plan Raporu kapsamında barajlar için hesaplanan net buharlaşma yöntemi esas alınmıştır. WEAP modelinde net buharlaşma verileri, baraj yerinde ölçülen buharlaşmadan baraj yerindeki yağışların farkları alınarak girilmiştir. Böylece buharlaşma ve yağış farklarından oluşabilecek negatif değerleri de model kabul edip, depolamada pozitif değer olarak işletecektir. Mevcut dönem modelleme çalışması için havzadaki 5 depolama tesisinin modele girilen uzun yıllar aylık ortalama net buharlaşma değerleri Şekil 3.31 ile verilirken, yıllık toplam net buharlaşma verileri ise Şekil 3.32 ile sunulmuştur. Gelecek dönem çalışmaları için net buharlaşma değerlerini girdi dosyaları hazırlanırken de aynı yöntem, iklim modeli çıktılarından elde edilen buharlaşma verileriyle uygulanmıştır.



Şekil 3.30. Köprü barajı ve HES'in WEAP modeline girilen hacim-yükseklik eğrisi



Şekil 3.31. Göksu Havzası'ndaki depolama tesislerinin uzun yıllar aylık ortalama net buharlaşma değerleri



Şekil 3.32. Göksu Havzası'ndaki depolama tesislerinin yıllık toplam net buharlaşma değerleri

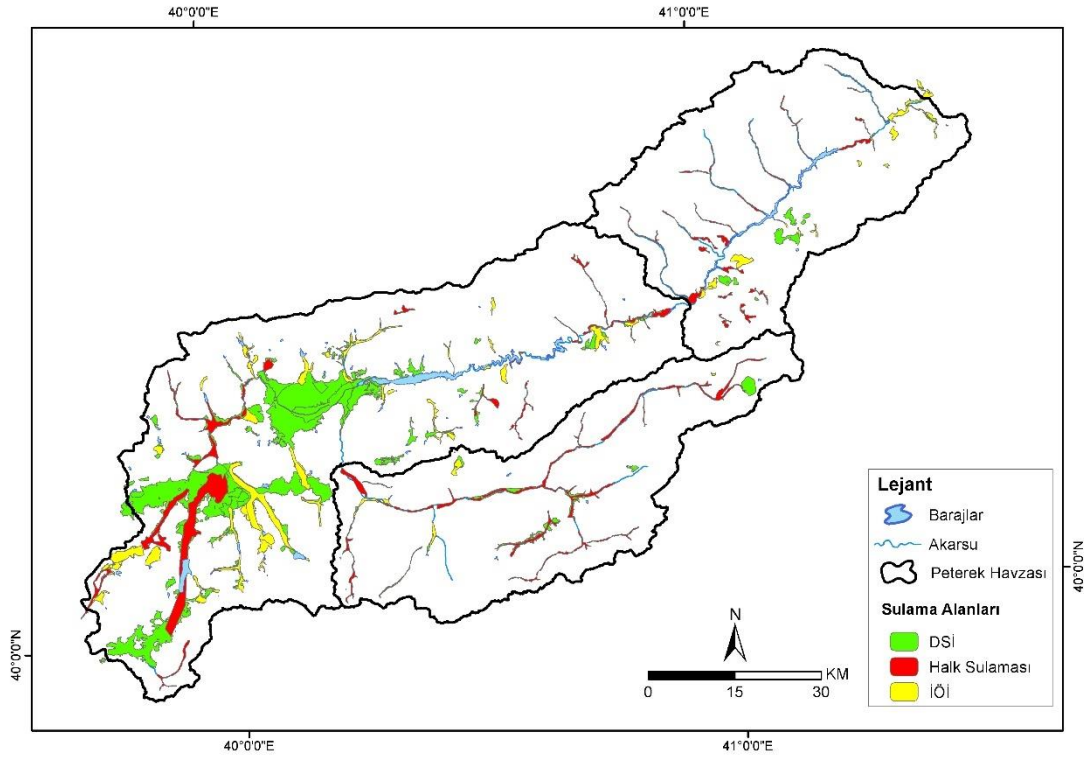
3.8. Su Kullanımları ve Su Transferleri

3.8.1. Peterek havzası

3.8.1.1. Tarımsal su kullanımı

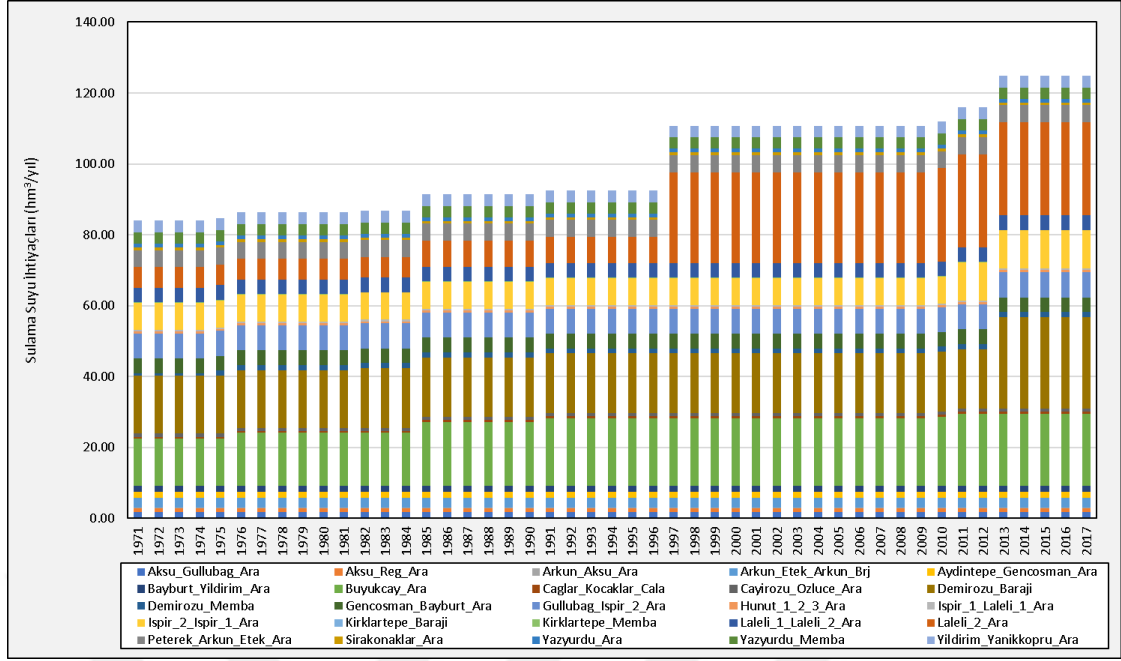
Peterek Havzası içerisinde tarımsal amaçlı yapılan sulamalar DSİ sulamaları, İl Özel İdare (İÖİ) sulamaları ve halk sulamaları olarak ayrılmaktadır. Bu bölümde mevcut su tüketimleri ve ihtiyaçların Peterek Havzası'nda detaylı incelemeleri yapılmıştır.

Havzada toplamda 53.050,0 ha alan sulanmaktadır. 22.241,0 ha'lık alan DSİ sulamaları, 13.965,0 ha'lık alan İÖİ sulamaları ve 16.843,0 ha'lık alan ise halk sulamaları olarak gruplanmıştır. Bu sulamaların mevcut dönem 1971-2017 yılları arası yıllık ortalama su tüketimleri, 100,24 $\text{hm}^3/\text{yıl}$ 'dır. Sulamaların havzadaki gruplara göre konumları Şekil 3.33 ile sunulmuştur.



Şekil 3.33. Peterek Havzası'ndaki sulama alanları (DSİ, 2018)

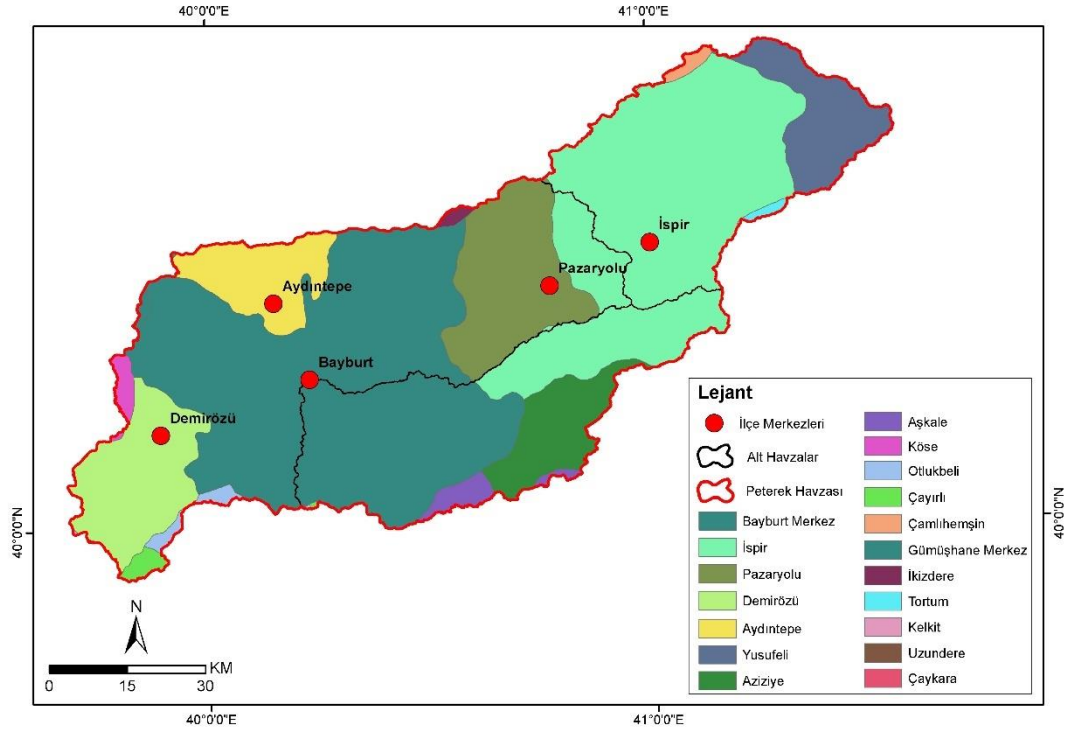
Peterek Havzası'ndaki sulama alanlarının detayları incelendiğinde, mevcut durumda işletme aşamasında olan toplamda 53.050,0 ha'lık alanın sulandığı görülmektedir. İnşaat aşamasında olan 20.207 ha'lık sulama alanı, proje aşamasında 314 ha'lık sulama alanı, planlama aşamasında 7.493 ha'lık sulama alanı ve ön inceleme aşamasında ise 3.500 ha'lık sulama alanının olduğu belirlenmiştir. Havzadaki sulamaların büyük bir kısmı, havzanın membasında konumlanmıştır. Bu sulama alanları WEAP modeline işlenirken, HES'lerin membalarındaki konumlarına göre gruplandırılmıştır. Sulamalar ile tüketilen net su miktarları ayrı ayrı hesaplanmış (DSİ, 2018) ve bu değerler toplanarak HES'lerin memba ve ara havza net su tüketimlerini oluşturmuşlardır. HES'lerin memba ve ara havza tarımsal su ihtiyaçları Şekil 3.34 ile 1971-2017 yılları için verilmiştir.



Şekil 3.34. Peterek Havzası'ndaki tarımsal su ihtiyaçları

3.8.1.2. İçme ve kullanma suyu kullanımı

Peterek Havzası sınırları içinde Bayburt, Erzurum, Artvin, Erzincan, Gümüşhane, Rize ve Trabzon illeri bulunmaktadır. Havzada ağırlıklı olarak yer kaplayan Bayburt ilinin 3 ilçesi ve Erzurum ilinin 6 ilçesi ile diğer illerden toplam 9 ilçe havza sınırlarında bir bölümü dahil olacak şekilde yer almaktadır. Havzada bulunan il ve ilçelerin merkezleri bazında yapılan değerlendirmede ise, Bayburt ilinin merkezi ve 2 ilçesi ile Erzurum ilinin 2 ilçe merkezi Peterek Havzası'nda bulunmaktadır. Havzadaki il ve ilçelerin konumları Şekil 3.35 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.35. Peterek Havzası'ndaki iller ve ilçelerin gösterimi

Peterek Havzası'nda bulunan illerin havza sınırları içerisinde kalan alanlarının büyüklüklerine bakıldığında; Bayburt ilinin %95,08'i, Erzurum ilinin %12,42'si, Artvin ilinin %5,12'si, Erzincan ilinin %0,66'sı, Gümüşhane ilinin %0,89'u, Rize ilinin %1,09'u ve Trabzon ilinin %0,01'i Havza içinde kalmaktadır (Tablo 3.11).

Tablo 3.11. Peterek Havzası'nda bulunan iller ve alanları

İller	Toplam Alan (km ²)	İlin Havza İçindeki Alanı (km ²)	İl Alanının Havzaya Giren Kısım (%)	Havzanın İllere Göre Dağılımı (%)
Bayburt	3.743,5	3.559,3	95,08	49,28
Erzurum	25.016,5	3.105,8	12,42	43,00
Artvin	7.399,1	379,0	5,12	5,25
Erzincan	11.806,8	77,5	0,66	1,07
Gümüşhane	6.662,9	59,0	0,89	0,82
Rize	3.834,7	41,7	1,09	0,58
Trabzon	4.625,3	0,3	0,01	0,00

Havzada bulunan 7 ilden toplam 18 ilçenin bir bölümünün veya tamamına yakınının havza sınırları içine dahil olduğu tespit edilmiş ve havza içinde kalan alanları Tablo 3.11

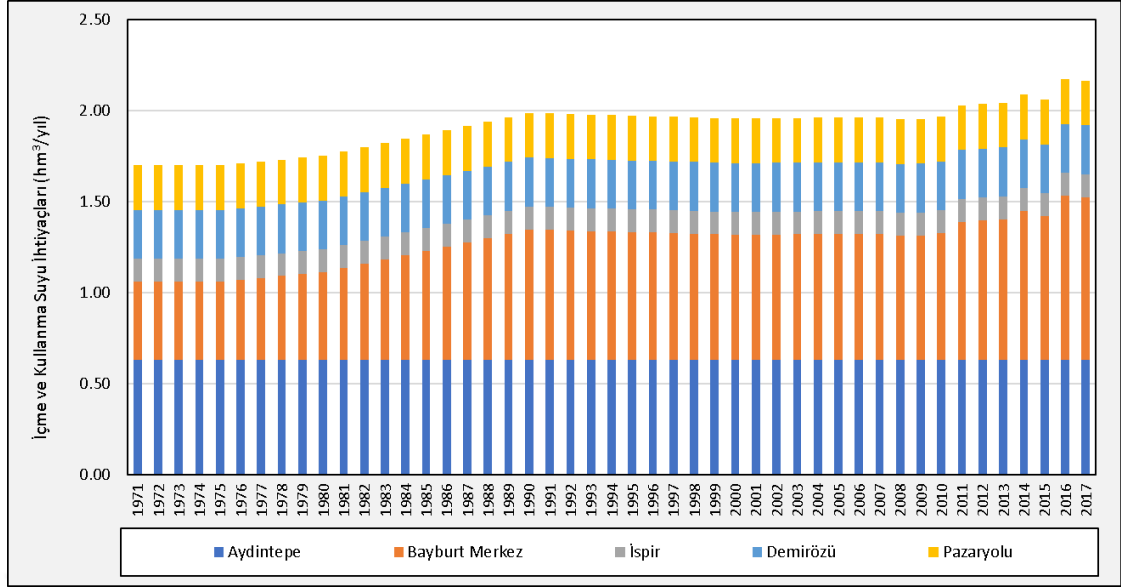
ile sunulmuştur. Buna göre, %49,28'lik alan ile havzada en fazla alana sahip olan Bayburt ilinin 3 ilçesi havza sınırlarında bulunmaktadır. Havzanın %43'ünü oluşturan Erzurum ilinin 6 ilçesi havzaya dâhil olmaktadır. Havzanın toplamda yaklaşık %8'lik bölümünü oluşturan diğer illerin ise toplam 9 ilçesi havza sınırlarında yer almaktadır.

Peterek Havzası'nda merkezleri bulunan 5 ilçenin mevcut durum ve gelecek dönemler için içme ve kullanma suyu ihtiyacı çalışmaları bu bölümde irdelenmiştir. Belirtilen ilçelerde nüfus verileri bazında mevcut durum için içme ve kullanma suyu ihtiyaçları, Çoruh Havzası Master Plan Çalışmaları kapsamında hesaplanmıştır (DSİ, 2018). Yerüstü ve yeraltı suyu özelinde ilgili belediyelin su kullanım miktarları tespit edilmiştir. Bu çalışmanın amacına uygun olarak ilgili belediyelerce mevcut durum kapsamında yerüstünden çekilen su miktarları, modelleme çalışmalarında kullanılmak üzere belirlenmiştir. Çoruh Havzası Master Planı'nda da belirtildiği üzere kaynaktan çekilen içme ve kullanma suyunun %20'sinin tüketildiği, %80'inin ise geri döneceği kabulü, WEAP modeline girilmiştir. Tablo 3.12 ile 5 ilçeye ait mevcut dönem nüfuslar ve yerüstü su kaynağından çekilen net içme ve kullanma suyu tüketimleri verilmiştir.

Tablo 3.12. *Peterek Havzası'nın nüfusu ile içme ve kullanma suyu kaynakları*

İlçe Adı	Mevcut Dönem (2017) Nüfusu	Mevcut Dönem (2017) İçme ve Kullanma Suyu Tüketimi
Bayburt/Merkez	66.228	1,26
Bayburt/Demirözü	7.835	0,19
Bayburt/Aydıntepe	6.354	0,30
Erzurum/İspir	14.469	0,31
Erzurum/Pazaryolu	3.662	0,06
TOPLAM	98.548	2,12

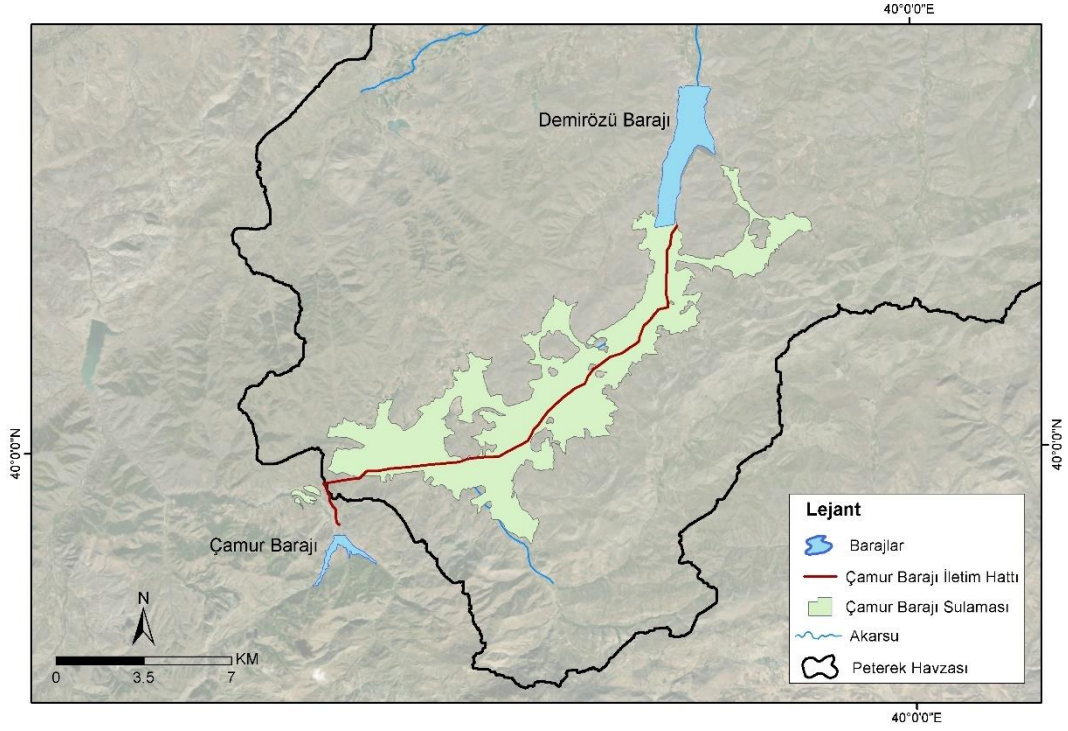
Gelecek dönem modelleme çalışmaları kapsamında içme ve kullanma suyu tüketimleri, her yıl bir önceki yılın %1 oranında artacak şekilde kabul edilmiş ve modelleme çalışmalarında bu hesaplar kullanılmıştır. Bunun sebebi, bölgedeki yerleşimlerin ağırlıklı olarak kırsaldan oluşması ve nüfusun büyük kentlere göre daha az artışlara maruz kalabileceği kabulüne dayanmasıdır. Sonuç olarak içme ve kullanma suyu tüketimleri Şekil 3.36 ile 1971-2017 (mevcut dönem) yılları için verilmiştir.



Şekil 3.36. Peterek Havzası'ndaki içme ve kullanma suyu tüketimleri

3.8.1.3. Su transferi

Çoruh Havzası'ndan komşu havzalara veya komşu havzalardan Çoruh Havzası'nda su transferi durumu incelenmiştir. Çoruh Havzası'nın membasını oluşturan Peterek Havzası'ndan komşu havzalara su aktarımı bulunmamaktadır. Yeşilirmak Havzası sınırları içerisinde inşaat aşamasında olan Çamur Barajı'nın 5.773 ha'lık sulama alanı Peterek Havzası sınırları içinde kalmaktadır. Bu sulama alanı, Lori Deresi'nin oluşturduğu vadi ile Demiröz Barajı membasına kadar olan arazileri kapsamaktadır. Çamur Barajı planlama raporunda, sulamadan dönen %15 oranında suların Demiröz Barajı göl alanında toplanacağı kabul edilmiştir. Bununla birlikte, Çamur Barajı dolusavağından bırakılacak olan sular 4,0 m³/s kapasiteli 6,0 km uzunluğundaki derivasyon tüneli ile Demiröz Barajı rezervuarına aktarılması planlanmıştır. Bunun sonucunda Yeşilirmak Havzası'ndan Peterek Havzası'na yıllık ortalama 11,48 hm³ su transferi gerçekleşeceği hesaplanmıştır (DSİ, 2018). Belirtilen su transferinin konumu Şekil 3.37 ile verilmiştir.



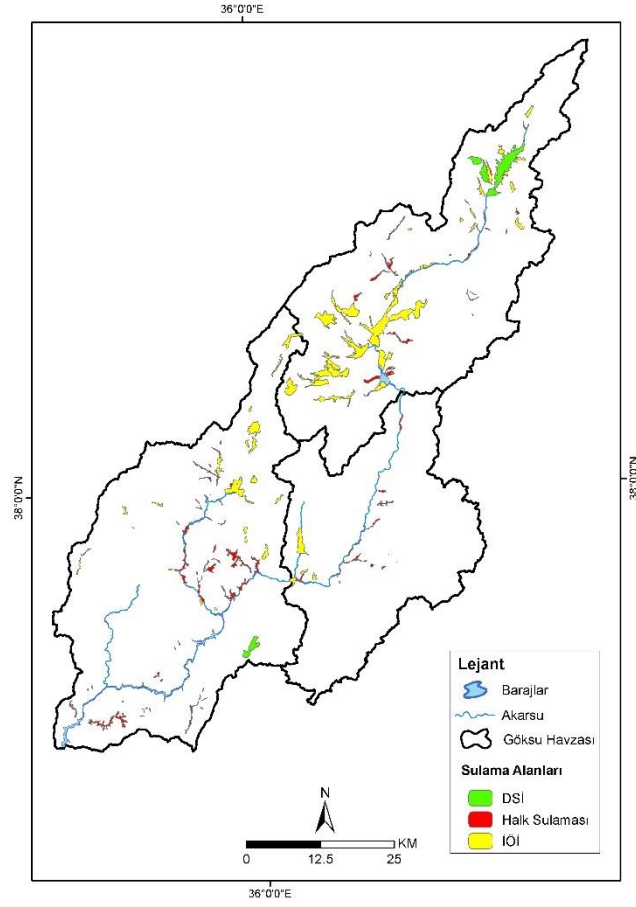
Şekil 3.37. Peterek Havzası'ndaki su transferi

3.8.2. Göksu havzası

3.8.2.1. Tarımsal su kullanımı

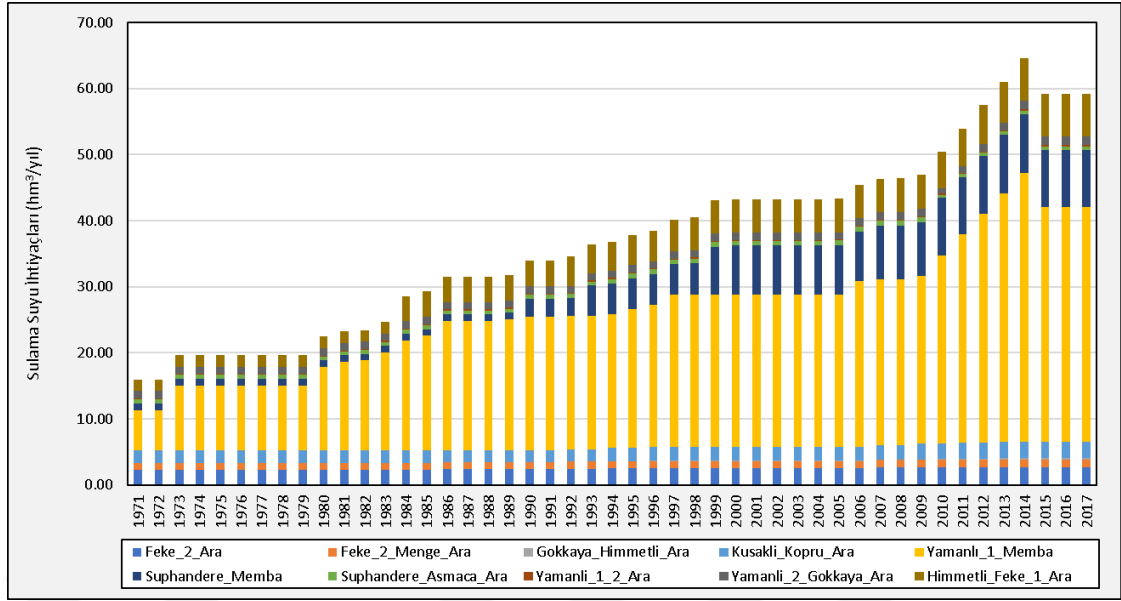
Göksu Havzası içerisinde tarımsal amaçlı yapılan sulamalar DSİ sulamaları, İl Özel İdare (İÖİ) sulamaları ve halk sulamaları olarak ayrılmaktadır. Bu bölümde mevcut su tüketimleri ve ihtiyaçların Göksu Havzası'nda detaylı incelemeleri yapılmıştır.

Havzada toplamda 12.846,0 ha alan sulanmaktadır. 1.040,0 ha'lık alan DSİ sulamaları, 8.636,0 ha'lık alan İÖİ sulamaları ve 3.170,0 ha'lık alan ise halk sulamaları olarak gruplanmıştır. Bu sulamaların mevcut dönem 1971-2017 yılları arası yıllık ortalama su tüketimleri, 39,9 hm³/yıl'dır. Sulamaların havzadaki gruplara göre konumları



Şekil 3.38. Göksu Havzası'ndaki sulama alanları (DSİ, 2014)

Göksu Havzası'ndaki sulama alanlarının detayları incelendiğinde, mevcut durumda işletme aşamasında olan toplamda 12.846,0 ha'lık alanın sulandığı, 511 ha'lık sulama alanının ise planlama aşamasında olduğu görülmektedir. Havzadaki sulamaların büyük bir kısmı, havzanın membaasında (Çukurkışla Alt Havzası'nda) konumlanmıştır. Bu sulama alanları WEAP modeline işlenirken, HES'lerin isimlerine göre gruplandırılmıştır. Sulamalar ile tüketilen net su miktarları ayrı ayrı hesaplanmış (DSİ, 2014) ve bu değerler toplanarak HES'lerin memba ve ara havza net su tüketimlerini oluşturmuşlardır. HES'lerin memba ve ara havza tarımsal su ihtiyaçları Şekil 3.38 ile 1971-2017 yılları için verilmiştir.



Şekil 3.39. Göksu Havzası'ndaki tarımsal su ihtiyaçları

3.8.2.2. Termik santral su kullanımı

Göksu Havzası'nın membasını oluşturan Çukurkışla Alt Havzası'nda bulunan Tufanbeyli Enerjisa Enerji Üretim A.Ş.'nin mevcut dönemdeki su tüketimi 1,94 hm³ olarak değerlendirilmiştir (SYGM, 2019b). Santralin projeksiyon yıllarındaki su ihtiyacı ise, her yıl bir önceki yılın %1 oranında artacak şekilde kabul edilmiş ve modelleme çalışmalarında bu hesaplar kullanılmıştır.

3.9. Çevresel Akış

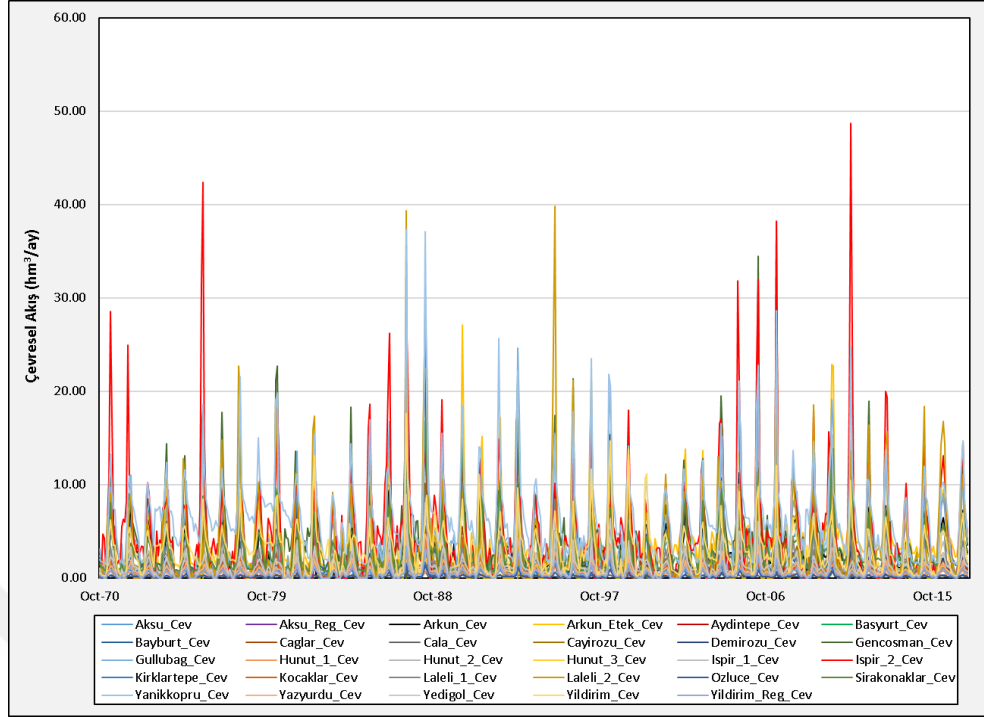
3.9.1. Peterek havzası

Su kaynakları üzerindeki baskıların hızla artıyor olması, iklim değişikliği ve diğer faktörlerin etkileri ile birlikte çevresel su ihtiyaçlarının hesaplanması ve sağlanmasının önemi giderek artmıştır. Çevresel su ihtiyacı, sucul ekosistemlerin ve bu ekosistemlere bağlı olan sosyo-ekonomik refah seviyesinin sürdürülebilmesi için gerekli su akış miktarı, hızı, sıklığı, kalitesi, süresi ve zamanlaması olarak tanımlanmaktadır (Brisbane Declaration, 2007). Akarsularda çevresel akış ihtiyacını belirlemek için birçok metot kullanılmaktadır. Hidrolik, habitat ve bütüncül metotlar, hidrolojik yöntemlere göre veri ihtiyaçlarının oldukça fazla olduğu yöntemlerdir. Bu çalışmada, kapsama ve çalışmanın ihtiyaçlarına uygun olarak hidrolojik yöntemlerden biri olan Global Environmental Flow Calculator (GEFC) metodu kullanılmıştır.

GEFC, New Hampshire Üniversitesi Su Sistemleri Analiz Grubu'nun oluşturduğu bir projenin ürünüdür ([http-5](http://5)). Bu yöntem halihazırda Hindistan'daki hidrolojik ve

ekolojik veri kısıtlarını göz önünde bulundurmakta, tahmin edilen çevresel su ihtiyacı zaman serilerinde doğal akışın değişkenliğinin korunmasını sağlamaktadır (Smakhtin ve Anputhas, 2006). Yöntemin uygulanabilmesi için en az 10 yıl eksiksiz akım verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Debi süreklilik eğrisi, yöntemin esasını oluşturmakta ve debi süreklilik eğrisine göre doğaldan akıştan önemli ölçüde değiştirilmiş akışa doğru, çevresel akış belirlenebilmektedir. Burada doğal akımın debi süreklilik eğrisi, sabit bir yüzdelik değeri kadar azaltılır (kaydırılır). Daha sonra parçalarına ayrılarak çevresel su ihtiyacı için zaman serisi elde edilir. Bu zaman serileri akarsuyu istenen ekolojik koşullarda tutmak için gerekli olan çevresel su ihtiyaç debisini temsil etmektedir. Bu yöntem, debi süreklilik eğrisini oluşturabilmek ve akarsu ekosisteminin çeşitli özelliklerine karşı gelen çevresel ihtiyaç debilerini hesaplayabilmek için aylık akım verilerini kullanmaktadır (Karimi vd., 2012).

GEFC yönteminde 6 tane çevresel yöntem sınıfı tanımlanmıştır. A ve B sınıfındaki nehirler, müdahale edilmemiş veya önemli ölçüde doğallığı korumuş sınıfları ifade etmektedir. C sınıfındaki akarsular, orta derecede müdahale edilmiş ve yapılan müdahalelerin sistemin bütünlüğünü etkilemediği akarsulardır. D, E ve F sınıfları ise, önemli ölçüde değiştirilmiş, büyük depolamalı tesislerin inşa edilmiş ve sistemin bütünlüğünün bozulduğu sınıfları temsil etmektedirler (Smakhtin ve Anputhas, 2006). Bu çalışmada Peterek Havzası'ndaki çevresel akış ihtiyacı tanımlanan bütün HES'lerin çıkışındaki akarsular, "C" sınıfı olarak tanımlanmıştır. Bunun sebebi akarsularda müdahalenin nehir tipi HES ve depolama kapasitesinin düşük olduğu barajlarla birlikte var olması, ancak bu yapıların sistemin bütünlüğünü bozmadığı gerekçeleriyle C sınıfı uygun görülmüştür. Havzadaki sulama barajlarının çıkışında tanımlanan çevresel akış ihtiyaçları ise "D" sınıfı olarak belirlenmiştir. Bu su yapılarının gerek depolamalarının fazla olması gerekse de sulama yaptığı için seviyelerinde değişkenlik olması, sistemin bütünlüğünü etkilemektedir. Diğer hidrolojik çevresel akış metotları arasında GEFC yönteminin bu çalışmada kullanılmasının başlıca nedeni, çevresel akışı diğer yöntemlerde olduğu gibi aylık sabit değer olarak kabul etmeyip, aylık değişimler halinde sunmasıdır. Bir diğer önemli sebebi ise, GEFC'nin WEAP modeline entegre edilmiş olması ve model dışında ayrıca hesap yapılmasına gerek kalmamasıdır. 1971-2017 yılları arasındaki mevcut dönem için, Peterek Havzası'nda çevresel akış ihtiyacı hesaplanan akarsuların uzun yıllar aylık ortalama grafikleri Şekil 3.40 ile verilmiştir. Bu değerler, WEAP modelinde girdi olarak kullanılmıştır.

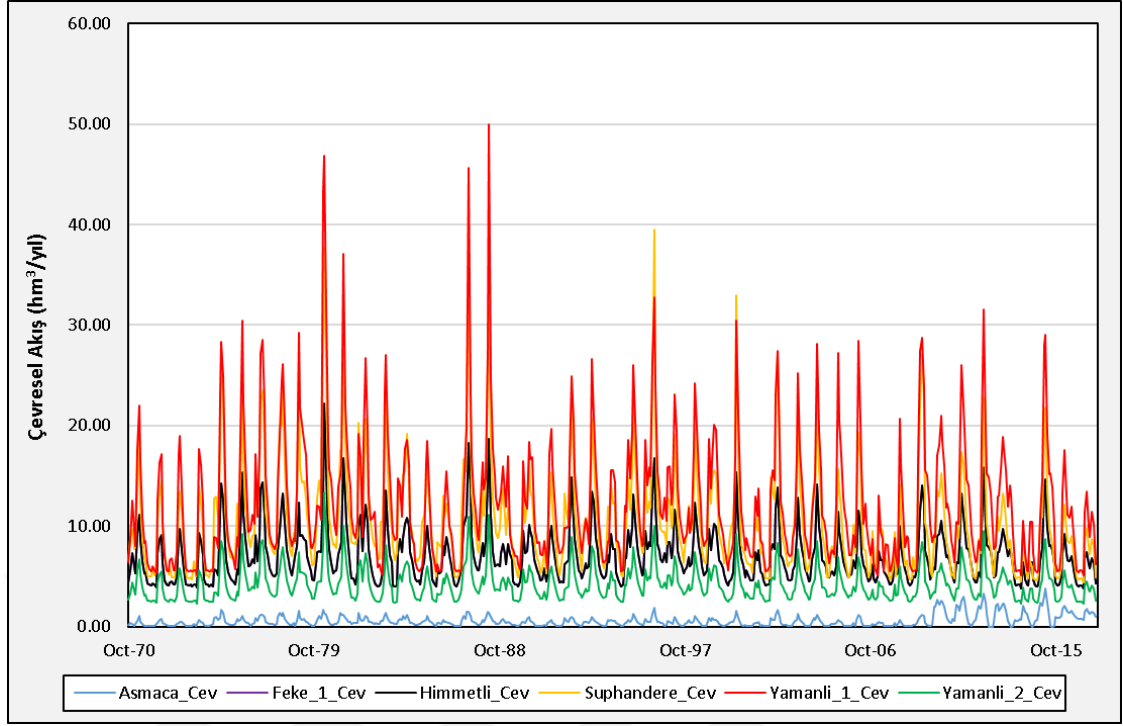


Şekil 3.40. Peterek Havzası'ndaki uzun yıllar çevresel akış ihtiyaçları

3.9.2. Göksu havzası

Bu çalışmada, kapsama ve çalışmanın ihtiyaçlarına uygun olarak hidrolojik yöntemlerden biri olan ve Bölüm 3.9.1 ile detayları verilen GEFC metodu kullanılmıştır. Göksu Havzası'ndaki çevresel akış ihtiyacı tanımlanan bütün HES'lerin çıkışındaki akarsular, "C" sınıfı olarak tanımlanmıştır. Bunun sebebi akarsularda müdahalenin nehir tipi HES ve depolama kapasitesinin düşük olduğu barajlarla birlikte var olması, ancak bu yapıların sistemin bütünlüğünü bozmadığı gerekçeleriyle C sınıfı uygun görülmüştür.

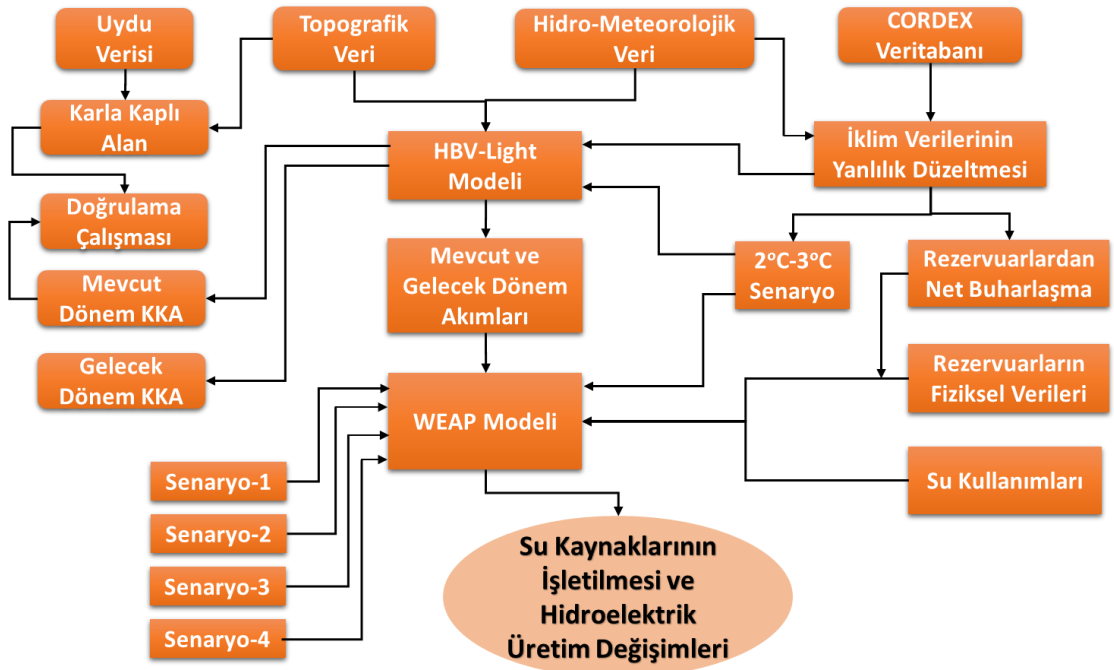
1970-2017 yılları arasındaki mevcut dönem için, Göksu Havzası'nda çevresel akış ihtiyacı hesaplanan akarsuların uzun yıllar aylık ortalama grafikleri Şekil 3.41 ile verilmiştir. Bu değerler, WEAP modelinde girdi olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.41. Göksu Havzası'ndaki uzun yıllar çevresel akış ihtiyaçları

4. METODOLOJİ

Bu tez çalışmasında uygulama havzalarında hidrolojik modelleme ve su kaynakları planlama ve işletme modeli entegre bir şekilde kullanılmış ve bu kapsamda birçok farklı sonuç elde edilmiştir. Çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada gelecek dönemlerdeki meteorolojik değişimler, düzeltilmiş 5 farklı GCM ve GWL senaryoları kullanılarak analiz edilmiştir. İkinci olarak, geçmiş ve gelecek dönem koşulları için hidrolojik model sonuçları elde edilmiştir. Hidrolojik modelden elde edilen akım ve kar değişkenlerinin doğruluğunu değerlendirmek için yer gözlemleri ve uydu verileri kullanılmıştır. Son aşamada ise, baraj işletme senaryoları kullanılarak depolamalı ve nehir tipi HES'ler için gelecek dönemlerde öngörülen hidroelektrik üretim değişimlerine ait analiz gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, işletmede olan baraj göllerindeki hacimler ve havzaların membalarında bulunan depolamasız HES'leri besleyen akımların zamana bağlı değişimleri projekte edilmiştir. 2020-2099 yılları arası uygulanan gelecek dönem analizleri, 30 ve 25 yıllık periyotlara bölünmüştür. Seçilen bu zaman aralıkları; 2020-2049 dönemi, 2050-2075 dönemi ve 2076-2099 yıllarından oluşmaktadır. Aşağıdaki başlıklarda detayları verilen ve bu çalışmada kullanılan yöntemler Şekil 4.1 ile gösterilen akış şemasında özetlenmiştir.



Şekil 4.1. Metodoloji akış şeması

4.1. İklim Projeksiyonları

4.1.1. İklim projeksiyonlarının yanlışlık düzeltmesi

Küresel modellere bölgesel iklim modellerinin kuple edilmesi ile elde edilen iklim projeksiyonlarında belirsizlikler oluşmaktadır. Bu belirsizlikler, model zorlamalarına, modellerin sahip olduğu süreçlere ve çözünürlüğe bağlıdır. Bu nedenle havzalarda istasyon bazlı elde edilmiş olan birçok farklı küresel iklim modeli sonuçları arasında farklılıklar çıkabilmektedir. Bu farklılıkların en önemli sebebi modellerin içerdiği fizik opsiyonlarıdır.

Küresel ve bölgesel modellerdeki yanlışlık, bu modellerin çıktılarını doğrudan hidrolojik etkilerin hesaplanması gibi çalışmalarda kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle son yıllarda en basit yöntemden en karmaşık yöntem kadar farklı yanlışlık düzeltme metodolojileri geliştirilmiştir (Lafon, 2013). Bu yöntemlerin amacı, iklim modeli çıktılarının yanlışlığını aynı dönemdeki gözlemlerin istatistiksel özelliklerini dikkate alarak düzeltmektir. Yanlışlık düzeltmesinin başarısı ise gözlem veri tabanının kalitesi, doğruluğu ve bölgeyi yeterince iyi temsil etmesi ile doğru orantılıdır.

Bu çalışma kapsamında toplamda 5 farklı küresel iklim modelinin istasyonlar (noktasal) bazında ham olarak yağış ve sıcaklık verileri elde edilmiştir. Model hatalarını içeren bu ham verilerin, hidrolojik modele girdi olarak kullanılabilmesi için yanlışlık düzeltmelerinin yapılması gerekmektedir. Referans dönemlerine göre düzeltilecek bu veriler, çalışma havzalarındaki gelecek dönemlere ait yağış ve sıcaklık değişimleri hakkında bilgi verecektir.

İstasyon bazlı elde edilen ham iklim modeli çıktıları, yanlışlık düzeltmeleri için kullanılan CMHyd programına aktarılmıştır. CMHyd, (Rathjens, 2016) hidrolojik etki çalışmaları için simüle edilmiş iklim değişikliği verilerinin hazırlanması ve yanlışlık düzeltmelerinin yapılabilmesi adına oluşturduğu bir araçtır.

Yanlışlık düzeltmeleri, iklim modellerinin referans dönem çıktıları ile istasyonlarda aynı dönemdeki ölçülmüş yağış ve sıcaklık verilerine göre yapıldığından dolayı, istasyonlara ait numaralar, koordinatlar ve ölçülmüş verileri de CMHyd programına tanıtılmıştır. Bu çalışmada bölgesel iklim modeli simülasyonlarının yanlışlığını azaltmak için noktasal gözlemlerin günlük ölçekte toplam yağış, minimum ve maksimum sıcaklık değerleri baz alınmıştır. Ham veri olarak elde edilen iklim modeli sonuçlarının yanlışlık

düzeltilmeleri için bu kapsamda linear scaling (doğrusal ölçeklendirme) yöntemi seçilmiştir. Belirtilen veriler kullanılarak doğrusal ölçeklendirme yaklaşımı ile yanlışlık düzeltilmesi gerçekleştirilmiştir.

Doğrusal ölçeklendirme yaklaşımı (Lenderink, 2007; Teutschbein ve Seibert, 2012), gözlemlenen ve simüle edilmiş değerler arasındaki farklara dayalı olarak aylık düzeltme değerleriyle çalışmaktadır. Tanım olarak, düzeltilmiş RCM simülasyonları, gözlemlerle aylık ortalama değerlerinde iyi bir uyum içinde olacaktır. Yağış, uzun dönem aylık gözlemlerin referans dönemi ortalaması (1971-2005) ile aynı istasyon noktasındaki model sonucunun referans verilerinin oranına dayalı bir faktörle düzeltilmiştir. Sıcaklık ise, uzun dönem aylık gözlemlerin referans dönemi ortalaması (1971-2005) ile aynı istasyon noktasındaki model sonucunun referans verilerinin farkına dayanan bir faktörle düzeltilmiştir. Doğrusal ölçekleme yaklaşımı ile, aylık ortalama değerleri ayarlayarak daha tutarlı bir değişkenliğe sahip düzeltilmiş veriler sunulmuştur.

Sıcaklık ve yağış parametrelerinin yanı sıra, sıcaklığa bağlı ilişki kurularak buharlaşma için de hem referans dönem hem de projeksiyon dönem için sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışma yapılırken öncelikle gözlenmiş sıcaklıklar ile ölçülmüş buharlaşma değerleri arasında istatistiksel bir ilişki kurulmuştur. Bu iki parametre ile mevcut dönem yılları arasında kurulan ilişki, referans ve projeksiyon dönemlerinde iklim modellerinden elde edilen sıcaklık değerlerine aktarılmıştır. Sonuç olarak, model çıktısı sıcaklık verilerinden referans ve gelecek dönemler için buharlaşma verileri elde edilmiştir.

4.1.2. Küresel ısınma hedefleri (GWL)

Günümüzde uygulanan ve Bölüm 2’de örnekleri sunulan, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi çalışmalarında, GCM’lerin yanı sıra sıcaklık artış senaryoları da kullanılmaktadır. Paris İklim Anlaşması (UN, 2015) ve IPCC, 2023 ile belirtilen küresel ısınma seviyelerinden (GWL) olan 2°C ve 3°C’lik sıcaklık artışları (Rhodes, 2016), bu çalışmadaki sonuçların analizi için bir senaryo olarak seçilmiştir.

5 küresel iklim modelinin RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarında günlük olarak 2-3°C’lik sıcaklık artışları veren projeksiyonlar ile 30 yıllık bir dönem belirlenmiştir. Toplamda 10 senaryonun günlük projeksiyon sıcaklıklarının birlikte analiz edildiği çalışmada, 2°C ve 3°C’yi veren sıcaklıklar elde edilmiştir. Bu değerlere karşılık gelen

yağış değerleri de aynen kabul edilmiş ve 30'ar yıllık yeni yağış ve sıcaklık serileri oluşturulmuştur. Böylece belirtilen GWL değerlerinin modelleme süreçlerine dahil edilmesi ile havzada referans döneme kıyasla öngörülen değişimler bütün parametreler için değerlendirilmiştir.

4.1.3. Mann-Kendall trend analizi

Bir bölgenin iklim değerlendirmesi yapılırken, o bölgeye ait ortalama değerler kadar seçilen parametrenin davranışı da önemli olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan uzun dönemli yağış ve sıcaklık veri setlerinde eğilimin var olup olmadığı ve varsa yönü ile değerinin nasıl değişeceğinin belirlenmesi adına Mann-Kendall (MK) (Kendall, 1975; Mann, 1945) testi kullanılmıştır. Parametrik olmayan MK testi, hidro-meteorolojik zaman serilerindeki trendleri belirlemek için en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir.

MK trend testinde istatistiksel olarak anlamlı bir eğilimin varlığı z değeri ile belirlenmektedir. Pozitif bir z değeri artan eğilimi gösterirken, negatif z değeri ise azalan eğilimi vermektedir. Anlamlılık düzeyi ise, $p = 0,05$ değeri ile tespit edilmektedir.

4.2. Karla Kaplı Alan Analizleri

Bu çalışma kapsamında karla kaplı analizleri için kullanılan IMS uydu görüntüsü kullanılmıştır. Eldeki mevcut uydu verilerine göre; 4 km IMS verisi 2006 su yılından itibaren ve 24 km IMS verisi 2000-2005 su yılları arasında Peterek ve Göksu Havzalarının alt havzaları için işlenmiştir. Günlük kar takibi ile yapılan bu uygulama ile, her yılın kar sezonundaki karla kaplı alan analizleri yapılmıştır. 2000-2011 su yılları arasında günlük olarak işlenen verilerin detayları Bölüm 5 ile sunulmuştur.

4.3. Hidrolojik Modelleme

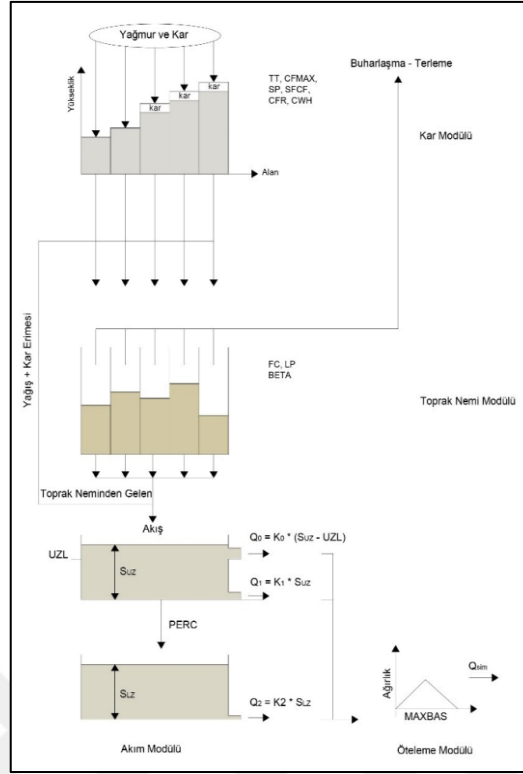
Çalışma kapsamında akım ve kar değişkenlerini 2100 yılına kadar projekte eden hidrolojik model, HBV-Light modelidir. Bu kısımda modelin özellikleri, parametreleri, modelin kurulum süreci ve kalibrasyon-validasyon aşamaları sunulmuştur. Mevcut dönem için kurulan ve parametreleri belirlenen hidrolojik model, 5 farklı küresel iklim modeli tarafından RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için üretilen projeksiyonlar (yağış ve sıcaklık) kullanılarak tekrar çalıştırılmış ve gelecek dönem model sonuçları elde edilmiştir. Bu senaryoların yanı sıra, 2 ve 3°C'lik sıcaklık artış senaryolarına göre de hidrolojik modelden sonuçlar alınmıştır. Projeksiyon döneminde, ortalama KKA'larda beklenen değişimler ile, akımların miktarsal ve zamansal değişimleri 30 yıllık periyotlarla

günlük, aylık ve yıllık olarak elde edilmiştir. Gelecek dönem projeksiyonlarının elde edilmesi kapsamında yapılacak olan hidrolojik modelleme çalışmalarından önce, mevcut dönem verilerini gözetmek ve bu dönemi gelecek dönemle karşılaştırılacak olan referans periyodu almak gerekmektedir. Bu nedenle, çalışmada 1971-2005 referans dönemi sonuçları da iklim modellerinden elde edilen yağış ve sıcaklık verilerinin hidrolojik modele girdi olarak kullanılıp çalıştırılmasıyla oluşturulmuştur.

4.3.1. HBV-Light modeli

HBV (Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning) modeli İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü'nde (SMHI) Dr. Sten Bergström ve arkadaşları tarafından 1972 yılında, rezervuara giren akım tahmini ve sel uyarı ihtiyacı nedeniyle geliştirilmiştir. Günümüzde birçok farklı versiyonla kullanılmaktadır (Singh, 1995; Bergström ve Lindström, 2015).

HBV modeli, havzayı farklı yükseklik ve bitki örtüsüne göre alt bölgelere ayırarak yağış, sıcaklık ve potansiyel buharlaşma-terleme girdilerini akım benzetimi gerçekleştirmek için kullanan kavramsal ve yarı dağılımlı bir yağış-akış modelidir (Lindström vd., 1997). Model, kar ve toprak nemi katmanlarını alt havza bazında, akış ve öteleme modüllerini ise tümsel olarak hesaplayarak günlük akımı simüle eder. Bu çalışmada kullanılan olan HBV modeli, (Seibert ve Vis, 2012) tarafından geliştirilen grafik arayüzlü ve otomatik kalibrasyon seçeneği sunan, basitleştirilmiş ve yapısal olarak da orijinal versiyondan farklı olan HBV-Light versiyonudur (Şekil 4.2). Modelin toplamda 17 parametresi olup; kar modülü için 6 parametre, toprak nemi modülü için 3 parametre, akım ve öteleme modülü için 6 parametre ve havza özelliklerini temsil eden 2 parametre bulunmaktadır.



Şekil 4.2. HBV-Light modelinin ana yapısı (Seibert ve Vis, 2012)

4.3.1.1. Kar modülü

HBV modelinin kar modülü, her bir yükseklik zone için ayrı çalışarak kar birikmesini ve erimesini derece-gün faktörü (CFMAX) ile kontrol etmektedir. Hava sıcaklığı kritik sıcaklık değerinin (TT) altına düştüğünde model düşen yağışı, kar olarak kabul etmektedir. Model, kar olarak değerlendirdiği yağışları kar düzeltme faktörü (SFCF) ile düzeltilmesine olanak tanımaktadır. Kar birikme sezonunda derece-gün faktörü (SP) değişkenlik gösterebilir ve eğer bu parametre 1'den küçük bir değer alırsa, birikme sezonu $SP \times CFMAX$ şeklinde hesaplanmaktadır. Kar erimesi, erime sezonu boyunca sabit kaldığı kabul edilen derece-gün faktörüne (CFMAX) göre sıcaklık değeri kritik değerin (TT) üzerine çıktığında başlar ve herhangi bir akım oluşmadan önce karın su tutma kapasitesi (CWH) aşılmalıdır. Erime döneminde sıcaklık değeri, eşik değerinin (TT) altına düştüğünde eriyen kar yeniden donmaktadır (CFR).

Havzanın farklı yükseklik aralıklarına bölünmesiyle kar birikmesinde belirleyici olan yüksekliğin, her bir zon için sıcaklık ve yağış doğrulaması yapılmaktadır (PCALT, TCALT). Genellikle deniz seviyesinden her 100 metre yükseldikçe yağış oranı %10 artarken, sıcaklık oranı da aynı şekilde $0,6^{\circ}C$ azalmaktadır. Kar modülündeki hesaplamaların temel sonuçları her bir yükseklik ve zaman aralığı için modele girdi olarak

yağış ve sıcaklık verileri kullanır. Bu modülde hesaplanan işlemlerden sonra, kar su eşdeğeri (mm) çıktı verileri elde edilmektedir.

4.3.1.2. Toprak nemi modülü

Modelin toprak nemi modülü; yağışı, kar erimesini ve potansiyel buharlaşmayı girdi olarak alır ve toprak neminde depolanan su ile gerçek buharlaşmayı hesaplar. Bununla birlikte, yağışla gelen net akım miktarı hesaplanmaktadır. Kar katmanından gelen yağış ve kar erimesi, toprağı besleyen ve yeraltı suyunu besleyen akım olarak ayrılırlar. Toprak nemi modülü üç ampirik parametre, FC, BETA ve LP temelinde çalışmaktadır. Bu parametreler değişken parametrelerdir ve model kalibrasyonu ile belirlenmeleri gerekmektedir. Arazi kapasitesi (FC), modeldeki en yüksek toprak nemi depolamasıdır. Eğer toprak nemi depolaması maksimum kapasiteye kadar doldurulmuşsa, gelen yağış veya kar erimesi toprakta depolanmadan doğrudan akıma dönüşecektir. BETA parametresi akım modülüne katılımı ve toprak nemi depolamasına giren 1 mm'lik yağış ve kar erimesi için toprak nemi depolamasındaki artışı kontrol eder.

Model, potansiyel buharlaşmanın uzun vadeli aylık ortalama değerlerini girdi olarak kullanmaktadır. Toprak nemi modülünde gerçek buharlaşma-terlemenin hesabı, girdi olarak kullanılan potansiyel buharlaşma-terleme ve bağıl toprak nemi depolamasının (SM/FC) bir fonksiyonu olarak yapılmaktadır. Eğer toprak nemi LP'nin altında ise gerçek buharlaşma-terleme, toprak nemindeki azalma ile doğrusal olarak azalacaktır.

4.3.1.3. Akım modülü

Akım modülü, toprak nemi modülünden gelen fazla suyu akıma dönüştürür. Aynı zamanda doğrudan yağış ve nehir veya göllerden buharlaşma etkisini de içermektedir. Modeldeki akım modülü, üst zon ve alt zon olarak adlandırılan iki doğrusal rezervuardan oluşmaktadır.

Üst zon, hızlı akım modülünü temsil etmektedir. Toprak nemi modülünden gelen yağış veya akım girdileri, üst zonda depolanmaya başlayacak ve alt zona doğru süzülecektir (PERC). Eğer üst zonda depolama miktarı eşik değerini (UZL) aşarsa, üst çıkış noktasına doğru çok hızlı drenaj başlayacak ve geciktirme katsayısı K0 parametresi ile belirlenecektir. UZL ve K0 parametreleri birbirlerine bağımlı değişkenlerdir. Üst

zonda depolanan yağış, alt zona drene edilmeden üst çıkış noktasına doğru K1 geciktirme katsayısı hesabı ile hızlı drenaj başlayacaktır.

Alt zon kavramsal olarak taban akışına katılan yeraltı suyu ve göl depolamasını temsil eder. Üst zondan süzülen ve göl veya nehirlerle doğrudan yağış düşmesi ile alt zon beslenmektedir. Bu bölgedeki su alt çıkış noktasına doğru taban akımı olarak drene edilir. Drenaj hızı geciktirme katsayısı (K2) ile kontrol edilir. Alt zonda taban akışına katılamayan sular ise göl veya nehirlerden buharlaşma yolu ile hidrolojik döngüye katılırlar.

4.3.1.4. Öteleme modülü

Akım modülünde üretilen akışa, havzanın çıkışında uygun formasyona sahip bir akım hidrografi şekli elde edebilmek için dönüşüm fonksiyonuyla öteleme işlemi uygulanır. Dönüşüm fonksiyonu, ağırlıkların üçgensel dağılıma sahip basit bir filtreleme tekniğidir. Üçgen ağırlıklandırma fonksiyonunu kullanan ve modellenen hidrografa uygun şeklini veren değişken MAXBAS parametresidir.

4.3.2. HBV-Light modelinin kurulması ve kalibrasyonu

HBV modelinin çalışma havzalarında uygulanması ve havzaları temsil edebilecekleri model parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Model parametrelerinin belirlendiği bu işleme kalibrasyon denilmekte ve modelleme başarısının ölçütü de ölçülmüş değerler ile hesaplanan değerlerin birbirleri arasında uyum ile değerlendirilmektedir. Kalibrasyon aşamasından önce başlangıç koşullarının dengeye gelmesi için model belirli bir süre çalıştırılır. Kalibrasyon sürecinde ise havzayı temsil edebilecek model parametreleri ayarlandıktan sonra, farklı periyotlarda aynı parametreler ile modelin doğrulaması (validasyon) yapılmaktadır. Kalibrasyon ve validasyon için günlük gözlenmiş akım verileri kullanılmıştır.

Modelleme çalışmasının başarı değerlendirmesi, modellenen değerlerin gerçekte ölçülen değerlere olan yakınlığına bağlı olmaktadır. Belirtilen bu iki değer birbirlerine olan yakınlığı arttıkça, modelin başarısı da artmaktadır. Hidrolojik modellerin başarı ölçütü için yaygın olarak NSE Etkinlik Katsayısı (Nash ve Sutcliffe, 1970) yaklaşımı kullanılmaktadır. NSE (denklem 1) değeri, $-\infty$ ile 1 arasında değerler alabilmektedir. Sonucun, 1'e yaklaşması ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki uyumun arttığının göstergesi olmaktadır. Negatif NSE değerleri, kabul edilemez performans olarak

değerlendirilmektedir. 0 ile 1 arasında çıkan değerler ise genellikle kabul edilebilir olmaktadır. Literatürde 0,5 değerinden küçük olan NSE değerleri yetersiz performans olarak nitelendirilirken, 0,50-0,65 arası yeterli, 0,65-0,75 aralığı iyi ve 0,75'ten büyük NSE değerleri ise çok iyi performans olarak değerlendirilmektedir (Moriasi, ve diğerleri, 2007).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{obs,i} - Y_{model})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{obs,i} - Y_{obs,ave})^2} \quad (1)$$

Hidrolojik modelleme çalışmasında, günlük toplam yağış miktarları çalışma havzalarının her bir alt havzası için meteorolojik istasyonlar bazında Thiessen ağırlıkları atanarak verilmiştir. Günlük ortalama sıcaklık değerleri ise, havza ortalama kotunda sıcaklık verilerinin sapma oranı (lapse rate) ile bulunmuştur. Meteorolojik istasyonların bulunduğu kotlardaki ortalamaları alınarak, alt havzaları temsil eden istasyon yüksekliği belirlenmiştir. Böylece, alt havzaların farklı yükseklik zonlarına bölünmesiyle kar birikmesinde etkili olan yüksekliğin her bir zon için yağış ve sıcaklık değişimi elde edilmiştir. Bu değişimler belirlenirken genellikle yağış için her 100 metre yükseldikçe yağış oranı %10 artarken, sıcaklık oranı da benzer yükseklik farkıyla 0,6 oC azalmaktadır. Potansiyel buharlaşma değerleri de uzun yıllar aylık ortalama olarak modele tanımlanmış ve gerçek buharlaşma hesapları yapılmıştır. Model girdilerini ifade eden bu değerler, model değişkenleri olarak tanımlanmaktadır.

Alt havzaları en uygun şekilde temsil edecek model parametreleri belirlenirken, HBV modelinin otomatik kalibrasyon yöntemlerinden biri olan GAP (Genetic Algorithm and Powell) yöntemi tercih edilmiştir. GAP metodu, belirlenen uygun parametre aralıklarında ve amaç fonksiyonuna göre farklı kombinasyonlarda parametre setleri üretmektedir. Modelin kalibrasyon aşamasında yağış ve sıcaklık durumuna göre en iyi parametre setlerinin üretilmesinde, GAP metodu bu çalışmada kullanılmıştır. En iyi parametre setleri elde edilirken, parametre aralığında başlangıçtaki “n” parametre kümeleri rastgele oluşturulur ve her kümenin uygunluğu hedef fonksiyonunun değeri ile değerlendirilir. Her bir parametre için belirli olasılıklarla, hedef fonksiyonuna göre en uygun değerleri veren iki ana kümeden yeni bir parametre kümesi oluşturulur. Modelleme çalışması için, Tablo 1.1 ile belirtilen parametre aralıklarında en iyi parametre setini veren değerler elde edilmektedir. Daha sonra belirlenen parametre aralıkları kullanılarak, GAP metodu ile her bir alt havza için kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu yaklaşım

izlenirken simüle edilen akımın gözlenen akımla uyumunu temsil eden NSE, kullanılan kalibrasyon metodunda amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.1. *HBV-Light modelinin kullandığı parametreler ve değer aralıkları*

Parametreler	Değer Aralığı
TT (°C)	-2,5 – 2,5
CFMAX (mm/gün) (°C)	0,5 – 6
SP (-)	0 – 1
SFCF (-)	0,5 – 1,4
CFR (-)	0,01 – 0,05
CWH (-)	0,001 – 0,1
FC (mm)	30 – 600
LP (-)	0,1 – 1
BETA (-)	0,1 – 5
PERC	0 – 8
UZL (mm)	0 – 100
K0 (1/gün)	0,1 – 0,8
K1 (1/gün)	0,01 – 0,5
K2 (1/gün)	0,0005 – 0,1
MAXBAS (gün)	1 – 3
PCALT (%/100 m)	2 – 10
TCALT (°C /100 m)	0,2 – 0,9

Modelin başlangıç koşullarının tanımlanabileceği bir modül bulunmamaktadır. Bu sebeple kalibrasyon aşamasından önce, havzaların başlangıç koşullarının belirlenebilmesi için 1968-1970 yılları arasında modeli ısıtma işlemi uygulanmıştır. Bu adımın uygulanma sebebi, kalibrasyona başlanırken toprak nemi ve yeraltı suyu gibi değişkenlerin nasıl olduğunun bilinmesi gerekliliğindendir. Model ısıtılırken, belirtilen 3 yıldaki günlük yağış, sıcaklık ve akım değerleri modele girdi olarak kullanılmıştır. Model havzayı yükseklik zonlarına bölerek ve her bir zon üzerinde işlemler yaparak model çıktılarını elde etmektedir. Yükseklik zonlarının yanı sıra, ormanlık alanların fazla olduğu (%10'dan fazla) havzalarda bitki örtüsü (vegetation) modülü de ayrıca tanımlanmaktadır. Bu çalışmada Peterek Havzası'nın 3. Alt Havzası olan Peterek Alt Havzası'nda ve Göksu Havzası'nın 2. ve 3. Alt Havzaları olan Himmetli ile Gökdere Alt Havzaları'nda bitki örtüsü modülü kullanılmıştır. Böylece kar ve toprak nemi modülü parametrelerinin bitki üzerindeki değişimleri de ayrıca hesaba katılmıştır.

4.4. Baraj İşletme Çalışmaları

Bu çalışma kapsamında baraj işletme çalışmaları için uygulanan model, entegre su kaynakları modellerinden biri olan WEAP modelidir. Barajların gelecekteki iklim değişikliği etkilerini içeren işletme simülasyonlarının sunulduğu WEAP modeli, uygulama havzalarının analizi için bu çalışmada kullanılmıştır.

4.4.1. WEAP modeli

Su kaynaklarının yönetiminde kullanılan etkili araçlardan bir tanesi de WEAP (Water Evaluation and Planning System) yazılımıdır. WEAP, mevcut su talebi ve teminine ait dinamiklerin sürdürülebilirliğinin ve alternatif senaryoların uzun süreler için değerlendirilmesi amacıyla esnek, bütünlük ve şeffaf bir planlama aracı olarak 1988 yılında geliştirilmiştir (SEI, 2015). WEAP modeli, bu çeşitli değerleri bütün bir sisteme dahil etmeyi amaçlar. Bu model, su ve hidroelektrik sistemlerini ve bunların politika sonuçlarını değerlendirmeye yönelik entegre bir yaklaşımdır. Bir veri seti olarak, bu model aynı zamanda su temini ve kullanım bilgilerini sürdürmek için bir sistem sağlar (Zhang, vd., 2017).

WEAP, aylık giriş ve çıkışların kütle dengesi denklemini kullanarak bir rezervuarın aylık depolama hacmini izler. WEAP modelinde rezervuarların çeşitli fiziksel parametreleri vardır. Bu parametreler; barajların giriş akımları, barajların başlangıç ve toplam depolama kapasitesi, rezervuar hacim-yükseklik eğrisi, rezervuar maksimum hidrolik çıkışı, rezervuar buharlaşması (net buharlaşma), yeraltı suyuna rezervuar kayıpları ve gözlenmiş rezervuar hacimleridir. Barajların giriş akımları genellikle rezervuara aylık su girişini temsil eder. Bu çalışmada, HBV-Light model simülasyonundan memba havzalarından rezervuarlara giriş akımları mevcut ve gelecek dönemler için elde edilecektir. Hidrolojik modelde günlük simüle edilmiş hidrograf, WEAP modeline girdi olarak hizmet eden aylık zaman serilerine toplanacaktır. Barajların ürettiği gerçek hidroelektrik üretimleri ile mevcut durumda simüle edilen hidroelektrik üretimler arasında doğruluk analizleri yapılabilecek ve model kurgusu test edilmiş olabilecektir. WEAP modelinde, rezervuar depolaması dört bölgeye bölünmüştür. Bunlar yukarıdan aşağıya, taşkın kontrol bölgesi, koruma bölgesi, tampon bölge ve ölü hacim bölgesini içerir. WEAP, rezervuardan çekilme ve diğer mansap gereksinimlerini tam olarak karşılamak için suyu koruma havuzundan serbest bırakır. Ancak taşkın kontrol bölgesi her zaman boş tutulur. Aylık net buharlaşma, rezervuar yüzeyindeki aylık

buharlaşma ile yağış arasındaki farktır. Rezervuar deposunun net kaybını veya kazancını temsil eder ve sonuçlar pozitif veya negatif olarak modele girilebilir. Peterek ve Göksu Havzaları'ndaki nehir tipi ve depolamalı HES'lerin mevcut dönem ve gelecek dönemlerdeki çalışma mekanizması ve işletme aşamalarını modelleyebilmek için havzada WEAP modeli kurgulanmıştır. Model çalıştırılmadan önce, girdi dosyalarının hazırlanması ve modele uygun olarak işlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda Bölüm 3 kapsamında detayları sunulan; baraj ve HES'lerin fiziksel özellikleri, su kullanımları, su transferleri ve çevresel akış ihtiyaçları WEAP modelinin girdi dosyaları olarak hazırlanmıştır.

4.4.2. Debi srekliplik eğrisi

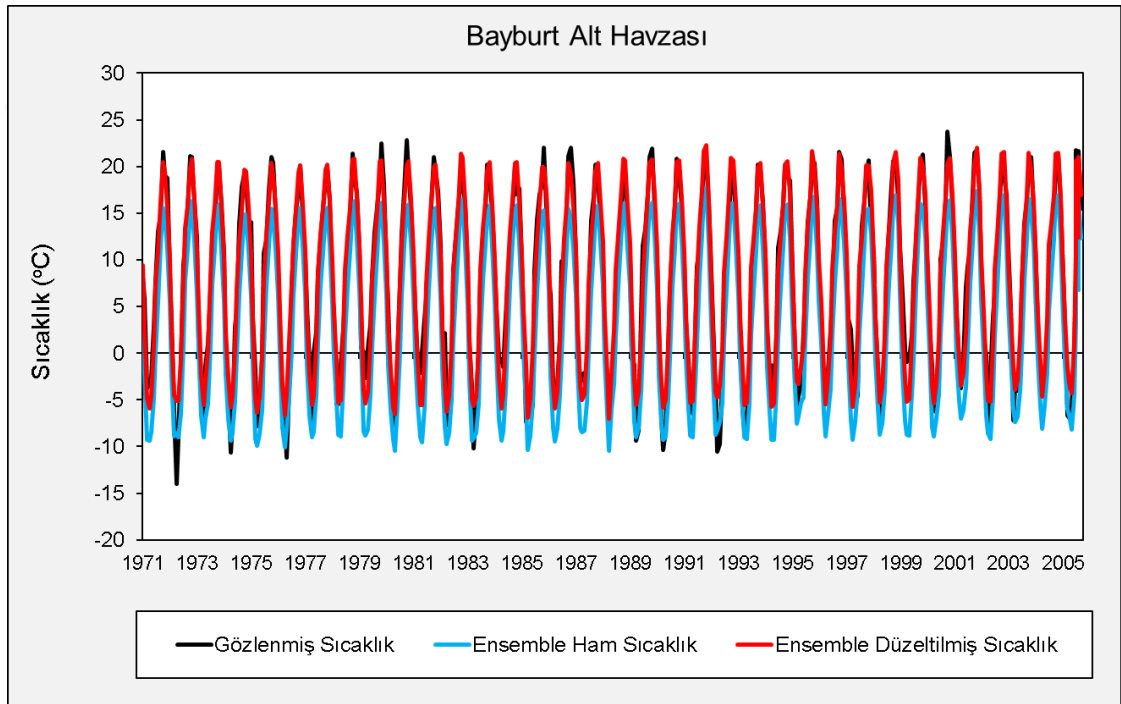
Hidroelektrik retim için santrale giren akımların zamana göre akış eğrisinin belirlenmesi önemlidir. DSE, akış rejiminin frekans dağılımının grafiksel temsilini sağlamakta ve akışın eşitlendiği zamanın yüzdesini vermektedir (Reichl ve Hack, 2017). DSE oluşturulurken uzun yıllık verilerin kullanılması, sonuçların daha sağlıklı olarak elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Santrallerde üretilen enerjinin birincil (güvenilir) ve ikincil enerji olarak değerlendirilebilmesi için DSE'den yararlanılması gerekmektedir. Birincil enerjiyi değerlendirmek için düşük akışlar kullanılır ve bu enerji gelen akımların depolanması ile artırılabilir. İkincil enerji ise santrallerin birbirine bağlı olarak çalıştığı sistemlerde, enerji ihtiyaının yoğun olmadığı dönemlerde mevcut talebi karşılamak adına kullanılabilir. Taşkın debilerinin görüldüğü ve uzun süre kuraklığa maruz kalan bir havdaki akış, daha dik bir DSE'ye sebep olmaktadır. Bu şekilde hızlı akışlara neden olan faktörlerin başında; havzadaki bitki örtüsü eksikliği, kayalık alanların yoğun olması ve düzensiz yağışların görülmesi gelmektedir. Dik izgili DSE'ler, özellikle nehir tipi HES'lerdeki hidroelektrik üretimi için elverişsiz olarak değerlendirilmektedir. Zamanın yüzdesine göre daha düz bir akış eğrisi, hidroelektrik üretimi için daha olumlu koşullar yaratabilmektedir. Bu durum toplam yıllık akışın yıl boyunca daha eşit bir şekilde geleceği, daha uzun süreler boyunca kalıcı olacağı ve daha az şiddetli taşkınlara sebep olacağı anlamına gelmektedir. Bu alışma ile her iki havzanın membalarında bulunan depolamasız HES'lerin DSE'lerinde beklenen değişimler analiz edilmiştir. Havzaların membalarında bulunan tesislerin bu çalışma için seçilmesinin nedeni ise, su kullanımlarından nispeten daha az etkilenen ve yalnızca iklim değişikliği etkilerinin (Senaryo-1) tesislerin zamana bağlı akımlarında nasıl bir değişim göstereceğinin belirlenmesidir.

5. ÇALIŞMANIN SONUÇLARI

5.1. İklim Projeksiyonu Çıktılarının Değerlendirilmesi

5.1.1. İklim projeksiyonlarının yanlılık düzeltmesi

Gelecek dönem yağış ve sıcaklık simülasyonları için doğrusal ölçeklendirme yaklaşımı ile düzeltilmiş veriler bu bölümde sunulmuştur. 1971-2005 referans periyodunda sıcaklık parametresine yanlılık düzeltmesi yapılmış ve gözlem verisi ile sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 5.1 ile örnek olarak Bayburt Alt Havzası için yapılan karşılaştırma sunulmuştur.



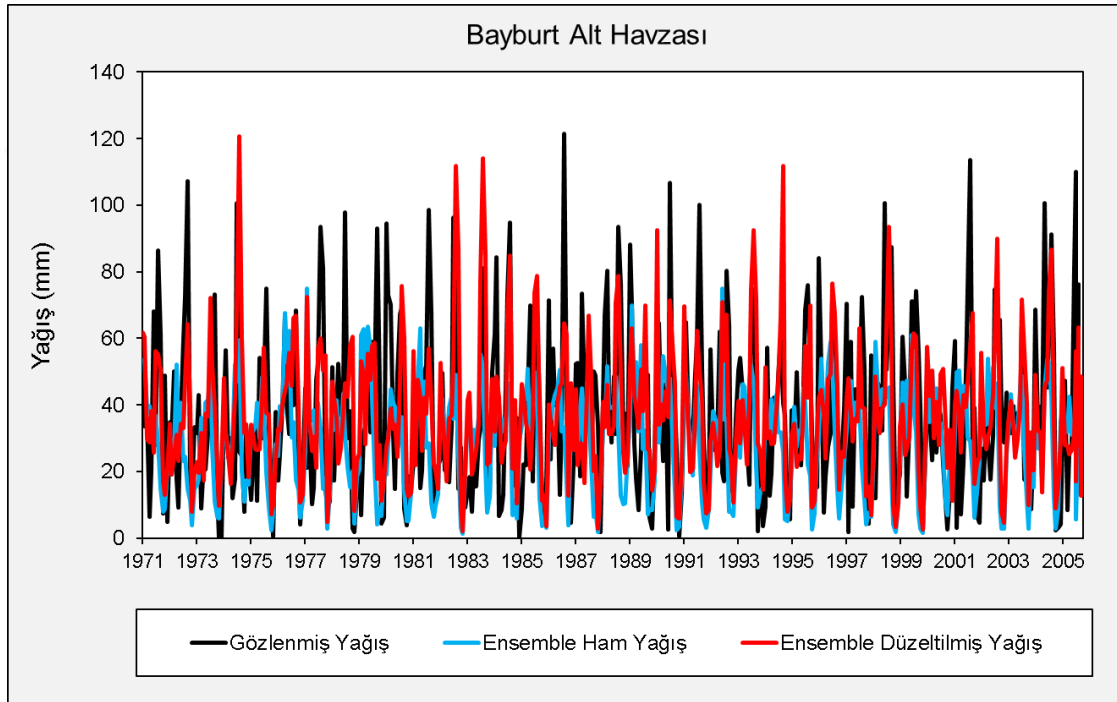
Şekil 5.1. 1971-2005 referans dönemi gözlenmiş, modellenmiş ve yanlılığı düzeltilmiş sıcaklık değerleri

Şekil 5.1 ile sunulan grafikte siyah çizgiler gözlenmiş ortalama sıcaklığı, mavi çizgiler 5 küresel iklim modelinin ham ortalama sıcaklık verilerinin ortalamasını, kırmızı çizgiler ise yanlılık düzeltmesi yapılmış sıcaklık değerlerini göstermektedir. Model çıktılarından yanlılık düzeltme katsayıları elde edildikten sonra 1971-2005 referans periyodu ve 2020-2099 projeksiyon dönemi, belirlenen yanlılık değerleri ile düzeltilmiştir.

Yağış parametresi için de sıcaklıkta olduğu gibi yanlılık düzeltmesi doğrusal ölçeklendirme yaklaşımı ile yapılmıştır. Benzer şekilde, 1971-2005 referans periyodunda yağış parametresinde gerçekleştirilen yanlılık düzeltmesi sonuçları ile gözlem verileri

karşılaştırılmıştır. Şekil 5.2 ile örnek olarak Bayburt Alt Havzası için yapılan yağış karşılaştırması sunulmuştur.

Şekil 5.2 ile sunulan grafikte siyah çizgiler gözlenmiş yağışı, mavi çizgiler 5 küresel iklim modelinin ham toplam yağış verilerinin ortalamasını, kırmızı çizgiler ise yanlılık düzeltmesi yapılmış toplam yağış değerlerini göstermektedir. Model çıktıların yanlılık düzeltme katsayıları elde edildikten sonra 1971-2005 referans periyodu ve 2020-2099 projeksiyon dönemi, belirlenen yanlılık değerleri ile düzeltilmiştir.



Şekil 5.2. 1971-2005 referans dönemi gözlenmiş, modellenmiş ve yanlılığı düzeltilmiş yağış değerleri

İklim modellerinden elde edilen ham ve düzeltilmiş sıcaklık ve yağış değerleri Peterek ve Göksu Havzası için karşılaştırılmıştır. R^2 'ye göre yapılan kıyaslama sonuçları ile yanlılık düzeltmesinin etkisi, ensemble ortalamalar için istatistiksel olarak sunulmuştur (Tablo 5.1).

Tablo 5.1. *Ham ve düzeltilmiş iklim veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (R^2)*

Havza	Alt Havza	Yağış		Sıcaklık	
		Ham Veri	Düzeltilmiş Veri	Ham Veri	Düzeltilmiş Veri
Peterek Havzası	Bayburt	0,06	0,23	0,93	0,95
	İspir	0,05	0,24	0,93	0,95
	Peterek	0,06	0,14	0,93	0,95
Göksu Havzası	Çukurkışla	0,26	0,28	0,92	0,94
	Himmetli	0,29	0,34	0,93	0,94
	Gökdere	0,16	0,25	0,94	0,95

Tablodaki sonuçlar incelendiğinde sıcaklık için referans dönemdeki ensemble ham değerlerin, gözlenen değerler ile tutarlılığının yüksek olduğu görülmüştür. Bütün veri setleri için, her iki havzada da aylık ortalama analizde sağlanan R^2 değerleri, ham veriler için 0,92-0,94 arasında iken yanlışlıkların düzeltilmesi ile 0,94-0,95'e yükselmiştir. Yağışlarda ise referans ve gözlenen değerlerin tutarlılığı, tüm veri setleri için ve özellikle de Peterek Havzası özelinde oldukça düşüktür. Her iki havzada aylık ortalama analiz ile sağlanan R^2 değerleri 0,05-0,29'dur ve yanlışlık düzeltilmesi ile 0,14-0,34'e çıkarılmıştır.

5.1.2. İklim projeksiyonlarının trend analizleri

Bu çalışmada, iklim modellerinin senaryoları bazında elde edilen uzun yıllar yağış ve sıcaklık projeksiyon verileri, 2020-2099 yılları çerçevesinde incelenmiş ve eğilim analizi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Rstudio yazılımı aracılığıyla uygulanan eğilim analizleri her iki havzanın alt havzaları ve havza geneli için ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu analizler, $p = 0,05$ istatistiksel anlamlılık düzeyinde test edilmiştir. Z değerleri $-1,96 \leq z \leq 1,96$ olarak belirlenmiş ve %95 güven aralığı kullanılmıştır. Peterek ve Göksu Havzaları'nın alt havzalarında toplam yağış ve ortalama sıcaklık zaman serileri için uygulanan Mann-Kendall trend testi sonuçları, Tablo 5.2 ve Tablo 5.5 arasında verilmiştir.

Tablo 5.2. *Peterek Havzası alt havzalarına ait gelecek dönem toplam yağışların eğilimleri (2020-2099)*

Model/Senaryo	Bayburt		İspir		Peterek	
	Z Değeri	Eğilim Yönü	Z Değeri	Eğilim Yönü	Z Değeri	Eğilim Yönü
MPI_45	-1.142	-	-1.014	-	-1.710	-
MPI_85	-2.242	Azalan	-2.086	Azalan	-2.727	Azalan
IPSL_45	-4.463	Azalan	-4.286	Azalan	-4.654	Azalan
IPSL_85	-4.361	Azalan	-4.204	Azalan	-4.827	Azalan
CNRM_45	-0.228	-	0.131	-	-1.008	-
CNRM_85	1.197	-	1.374	-	-0.242	-
EC-EARTH_45	1.072	-	1.213	-	0.978	-
EC-EARTH_85	-0.427	-	-0.388	-	-0.537	-
NorESM_45	-1.955	-	-1.686	-	-2.624	Azalan
NorESM_85	-0.143	-	0.228	-	-1.186	-
ENSEMBLE-45	-1.021	-	-0.617	-	-2.160	Azalan
ENSEMBLE-85	-0.691	-	-0.382	-	-1.800	-
2°C derece	-0.294	-	-0.156	-	-1.040	-
3°C derece	-0.121	-	-0.097	-	-0.140	-

Tablo 5.3. *Peterek Havzası alt havzalarına ait gelecek dönem ortalama sıcaklık eğilimleri (2020-2099)*

Model/Senaryo	Bayburt		İspir		Peterek	
	Z Değeri	Eğilim Yönü	Z Değeri	Eğilim Yönü	Z Değeri	Eğilim Yönü
MPI_45	1.907	-	1.912	-	1.840	-
MPI_85	7.062	Artan	7.027	Artan	7.029	Artan
IPSL_45	3.511	Artan	3.485	Artan	3.346	Artan
IPSL_85	9.053	Artan	9.036	Artan	8.655	Artan
CNRM_45	3.062	Artan	3.137	Artan	2.971	Artan
CNRM_85	5.439	Artan	5.533	Artan	5.134	Artan
EC-EARTH_45	3.062	Artan	3.132	Artan	2.953	Artan
EC-EARTH_85	5.398	Artan	5.485	Artan	5.242	Artan
NorESM_45	2.569	Artan	2.586	Artan	2.530	Artan
NorESM_85	4.748	Artan	4.748	Artan	4.727	Artan
ENSEMBLE-45	3.156	Artan	3.200	Artan	3.031	Artan
ENSEMBLE-85	7.094	Artan	7.132	Artan	6.908	Artan
2°C derece	1.771	-	1.711	-	1.969	Artan
3°C derece	2.351	Artan	2.508	Artan	2.596	Artan

Tablo 5.4. Göksu Havzası alt havzalarına ait gelecek dönem toplam yağışların eğilimleri (2020-2099)

Model/Senaryo	Çukurkişla		Himmetli		Gökdere	
	Z Değeri	Eğilim Yönü	Z Değeri	Eğilim Yönü	Z Değeri	Eğilim Yönü
MPI_45	-1.446	-	-1.814	-	-1.688	-
MPI_85	-4.374	Azalan	-4.601	Azalan	-4.857	Azalan
IPSL_45	-4.495	Azalan	-4.814	Azalan	-4.467	Azalan
IPSL_85	-6.272	Azalan	-6.205	Azalan	-6.801	Azalan
CNRM_45	-0.199	-	-0.276	-	-0.475	-
CNRM_85	0.039	-	-0.733	-	0.153	-
EC-EARTH_45	0.041	-	0.174	-	0.236	-
EC-EARTH_85	-0.709	-	-0.409	-	0.177	-
NorESM_45	-1.160	-	-0.832	-	-0.990	-
NorESM_85	-1.108	-	-1.024	-	-1.749	-
ENSEMBLE-45	-1.868	-	-1.554	-	-1.856	-
ENSEMBLE-85	-3.102	Azalan	-2.978	Azalan	-3.332	Azalan
2°C derece	-0.629	-	-0.698	-	-1.223	-
3°C derece	0.021	-	-0.944	-	0.363	-

Tablo 5.5. Göksu Havzası alt havzalarına ait gelecek dönem ortalama sıcaklık eğilimleri (2020-2099)

Model/Senaryo	Çukurkişla		Himmetli		Gökdere	
	Z Değeri	Eğilim Yönü	Z Değeri	Eğilim Yönü	Z Değeri	Eğilim Yönü
MPI_45	2.209	Artan	2.168	Artan	2.010	Artan
MPI_85	8.087	Artan	7.838	Artan	7.379	Artan
IPSL_45	4.309	Artan	4.663	Artan	4.244	Artan
IPSL_85	9.518	Artan	9.606	Artan	9.148	Artan
CNRM_45	3.638	Artan	3.632	Artan	3.254	Artan
CNRM_85	6.571	Artan	6.631	Artan	5.921	Artan
EC-EARTH_45	2.503	Artan	2.444	Artan	2.550	Artan
EC-EARTH_85	6.099	Artan	6.048	Artan	6.043	Artan
NorESM_45	2.607	Artan	2.573	Artan	2.813	Artan
NorESM_85	5.092	Artan	5.183	Artan	5.479	Artan
ENSEMBLE-45	3.479	Artan	3.608	Artan	3.563	Artan
ENSEMBLE-85	7.838	Artan	7.735	Artan	7.456	Artan
2°C derece	1.732	-	2.061	Artan	2.310	Artan
3°C derece	2.559	Artan	2.755	Artan	2.554	Artan

Alt havzalar özelinde yapılan MK trend analizinde, genel olarak yıllık toplam yağışlardaki değişimlerin yönü bir eğilim olmadığını ortaya koymaktadır. Ancak bazı model ve senaryolardaki ortak kanı ise, yağışların anlamlı olarak azalma trendine sahip olduğu göstermektedir. Bu model ve senaryolar iki havzanın bütün alt havzalarında MPI RCP 8.5, IPSL modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarıdır. Sıcaklıklarda ise alt havzaların neredeyse tamamında uygulanan bütün model ve senaryolar, istatistiksel olarak anlamlı bir sıcaklık artışından söz etmektedir.

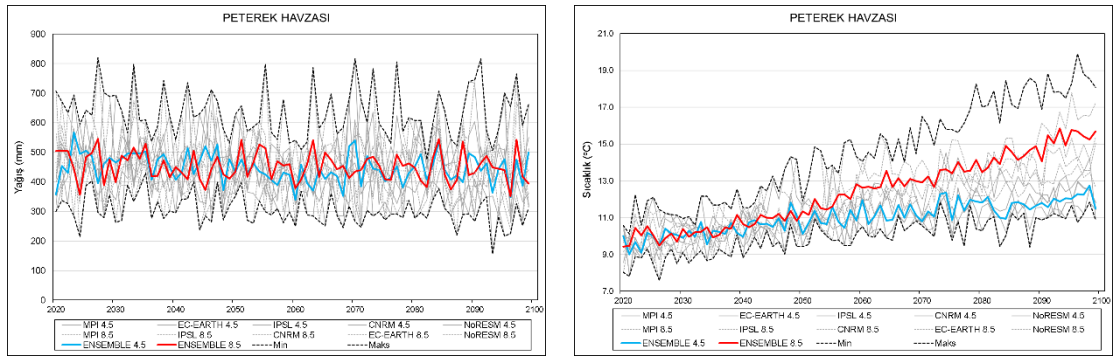
Peterek ve Göksu Havzaları geneli için yapılan analizlerin sonuçları Tablo 5.6 ve Tablo 5.7 ile verilmiştir. Ayrıca, bütün iklim modellerinin yıllık senaryo sonuçları ile ensemble verilerin birlikte çizdirilerek değerlendirildiği grafikler hazırlanmış olup Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 ile sunulmuştur.

Tablo 5.6. Peterek Havzası'na ait gelecek dönem ortalama sıcaklık eğilimleri (2020-2099)

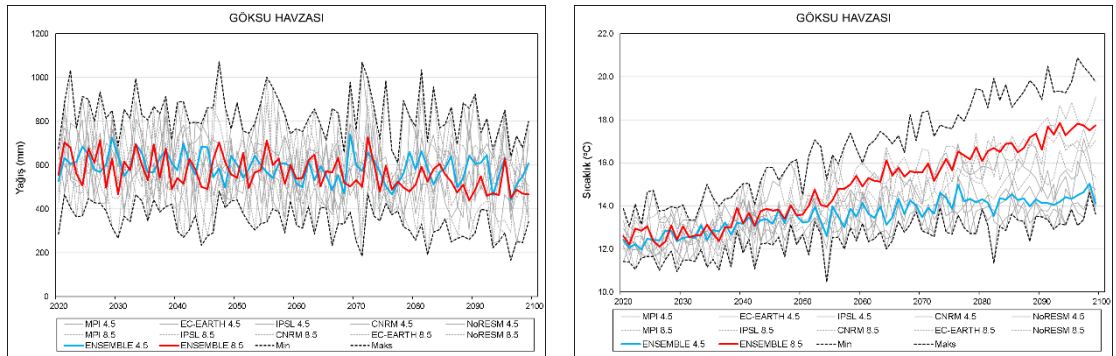
Model/Senaryo	Yağış		Sıcaklık	
	Z Değeri	Eğilim Yönü	Z Değeri	Eğilim Yönü
MPI_45	-1.256	-	1.891	-
MPI_85	-2.312	Azalan	7.052	Artan
IPSL_45	-4.480	Azalan	3.484	Artan
IPSL_85	-4.491	Azalan	8.965	Artan
CNRM_45	-0.337	-	3.050	Artan
CNRM_85	1.000	-	5.389	Artan
EC-EARTH_45	1.149	-	3.051	Artan
EC-EARTH_85	-0.419	-	5.402	Artan
NorESM_45	-2.092	Azalan	2.563	Artan
NorESM_85	-0.191	-	4.747	Artan
ENSEMBLE-45	-1.122	-	3.149	Artan
ENSEMBLE-85	-0.854	-	7.075	Artan
2°C derece	-0.399	-	1.923	-
3°C derece	-0.173	-	2.671	Artan

Tablo 5.7. Göksu Havzası'na ait gelecek dönem ortalama sıcaklık eğilimleri (2020-2099)

Model/Senaryo	Yağış		Sıcaklık	
	Z Değeri	Eğilim Yönü	Z Değeri	Eğilim Yönü
MPI_45	-1.723	-	2.126	Artan
MPI_85	-4.797	Azalan	7.775	Artan
IPSL_45	-4.667	Azalan	4.381	Artan
IPSL_85	-6.689	Azalan	9.465	Artan
CNRM_45	-0.354	-	3.491	Artan
CNRM_85	-0.097	-	6.376	Artan
EC-EARTH_45	0.192	-	2.474	Artan
EC-EARTH_85	-0.232	-	6.075	Artan
NorESM_45	-1.063	-	2.682	Artan
NorESM_85	-1.259	-	5.251	Artan
ENSEMBLE-45	-1.837	-	3.444	Artan
ENSEMBLE-85	-3.289	Azalan	7.679	Artan
2°C derece	-1.213	-	2.432	Artan
3°C derece	0.157	-	2.845	Artan



Şekil 5.3. Peterek Havzası gelecek dönemler için yıllık toplam yağış ve ortalama sıcaklık eğilim grafiği



Şekil 5.4. Göksu Havzası gelecek dönemler için yıllık toplam yağış ve ortalama sıcaklık eğilim grafiği

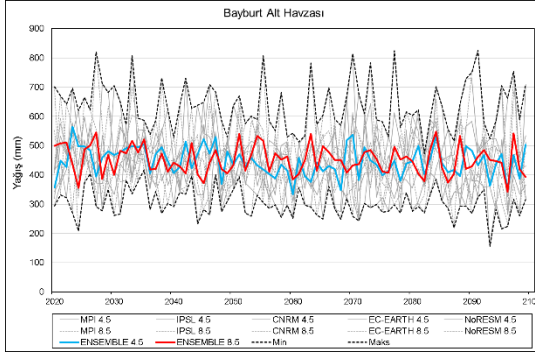
Havzaların geneli için uygulanan MK test sonuçlarına göre, gelecek dönem toplam yağışlarda alt havzalarda görüldüğü gibi ortak olarak MPI modelinin RCP 8.5 senaryosu ile IPSL modelinin RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarında anlamlı bir azalış trendi görülmüştür. Bununla birlikte Peterek Havzası'nda NorESM RCP 4.5 senaryosunda ve Göksu Havzası'nda ise modellerin ortalaması olan Ensemble RCP 8.5 sonuçlarında istatistiksel olarak anlamlı bir azalmanın olacağı tespit edilmiştir. Ortalama sıcaklıklarda da beklendiği üzere, genel olarak modellerin tamamında 2020-2099 yılları boyunca anlamlı bir artış eğiliminin olduğu belirlenmiştir.

5.1.3. Yağış projeksiyonları

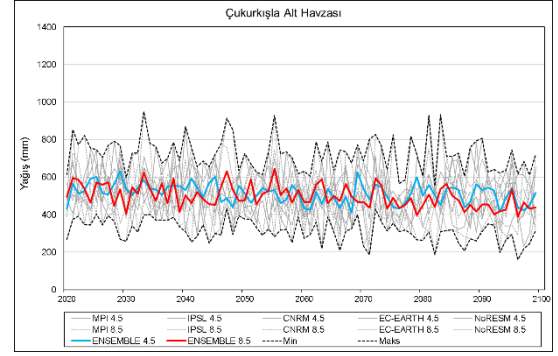
2020-2099 projeksiyon dönemi için 5 küresel iklim modelinin RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre elde edilmiş yağış simülasyonlarına, referans dönemine göre elde edilen yanlılık düzeltme faktörleri uygulanarak düzeltilmiş model yağışlarının yıllık ortalama grafikleri Peterek ve Göksu Havzaları'nın alt havzaları için Şekil 5.5 ile verilmiştir.

Grafiklerde gri düz çizgiler modellerin RCP 4.5 senaryolarını, gri noktalı çizgiler ise RCP 8.5 senaryolarını temsil etmektedir. Yağışlar için elde edilen gelecek dönem senaryolarının 30'ar yıllık dönemler göz önüne alındığında referans döneme göre değişimleri, Peterek Havzası'nın alt havzaları için Tablo 5.8 ile verilmiş, Göksu Havzası'nın alt havzaları için ise Tablo 5.9 ile sunulmuştur. Her iki havzanın alt havzalarındaki 30'ar yıllık dönem değişimlerine bakıldığında gelecekte beklenen yağışlarda artışların ve azalışların olabileceği bütün model ve senaryolarda görülmektedir. Ensemble sonuçlar çerçevesinde ise, Göksu Havzası'nın alt havzaları bütün periyotlar ve senaryolarda referansa göre azalma eğilimi göstermiş ve yıllar ilerledikçe de yağışlardaki bu azalmaların artarak devam edebileceği tespit edilmiştir. Peterek Havzası'nın coğrafi konumu nedeniyle yağışlardaki belirsizliği, alt havzalarında da gözlenmektedir. Modeller arasında bütün dönemler ve alt havzalar göz önüne alındığında yalnızca EC-EARTH modelinin RCP 4.5 senaryosu çıktılarında yağışların referansa göre artacağı görülmektedir.

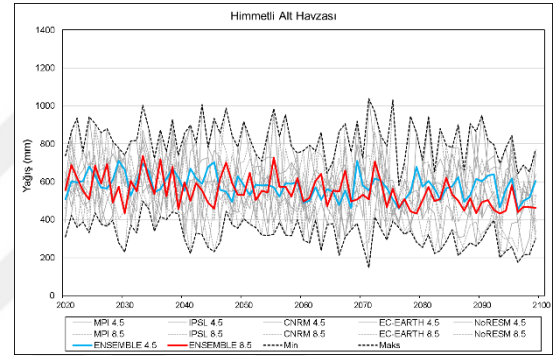
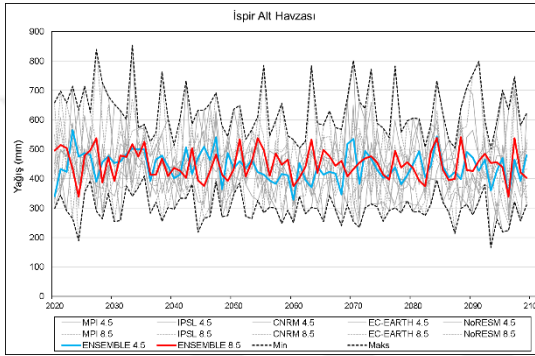
Peterek Havzası



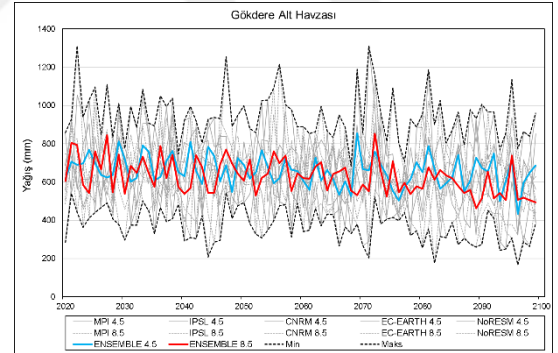
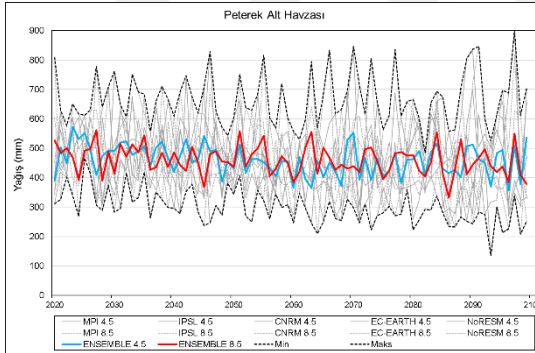
Göksu Havzası



a)



b)



c)

Şekil 5.5. Peterek ve Göksu Havzası alt havzalarının 2020-2099 dönemi yıllık ortalama toplam yağış değerleri (a) AH:1, b) AH-2, c) AH-3

Tablo 5.8. *Peterek Havzası alt havzalarına ait dönemlere göre yağış değişimleri (%)*

BAYBURT ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	2.9	0.3	6.4	8.0	3.6	-1.4	6.4	4.8	0.5	-5.8	4.0	1.2
2050-2075	-4.4	11.3	-8.6	-5.8	-7.9	-3.3	9.6	9.1	-11.6	1.3	-4.6	2.0
2076-2099	-7.0	-5.4	-21.3	-20.7	5.5	9.7	19.6	12.4	-7.2	1.1	-2.0	-1.0
İSPİR ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	3.3	0.6	9.6	11.2	2.2	-0.7	5.4	3.8	1.6	-4.3	4.4	2.1
2050-2075	-4.1	11.7	-6.8	-1.6	-6.5	-2.8	9.2	8.3	-8.7	1.7	-3.3	3.5
2076-2099	-5.8	-4.0	-19.6	-17.6	5.8	10.9	19.5	11.2	-5.9	3.0	-1.5	0.7
PETEREK ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	2.4	-2.3	-2.9	-1.8	2.9	-4.1	7.9	8.1	2.3	-2.6	2.5	-0.5
2050-2075	-5.4	7.0	-13.6	-16.7	-14.5	-9.8	11.1	10.1	-13.5	-3.0	-7.2	-2.5
2076-2099	-10.4	-9.4	-27.4	-29.7	1.9	1.7	19.1	13.8	-4.6	-3.4	-4.6	-5.4

M: MPI, I: IPSL, C: CNRM, EC: EC-EARTH, N: NorESM, ENS: Ensemble

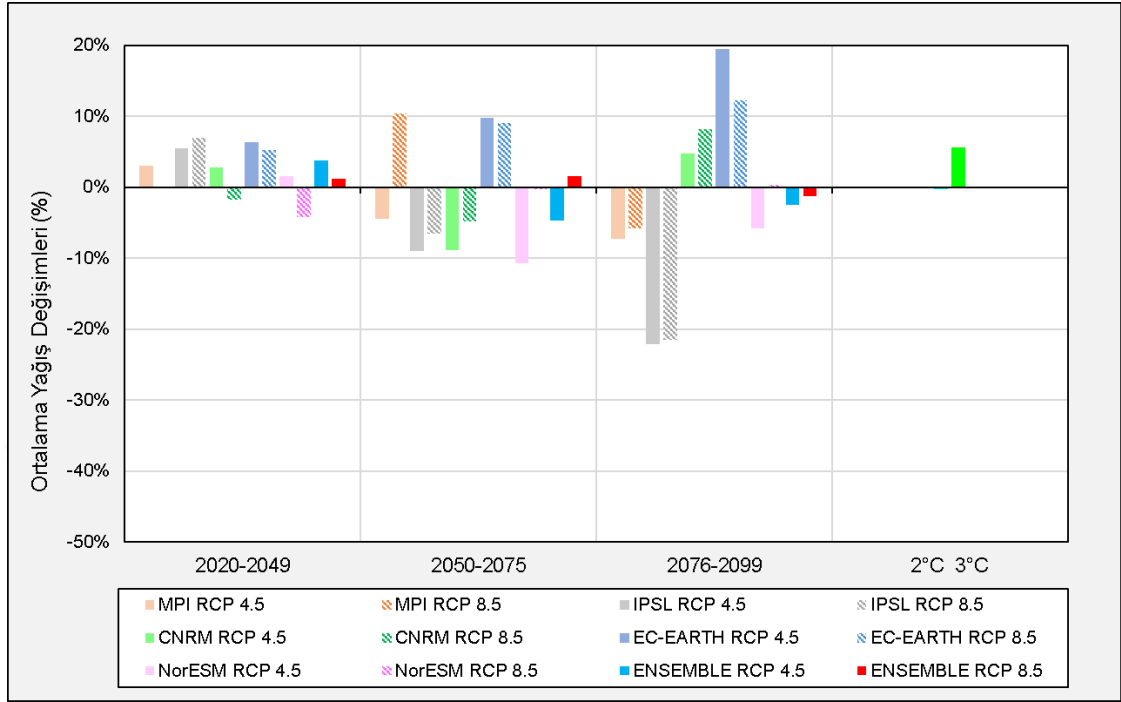
Tablo 5.9. *Göksu Havzası alt havzalarına ait dönemlere göre yağış değişimleri (%)*

ÇUKURKIŞLA ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	1.6	-6.8	-0.3	-3.2	0.4	0.4	3.2	0.0	-4.9	-7.9	0.0	-3.5
2050-2075	-12.0	6.1	-12.0	-19.9	-2.8	-8.9	3.7	1.3	-12.4	-4.1	-7.1	-5.1
2076-2099	-6.0	-24.3	-24.5	-42.0	0.2	4.2	3.0	-5.1	-8.6	-9.1	-7.2	-15.2
HİMMETLİ ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	1.4	-10.0	-4.0	-6.2	2.7	-1.1	0.9	0.0	-3.4	-7.6	-0.5	-5.0
2050-2075	-15.7	1.2	-18.7	-25.5	-1.1	-12.8	3.7	-0.9	-11.4	-1.4	-8.6	-7.8
2076-2099	-9.8	-36.2	-31.8	-48.2	2.5	-3.3	0.5	-8.3	-4.5	-5.0	-8.9	-20.2
GÖKDERE ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	-4.1	-9.6	-4.2	-6.7	2.9	0.2	0.6	-0.2	-4.9	-9.1	-1.9	-5.1
2050-2075	-16.6	-1.7	-11.4	-20.0	0.7	-9.4	6.3	0.0	-12.3	-10.0	-6.7	-8.2
2076-2099	-12.1	-33.3	-25.0	-46.6	0.2	3.2	-0.9	-5.8	-8.6	-9.1	-9.7	-18.3

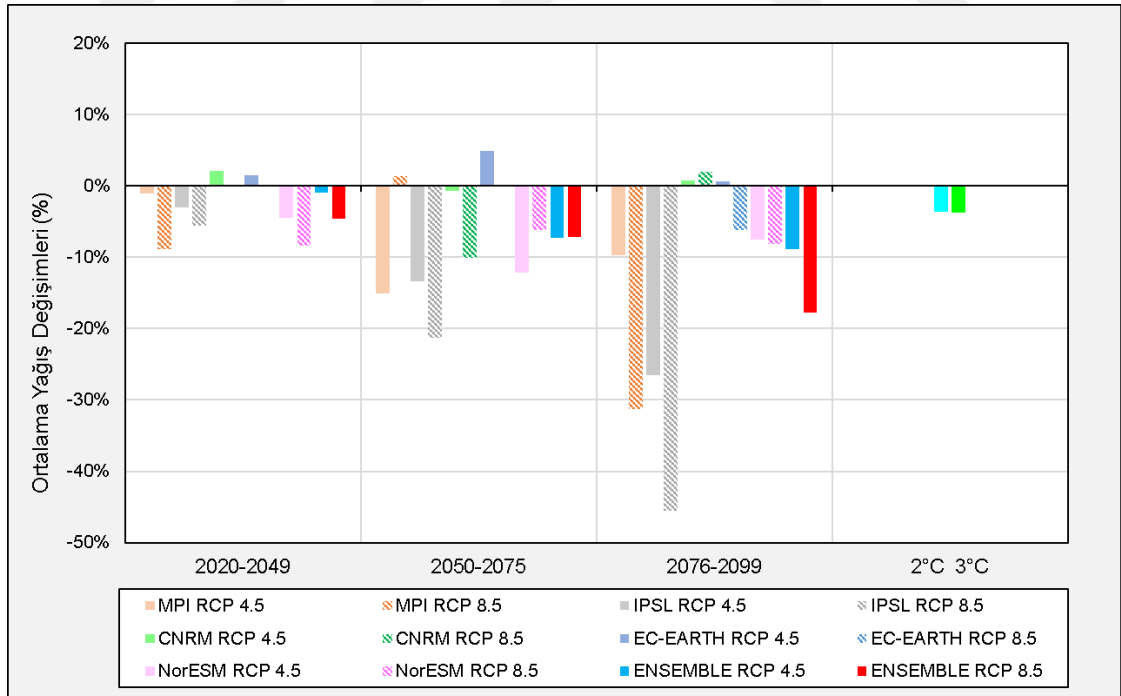
M: MPI, I: IPSL, C: CNRM, EC: EC-EARTH, N: NorESM, ENS: Ensemble

Peterek ve Göksu Havzaları'nın alt havzaları için günümüzden yüzyılın sonuna kadar 30'ar yıllık dönemde 5 iklim modeli ve 2 farklı senaryo için belirlenen anomali sonuçları detaylı olarak verilmiştir. Alt havza bazlı değerlendirmelerin yanı sıra, Peterek ve Göksu Havzaları geneli için yağış değişim sonuçları alansal oranlara göre elde edilerek toparlanmıştır. Modeller ve senaryolar bazında 30'ar yıllık dönemlere göre değişim

grafikleri Şekil 5.6 ve Şekil 5.7 ile verilmiştir. Elde edilen bu yüzde değişimlerinin sayısal değerleri ise Tablo 5.10 ile sunulmuştur.



Şekil 5.6. Peterek Havzası dönemlere göre yağış değişimleri



Şekil 5.7. Göksu Havzası dönemlere göre yağış değişimleri

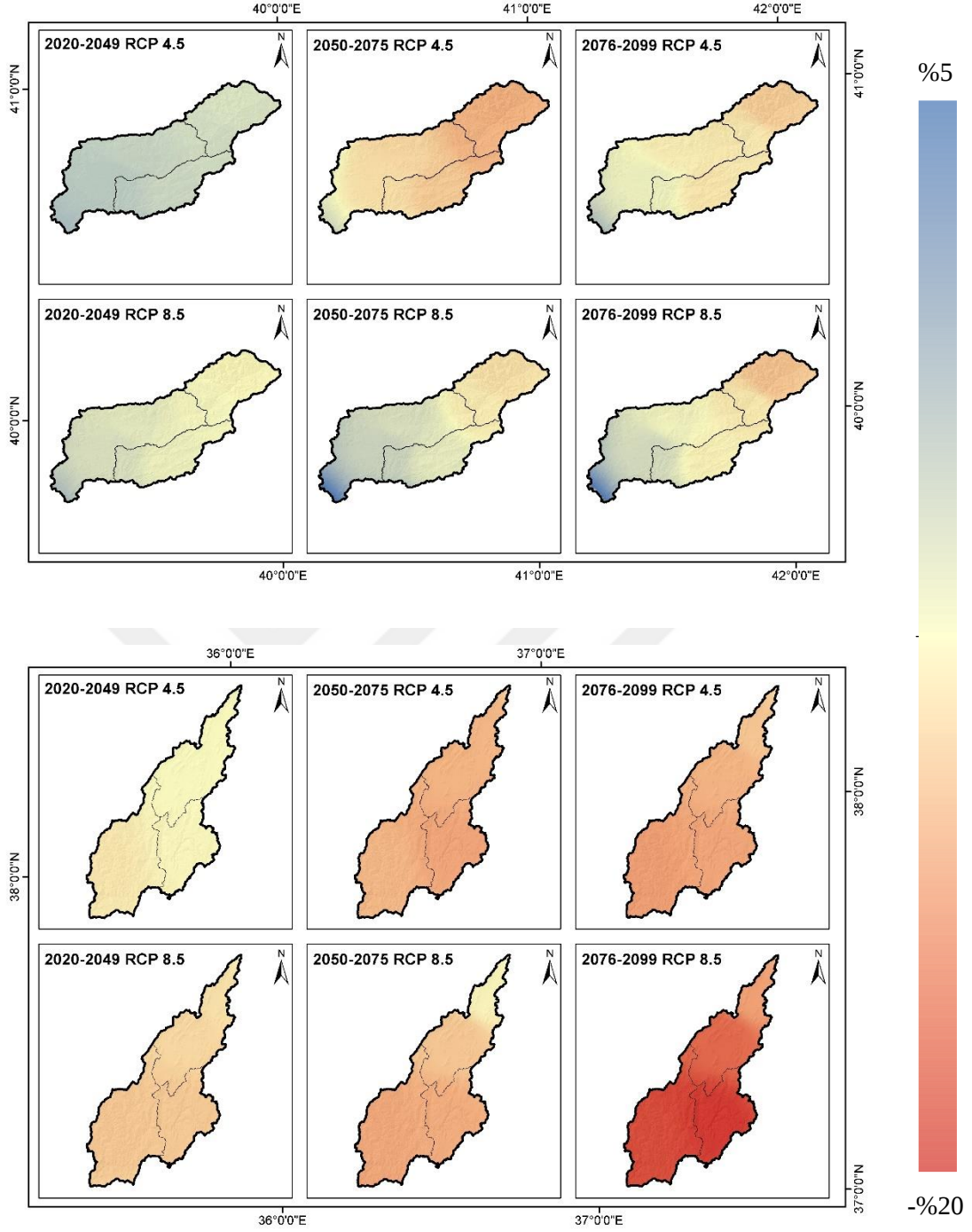
Tablo 5.10. *Peterek ve Göksu Havzaları'nın dönemlere göre yağış değişimleri (%)*

PETEREK HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	3.0	-0.2	5.5	7.0	2.7	-1.8	6.3	5.2	1.5	-4.2	3.8	1.2
2050-2075	-4.5	10.4	-9.0	-6.6	-8.9	-4.8	9.8	9.0	-10.7	-0.3	-4.7	1.5
2076-2099	-7.3	-5.8	-22.1	-21.6	4.7	8.2	19.4	12.2	-5.8	0.3	-2.5	-1.3

GÖKSU HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	-1.1	-8.9	-3.0	-5.6	2.1	-0.1	1.5	-0.1	-4.5	-8.4	-1.0	-4.6
2050-2075	-15.0	1.3	-13.4	-21.3	-0.8	-10.1	4.9	0.2	-12.1	-6.2	-7.3	-7.2
2076-2099	-9.7	-31.3	-26.5	-45.6	0.8	1.9	0.6	-6.2	-7.6	-8.1	-8.9	-17.8

M: MPI, I: IPSL, C: CNRM, EC: EC-EARTH, N: NorESM, ENS: Ensemble

Peterek Havzası'ndaki iklim senaryolarının ortak kanısı 2020-2049 periyodunda havzadaki yağışların referansa göre artış göstereceği yönünde olmuştur. 2. ve 3. dönemlerde ise iklim modellerinin yağışlardaki değişim eğilimleri farklı çıkmaktadır. Yağışlardaki belirsizliklerin hissedilir olduğu Peterek Havzası'nda, iklim modellerini ayrı ayrı değerlendirmek yerine modellerin birlikte değerlendirildiği ensemble sonuçlara bakmak daha faydalı olacaktır. Ensemble senaryo sonuçlarına göre de 2020-2049 döneminde yağışlarda artışların olabileceği, 2076-2099 döneminde ise yağışlarda azalmalar beklendiği görülmektedir. 2050-2075 yılları aralığında senaryolar arası yağış değişimlerinde farklılıklar gözlenmekte olup yağışların %1,5 derecelere varan artış ve %4,7 seviyelerinde azalış arasında dağıldığı belirlenmiştir. Göksu Havzası'nda ise genel olarak bütün dönemlerde ve tüm senaryolarda yağışların azalacağı öngörülmüş ve devam eden yıllarda bu azalmaların artarak devam edeceği tespit edilmiştir. Peterek ve Göksu Havzaları için elde edilen ensemble sonuçlarının senaryolar bazında alansal gösterimi Şekil 5.8 ile verilmiştir.

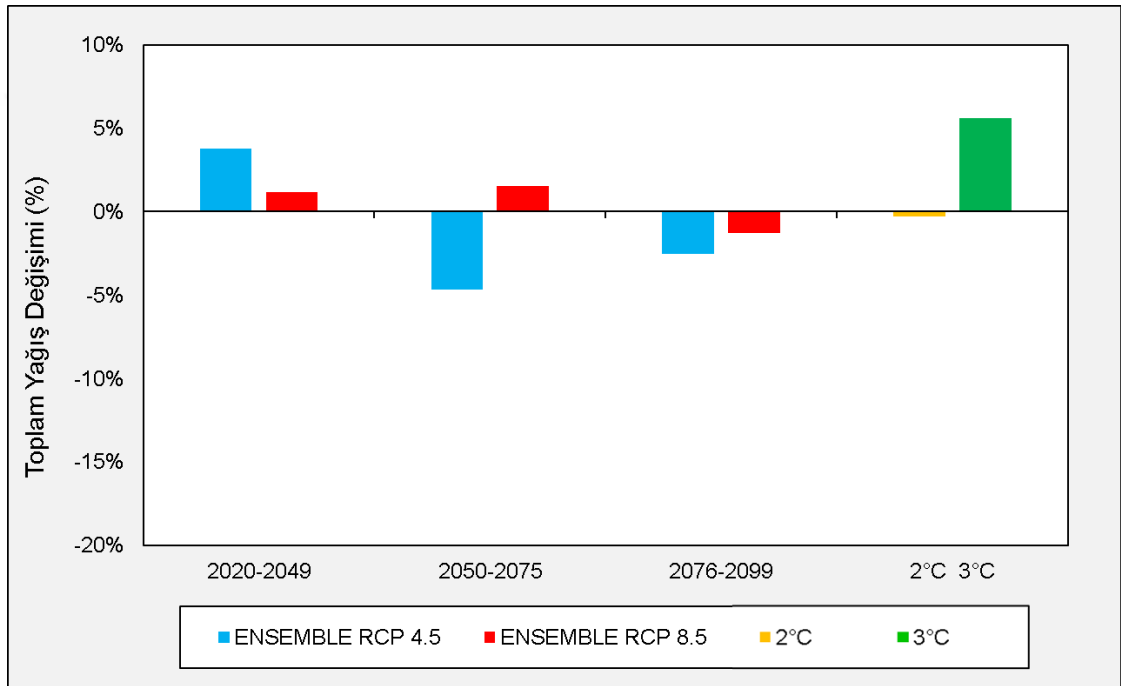


Şekil 5.8. Peterek ve Göksu Havzası dönemlere göre ensemble yağış değişimleri haritası

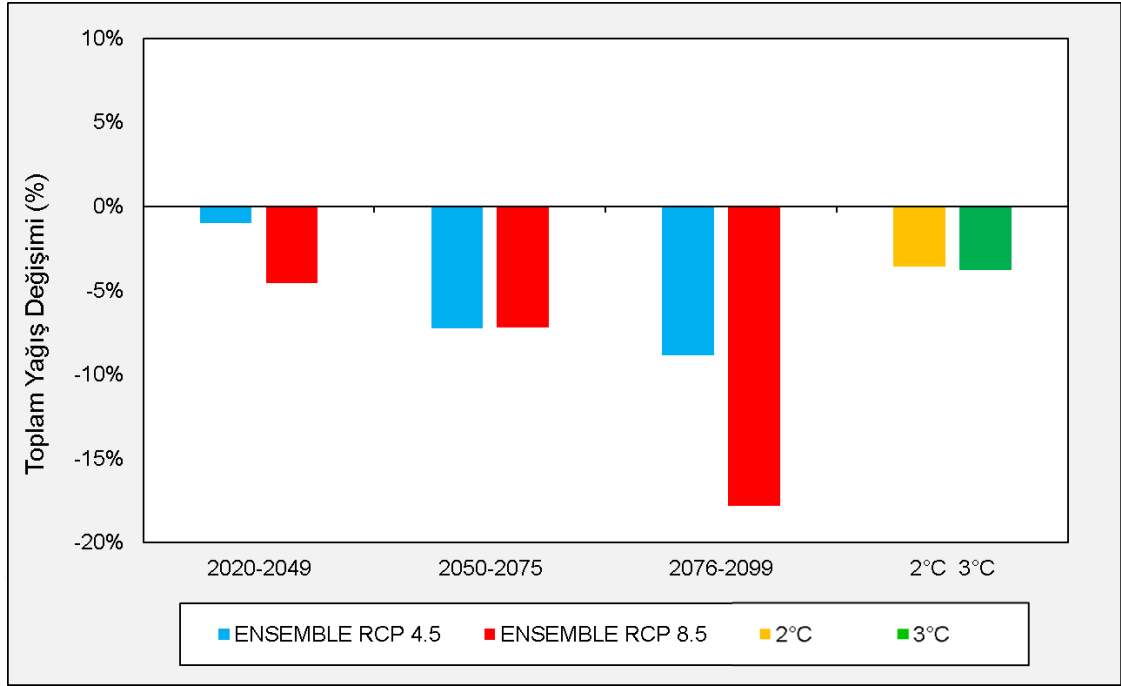
Peterek Havzası için oluşturulan yağış değişimlerinin dönemlere ve senaryolara göre dağılım haritasına bakıldığında, havzanın neredeyse tamamında yağışların referansa göre azalacağı öngörülmüştür. Havzadaki yağışlarda artışların beklendiği bölgeler ise, havzanın güneydoğu kesimleri olarak belirlenmiştir. Göksu Havzası'nda ise yağışların bütün senaryolara göre azalacağı haritalardan görülmektedir. Yağış değişimin en az olacağı RCP 4.5 senaryosunun 2020-2049 dönemi olurken, en fazla azalışlar beklenildiği

üzere 2076-2099 periyodunun RCP 8.5 senaryosu olmuştur. Bununla birlikte havzanın kuzeyinden güneyine doğru gidildikçe yağışlardaki azalmaların seviyesinde artışların olduğu görülmüştür.

Peterek ve Göksu Havzaları için yapılan 30'ar yıllık yağış anomali sonuçları ile birlikte, aynı dönemler ölçeğinde uzun yıllar günlük toplam yağışlardaki değişimler analiz edilmiştir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen veriler de dahil edilerek havzalar için nihai çıktılar oluşturulmuştur. Ensemble olarak elde edilen özet yağış anomali grafikleri Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 ile sunulmuştur.



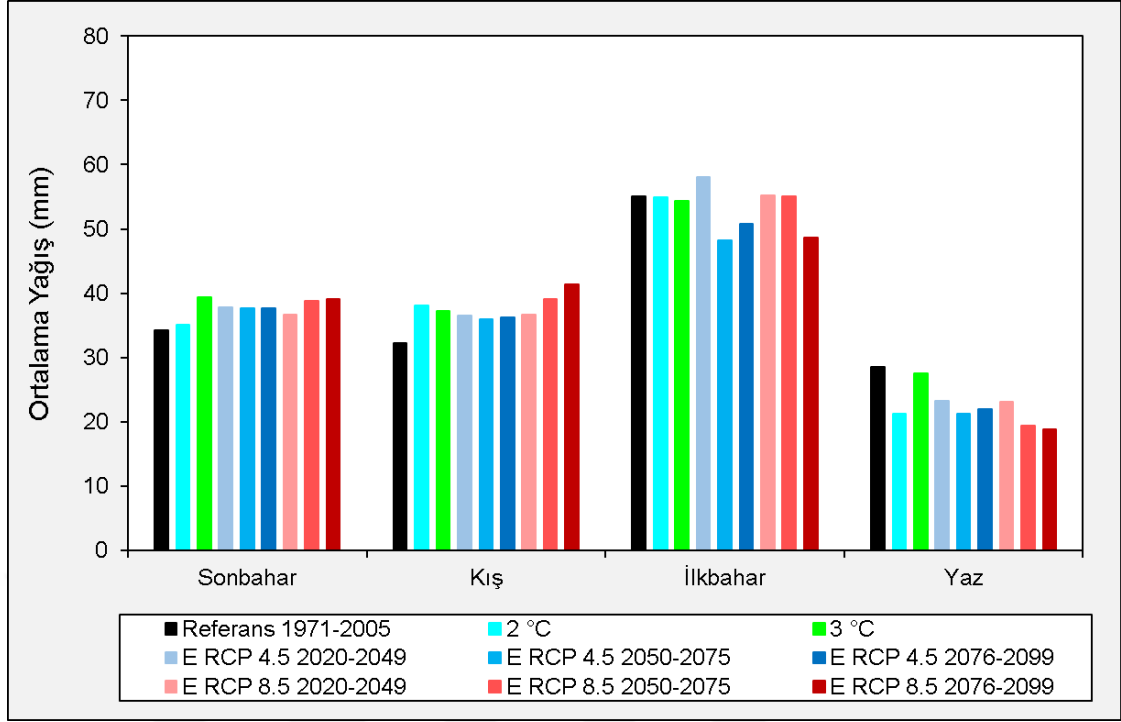
Şekil 5.9. Peterek Havzası dönemlere göre özet yağış değişimleri



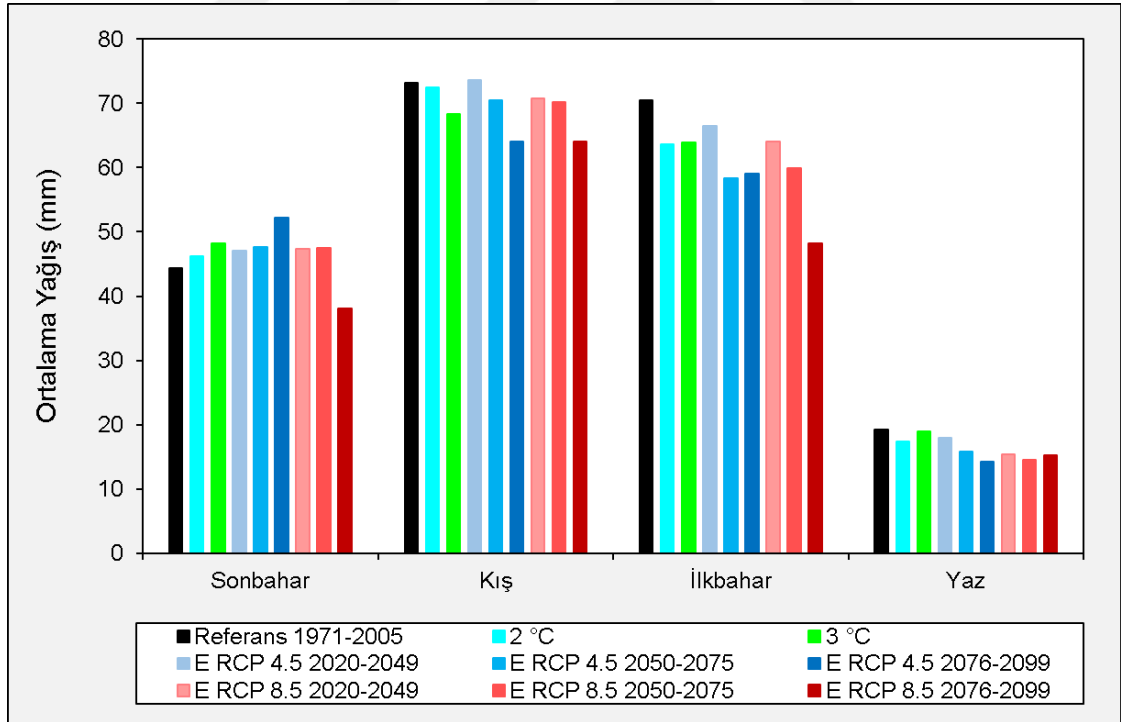
Şekil 5.10. Göksu Havzası dönemlere göre özet yağış değişimleri

Havzaların geneli için yağışlarda beklenen değişim sonuçları ensemble ortalamalar ve sıcaklık değişim senaryoları için toparlanmıştır. Göksu Havzası'nda 2020-2099 periyodu için yağışların azalacağı ve yüzyılın sonuna doğru ise referansa göre en fazla %18'lere varan değişimler görülebileceği tespit edilmiştir. Peterek Havzası'nda ise projeksiyon yağışlarında bir belirsizlik durumu hakimdir. Gerek senaryolar bazında gerek periyotlar ölçeğinde gerekse de sıcaklık değişimlerine göre bu sonuca varılmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi Peterek Havzası ülkemizin doğu ve kuzey havzaları arasında bir geçiş bölgesi olarak konumlanmıştır. Dolayısıyla yağışlardaki değişimler iklim modelleri açısından farklı olarak yorumlanmıştır. Sonuç olarak Peterek Havzası'ndaki yağış değişimlerinin yaklaşık olarak %6 artış ve %5 azalış değerleri arasında seyredebileceği belirlenmiştir.

30 yıllık dönem değişim analizlerinin yanı sıra, havzalardaki iklim değişikliği ile birlikte beklenen yağış değişimleri mevsimsel olarak incelenmiştir. Bu değerlendirmeler ile gelecekte öngörülen yağış anomali değerlerinin referansa göre sezonsal olarak nasıl değişeceğinin belirlenmesi amaçlanmış ve elde edilen grafikler Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 ile sunulmuştur.



Şekil 5.11. Peterek Havzası dönemlere göre mevsimlik yağış değişimleri



Şekil 5.12. Göksu Havzası dönemlere göre mevsimlik yağış değişimleri

Mevsimlik yağış değişimi grafiklerinde görüldüğü üzere, genel olarak havzalarda sonbahar yağışlarının artma yönünde, ilkbahar ve yaz aylarında ise referansa azalma eğiliminde olacağı belirlenmiştir. Kış sezonunda Peterek Havzası'nda referansa göre

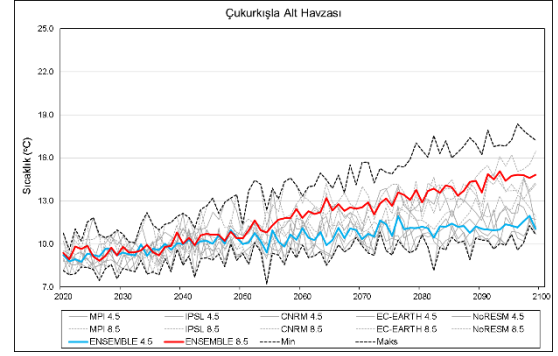
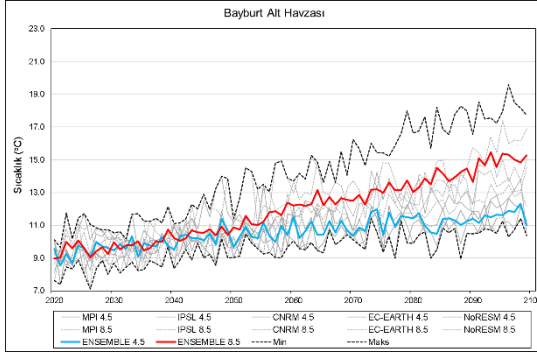
yağışlarda artışlar gözlenirken, Göksu Havzası'nda bu durum ilk 30 yıllık dönemde ve 2°C'lik sıcaklık değişimlerinde sabit, devam eden yıllarda ise azalma olarak karşımıza çıkmaktadır.

5.1.4. Sıcaklık projeksiyonları

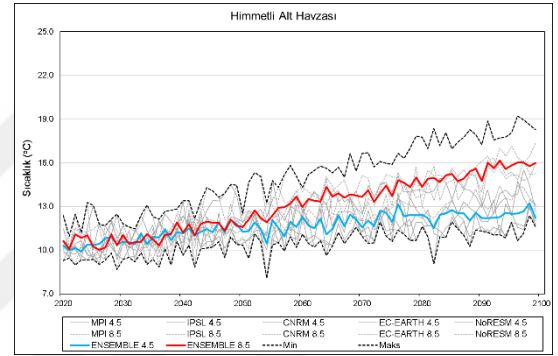
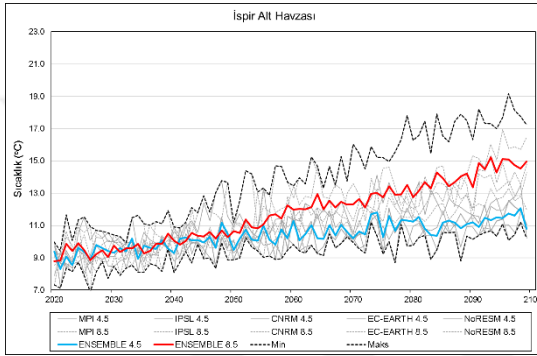
Gelecek Dönem çalışmaları için 5 küresel iklim modelinin 2 farklı senaryosuna göre sıcaklık simülasyonları elde edilmiştir. 2020-2099 periyodu için elde edilen bu verilere, yanlılık düzeltmeleri uygulanmış ve havzaların alt havzaları bazında sıcaklık değerlendirmesi yapılmıştır. Peterek ve Göksu Havzaları'nın alt havzaları için elde edilen 2020-2099 dönemi yıllık ortalama sıcaklık verileri Şekil 5.13 ile sunulmuş olup grafiklerdeki açıklamalar, yağış projeksiyonlarında belirtildiği gibidir. Sıcaklık projeksiyonları için elde edilen gelecek dönem senaryolarının 30'ar yıllık dönemler baz alındığında referans döneme göre değişimleri, Peterek Havzası'nın alt havzaları için Tablo 5.11 ile verilmiş, Göksu Havzası'nın alt havzaları için ise Tablo 5.12 ile sunulmuştur. Ülkemizin farklı coğrafi bölgelerinde bulunan uygulama havzalarının her bir alt havzasındaki 30'ar yıllık sıcaklık değişimleri incelendiğinde, iklim modellerinin ortak noktası sıcaklıkların giderek artacağı şeklinde olmuştur. İklim modellerinin ve senaryo ortalamaları ile elde edilen toplu sonuçlar (ensemble) göze alındığında da sıcaklıkların referans değerlere göre yükseleceği ve bu yükselişlerin yüzyılın sonuna doğru daha da artabileceği tespit edilmiştir. Özellikle beklendiği üzere RCP 8.5 kötümser senaryolarında öngörülen artışların, periyodun sonuna doğru artarak devam edeceği belirlenmiştir.

Peterek Havzası

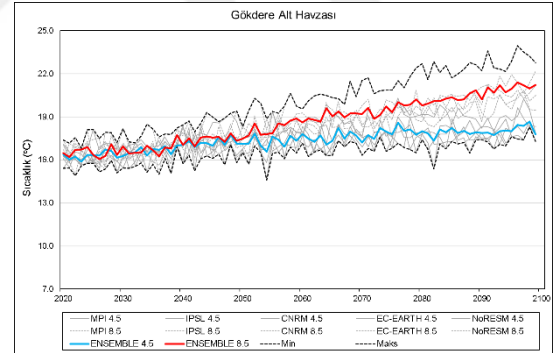
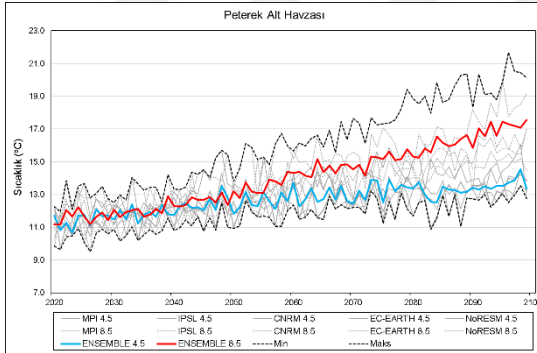
Göksu Havzası



a)



b)



c)

Şekil 5.13. Peterek ve Göksu Havzası alt havzalarının 2020-2099 dönemi yıllık ortalama sıcaklık değerleri (a) AH-1, b) AH-2, c) AH-3)

Tablo 5.11. *Peterek Havzası alt havzalarına ait dönemlere göre ortalama sıcaklık değişimleri (°C)*

BAYBURT ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	1.8	1.5	2.3	2.8	1.3	1.6	1.3	1.4	1.3	1.4	1.6	1.7
2050-2075	2.4	4.3	3.6	5.9	2.2	3.5	2.2	2.9	2.0	3.0	2.5	3.9
2076-2099	2.7	6.5	4.2	9.2	3.1	5.3	3.2	4.9	2.6	4.2	3.2	6.0

İSPİR ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	1.8	1.4	2.3	2.7	1.3	1.6	1.3	1.4	1.3	1.4	1.6	1.7
2050-2075	2.4	4.3	3.6	5.9	2.2	3.5	2.2	2.8	2.0	2.9	2.5	3.9
2076-2099	2.6	6.3	4.2	9.0	3.2	5.3	3.2	4.9	2.6	4.2	3.2	5.9

PETEREK ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	1.9	1.5	2.1	2.6	1.1	1.6	1.2	1.4	1.3	1.4	1.5	1.7
2050-2075	2.5	4.3	3.5	5.6	2.1	3.4	2.1	2.9	2.0	3.0	2.5	3.8
2076-2099	2.7	6.6	4.1	8.9	2.9	5.1	2.9	4.8	2.6	4.3	3.0	5.9

M: MPI, I: IPSL, C: CNRM, EC: EC-EARTH, N: NorESM, ENS: Ensemble

Tablo 5.12. *Göksu Havzası alt havzalarına ait dönemlere göre ortalama sıcaklık değişimleri (°C)*

ÇUKURKIŞLA ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	2.1	1.7	2.5	2.9	1.4	1.8	1.3	1.8	1.3	1.4	1.8	1.9
2050-2075	2.8	4.6	3.9	6.1	2.3	3.9	1.9	3.2	2.0	3.0	2.6	4.1
2076-2099	3.1	6.5	4.7	8.9	3.3	5.6	2.6	5.5	2.6	4.2	3.3	6.1

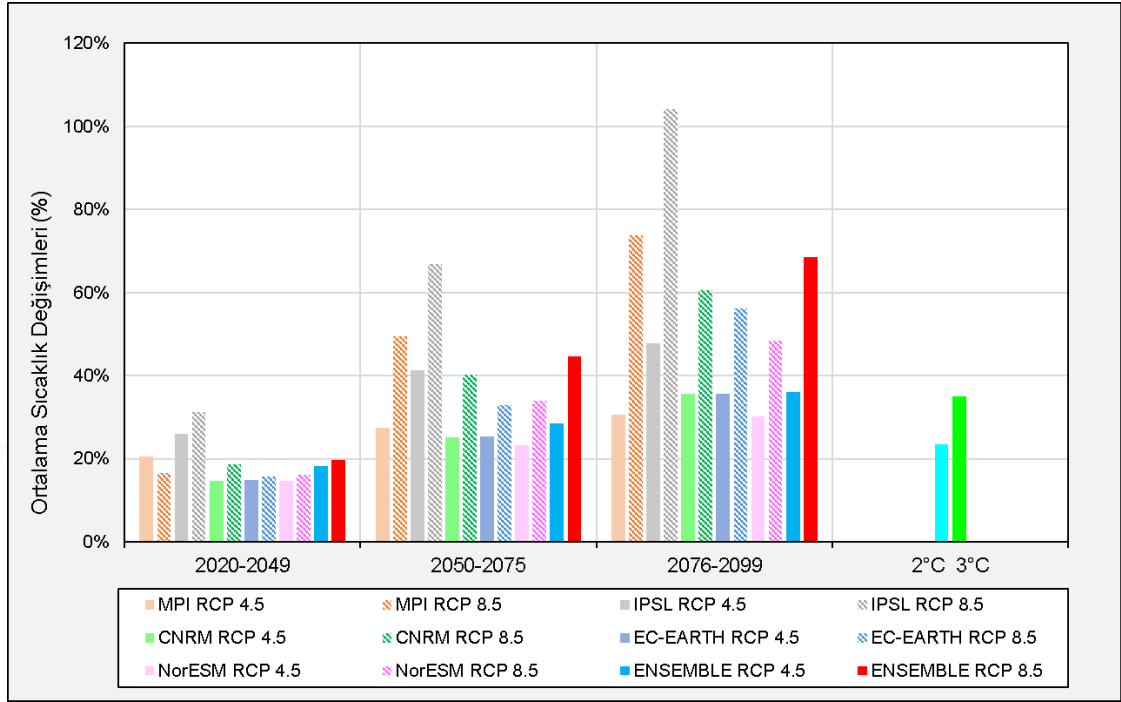
HİMMETLİ ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	2.3	1.8	2.7	3.0	1.6	1.9	1.5	2.0	1.3	1.5	1.9	2.0
2050-2075	3.0	4.7	4.1	6.1	2.6	4.2	2.0	3.3	2.1	3.0	2.8	4.3
2076-2099	3.2	6.6	5.0	8.8	3.5	5.9	2.8	5.8	2.6	4.3	3.4	6.3

GÖKDERE ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	1.7	1.4	2.0	2.4	1.3	1.5	1.3	1.7	1.4	1.5	1.5	1.7
2050-2075	2.3	3.6	3.2	4.9	2.0	3.2	1.9	3.0	2.2	3.1	2.3	3.6
2076-2099	2.4	5.4	3.8	7.2	2.8	4.6	2.4	5.0	2.6	4.3	2.8	5.3

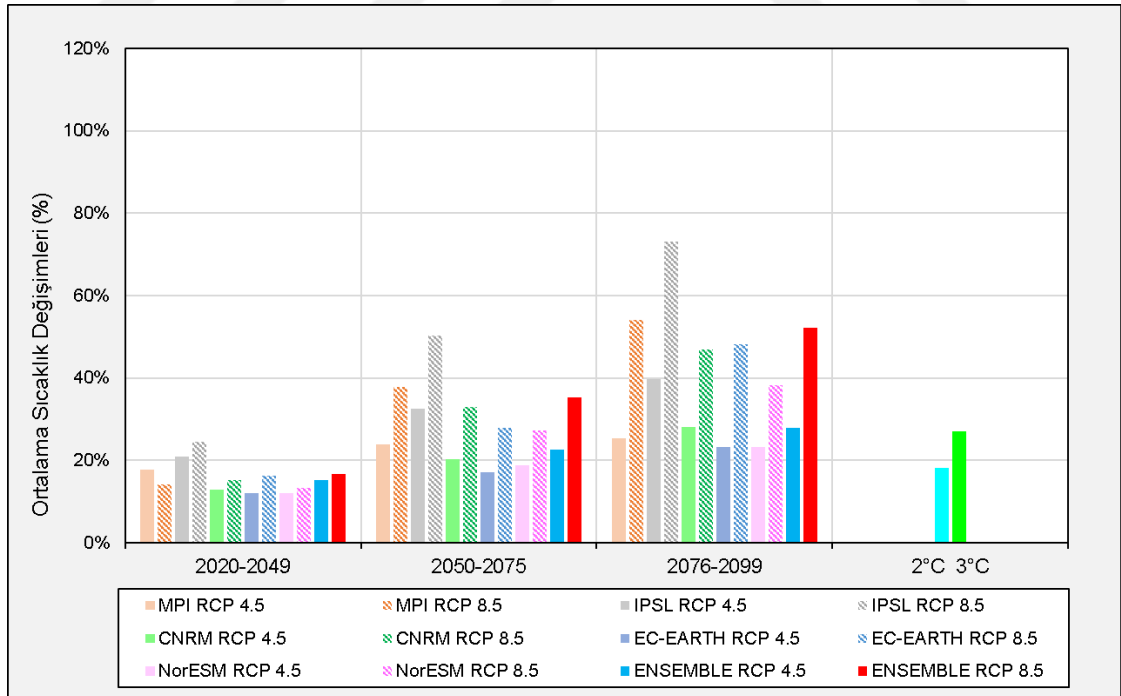
M: MPI, I: IPSL, C: CNRM, EC: EC-EARTH, N: NorESM, ENS: Ensemble

Peterek ve Göksu Havzaları'nın alt havzaları için günümüzden yüzyılın sonuna kadar 30'ar yıllık dönemde 5 iklim modeli ve 2 farklı senaryo için belirlenen sıcaklık değişim sonuçları detaylı olarak verilmiştir. Alt havza bazlı değerlendirmeler ile birlikte, Peterek ve Göksu Havzaları geneli için ortalama sıcaklık değişim sonuçları elde edilerek toparlanmıştır. Modeller ve senaryolar bazında 30'ar yıllık dönemlere göre yüzdesel

olarak değişim grafikleri Şekil 5.14 ve Şekil 5.15 ile verilmiştir. Elde edilen bu yüzde değerlerinin sıcaklık farklarındaki sayısal değerleri ise Tablo 5.13 ile sunulmuştur.



Şekil 5.14. Peterek Havzası dönemlere göre sıcaklık değişimleri



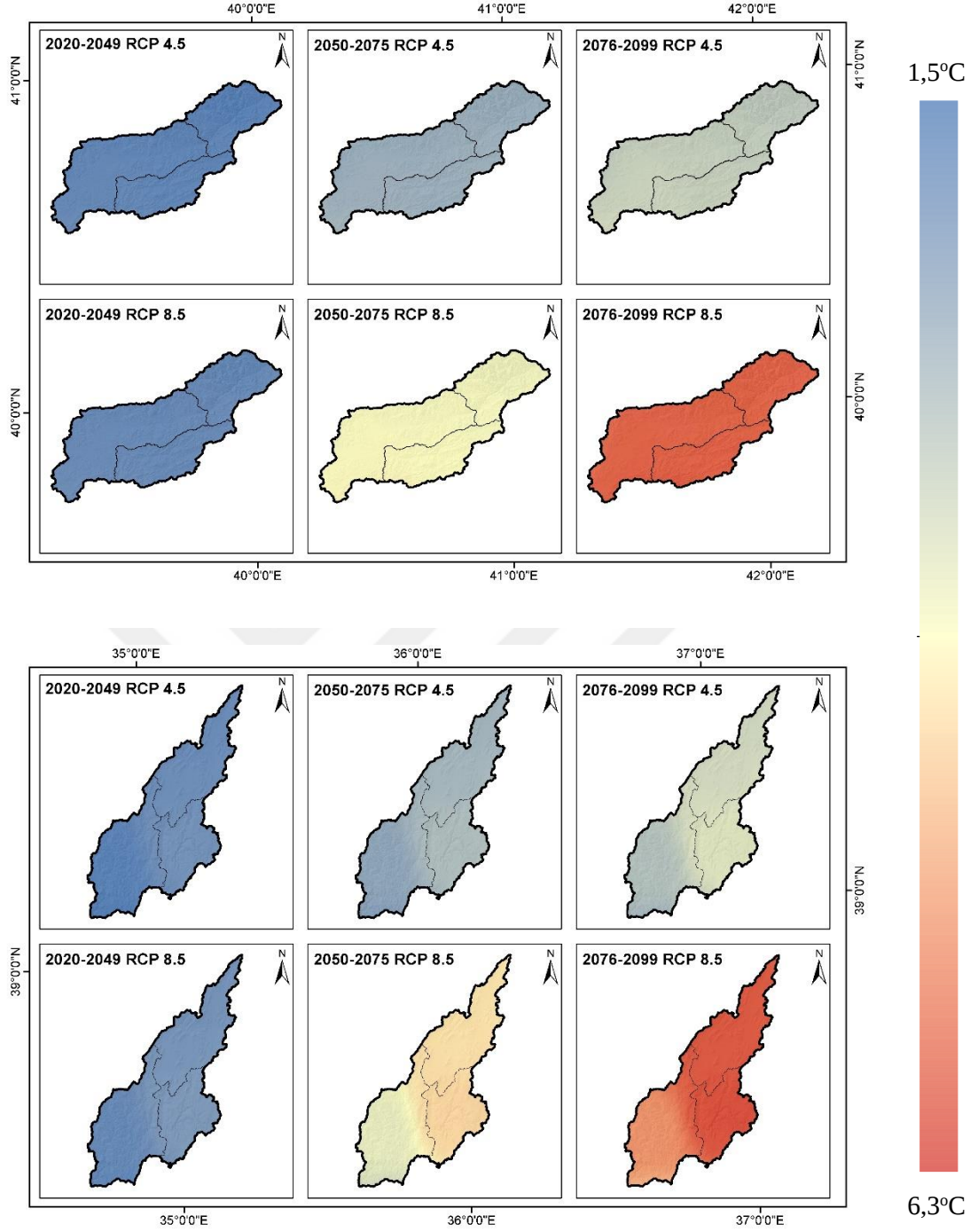
Şekil 5.15. Göksu Havzası dönemlere göre sıcaklık değişimleri

Tablo 5.13. *Peterek ve Göksu Havzaları'nın dönemlere göre sıcaklık değişimleri (°C)*

PETEREK HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	1.8	1.4	2.3	2.7	1.3	1.6	1.3	1.4	1.3	1.4	1.6	1.7
2050-2075	2.4	4.3	3.6	5.8	2.2	3.5	2.2	2.9	2.0	2.9	2.5	3.9
2076-2099	2.7	6.4	4.2	9.0	3.1	5.3	3.1	4.9	2.6	4.2	3.1	6.0
GÖKSU HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	2.0	1.6	2.3	2.7	1.4	1.7	1.4	1.8	1.3	1.5	1.7	1.9
2050-2075	2.7	4.2	3.6	5.6	2.3	3.7	1.9	3.1	2.1	3.0	2.5	3.9
2076-2099	2.8	6.1	4.4	8.2	3.1	5.3	2.6	5.4	2.6	4.3	3.1	5.8

M: MPI, I: IPSL, C: CNRM, EC: EC-EARTH, N: NorESM, ENS: Ensemble

Peterek ve Göksu Havzaları'ndaki sıcaklık değişimlerinin, bütün iklim modelleri ve senaryolarında referans değerlere göre artış yönünde olacağı belirlenmiştir. Son dönemde en olumlu değişimleri veren senaryo her iki havza için de 2,6°C'lik sıcaklık değişimi ile NorESM modelinin RCP 4.5 senaryosu olurken, aynı dönemde en olumsuz senaryo ise IPSL modelinin RCP 8.5 senaryosu olarak bulunmuştur. Peterek ve Göksu Havzaları için elde edilen ensemble sonuçlarının senaryolar bazında alansal gösterimi Şekil 5.16 ile verilmiştir.

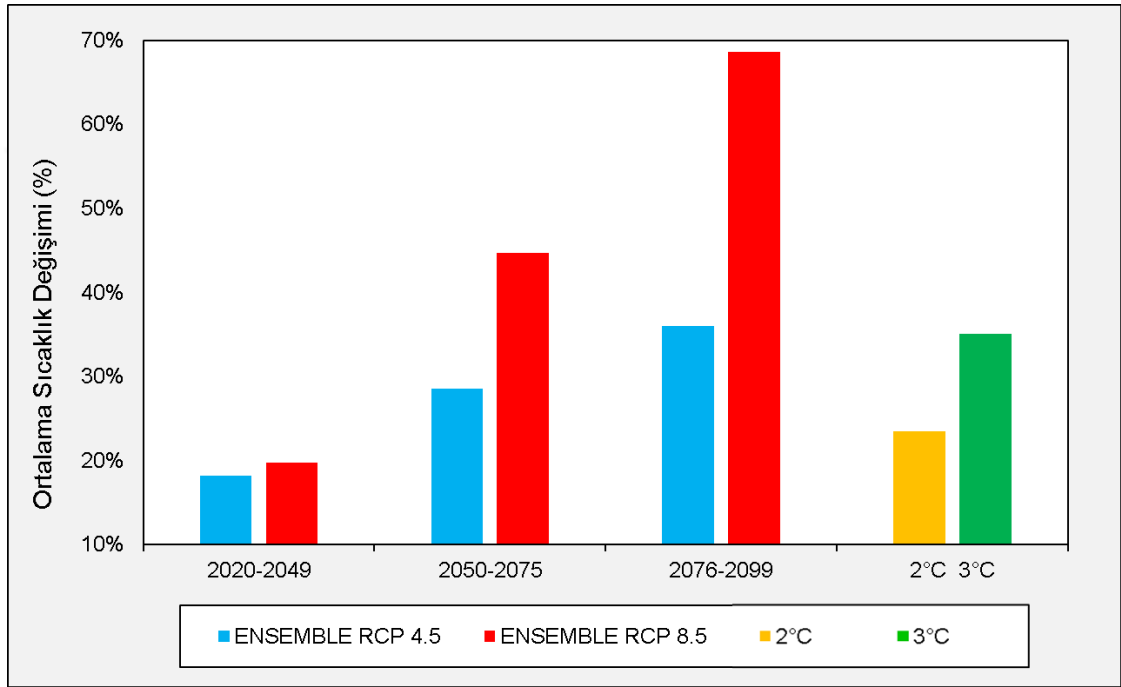


Şekil 5.16. *Peterek ve Göksu Havzası dönemlere göre ensemble sıcaklık değişimleri haritası*

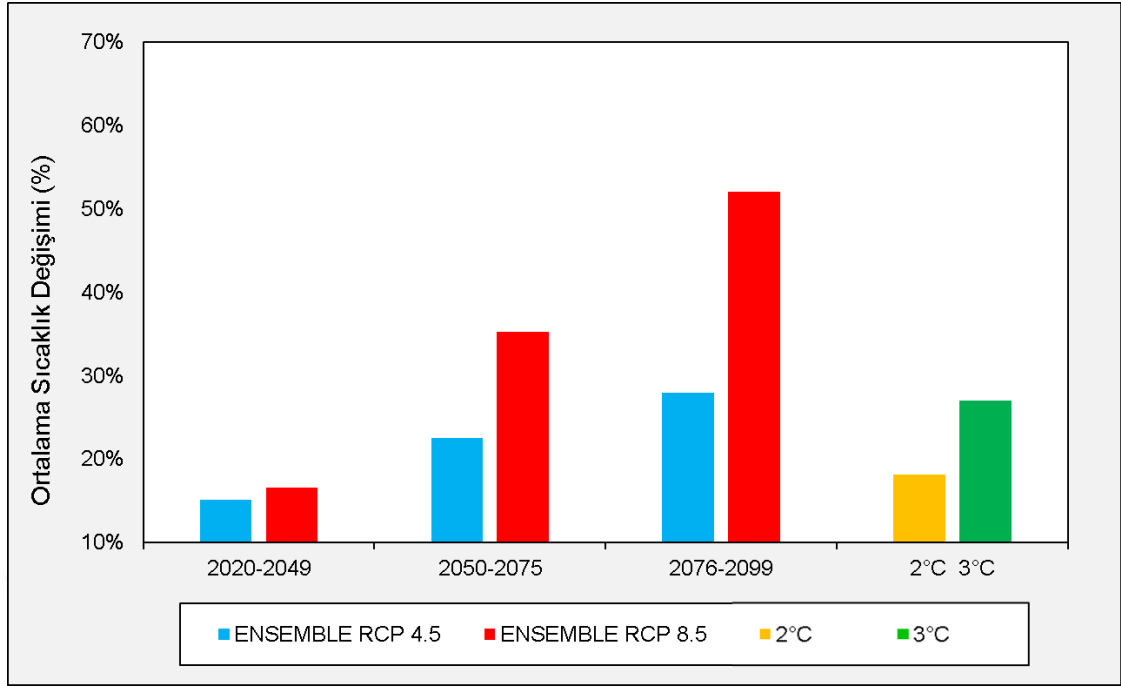
Havzalar için 30 yıllık dönemlere göre ve ensemble sonuçlarını içerecek şekilde oluşturulan sıcaklık değişim haritalarına bakıldığında, sıcaklıkların yüzyılın sonuna doğru artarak devam edeceği tespit edilmiştir. En dramatik sıcaklık değişimlerinin, son 30 yıllık periyotta ve RCP 8.5 senaryosunda olması beklenmektedir. Bu dönem ve senaryoda referansa göre Peterek Havzası'nda 6°C derecelere varan sıcaklık artışları

beklenirken, Göksu Havzası'nda ise 6,3°C dereceler seviyesinde sıcaklık artışları öngörülmektedir.

Peterek ve Göksu Havzaları için yapılan 30'ar yıllık sıcaklık anomali sonuçları ile birlikte, aynı dönemler ölçeğinde uzun yıllar günlük ortalama sıcaklıklardaki değişimler analiz edilmiştir. 2°C ve 3°C'lık sıcaklık artışlarına göre elde edilen veriler de dahil edilerek havzalar için sonuçlar oluşturulmuştur. Ensemble olarak elde edilen özet sıcaklık anomali grafikleri Şekil 5.17 ve Şekil 5.18 ile sunulmuştur.



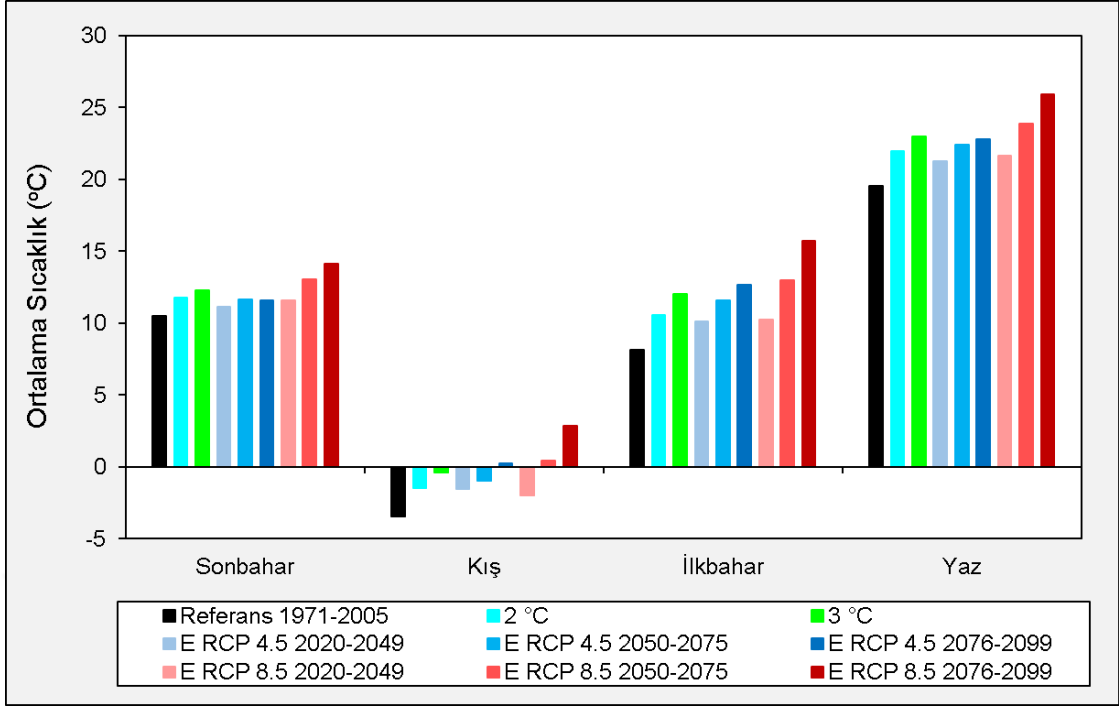
Şekil 5.17. Peterek Havzası dönemlere göre özet sıcaklık değişimleri



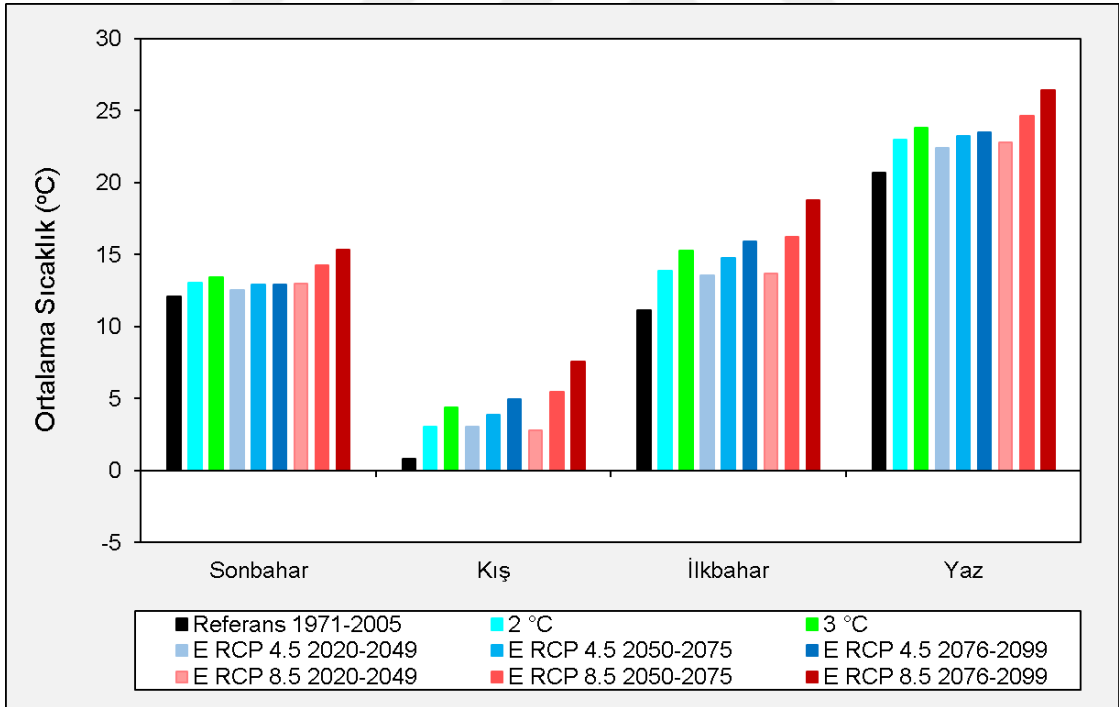
Şekil 5.18. Göksu Havzası dönemlere göre ortalama sıcaklık değişimleri

Havzaların geneli için sıcaklıklarda beklenen değişim sonuçları ensemble ortalamalar ve sıcaklık değişim senaryoları için toparlanmıştır. Her iki havzada da 2020-2049 döneminde 2°C'lik sıcaklık değişimi senaryolarla birlikte hareket ederken, 3°C'lik sıcaklık artışı ise bu dönem için kötümser durum olarak belirlenmiştir. 2050-2075 periyoduna bakıldığında, 2°C'lik sıcaklık artışı bu dönem için iyimser sonuç olarak bulunmuştur. Aynı dönemde 3°C'lik sıcaklık artışı RCP 4.5 senaryosuna göre yüksek, RCP 8.5 senaryosuna göre de düşük değer olarak karşımıza çıkmaktadır. Son dönem sonuçlarında ise, RCP 4.5 senaryosu ile 3°C'lik sıcaklık artışı hemen hemen aynı değerlere denk gelirken, RCP 8.5 senaryosu sıcaklıklarda en yüksek değişimi vermiştir.

30 yıllık dönem değişim analizleri ile birlikte, havzalardaki iklim değişikliğinin beraberinde getirdiği sıcaklık değişimleri mevsimsel olarak incelenmiştir. Bu değerlendirmeler ile gelecekte öngörülen sıcaklık anomali değerlerinin referansa göre mevsimsel olarak nasıl değişeceğinin belirlenmesi amaçlanmış ve elde edilen grafikler Şekil 5.19 ve Şekil 5.20 ile sunulmuştur.



Şekil 5.19. Peterek Havzası dönemlere göre mevsimlik sıcaklık değişimleri



Şekil 5.20. Göksu Havzası dönemlere göre mevsimlik sıcaklık değişimleri

Mevsimlik sıcaklık değişimi grafiklerinde görüldüğü üzere, genel olarak havzalarda referans değerlere göre sıcaklıkların bütün mevsimlerde yükseleceği tespit edilmiştir. Her iki havzada da en dramatik sıcaklık artışları, RCP 8.5 senaryosunun 2076-2099 dönemlerinde gözlenmiştir. Peterek ve Göksu Havzaları'nda 2°C'lik sıcaklık

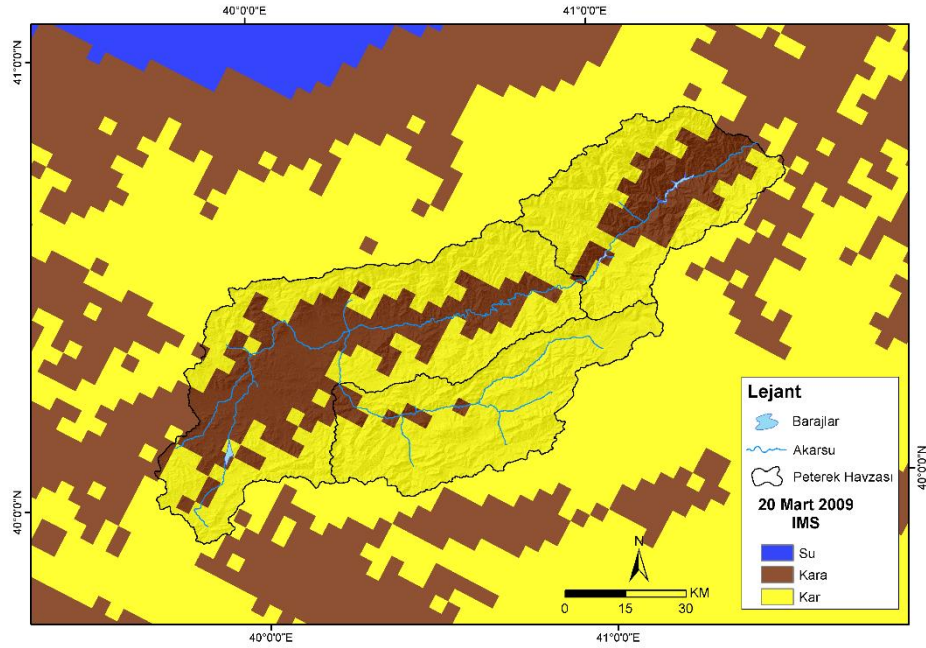
değişiminin, sonbahar ve kış sezonlarında RCP 4.5 senaryosunun ilk iki dönemi ile ve RCP 8.5 senaryosunun da 2020-2049 periyodu ile benzer değerlerde olacağı öngörülmüştür. 3°C'lik sıcaklık artış durumu ise, neredeyse bütün mevsimlerde RCP 4.5 senaryosunun son dönemi ile RCP 8.5 senaryosunun orta dönemi arasında seyretmektedir.

5.2. Hidrolojik Modelleme Sonuçları

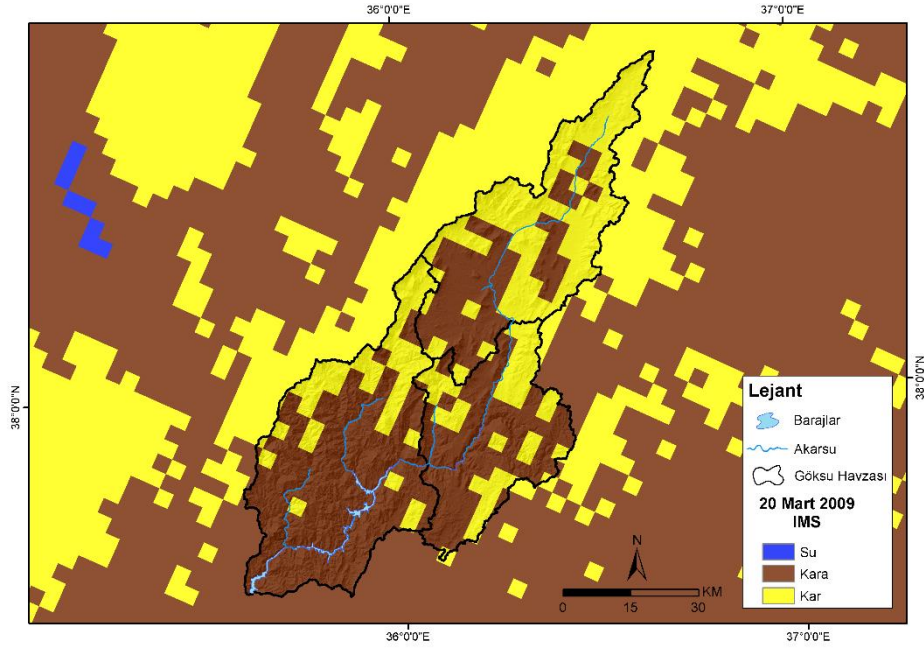
5.2.1. Mevcut dönem sonuçları

5.2.1.1. Karla kaplı alan sonuçları

Peterek ve Göksu Havzalarını alt havzaları ile birlikte kapsayan IMS ürünlerinden hazırlanmış 20 Mart 2009 tarihli kar uydu görüntüleri verilmiştir (Şekil 5.21 ve Şekil 5.22). Günlük kar takibi ile yapılan bu uygulama ile, 2000 yılından itibaren her yılın kar sezonu için KKA grafiği elde edilmiştir. 2000-2011 su yılları için elde edilen günlük KKA serileri, mevcut dönem için kurulan hidrolojik modelin validasyon periyodundaki çıktılarıyla karşılaştırılmak üzere kullanılmıştır.



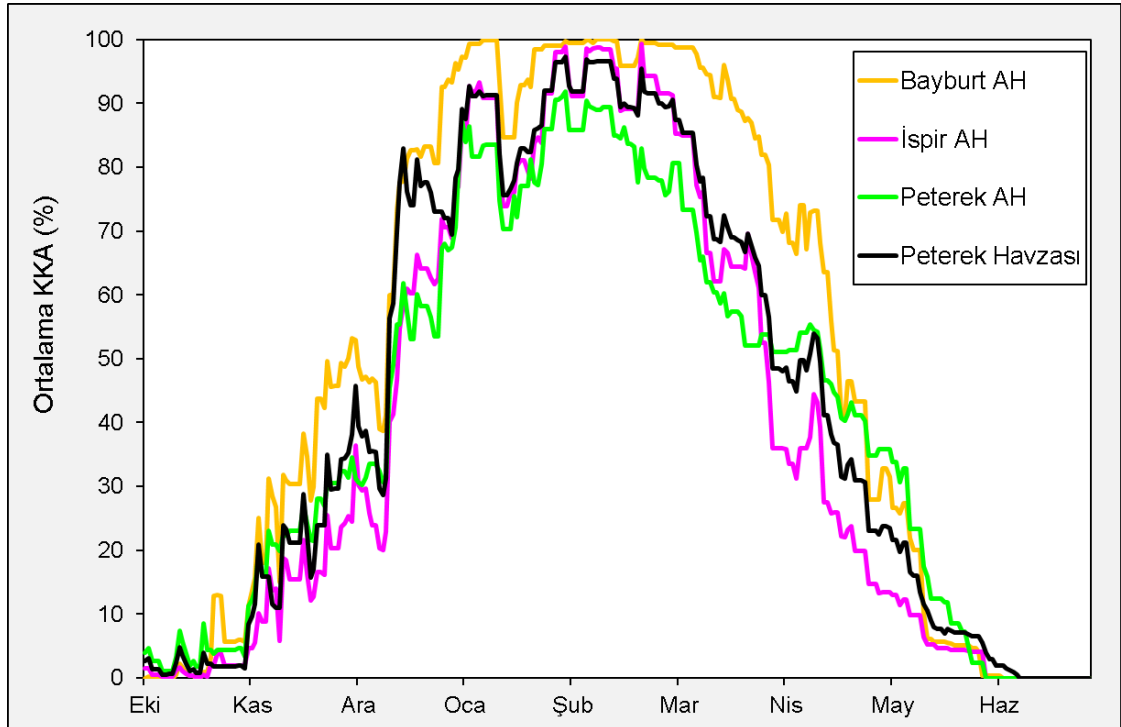
Şekil 5.21. Peterek Havzası 20 Mart 2009 kar örtüsü



Şekil 5.22. Göksu Havzası 20 Mart 2009 kar örtüsü

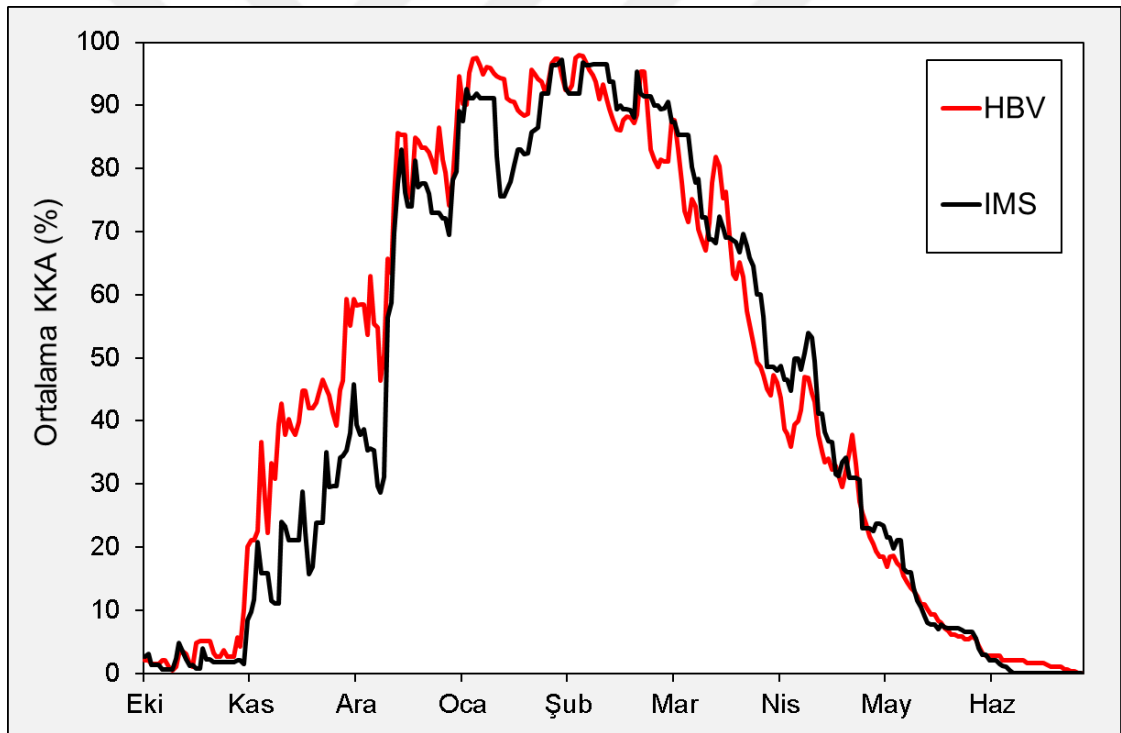
Peterek Havzası

Peterek Havzası'nın 3 alt havzası ve havza geneli için karla kaplı alan analizlerine ait detaylar bu kapsamda değerlendirilmiştir. 2000-2011 su yıllarına ait sonuçların her alt havza bazında yıllık ortalama serileri Şekil 5.23 ile sunulmuştur.



Şekil 5.23. Peterek Havzası ve alt havzalarının uzun yıllar KKA ortalamaları (2000-2011)

Peterek Havzası'nın alt havzaları özelinde 2000-2011 yılları arası dönem için kar örtüsü karakterizasyonları hakkında bilgi elde edilmiştir. Yukarıdaki şekilde verilen yıllık olarak karla kaplı alan grafikleri, her yıl için ayrı ayrı değerlendirilen günlük IMS uydu görüntülerinin 1 yıl özelinde sadeleştirilmesiyle elde edilmiştir. Grafiğe göre, Peterek Havzası'nda membadan mansaba doğru yıllık ortalama karla kaplı alanların azaldığı tespit edilmiştir. 3 alt havza ve havza genelinde kar birikiminin aynı zaman aralıklarında yapıldığı, ancak karların bölgedeki kalış süresi ve erime dönemlerinin başlangıçları farklılık göstermektedir. Yeşil çizgilerle gösterilen mansaptaki alt havzanın Nisan-Haziran aylarında geç erimeye başlamasının sebebi olarak, alt havzanın kuzeyindeki Kaçkar Dağları'nda biriken ve geç eriyen karlar gösterilebilir. Peterek Havzası'nın geneline bakıldığında, özellikle karın havzada maksimum seviyelere çıktığı aylarda İspir Alt Havzası sonuçlarına oldukça benzediği görülmektedir.



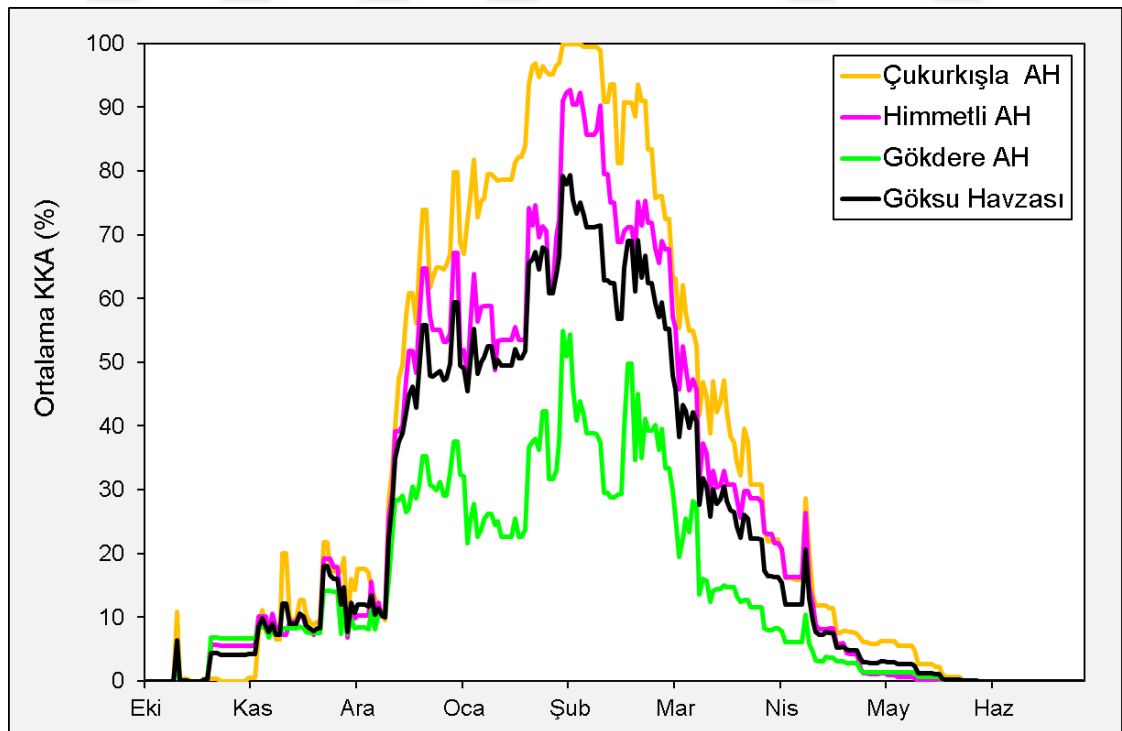
Şekil 5.24. Peterek Havzası uydu-model KKA karşılaştırması (2000-2011)

Peterek Havzası'nın mevcut dönem hidrolojik model çalışmasından günlük olarak elde edilen kar kaplı alan çıktıları ile IMS uydu görüntüleri kullanılarak elde edilen günlük karla kaplı alan yüzdeleri, 2000-2011 su yılları için her alt havza bazında karşılaştırılmıştır. Bu kıyaslamaların sonuçlarına göre havzanın genel NSE değeri, 0,94 olarak hesaplanmıştır.

Karla kaplı alanlar için uydu ve model kıyası sonuçları değerlendirildiğinde NSE sonucunun Moriasi vd., (2007)'ye göre oldukça yüksek değerde olduğu görülmüştür. Böylece her iki veri arasında alt havzalar bazında uyum olduğu görülmüş ve mevcut durum kapsamında kurulan hidrolojik model parametrelerinin kar modülünde alt havzaları temsil ettiği belirlenmiş ve modelin güvenilirliği test edilmiştir. Bununla birlikte alt havzalarda elde edilen KKA sonuçları, alanlar bazında Peterek Havzası geneli için oluşturulmuştur. Modelden elde edilen ve uydu ile hesaplanan havza geneli KKA kıyası Şekil 5.24 ile verilmiştir. Grafiğe göre model daha erken kar birikimine geçmiş ve daha yüksek KKA seviyelerine erişmiştir. Özellikle Kasım-Aralık (birikme) döneminde gözlenen fark, kaba çözünürlüğe sahip IMS verilerinin daha geç kar biriktirmeye başladığını göstermektedir. Erime periyodunda ise birlikte başlayan bir hareket, uyum içinde devam etmiş ve birlikte sonlanmıştır.

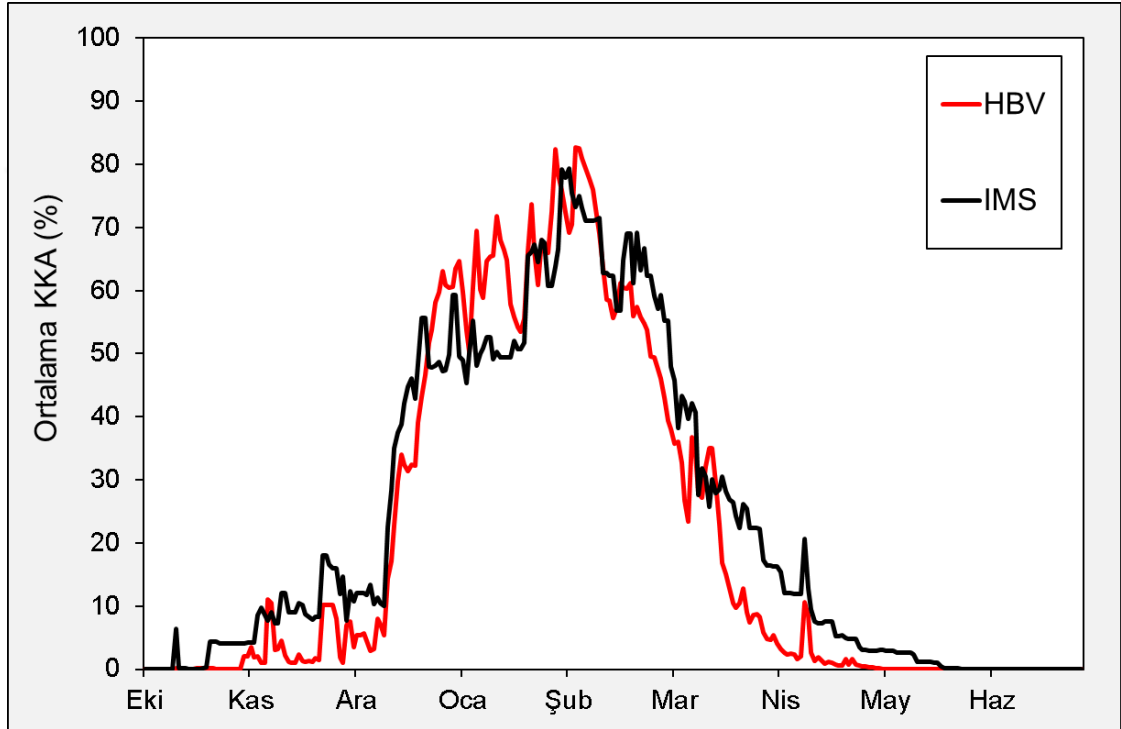
Göksu Havzası

Göksu Havzası'nın 3 alt havzası ve havza geneli için karla kaplı alan analizlerine ait detaylar bu bölümde verilmiştir. 2000-2011 su yıllarına ait sonuçların her alt havza bazında yıllık ortalama serileri Şekil 5.25 ile verilmiştir.



Şekil 5.25. Göksu Havzası ve alt havzalarının uzun yıllar KKA ortalamaları (2000-2011)

Göksu Havzası'nın alt havzaları bazında 2000-2011 yılları arası dönem için kar örtüsü karakterizasyonları hakkında bilgi elde edilmiştir. Beklenildiği üzere Göksu Havzası'nda membadan mansaba doğru yıllık ortalama karla kaplı alanların azaldığı tespit edilmiştir. 3 alt havza ve havza genelinde kar birikiminin aynı zaman aralıklarında yapıldığı, ancak karların bölgedeki kalış süresi ve erime dönemlerinin başlangıçları farklılık göstermektedir. Havza geneli KKA sonuçları, nispeten Himmetli Alt Havzası ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 5.26. Göksu Havzası uydu-model KKA karşılaştırması (2000-2011)

Göksu Havzası'nın mevcut dönem hidrolojik model çalışmasından günlük olarak elde edilen kar kaplı alan çıktıları ile IMS uydu görüntüleri kullanılarak elde edilen günlük karla kaplı alan yüzdeleri, 2000-2011 su yılları için her alt havza bazında karşılaştırılmıştır. Bu kıyaslamaların sonuçlarına göre havzanın genel NSE, değeri, 0,91 olarak hesaplanmıştır.

Karla kaplı alanlar için uydu ve model kıyası sonuçları değerlendirildiğinde NSE sonucunun Moriasi vd., (2007)'ye göre oldukça yüksek değerde olduğu görülmüştür. Böylece her iki veri arasında alt havzalar bazında uyum olduğu görülmüş ve mevcut durum kapsamında kurulan hidrolojik model parametrelerinin kar modülünde alt havzaları temsil ettiği belirlenmiş ve modelin güvenilirliği test edilmiştir. Bununla

birlikte alt havzalarda elde edilen KKA sonuçları, alanlar bazında Göksu Havzası geneli için oluşturulmuştur. Modelden elde edilen ve uydu ile hesaplanan havza geneli KKA kıyası Şekil 5.26 ile verilmiştir. Grafiğe göre uydunun daha erken kar birikimine geçtiği veya modelin karı biriktirmede geç kaldığı görülmektedir. Erime periyodunda ise benzer eğilimler ve birbirlerine yakın günlerde başlayan hareket, modelin havzada daha erken kar durumunu sıfırlamasıyla tamamlanmıştır. Ancak genel olarak model ve uydu sonuçlarının birbirine benzer trendler çizdiği ve aralarında bir uyum olduğu sonucu elde edilmiştir.

5.2.1.2. Akım sonuçları

Hidrolojik modelleme çalışması kapsamında Peterek ve Göksu Havzaları'nın belirlenmiş alt havzalarının çıkışlarını temsil eden ve ana kol üzerinde bulunan AGİ'ler kullanılmıştır. Modellerin kalibrasyonu, referans dönemin ilk 30 yılına ait veriler ile yapılmıştır (1971-2000). Kalibre edilen modelin validasyonu ise 2 farklı periyot için ayrı ayrı yapılmıştır. Bütün alt havzalar için ortak olan validasyon dönemi (validasyon-1), 2001-2011 yılları arasında yapılmış olup, ikinci validasyon dönemi ise 2012-2017 yılları arasında uygulanmıştır. Validasyon döneminin ikiye ayrılmasının nedeni, bazı alt havza çıkışlarında bulunan AGİ'lerin kapatılmış ve dolayısıyla ölçüm verilerinin olmamasından kaynaklanmaktadır.

Peterek Havzası

Peterek Havzası'nın her bir alt havzası için yapılan hidrolojik modelleme sonuçlarının NSE başarı ölçütü, kalibrasyon ve validasyon dönemleri için Tablo 5.14 ile sunulmuştur. Modelleme sonuçları için kullanılan bütün performans kriterlerine bakıldığında, alt havzalardaki akım tutarlılığın oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir (Moriasi, vd., 2007). NSE ölçütüne göre kalibrasyon dönemindeki sonuçlar 0,87-0,92 arasında dağılırken, validasyon-1 döneminde ise 0,86-0,94 arasında değişim göstermiştir. Bu sonuçlar, model parametrelerinin mevcut dönem çerçevesinde alt havzaları oldukça iyi derecede temsil ettiğini göstermiştir. Havzanın üç alt havzasına ait günlük olarak gözlenmiş ve modelin ürettiği akımların karşılaştırıldığı grafikler, kalibrasyon ve 1.validasyon dönemini içerecek şekilde Şekil 5.27 ile sunulmuştur.

Tablo 5.14. Peterek Havzası HBV-Light model sonuçları

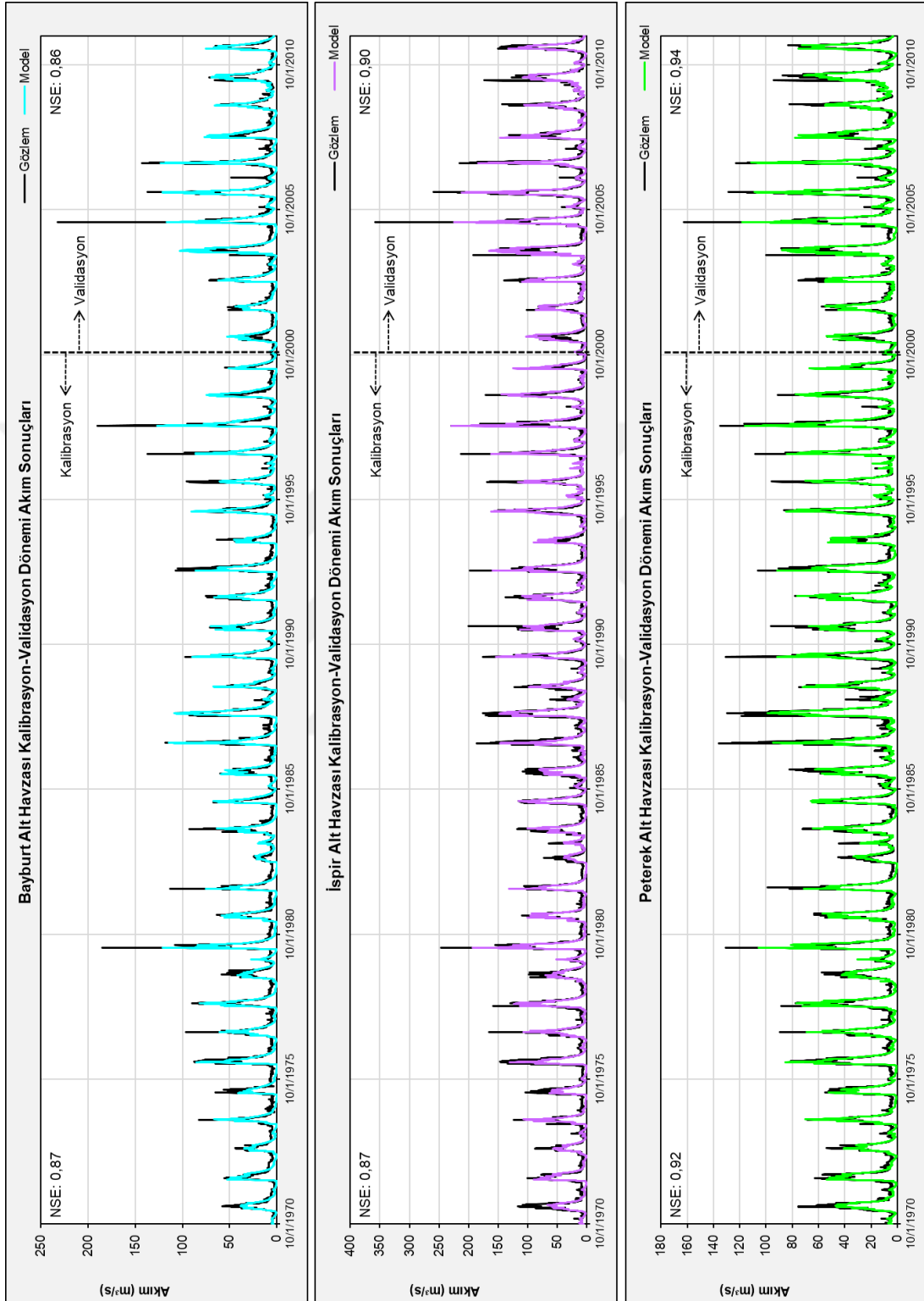
Alt Havza	Periyot	NSE
Bayburt Alt Havzası (AH-1)	Kalibrasyon Dönemi (1971-2000)	0,87
	Validasyon-1 Dönemi (2001-2011)	0,86
	Validasyon-2 Dönemi (2012-2017)	0,69
İspir Alt Havzası (AH-2)	Kalibrasyon Dönemi (1971-2000)	0,87
	Validasyon-1 Dönemi (2001-2011)	0,90
	Validasyon-2 Dönemi (2012-2017)	0,75
Peterek Alt Havzası (AH-3)	Kalibrasyon Dönemi (1971-2000)	0,92
	Validasyon-1 Dönemi (2001-2011)	0,94
	Validasyon-2 Dönemi (2012-2017)	-

Göksu Havzası

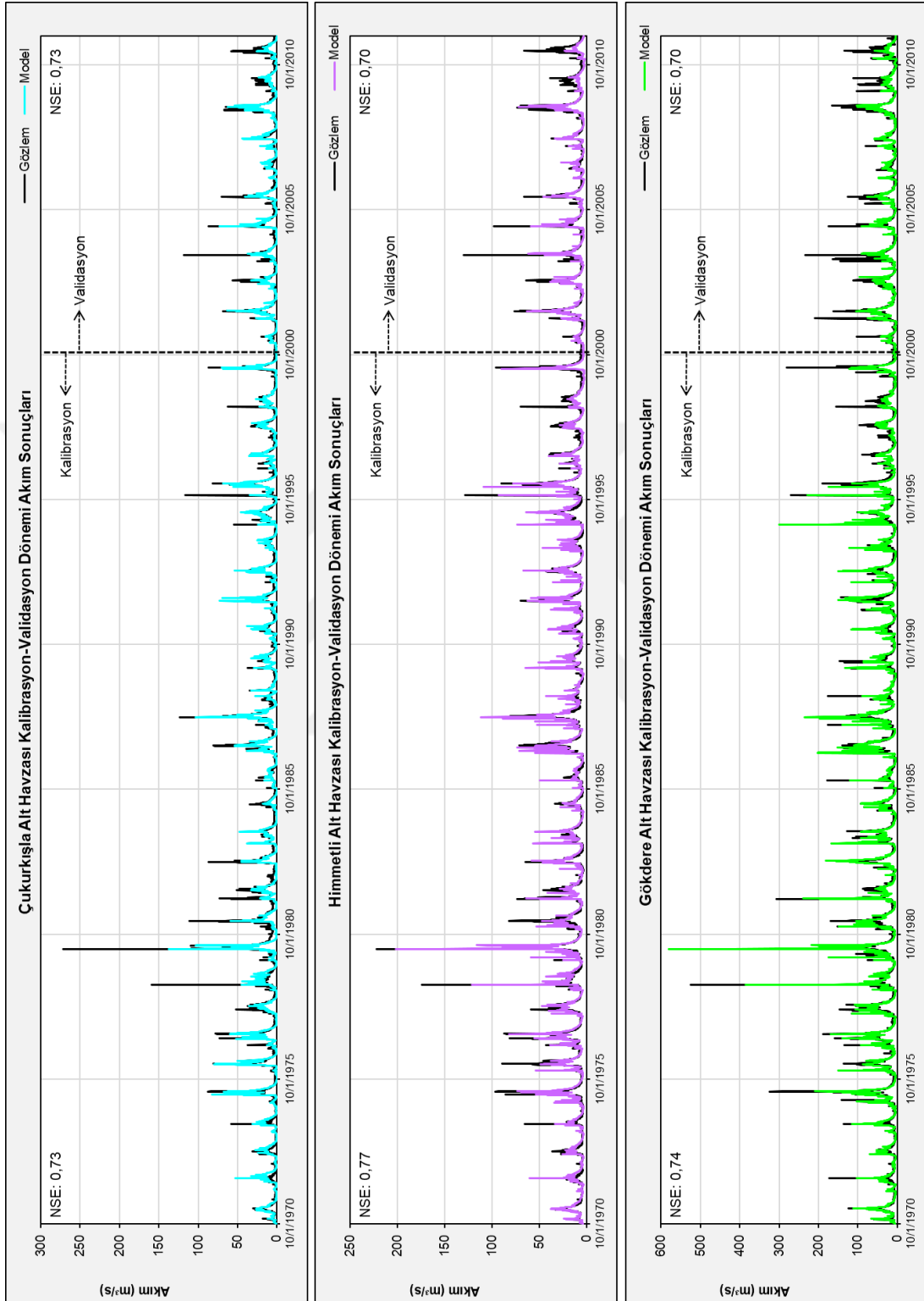
Göksu Havzası'nın alt havzalarında yapılan hidrolojik modelleme sonuçlarının NSE başarı ölçütü, kalibrasyon ve validasyon dönemleri için Tablo 5.15 ile sunulmuştur. Modelleme sonuçları için kullanılan bütün performans kriterlerine bakıldığında, alt havzalardaki akım tutarlılığının yüksek olduğu belirlenmiştir. NSE ölçütüne göre kalibrasyon dönemindeki sonuçlar 0,73-0,77 arasında dağılırken, validasyon-1 döneminde ise 0,70-0,73 arasında değişim göstermiştir. Bu sonuçlar, model parametrelerinin mevcut dönem çerçevesinde alt havzaları iyi derecede temsil ettiğini göstermiştir. Havzanın üç alt havzasına ait günlük olarak gözlenmiş ve modelin ürettiği akımların karşılaştırıldığı grafikler, kalibrasyon ve 1.validasyon dönemini içerecek şekilde Şekil 5.28 ile sunulmuştur.

Tablo 5.15. Göksu Havzası HBV-Light model sonuçları

Alt Havza	Periyot	NSE
Çukurkişla Alt Havzası (AH-1)	Kalibrasyon Dönemi (1971-2000)	0,73
	Validasyon-1 Dönemi (2001-2011)	0,73
	Validasyon-2 Dönemi (2012-2017)	0,52
Himmetli Alt Havzası (AH-2)	Kalibrasyon Dönemi (1971-2000)	0,77
	Validasyon-1 Dönemi (2001-2011)	0,70
	Validasyon-2 Dönemi (2012-2017)	-
Gökdere Alt Havzası (AH-3)	Kalibrasyon Dönemi (1971-2000)	0,74
	Validasyon-1 Dönemi (2001-2011)	0,70
	Validasyon-2 Dönemi (2012-2017)	-



Şekil 5.27. Peterek Havzası alt havzalarına ait kalibrasyon ve validasyon-1 dönemi model sonuçları



Şekil 5.28. Göksu Havzası alt havzalarına ait kalibrasyon ve validasyon-1 dönemi model sonuçları

5.2.2. Gelecek dönem sonuçları

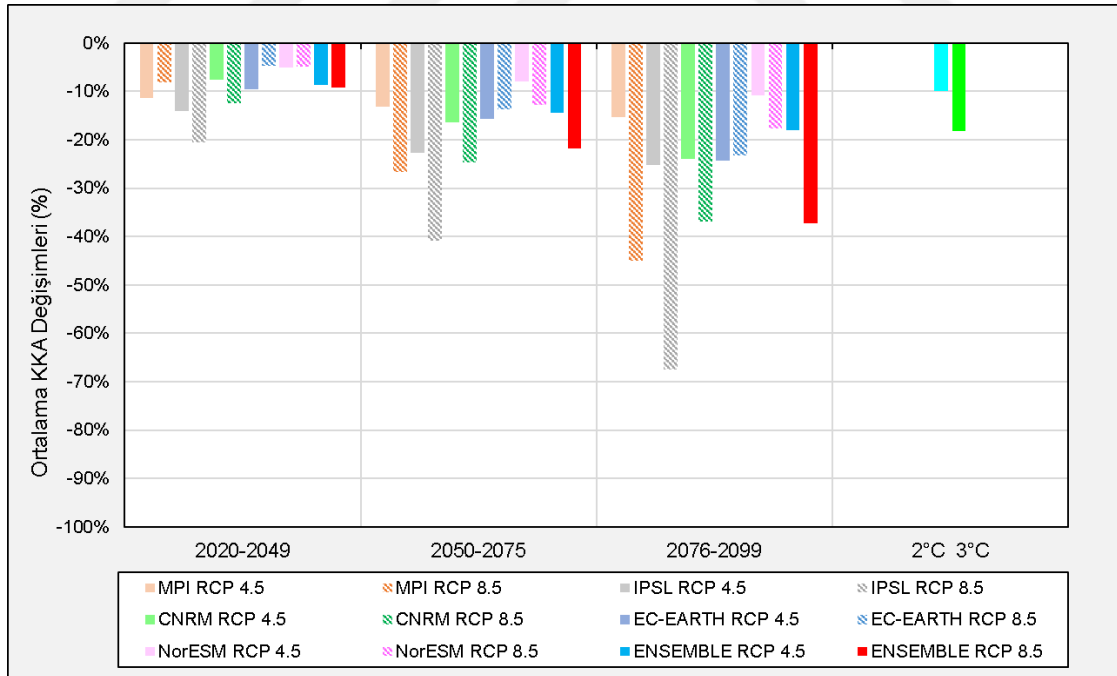
Bu bölümde, çalışma kapsamında yer alan iklim değişikliği projeksiyonları ve GWL senaryoları ile çalıştırılan hidrolojik modelin Peterek ve Göksu Havzaları için KKA ve akım projeksiyonları bazında elde edilen sonuçları sunulmaktadır.

5.2.2.1. Karla kaplı alan projeksiyonları

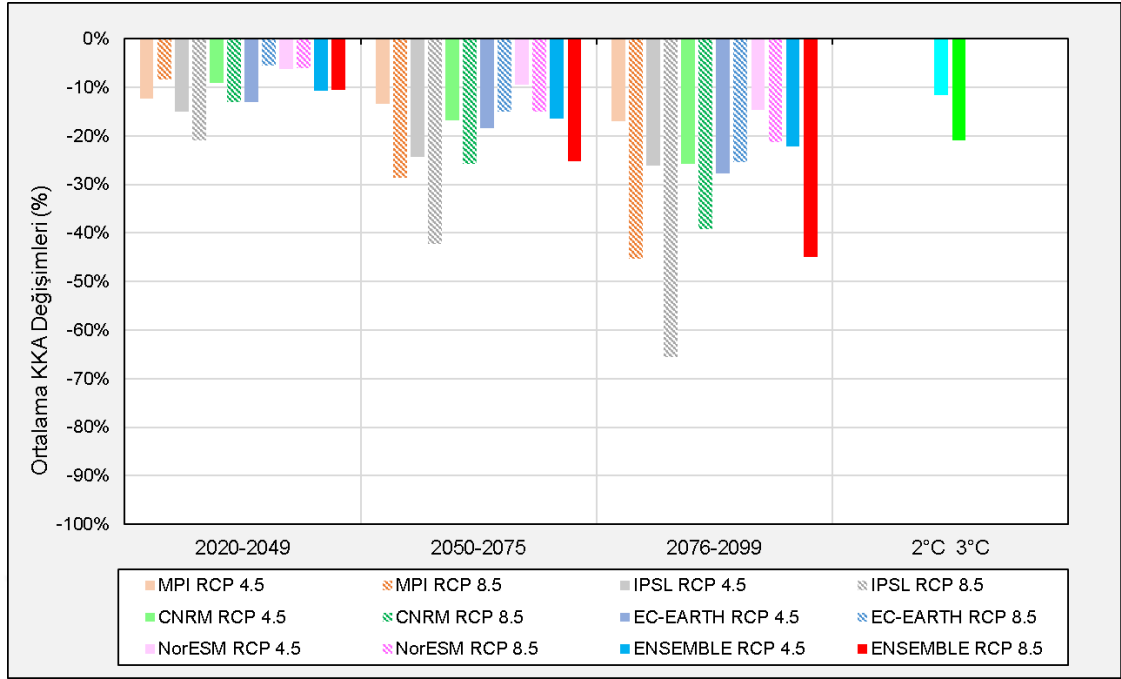
Peterek Havzası

Peterek Havzası'nın her bir alt havzası için ayrı ayrı yapılan ortalama karla kaplı alan değişim analizlerinde, model sonuçlarının referans döneme göre azalan bir eğilimde olacağı görülmekte olup değişim grafikleri Şekil 5.29 ile Şekil 5.31 arasında verilmiştir. Tablo 5.16 ile de değişimlerin sayısal değerleri bütün alt havzalar için sunulmuştur.

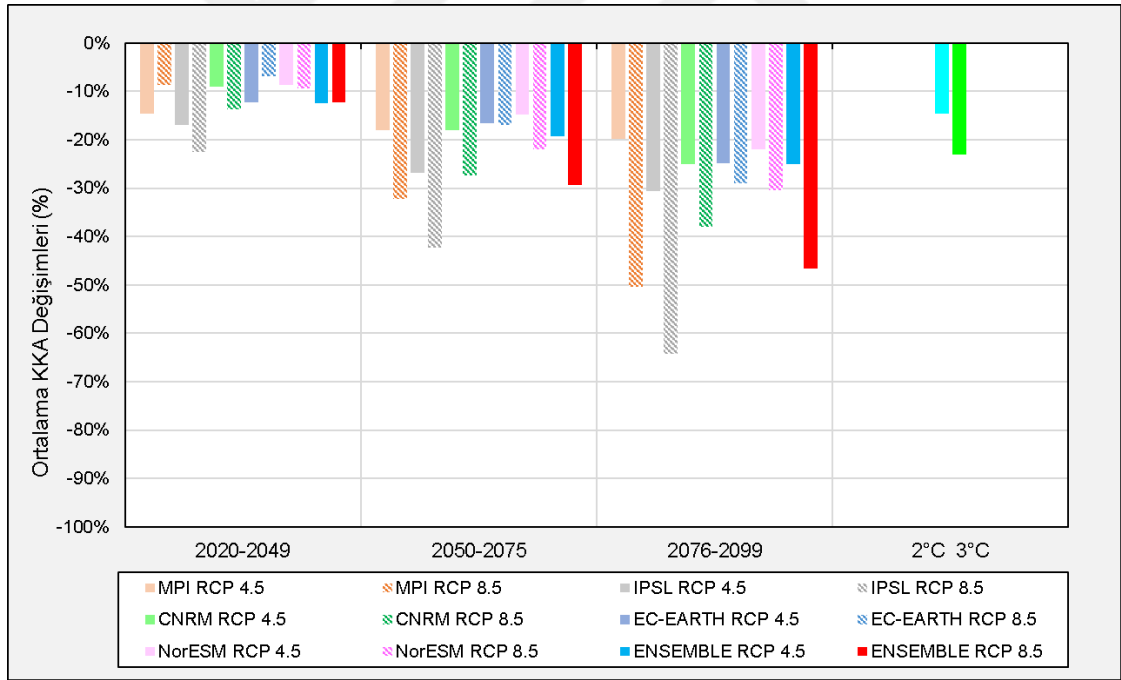
30'ar yıllık kar kaplı alan değişimlerinde, sıcaklık artışına bağlı olarak azalma şiddetinin özellikle iklim modellerinin RCP 8.5 senaryoları için devam eden yıllarda hissedilir derecede artacağı söylenebilir. 2 ve 3°C'lik sıcaklık artışları da beklendiği üzere karla kaplı alanları azaltacaktır. Bu azalışların, mambadan mansaba etkisini artıracığı belirlenmiştir.



Şekil 5.29. Bayburt alt havzası dönemlere göre KKA değişimleri



Şekil 5.30. İspir alt havzası dönemlere göre KKA değişimleri



Şekil 5.31. Peterek alt havzası dönemlere göre KKA değişimleri

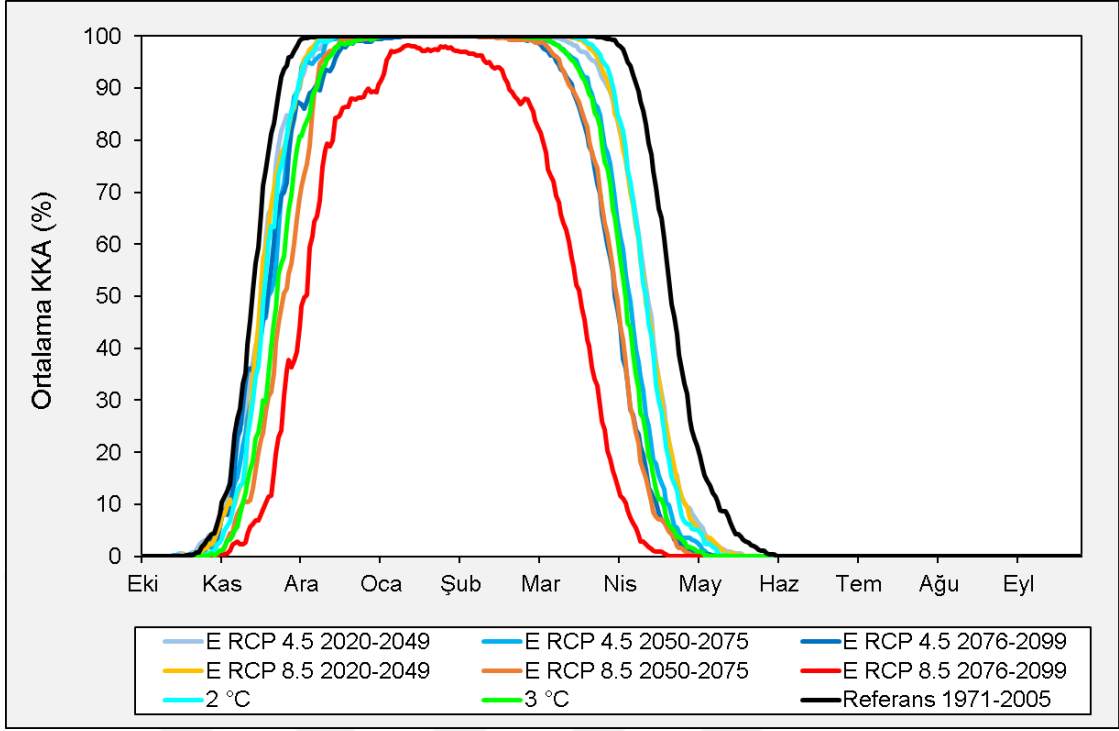
Tablo 5.16. *Peterek Havzası alt havzalarına ait dönemlere göre KKA değişimleri (%)*

BAYBURT ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	-11.3	-8.0	-14.0	-20.5	-7.6	-12.4	-9.5	-4.6	-5.1	-4.9	-8.6	-9.2
2050-2075	-13.1	-26.6	-22.6	-40.9	-16.3	-24.7	-15.6	-13.7	-8.0	-12.9	-14.4	-21.8
2076-2099	-15.3	-44.9	-25.2	-67.5	-23.9	-36.9	-24.3	-23.2	-10.8	-17.7	-18.0	-37.3
İSPİR ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	-12.4	-8.4	-15.0	-20.9	-9.0	-13.0	-13.1	-5.4	-6.2	-6.0	-10.8	-10.5
2050-2075	-13.4	-28.6	-24.4	-42.2	-16.8	-25.8	-18.4	-15.0	-9.4	-15.1	-16.5	-25.2
2076-2099	-16.9	-45.3	-26.2	-65.6	-25.8	-39.1	-27.7	-25.5	-14.7	-21.3	-22.2	-45.0
PETEREK ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	-14.6	-8.6	-17.0	-22.5	-9.0	-13.7	-12.2	-6.9	-8.7	-9.5	-12.4	-12.3
2050-2075	-18.1	-32.2	-26.9	-42.3	-18.0	-27.3	-16.6	-16.9	-14.8	-21.9	-19.3	-29.3
2076-2099	-19.8	-50.5	-30.6	-64.3	-25.0	-38.1	-24.9	-29.0	-21.9	-30.4	-25.1	-46.7

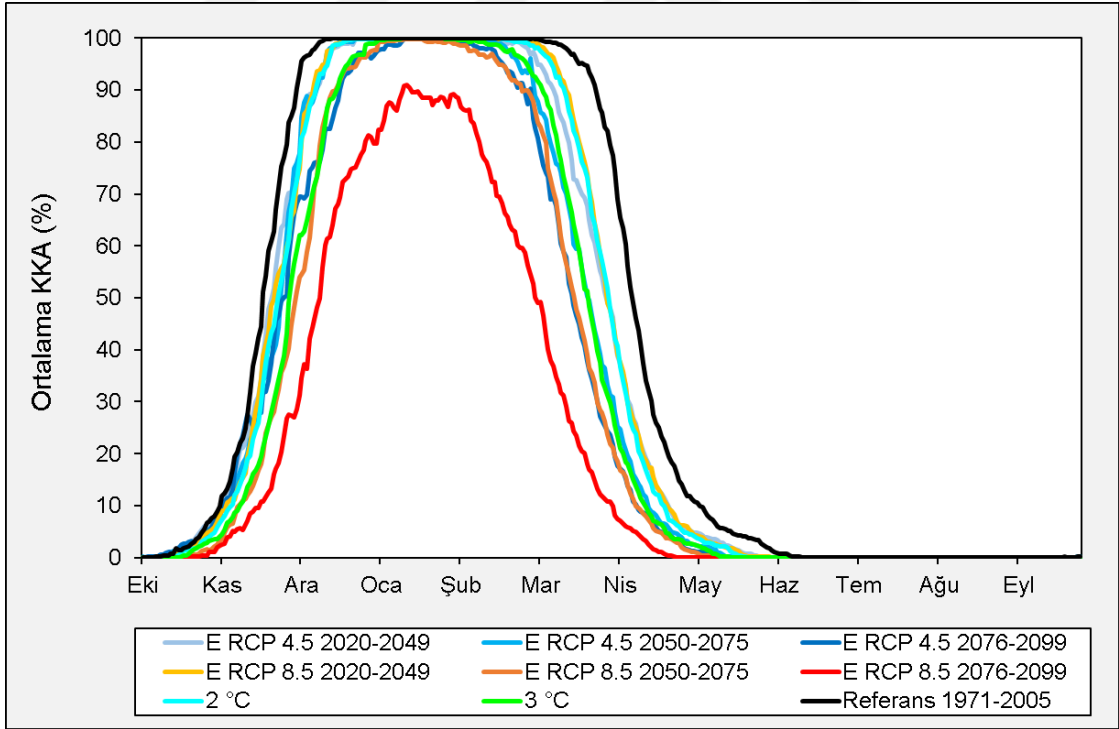
M: MPI, I: IPSL, C: CNRM, EC: EC-EARTH, N: NorESM, ENS: Ensemble

KKA değişimlerine bakıldığında Peterek Havzası'nın alt havzalarında referansa göre azalmaların olduğu bütün iklim modellerinin senaryolarında görülmektedir. Özellikle son 30 yıllık dönemde ve RCP 8.5 senaryolarında, KKA'lardaki azalmaların büyük miktarlarda olabileceği belirlenmiştir. Modellerin senaryo ortalamalarına göre oluşturulan ve hidrolojik modelden sonuç olarak elde edilen ensemble kar kaplı alan değişimlerine alt havzalar bazında bakıldığında, Bayburt Alt Havzası'nda %8,6 ile %37,3 aralığında, İspir Alt Havzası'nda %10,5 ile %45,0 arasında ve Peterek Alt Havzası'nda ise %12,3 ile %46,7 aralığında azalmalar beklenmektedir.

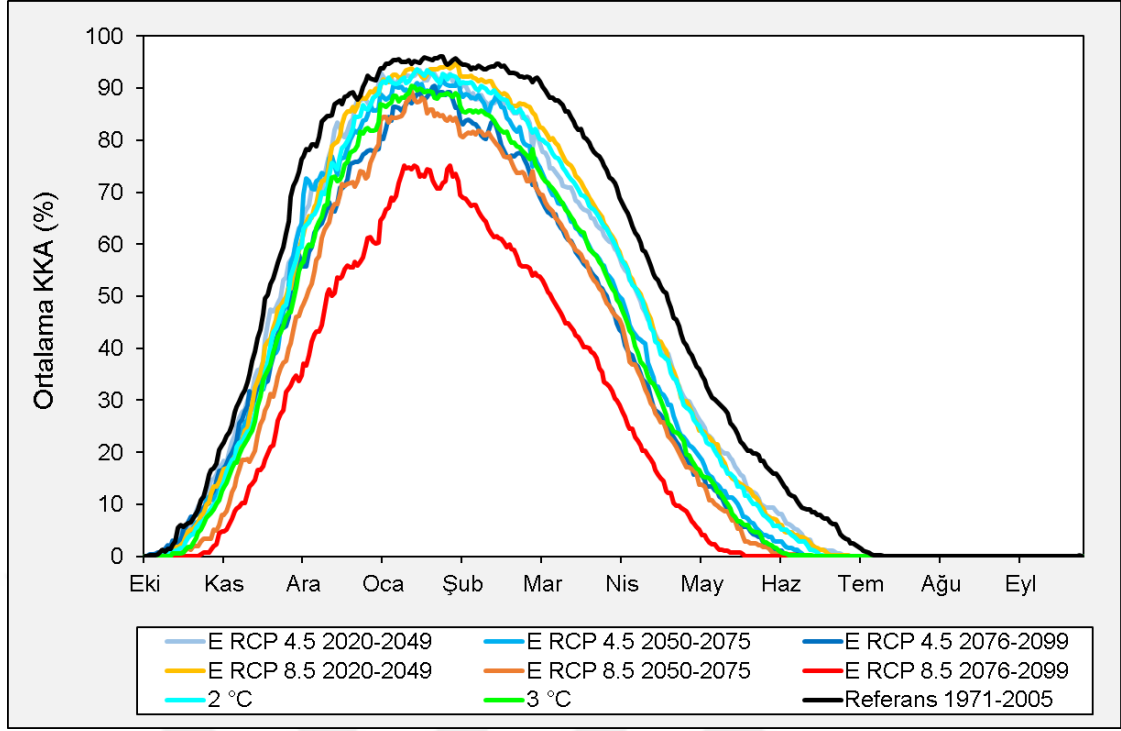
Peterek Havzası'nın alt havzaları ölçeğinde yapılan 30'ar yıllık KKA anomali sonuçlarının yanı sıra, aynı dönemler çerçevesinde uzun yıllar günlük kar kaplı alanlardaki değişimler analiz edilmiştir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen bulgular da dahil edilerek alt havzalar bazında sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen uzun yıllar günlük kar kaplı alanlardaki değişim grafikleri Şekil 5.32 ile Şekil 5.34 arasında verilmiştir.



Şekil 5.32. Bayburt alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KKA ortalamaları



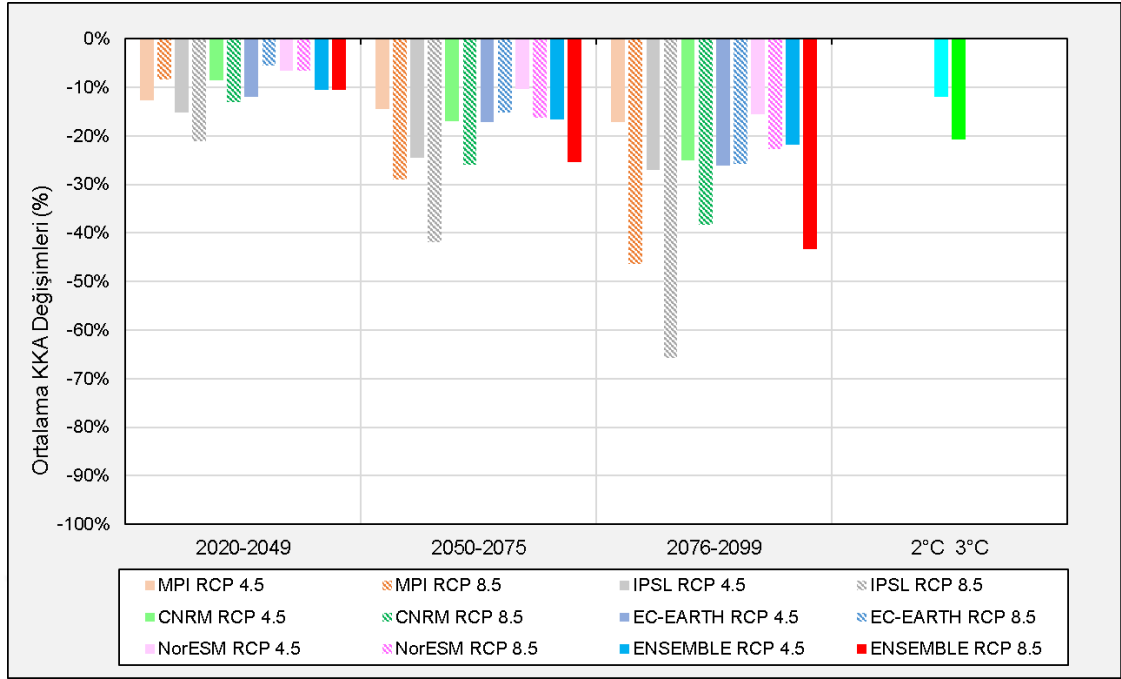
Şekil 5.33. İspir alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KKA ortalamaları



Şekil 5.34. Peterek alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KKA ortalamaları

Peterek Havzası alt havzaları için elde edilen uzun yıllar günlük KKA değişimleri incelendiğinde, sıcaklıklardaki artışların etkisi ile birlikte membadan mansaba doğru gidildikçe referansa göre azalmaların daha fazla olacağı öngörülmüştür. Her üç alt havzada da özellikle RCP 8.5 senaryosunun son dönemindeki kar yüzdesinde beklenen azalmanın yüksek değerlere varacağı görülmüştür. Grafiklerde genel olarak 2°C’lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen ve açık mavi çizgilerle verilen KKA yüzdelerinin, RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarının 2020-2049 dönemleri ile birlikte hareket ettiği görülmektedir. Yeşil çizgilerle verilen 3°C’lik sıcaklık değişim sonuçları ise, RCP 4.5 senaryosunun orta dönemi ile kesiştiği belirlenmiştir.

Alt havza bazlı değerlendirmelerin yanı sıra, Peterek Havzası geneli için KKA değişim sonuçları alansal oranlara göre elde edilerek toparlanmıştır. Havza genelinde model sonuçlarının referans döneme göre azalan bir eğilimde olacağı belirlenmiş ve 30’ar yıllık dönemlere göre değişim grafiği Şekil 5.35 ile verilmiştir. Elde edilen bu değişimlerin sayısal verileri ise Tablo 5.17 ile sunulmuştur.



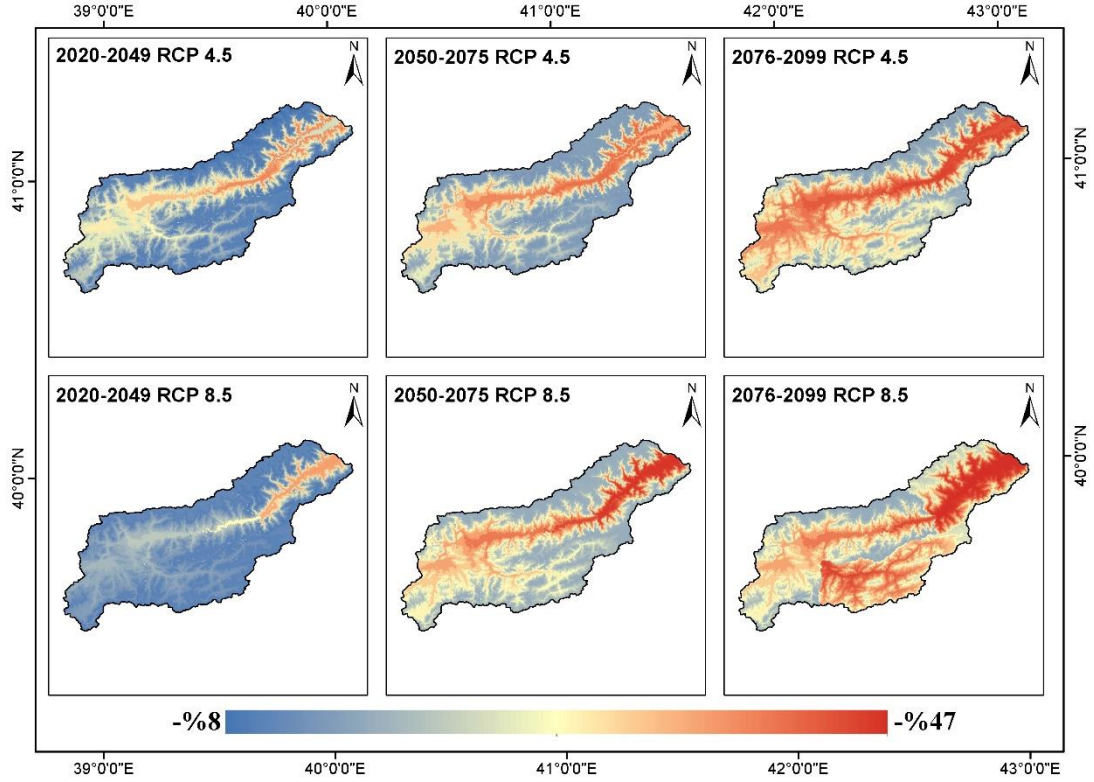
Şekil 5.35. Peterek Havzası dönemlere göre KKA değişimleri

Tablo 5.17. Peterek Havzası'na ait dönemlere göre KKA değişimleri (%)

PETEREK HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	-12.7	-8.3	-15.2	-21.2	-8.6	-13.0	-11.9	-5.6	-6.5	-6.6	-10.6	-10.6
2050-2075	-14.5	-28.9	-24.5	-41.8	-17.0	-25.9	-17.2	-15.1	-10.4	-16.2	-16.7	-25.3
2076-2099	-17.2	-46.4	-27.0	-65.8	-25.1	-38.3	-26.1	-25.7	-15.5	-22.6	-21.8	-43.4

M: MPI, I: IPSL, C: CNRM, EC: EC-EARTH, N: NorESM, ENS: Ensemble

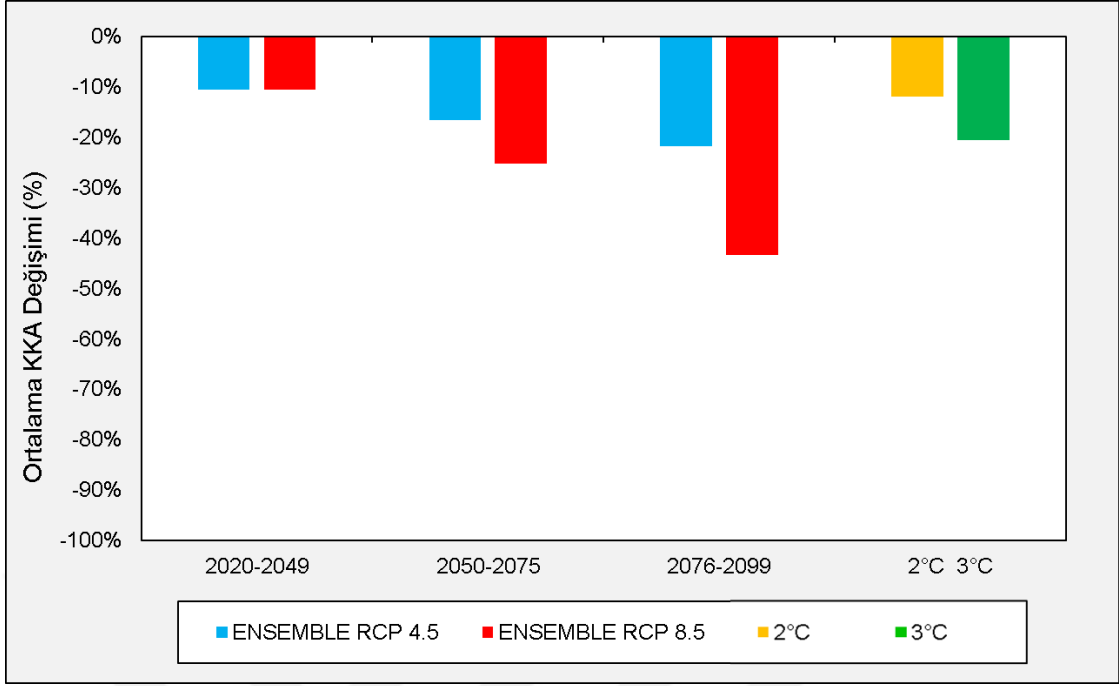
Gelecek dönemler için Peterek Havzası'ndaki KKA değişimleri incelendiğinde, bütün iklim modellerinin senaryoları ve ensemble sonuçlarda referansa göre azalmaların olacağı ve yıllar ilerledikçe bu azalmaların artarak devam edeceği belirlenmiştir. İklim modellerinin ensemble KKA değişimlerine bakıldığında, Peterek Havzası'nda RCP 4.5 senaryosuna göre %10,6 ile %21,8 arasında azalmanın görüleceği, RCP 8.5 senaryosunda ise azalmanın %10,6 ile %43,4 aralığında beklendiği öngörülmüştür. Ensemble sonuçlarının senaryolar bazında alansal gösterimi ise Şekil 5.36 ile verilmiştir.



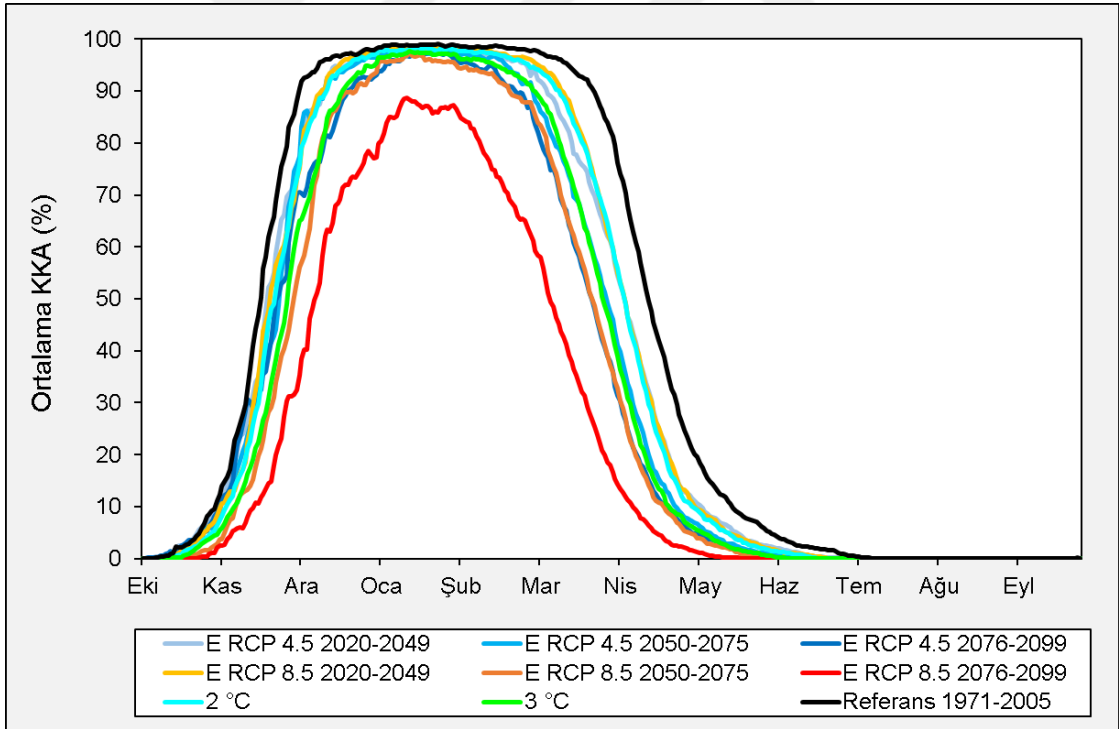
Şekil 5.36. Peterek Havzası dönemlere göre ensemble KKA değişim haritası

Peterek Havzası için yükseklik zonlarına göre oluşturulan KKA değişimlerinin dönemlere ve senaryolara göre dağılım haritası incelendiğinde, membadan mansaba doğru gidildikçe karla kaplı alanlardaki değişimlerin boyutunun negatif yönde daha baskın olabileceği tespit edilmiştir. Havzadaki kar yüzdesinin referansa göre olumsuz olarak yaklaşık olarak %8 ile %47 seviyeleri arasında dağıldığı ve en düşük kotların en fazla değişimden 2076-2099 periyodunda etkileneceği belirlenmiştir.

Peterek Havzası için yapılan 30'ar yıllık KKA anomali sonuçları ile birlikte, aynı dönemler ölçeğinde uzun yıllar günlük kar kaplı alanlardaki değişimler analiz edilmiştir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen veriler de dahil edilerek Peterek Havzası için nihai çıktılar oluşturulmuştur. Ensemble olarak elde edilen özet KKA anomali grafiği ve uzun yıllar günlük kar kaplı alanlardaki değişim grafiği Şekil 5.37 ve Şekil 5.38 ile sunulmuştur.



Şekil 5.37. Peterek Havzası dönemlere göre özet KKA değişimleri



Şekil 5.38. Peterek Havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KKA değişim ortalamaları

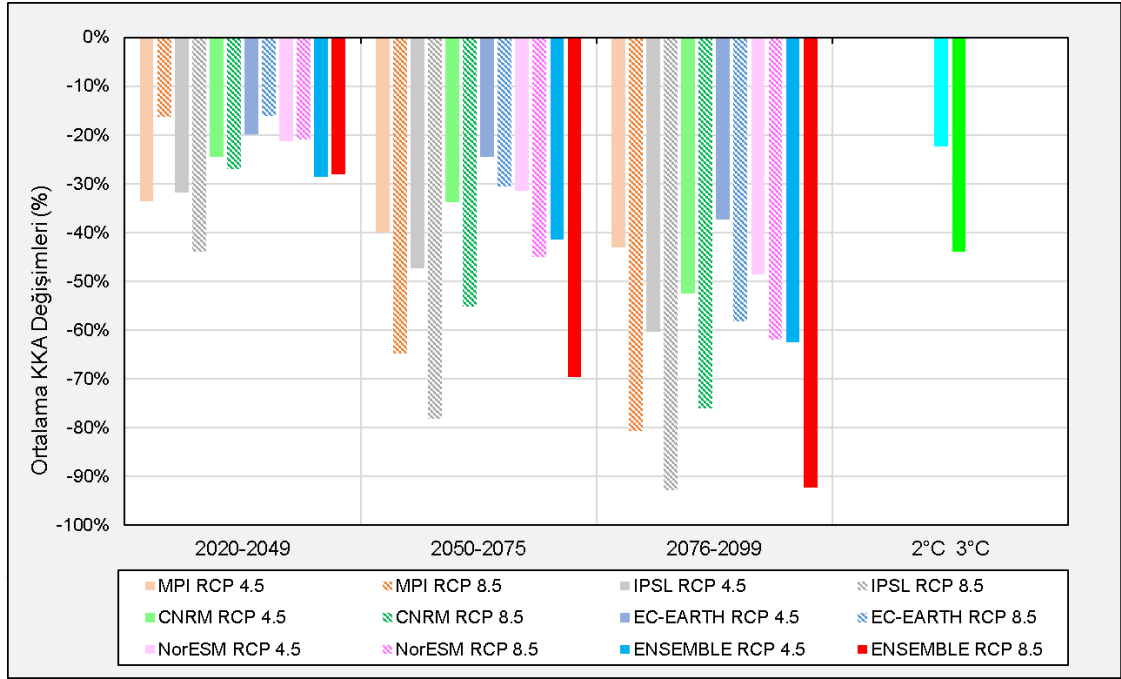
Peterek Havzası geneli için KKA değişim sonuçları toparlanacak olursa, referans döneme göre kar birikiminin daha geç başlayacağı, daha kısa süreceği ve erime sezonunun da daha erkene çekileceği belirlenmiştir. Gelecek dönemlerde Peterek Havzası'nın %50'sinin karla kaplı olduğu günler değerlendirildiğinde, referans döneme

göre 2 hafta ile 2 aylık sürelerle varan azalma olacağı tespit edilmiştir. Özellikle RCP 8.5 senaryosunun 2076-2099 yılları arasındaki dönemde ise kar yüzdesinin havzanın tamamını artık kapsamayacağı gözlenmiştir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık değişimleri ile dönemsel bazda senaryo sonuçları, alt havzalardaki durumla benzerlik göstermektedir. 30 yıllık ortalamaların birinci dönem sonuçlarına bakıldığında, 2°C'nin verdiği KKA çıktıları RCP 4.5 ve RCP 8.5 sonuçlarına yakın azalmalar vermiştir. 3°C'lik sıcaklık artışı ise bu dönemde en kötümser durum olarak karşımıza çıkmıştır. 2050-2075 yılları arasında olan dönemde, 2°C'lik sıcaklık durumu en iyimser senaryo olarak bulunmuş olup RCP 8.5 senaryosu en kötümser durum olarak belirlenmiştir. Son dönemde ise RCP 4.5 senaryo sonucu ile 3°C'lik sıcaklık artışına bağlı KKA anomali sonucu birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu gözlenmiştir.

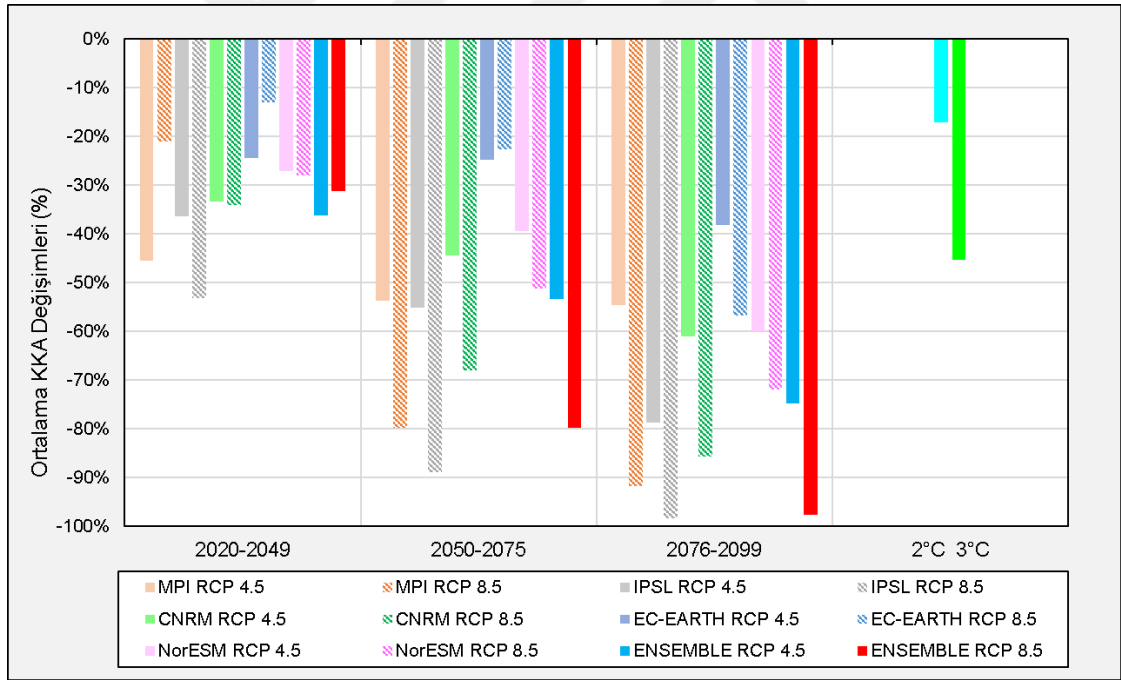
Göksu Havzası

Göksu Havzası'nın her bir alt havzası için ayrı ayrı yapılan ortalama karla kaplı alan değişim analizlerinde, model sonuçlarının referans döneme göre azalan bir eğilimde olacağı görülmekte olup değişim grafikleri Şekil 5.39 ile Şekil 5.41 arasında verilmiştir. Tablo 5.18 ile de değişimlerin sayısal değerleri bütün alt havzalar için sunulmuştur.

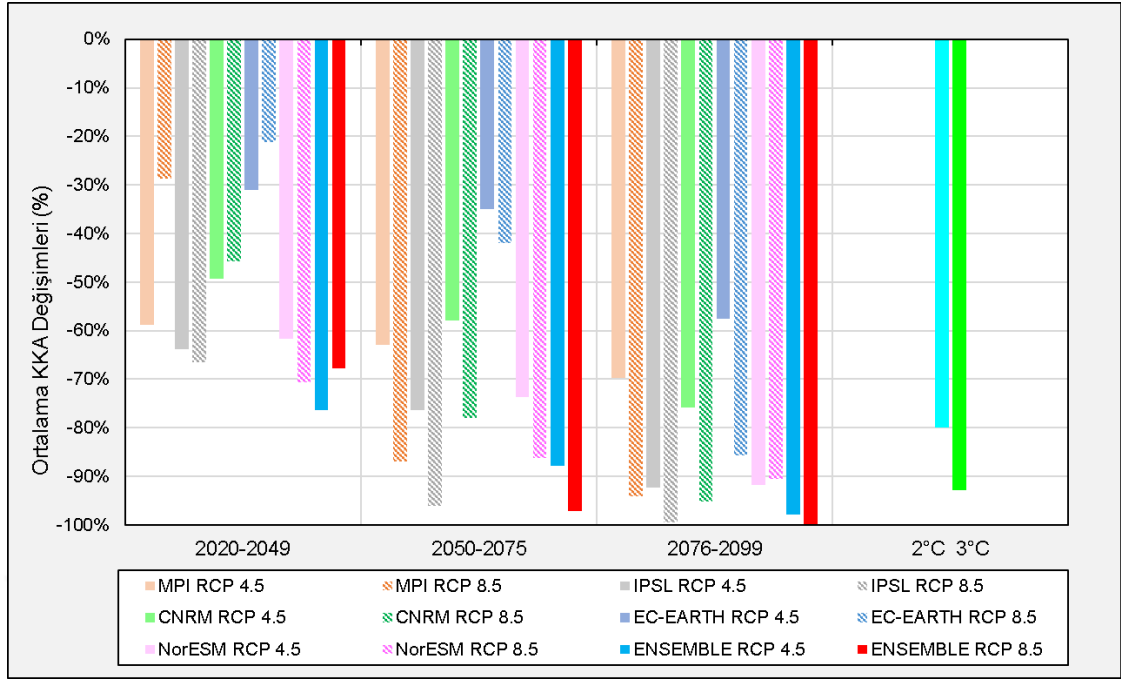
30'ar yıllık kar kaplı alan değişimlerinde, sıcaklık artışına bağlı olarak azalma şiddetinin özellikle iklim modellerinin RCP 8.5 senaryoları için devam eden yıllarda çok önemli seviyelere ulaşacağı söylenebilir. 2 ve 3°C'lik sıcaklık artışları da beklendiği üzere karla kaplı alanları azaltacaktır. Bu azalışların, mabdan mansaba etkisini artıracığı belirlenmiştir.



Şekil 5.39. Çukurkışla alt havzası dönemlere göre KKA değişimleri



Şekil 5.40. Himmetli alt havzası dönemlere göre KKA değişimleri



Şekil 5.41. Gökdere alt havzası dönemlere göre KKA değişimleri

Tablo 5.18. Göksu Havzası alt havzalarına ait dönemlere göre KKA değişimleri (%)

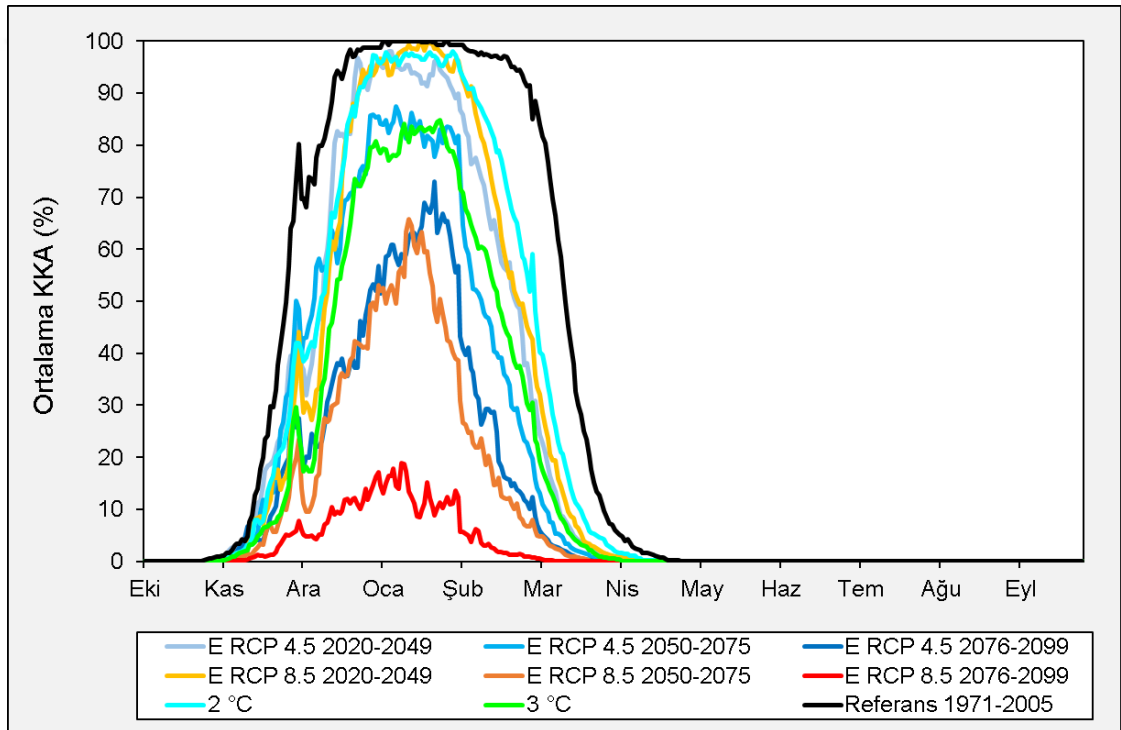
ÇUKURKIŞLA ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	-33.6	-16.3	-31.8	-44.1	-24.6	-26.9	-19.9	-16.1	-21.3	-20.9	-28.6	-28.0
2050-2075	-40.1	-64.9	-47.4	-78.2	-33.8	-55.2	-24.5	-30.6	-31.4	-45.1	-41.4	-69.6
2076-2099	-43.1	-80.8	-60.4	-92.9	-52.6	-76.1	-37.3	-58.2	-48.6	-61.9	-62.6	-92.3
HİMMETLİ ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	-45.4	-21.0	-36.4	-53.3	-33.3	-34.1	-24.5	-12.9	-27.1	-28.1	-36.2	-31.3
2050-2075	-53.7	-79.8	-55.1	-88.8	-44.5	-68.1	-24.7	-22.6	-39.4	-51.3	-53.3	-79.8
2076-2099	-54.6	-91.8	-78.6	-98.4	-61.1	-85.7	-38.2	-56.7	-59.9	-71.9	-74.8	-97.6
GÖKDERE ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	-58.9	-28.8	-63.9	-66.6	-49.3	-45.8	-31.1	-21.2	-61.6	-70.7	-76.3	-67.7
2050-2075	-62.9	-87.0	-76.3	-96.1	-58.0	-78.0	-35.0	-42.0	-73.6	-86.2	-87.9	-97.1
2076-2099	-69.8	-94.2	-92.4	-99.4	-75.9	-95.2	-57.5	-85.7	-91.7	-90.6	-97.9	-99.8

M: MPI, I: IPSL, C: CNRM, EC: EC-EARTH, N: NorESM, ENS: Ensemble

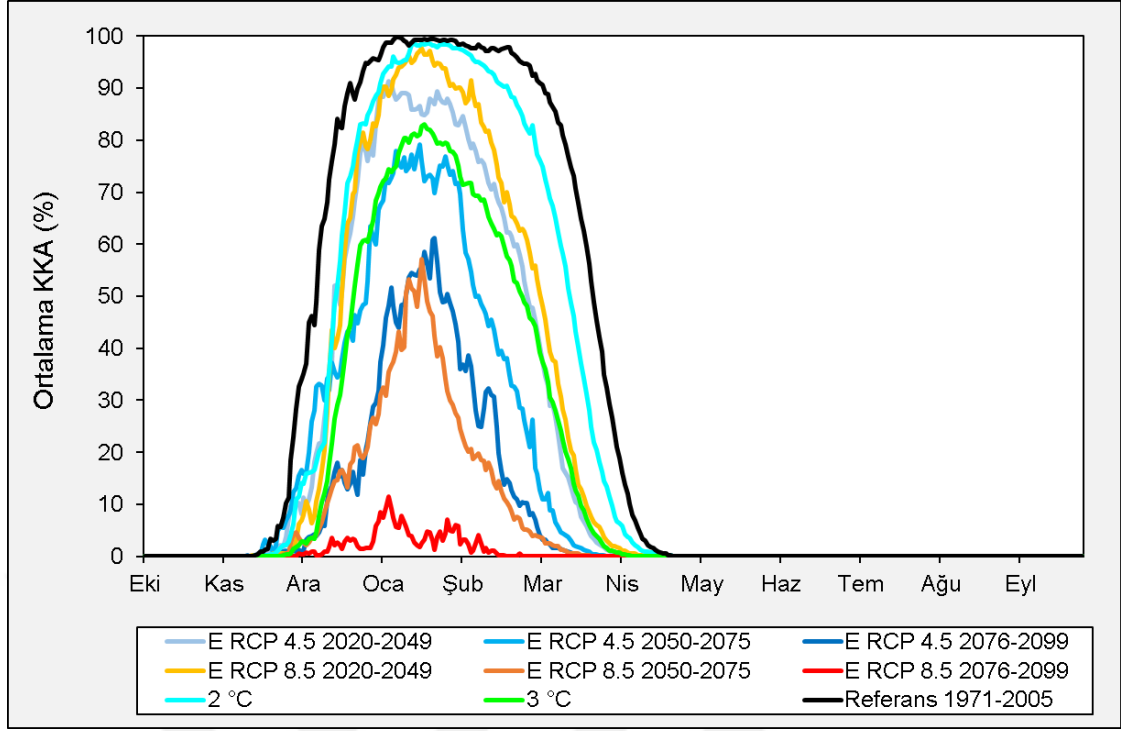
KKA değişimlerine bakıldığında Göksu Havzası'nın alt havzalarında referansa göre azalmaların olduğu bütün iklim modellerinin senaryolarında görülmektedir. Özellikle son 30 yıllık dönemde ve RCP 8.5 senaryolarında, KKA'lardaki azalmaların kritik seviyelere ulaşabileceği belirlenmiştir. Modellerin senaryo ortalamalarına göre oluşturulan ve hidrolojik modelden sonuç olarak elde edilen ensemble kar kaplı alan

değişimlerine alt havzalar bazında bakıldığında, Çukurkişla Alt Havzası'nda %28,0 ile %92,3 aralığında, Himmetli Alt Havzası'nda %31,3 ile %97,6 arasında ve Göksu Alt Havzası'nda ise %67,7 ile %99,8 aralığında azalmalar beklenmektedir.

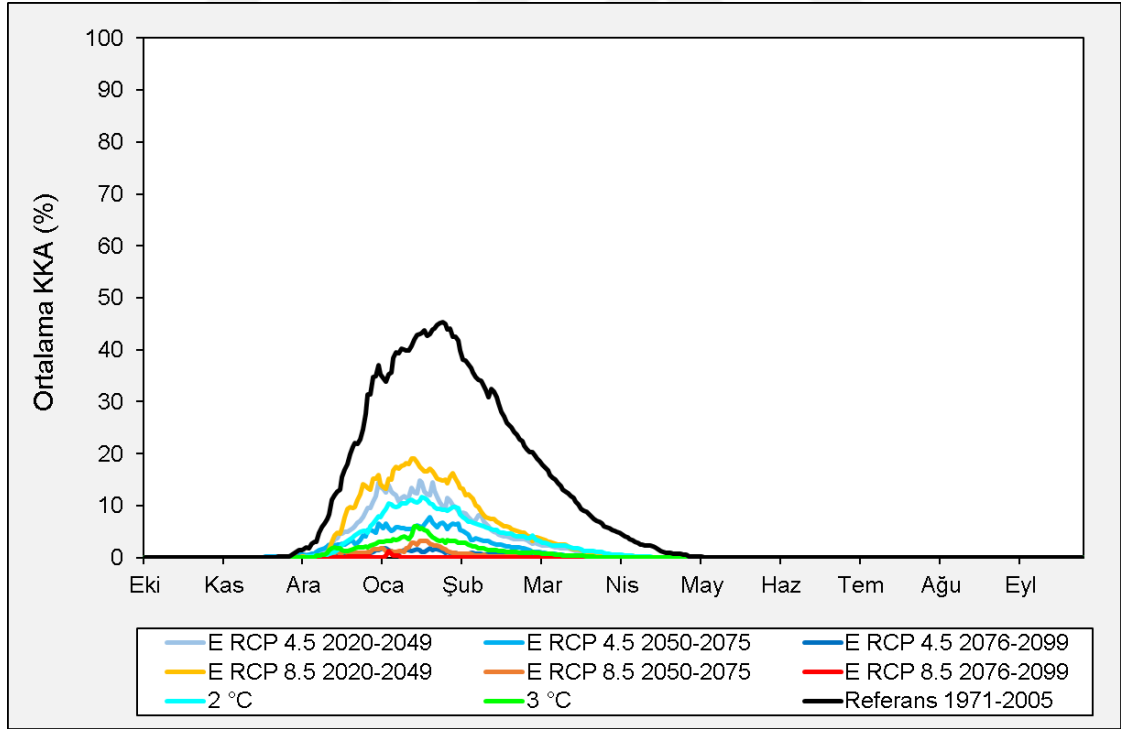
Göksu Havzası'nın alt havzaları ölçeğinde yapılan 30'ar yıllık KKA anomali sonuçlarının yanı sıra, aynı dönemler çerçevesinde uzun yıllar günlük kar kaplı alanlardaki değişimler analiz edilmiştir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen bulgular da dahil edilerek alt havzalar bazında sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen uzun yıllar günlük kar kaplı alanlardaki değişim grafikleri Şekil 5.42 ile Şekil 5.44 arasında verilmiştir.



Şekil 5.42. Çukurkişla alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KKA ortalamaları



Şekil 5.43. Himmetli alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KKA ortalamaları

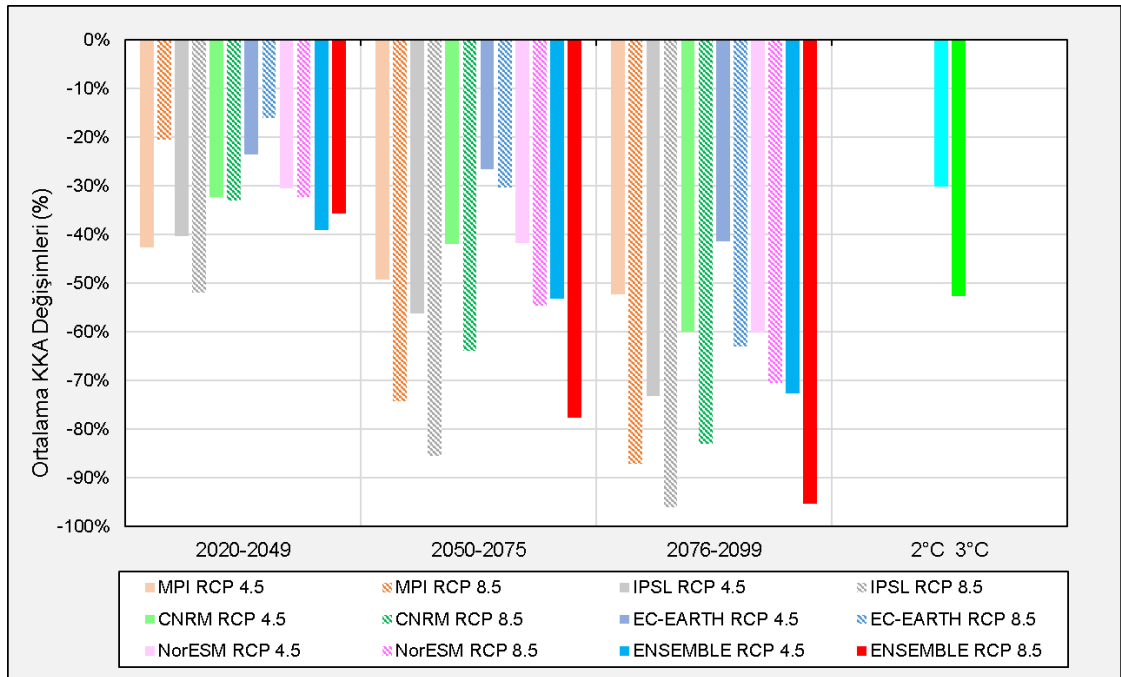


Şekil 5.44. Gökdere alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KKA ortalamaları

Göksu Havzası alt havzaları için elde edilen uzun yıllar günlük KKA değişimleri incelendiğinde, sıcaklıklardaki artışların etkisi ile birlikte membadan mansaba doğru gidildikçe referansa göre azalmaların daha fazla olacağı öngörülmüştür. Her üç alt

havzada da özellikle RCP 8.5 senaryosunun son döneminde neredeyse kar kalmayacağı sonucu elde edilmiştir. Grafiklerde genel olarak 2°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen ve pembe çizgilerle verilen KKA yüzdelerinin, RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarının 2020-2049 dönemleri ile birlikte hareket ettiği görülmektedir. Çukurkışla ve Himmetli Alt Havzaları'nda 2°C'lik sıcaklık değişim çizgileri, kar birikme döneminde 2020-2049 periyodu senaryoları ile birlikte hareket ederken, erime döneminde ise daha geç hareket ettiği görülmektedir. En mansapta olan Gökdere Alt Havzası'nda ise bu durumun tam tersinin yaşanacağı öngörülmüştür. Yani erime döneminde çizgiler birlikte hareket ederken, birikme döneminde 2°C'lik sıcaklık artış sonuçları birinci dönemdeki senaryolara göre daha geç hareket edeceği ve daha düşük seviyelere ulaşacağı belirlenmiştir. Yeşil çizgilerle verilen 3°C'lik sıcaklık değişim sonuçları ise, RCP 4.5 senaryosunun orta dönemi ile kesiştiği belirlenmiştir.

Alt havza bazlı değerlendirmelerin yanı sıra, Göksu Havzası geneli için KKA değişim sonuçları alansal oranlara göre elde edilerek toparlanmıştır. Havza genelinde model sonuçlarının referans döneme göre azalan bir eğilimde olacağı belirlenmiş ve 30'ar yıllık dönemlere göre değişim grafiği Şekil 5.45 ile verilmiştir. Elde edilen bu değişimlerin sayısal verileri ise Tablo 5.19 ile sunulmuştur.

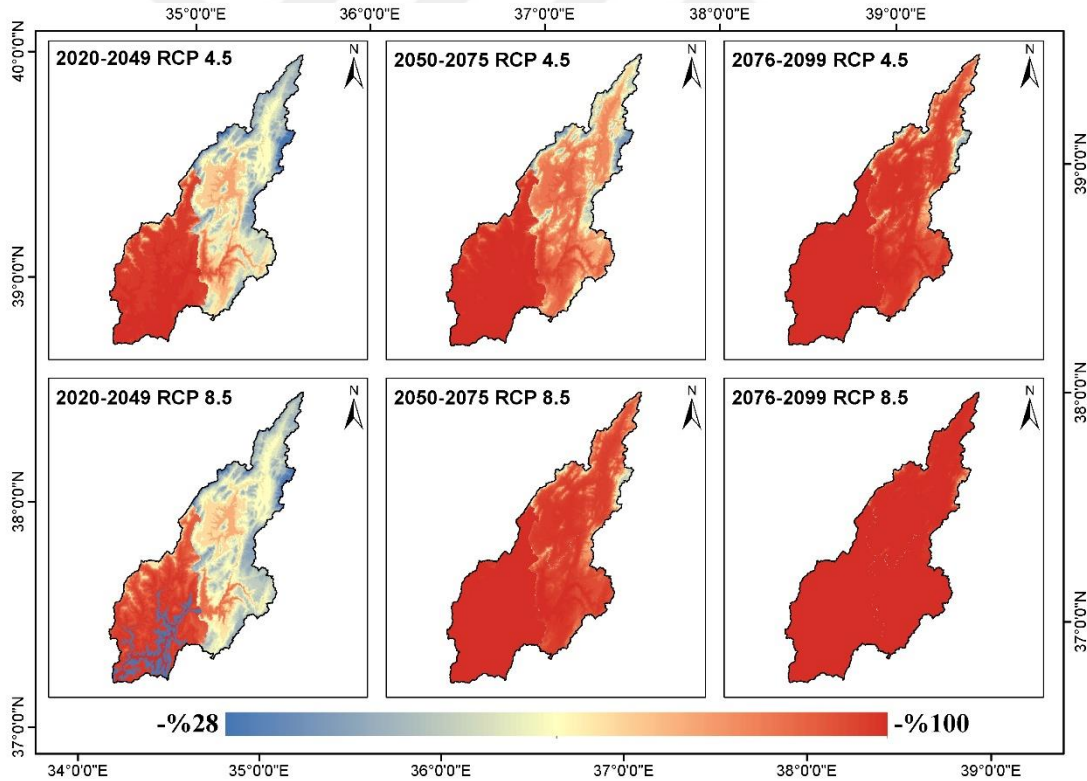


Şekil 5.45. Göksu Havzası dönemlere göre KKA değişimleri

Tablo 5.19. Göksu Havzası'na ait dönemlere göre KKA değişimleri (%)

GÖKSU HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	-42.7	-20.4	-40.3	-51.9	-32.3	-33.0	-23.5	-16.1	-30.5	-32.3	-39.1	-35.8
2050-2075	-49.2	-74.3	-56.2	-85.5	-42.0	-63.8	-26.6	-30.3	-41.7	-54.6	-53.2	-77.7
2076-2099	-52.4	-87.1	-73.1	-96.1	-59.9	-82.9	-41.5	-63.0	-60.1	-70.4	-72.6	-95.4
M: MPI, I: IPSL, C: CNRM, EC: EC-EARTH, N: NorESM, ENS: Ensemble												

Gelecek dönemler için Göksu Havzası'ndaki KKA değişimleri incelendiğinde, bütün iklim modellerinin senaryoları ve ensemble sonuçlarda referansa göre azalmaların olacağı ve yıllar ilerledikçe bu azalmaların artarak devam edeceği belirlenmiştir. İklim modellerinin ensemble KKA değişimlerine bakıldığında, Göksu Havzası'nda RCP 4.5 senaryosuna göre %39,1 ile %72,6 arasında azalmanın görüleceği, RCP 8.5 senaryosunda ise azalmanın %35,8 ile %95,4 aralığında beklendiği öngörülmüştür. Ensemble sonuçlarının senaryolar bazında alansal gösterimi ise Şekil 5.46 ile verilmiştir.

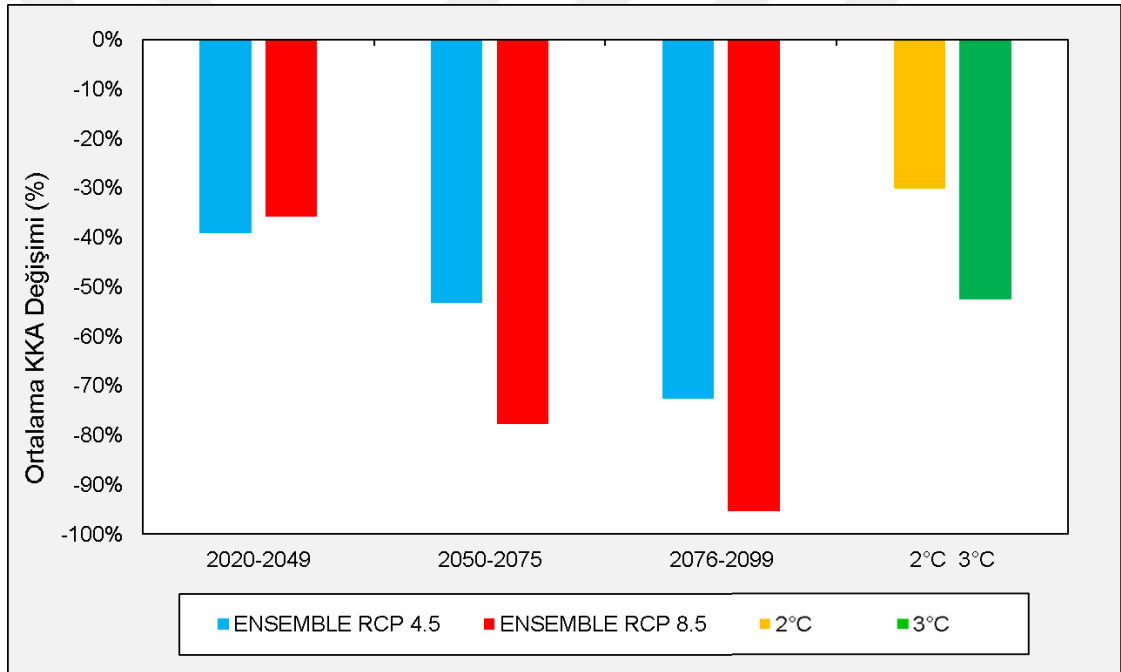


Şekil 5.46. Göksu Havzası dönemlere göre ensemble KKA değişim haritası

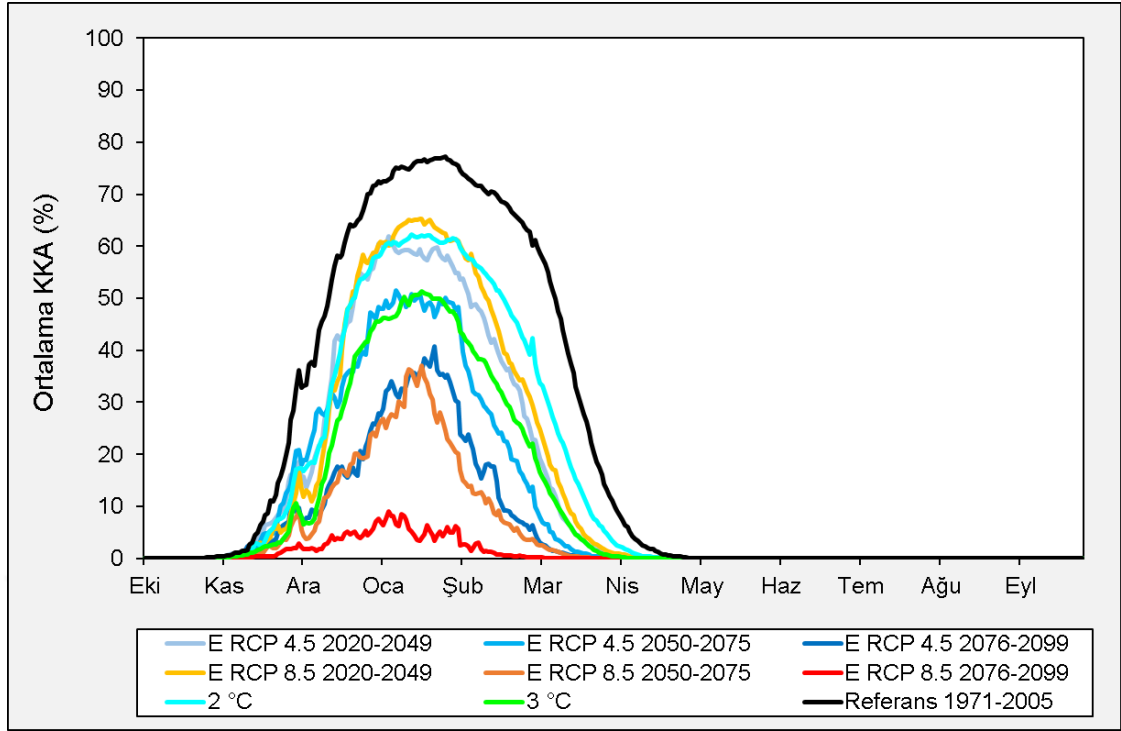
Göksu Havzası için yükseklik zonlarına göre oluşturulan KKA değişimlerinin dönemlere ve senaryolara göre dağılım haritası incelendiğinde, membadan mansaba doğru gidildikçe karla kaplı alanlardaki değişimlerin boyutunun çok önemli seviyelere ulaşabileceği tespit edilmiştir. Havzadaki kar yüzdesinin referansa göre negatif yönde

yaklaşık olarak %28 ile %100 seviyeleri arasında azaldığı ve en düşük kotların, 2076-2099 periyodunda en fazla değişimden etkileneceği belirlenmiştir. Özellikle RCP 8.5 senaryosunun son döneminde havza genelinde neredeyse karla kaplı alanın olmayacağı belirlenmiştir.

Göksu Havzası için yapılan 30’ar yıllık KKA anomali sonuçları ile birlikte, aynı dönemler ölçeğinde uzun yıllar günlük kar kaplı alanlardaki değişimler analiz edilmiştir. 2°C ve 3°C’lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen veriler de dahil edilerek Göksu Havzası için nihai bulgular elde edilmiştir. Ensemble olarak elde edilen özet KKA anomali grafiği ve uzun yıllar günlük kar kaplı alanlardaki değişim grafiği Şekil 5.47 ve Şekil 5.48 ile sunulmuştur.



Şekil 5.47. Göksu Havzası dönemlere göre özet KKA değişimleri



Şekil 5.48. Göksu Havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KKA değişim ortalamaları

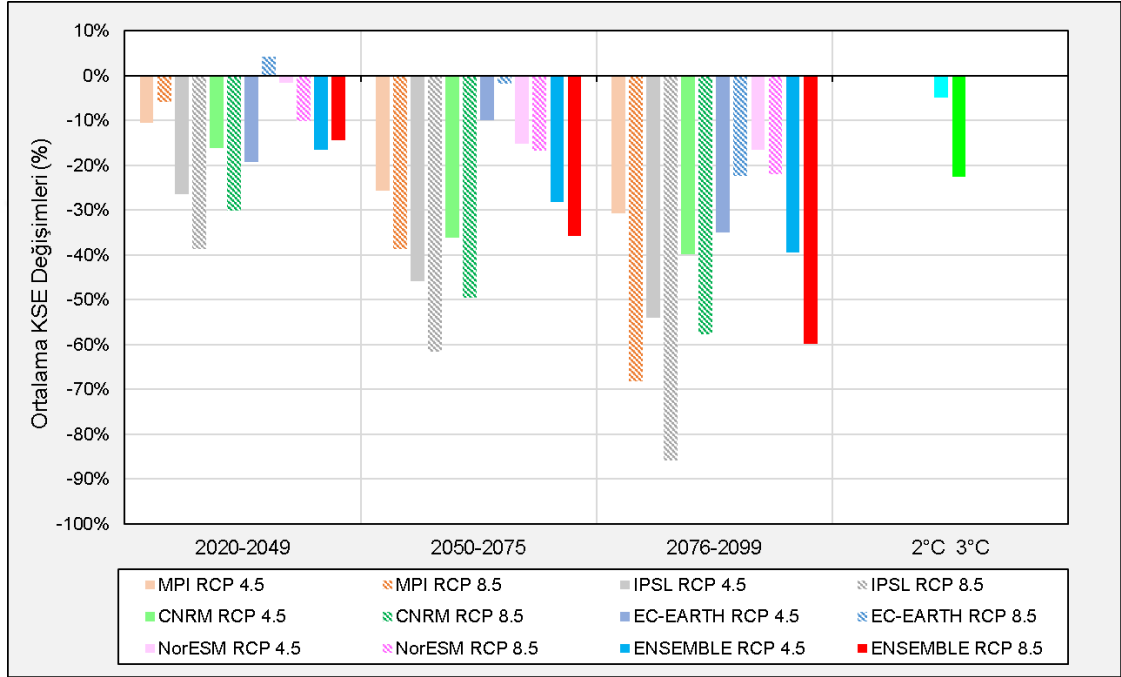
Göksu Havzası geneli için KKA değişim sonuçları toparlanacak olursa, referans döneme göre kar birikiminin daha geç başlayacağı, daha kısa süreceği ve erime sezonunun da daha erkene çekileceği belirlenmiştir. Gelecek dönemlerde Göksu Havzası'nın %50'sinin karla kaplı olduğu günler değerlendirildiğinde, referans döneme göre yaklaşık 3 aya varan sürelerde azalma olacağı tespit edilmiştir. Özellikle RCP 8.5 senaryosunun 2076-2099 yılları arasındaki dönemde ise kar yüzdesinin havzada maksimum %10 seviyelerine ulaşabileceği ve bu aralıklarda çok kısa bir süre kalıp hızlıca erime dönemine gireceği belirlenmiştir. Yüzyılın sonuna doğru sıcaklıklardaki artışlara bağlı olarak bu durumun dramatik bir hale ulaşabileceği ve havzanın karakteristik özelliklerini etkileyebileceği tespit edilmiştir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık değişimleri ile dönemsel bazda senaryo sonuçları, alt havzalardaki durumla benzerlik göstermektedir.

5.2.2.2. Kar su eşdeğeri projeksiyonları

Dağlık arazilere sahip havzalardaki su kaynaklarının yönetiminde karar vericiler açısından bir diğer önemli parametre de kar su eşdeğeri (KSE). Bu çalışmada hidrolojik modellemelerden alt havzalar bazında elde edilen kar su eşdeğeri (KSE) çıktılarındaki değişim sonuçları, Peterek ve Göksu Havzalarının geneli için sunulmuştur.

Peterek Havzası

Peterek Havzası'ndaki KSE değişim sonuçları incelendiğinde, referans döneme göre KSE'nin azalan bir eğilimde olacağı belirlenmiştir. Gelecek yıllarda 30 yıllık dönemlere göre bütün iklim modelleri ve senaryolarına göre oluşturulan referansa göre değişim grafiği Şekil 5.49 ile verilmiştir. Elde edilen bu değişimlerin sayısal verileri ise Tablo 5.20 ile sunulmuştur.



Şekil 5.49. Peterek Havzası dönemlere göre KSE değişimleri

Tablo 5.20. Peterek Havzası'na ait dönemlere göre KSE değişimleri (%)

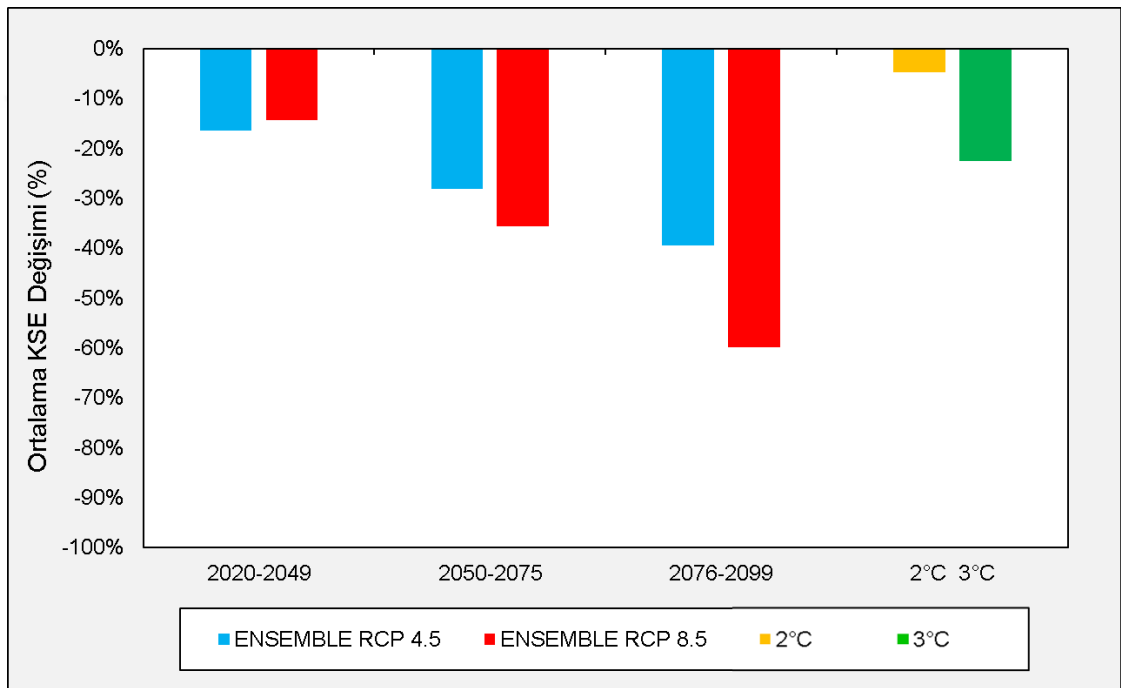
PETEREK HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	-10.4	-5.9	-26.4	-38.6	-16.1	-30.2	-19.3	4.2	-1.5	-10.0	-16.5	-14.3
2050-2075	-25.6	-38.6	-45.9	-61.7	-36.1	-49.5	-10.0	-1.7	-15.2	-16.6	-28.1	-35.7
2076-2099	-30.7	-68.1	-53.9	-85.9	-39.9	-57.8	-35.0	-22.3	-16.5	-22.0	-39.5	-59.9

M: MPI, I: IPSL, C: CNRM, EC: EC-EARTH, N: NorESM, ENS: Ensemble

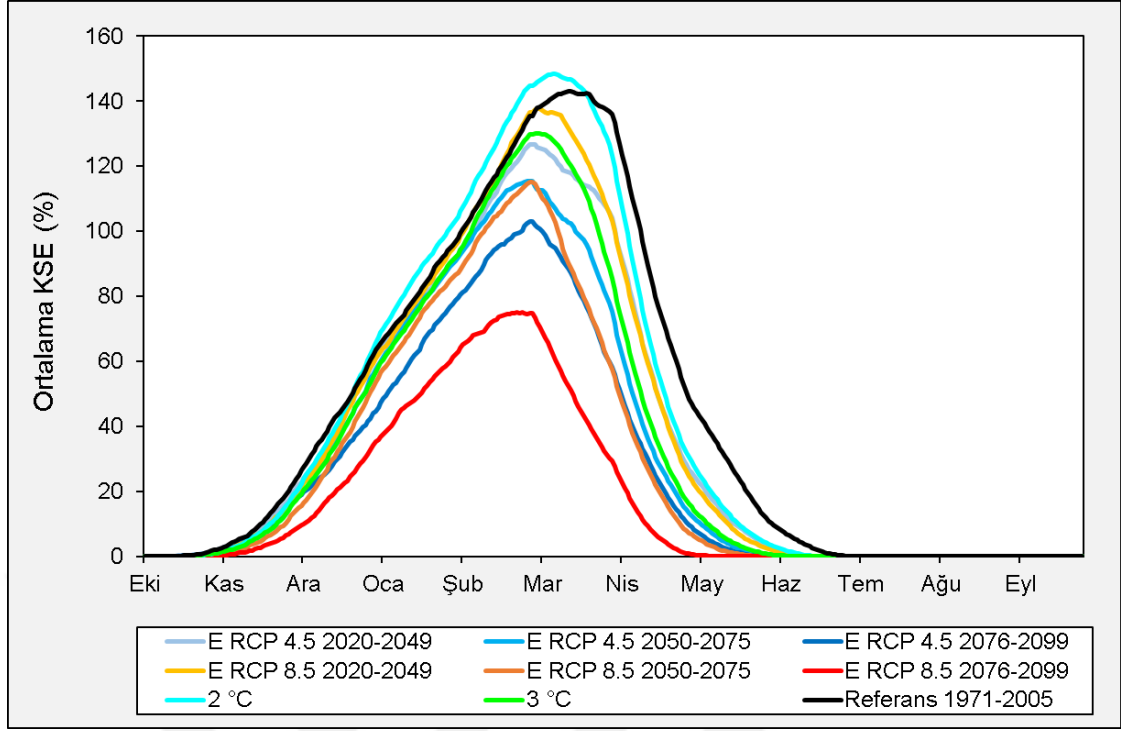
Gelecek dönemler için Peterek Havzası'ndaki KSE değişimleri değerlendirildiğinde, bütün iklim modellerinin senaryoları ve ensemble sonuçlarda referansa göre azalmaların olacağı ve yıllar ilerledikçe bu azalmaların artarak devam edeceği belirlenmiştir. İklim modellerinin ensemble KSE değişimlerine bakıldığında, Peterek Havzası'nda RCP 4.5 senaryosuna göre %16,5 ile %39,5 arasında azalmanın

görüleceği, RCP 8.5 senaryosunda ise azalmanın %14,3 ile %59,9 aralığında beklendiği öngörülmüştür.

Peterek Havzası için yapılan 30'ar yıllık KSE anomali sonuçları ile birlikte, aynı dönemler ölçeğinde uzun yıllar günlük kar su eşdeğerindeki değişimler analiz edilmiştir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen veriler de dahil edilerek Peterek Havzası için nihai çıktılar oluşturulmuştur. Ensemble olarak elde edilen özet KSE anomali grafiği ve uzun yıllar günlük kar kaplı alanlardaki değişim grafiği Şekil 5.50 ve Şekil 5.51 ile sunulmuştur.



Şekil 5.50. Peterek Havzası dönemlere göre özet KSE değişimleri

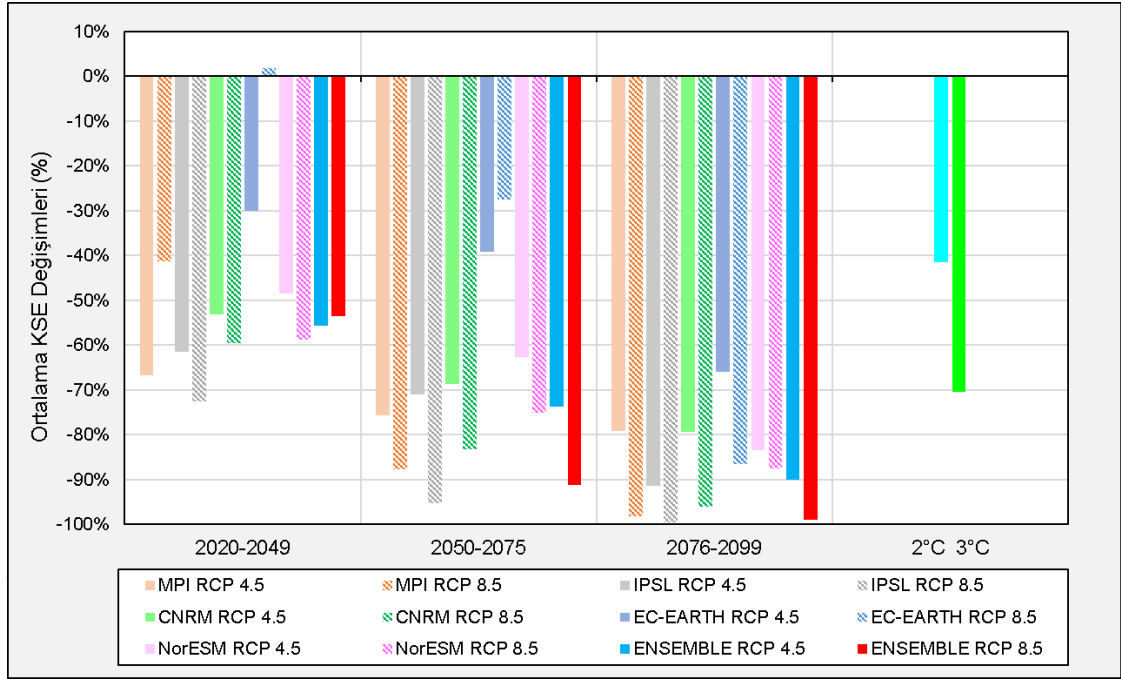


Şekil 5.51. Peterek Havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KSE değişim ortalamaları

Peterek Havzası geneli için KSE değişim sonuçları toparlanacak olursa, kar su eşdeğerinin referans döneme göre daha geç oluşmaya başlayacağı, pik seviyelerinin daha erken dönemlerde oluşacağı ve daha erken zamanlarda da seviyesinin azalacağı tespit edilmiştir. Referans dönemde uzun yıllar ortalama olarak 15 Mart tarihinde gözlenen pik kar su eşdeğerinin, 23 Şubat tarihine kadar (yaklaşık 3 hafta) erkene çekilebileceği belirlenmiştir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık değişimleri ile dönemsel bazda senaryo sonuçları, havzadaki KSE'nin %5 ile %23'lere varan azalmalara maruz kalabileceğini öngörmüştür. 30 yıllık ensemble ortalamaların dönem sonuçlarına bakıldığında ise, KSE'nin havzada yıllar ilerledikçe azalacağı belirlenmiştir. KSE'de referansa göre %60'lara varan değerler ile en dramatik azalmaların beklendiği senaryo, RCP 8.5 senaryosunun son dönem sonuçlarıdır.

Göksu Havzası

Göksu Havzası'ndaki KSE değişim sonuçları incelendiğinde, referans döneme göre KSE'nin azalan bir eğilimde olacağı belirlenmiştir. Gelecek yıllarda 30 yıllık dönemlere göre bütün iklim modelleri ve senaryolarına göre oluşturulan referansa göre değişim grafiği Şekil 5.52 ile verilmiştir. Elde edilen bu değişimlerin sayısal verileri ise Tablo 5.21 ile sunulmuştur.



Şekil 5.52. Göksu Havzası dönemlere göre KSE değişimleri

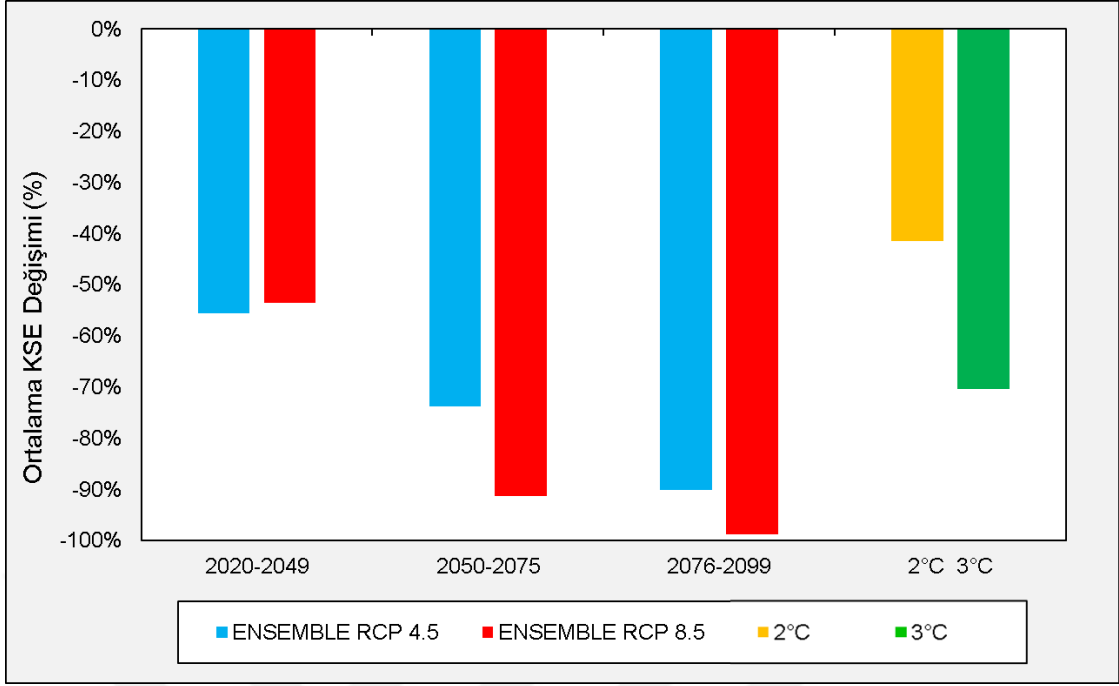
Tablo 5.21. Göksu Havzası'na ait dönemlere göre KSE değişimleri (%)

GÖKSU HAVZASI											
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5
2020-2049	-66.7	-41.3	-61.5	-72.5	-53.1	-59.6	-30.1	1.9	-48.5	-58.7	-55.6
2050-2075	-75.6	-87.8	-71.1	-95.3	-68.7	-83.2	-39.1	-27.6	-62.7	-75.1	-73.8
2076-2099	-79.2	-98.2	-91.4	-99.6	-79.4	-96.0	-65.9	-86.5	-83.5	-87.5	-90.1

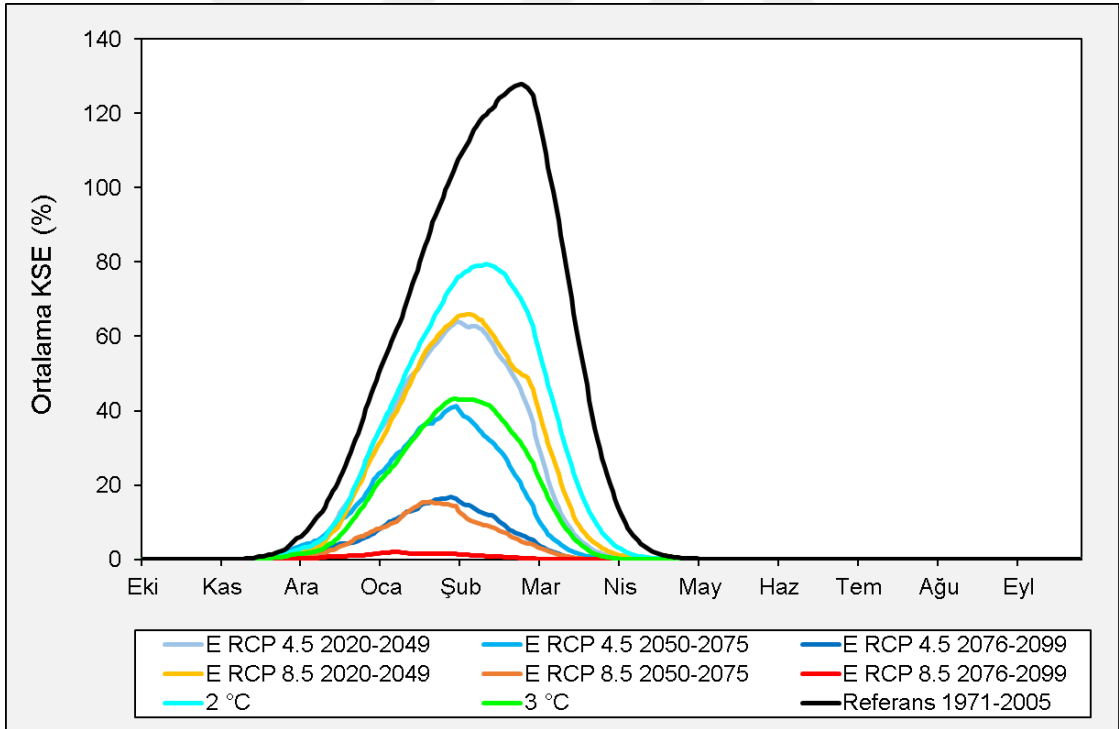
M: MPI, I: IPSL, C: CNRM, EC: EC-EARTH, N: NorESM, ENS: Ensemble

Gelecek dönemler için Göksu Havzası'ndaki KSE değişimleri incelendiğinde, bütün iklim modellerinin senaryoları ve ensemble sonuçlarda referansa göre azalmaların olacağı ve yıllar ilerledikçe bu azalmaların artarak devam edeceği belirlenmiştir. İklim modellerinin ensemble KSE değişimlerine bakıldığında, Göksu Havzası'nda RCP 4.5 senaryosuna göre %55,6 ile %90,1 arasında azalmanın görüleceği, RCP 8.5 senaryosunda ise azalmanın %53,5 ile %98,9 aralığında beklendiği öngörülmüştür.

Göksu Havzası için yapılan 30'ar yıllık KSE anomali sonuçları ile birlikte, aynı dönemler ölçeğinde uzun yıllar günlük kar su eşdeğerindeki değişimler analiz edilmiştir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen veriler de dahil edilerek Göksu Havzası için nihai çıktılar oluşturulmuştur. Ensemble olarak elde edilen özet KSE anomali grafiği ve uzun yıllar günlük kar kaplı alanlardaki değişim grafiği Şekil 5.53 ve Şekil 5.54 ile sunulmuştur.



Şekil 5.53. Göksu Havzası dönemlere göre özet KSE değişimleri



Şekil 5.54. Göksu Havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük KSE değişim ortalamaları

Göksu Havzası geneli için KSE değişim sonuçları toparlanacak olursa, kar su eşdeğerinin referans döneme göre daha geç oluşmaya başlayacağı, pik seviyelerinin daha erken dönemlerde oluşacağı ve daha erken zamanlarda da seviyesinin azalacağı tespit edilmiştir. Referans dönemde uzun yıllar ortalama olarak 25 Şubat tarihinde gözlenen pik

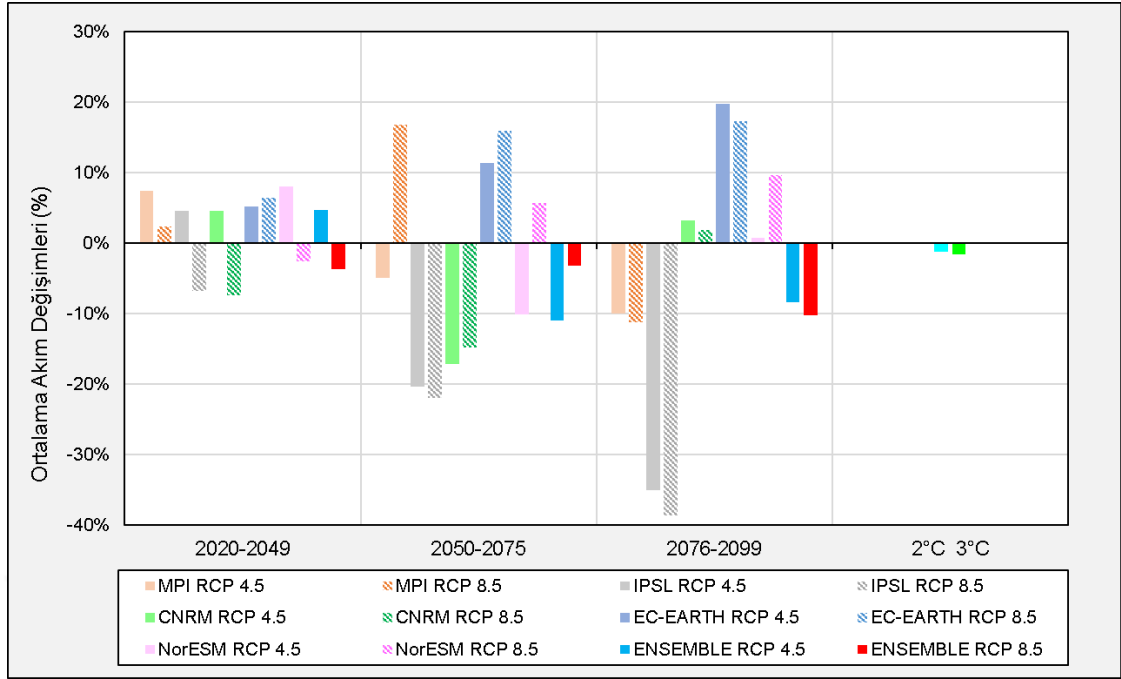
kar su eşdeğerinin, yaklaşık 3 hafta ile 1 aylık süreler arasında erkene çekilebileceği belirlenmiştir. Bununla birlikte RCP 8.5 senaryosunun son döneminde havzada neredeyse karla kaplı alanın olmayacağı ve dolayısıyla kar su eşdeğerinin de oluşmayacağı tespit edilmiştir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık değişimleri ile dönemsel bazda senaryo sonuçlarına göre, havzadaki KSE'de %41 ile %70'lere varan azalmalar beklenmektedir. 30 yıllık ensemble ortalamaların dönem sonuçlarına bakıldığında ise, KSE'nin havzada yıllar ilerledikçe azalacağı ve yüzyılın sonuna doğru ise oluşmayacağı tespit edilmiştir.

5.2.2.3. Akım projeksiyonları

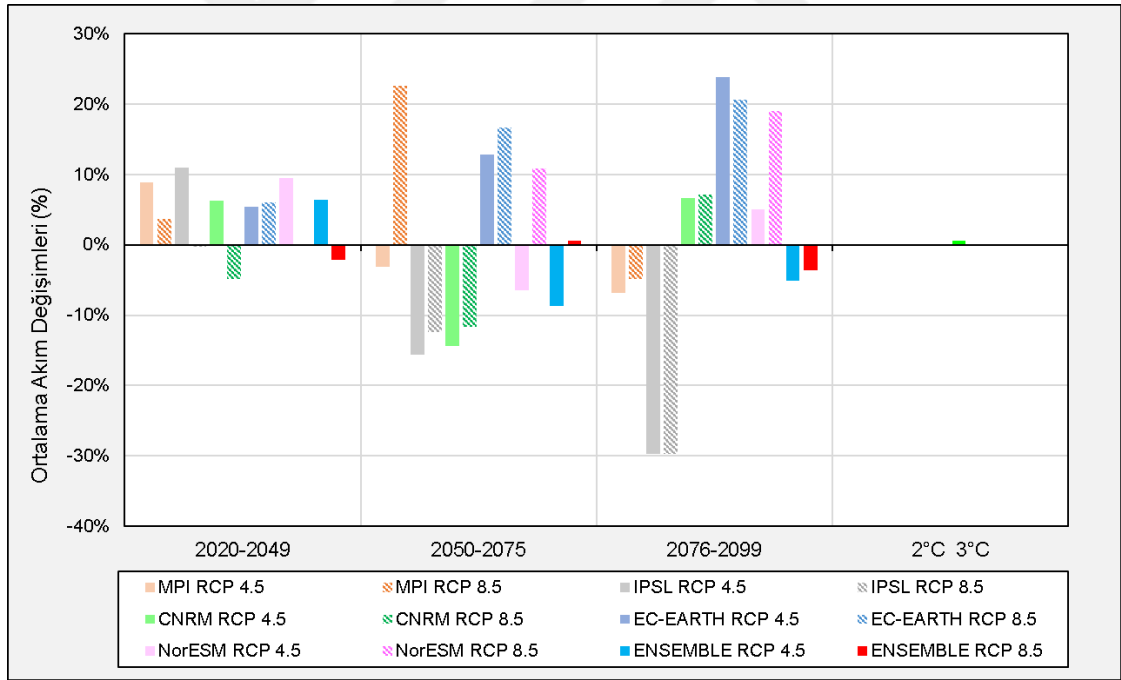
Peterek Havzası

Peterek Havzası'nın her bir alt havzası için ayrı ayrı yapılan ortalama akım değişim analizlerinde, model sonuçlarının referans döneme göre ve periyotlara bağlı olarak artışların ve azalmaların olacağı görülmekte olup değişim grafikleri Şekil 5.55 ile Şekil 5.57 arasında verilmiştir. Tablo 5.22 ile de değişimlerin sayısal değerleri bütün alt havzalar için sunulmuştur.

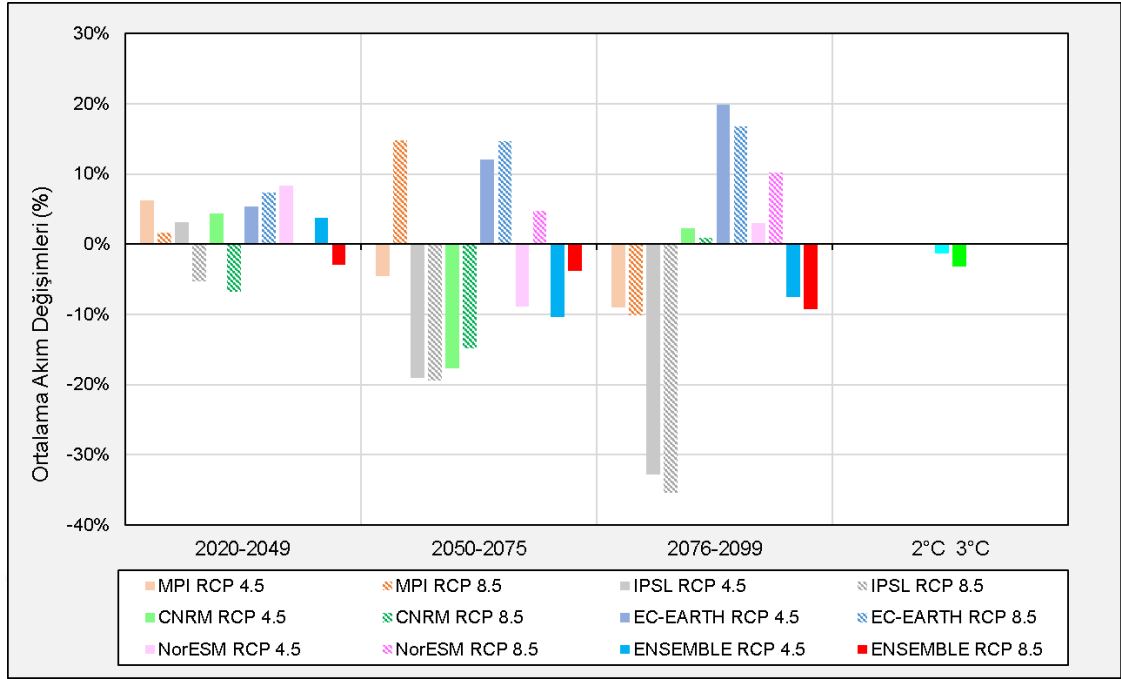
30'ar yıllık akım değişimlerinde, ilk 30 yıllık dönem içerisinde bütün alt havzalarda %10'lara varan artış ve %5'lere ulaşan azalmaların olabileceği, devam eden periyotlarda ise değişim aralıklarındaki farkın artacağı görülmektedir. 30'ar yıllık bütün dönemlerde her bir alt havzadaki akım değişimlerinin pozitif yönde olacağını söyleyen EC-EARTH modelinin senaryoları olup, en dramatik azalmaların gerçekleşeceğini belirten model ise özellikle son 2 dönemdeki sonuçları ile IPSL modeli olmuştur. 2 ve 3°C'lik sıcaklık artışları senaryosunda ise, alt havzalarda ve havza genelinde referansa göre ortalama akımlarda önemli bir değişimin olmayacağı öngörülmüştür.



Şekil 5.55. Bayburt alt havzası dönemlere göre akım değişimleri



Şekil 5.56. İspir alt havzası dönemlere göre akım değişimleri



Şekil 5.57. Peterek alt havzası dönemlere göre akım değişimleri

Tablo 5.22. Peterek Havzası alt havzalarına ait dönemlere göre akım değişimleri (%)

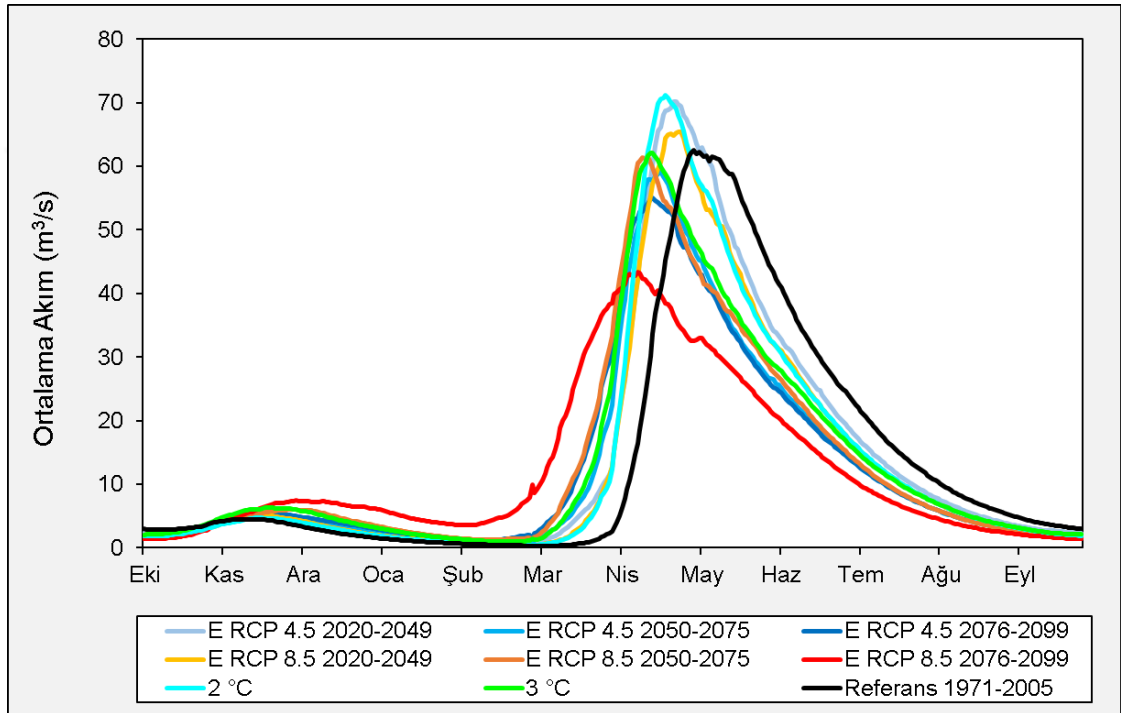
BAYBURT ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	7.5	2.3	4.6	-6.7	4.6	-7.4	5.3	6.4	8.0	-2.5	4.7	-3.7
2050-2075	-5.0	16.8	-20.4	-22.0	-17.2	-14.8	11.4	16.0	-10.1	5.7	-11.0	-3.2
2076-2099	-10.0	-11.2	-35.1	-38.7	3.2	1.8	19.8	17.3	0.8	9.6	-8.4	-10.2
İSPİR ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	8.9	3.7	10.9	-0.3	6.3	-4.9	5.4	6.0	9.5	0.1	6.4	-2.1
2050-2075	-3.1	22.6	-15.7	-12.4	-14.4	-11.6	12.8	16.7	-6.4	10.8	-8.7	0.6
2076-2099	-6.8	-4.9	-29.7	-29.7	6.6	7.2	23.9	20.6	5.0	19.0	-5.1	-3.6
PETEREK ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	6.2	1.6	3.1	-5.3	4.3	-6.8	5.3	7.4	8.4	0.0	3.8	-3.0
2050-2075	-4.6	14.8	-19.1	-19.5	-17.6	-14.8	12.1	14.7	-8.8	4.7	-10.4	-3.8
2076-2099	-9.0	-10.1	-32.8	-35.4	2.2	0.9	19.9	16.8	3.0	10.3	-7.5	-9.3

M: MPI, I: IPSL, C: CNRM, EC: EC-EARTH, N: NorESM, ENS: Ensemble

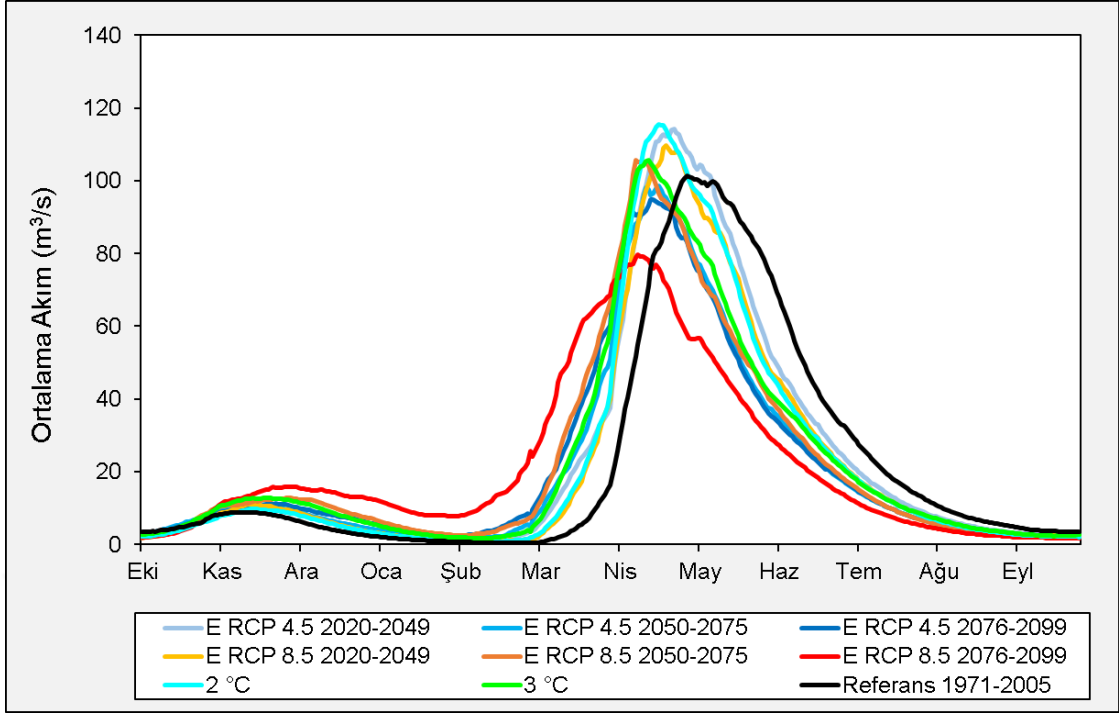
Modellerin senaryo ortalamalarına göre oluşturulan ve hidrolojik modelden sonuç olarak elde edilen ensemble akım değişimlerine alt havzalar bazında bakıldığında, Bayburt Alt Havzası'nda %4,7'lere varan artış ile %11,0'lara ulaşan azalmaların olabileceği öngörülmektedir. İspir Alt Havzası'nda %6,2'lere varan artış ile %8,7'lere

varan azalmaların olabileceği ve Peterek Alt Havzası'nda ise %3,8'lere ulaşan artış ile %10,4'lere varan azalmaların oluşabileceği beklenmektedir.

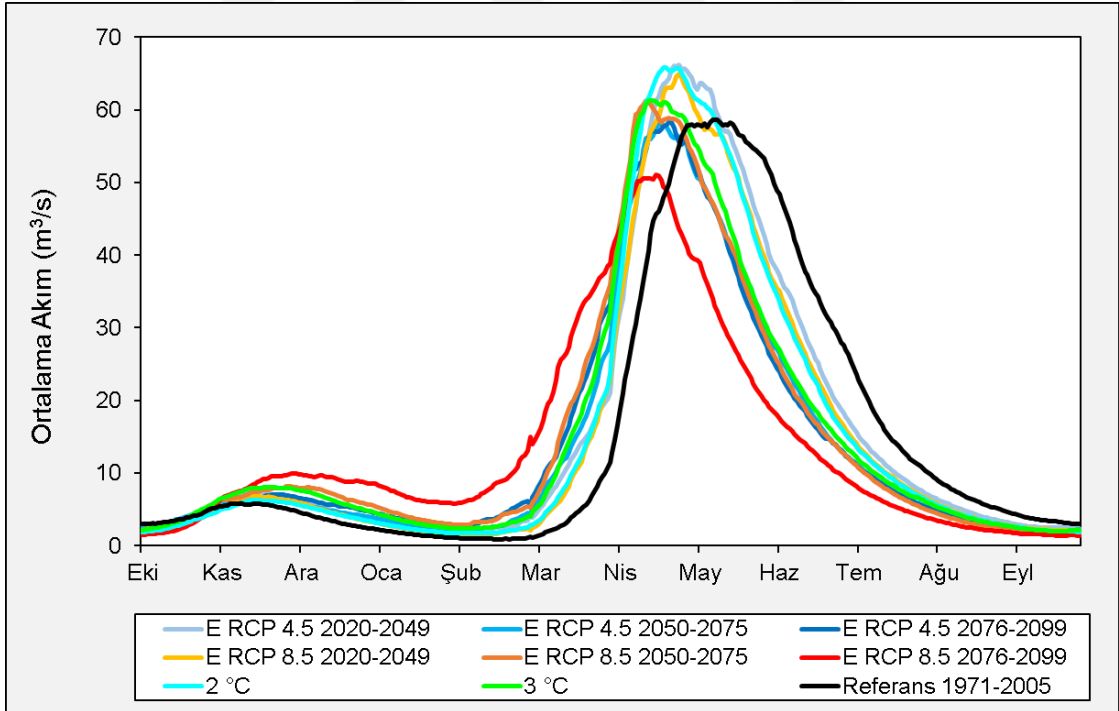
Peterek Havzası'nın alt havzaları ölçeğinde yapılan 30'ar yıllık akım değişimleri sonuçları ile birlikte, aynı dönemler çerçevesinde uzun yıllar günlük akımlardaki değişimler analiz edilmiştir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen sonuçlar da dahil edilerek alt havzalar bazında analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen uzun yıllar günlük akımlardaki değişim grafikleri Şekil 5.58 ile Şekil 5.60 arasında verilmiştir.



Şekil 5.58. Bayburt alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük akım ortalamaları



Şekil 5.59. İspir alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük akım ortalamaları

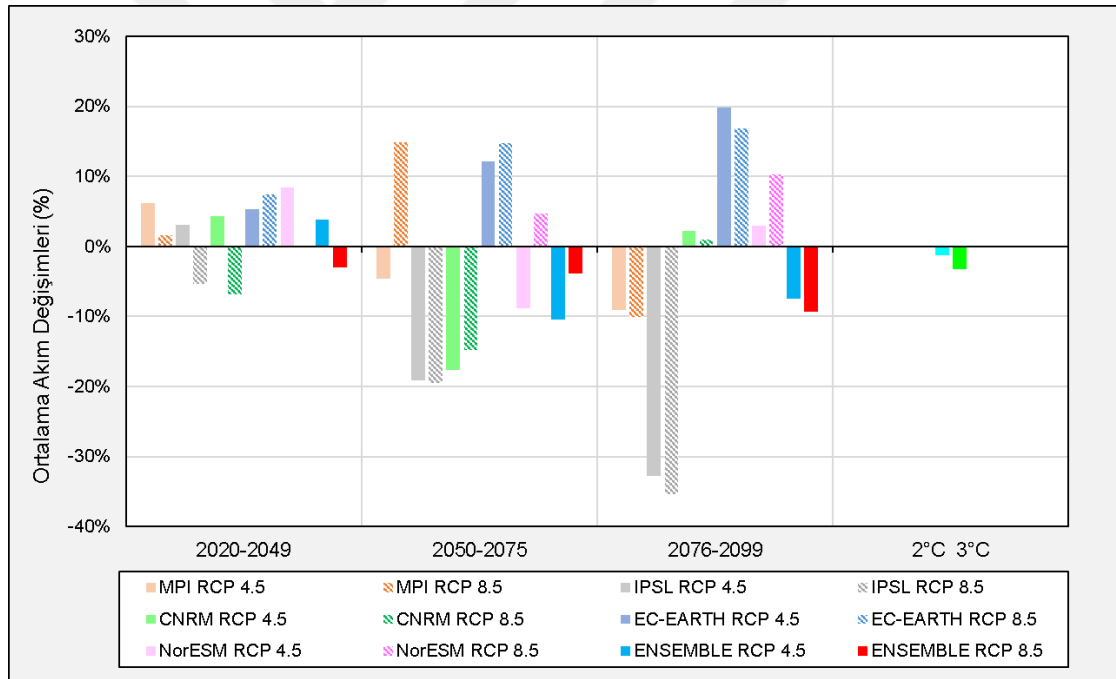


Şekil 5.60. Peterek alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük akım ortalamaları

Peterek Havzası alt havzaları için elde edilen uzun yıllar günlük akım değişimlerine bakıldığında, sıcaklıklardaki artışların etkisi ile birlikte referans döneme göre yıl içinde beklenen pik debilerin daha erken geleceği belirlenmiştir. Her üç alt havzada da özellikle RCP 8.5 senaryosunun son dönemindeki pik akım değerlerinde önemli bir azalma

beklendiği ve zamansal olarak referans döneme göre daha önce oluştuğu tespit edilmiştir. Grafiklerde genel olarak 2°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen ve pembe çizgilerle verilen akım değerlerinin, RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarının 2020-2049 dönemleri ile birlikte hareket ettiği görülmektedir. Yeşil çizgilerle verilen 3°C'lik sıcaklık değişim sonuçlarının ise, 2050-2075 periyodundaki senaryolar ile aynı düzlemde seyrettiği gözlenmiştir.

Alt havza bazlı değerlendirmelerin yanı sıra, Peterek Havzası geneli için akım değişim sonuçları elde edilmiştir. Peterek Havzası'nda akımlarda beklenen model sonuçları referans döneme göre artışlar ve azalışlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Havzanın 30'ar yıllık dönemlere göre belirlenen iklim modelleri ve modellerin senaryoları bazında akım değişim grafiği Şekil 5.61 ile verilmiştir. Elde edilen bu değişimlerin sayısal verileri ise Tablo 5.23 ile sunulmuştur.



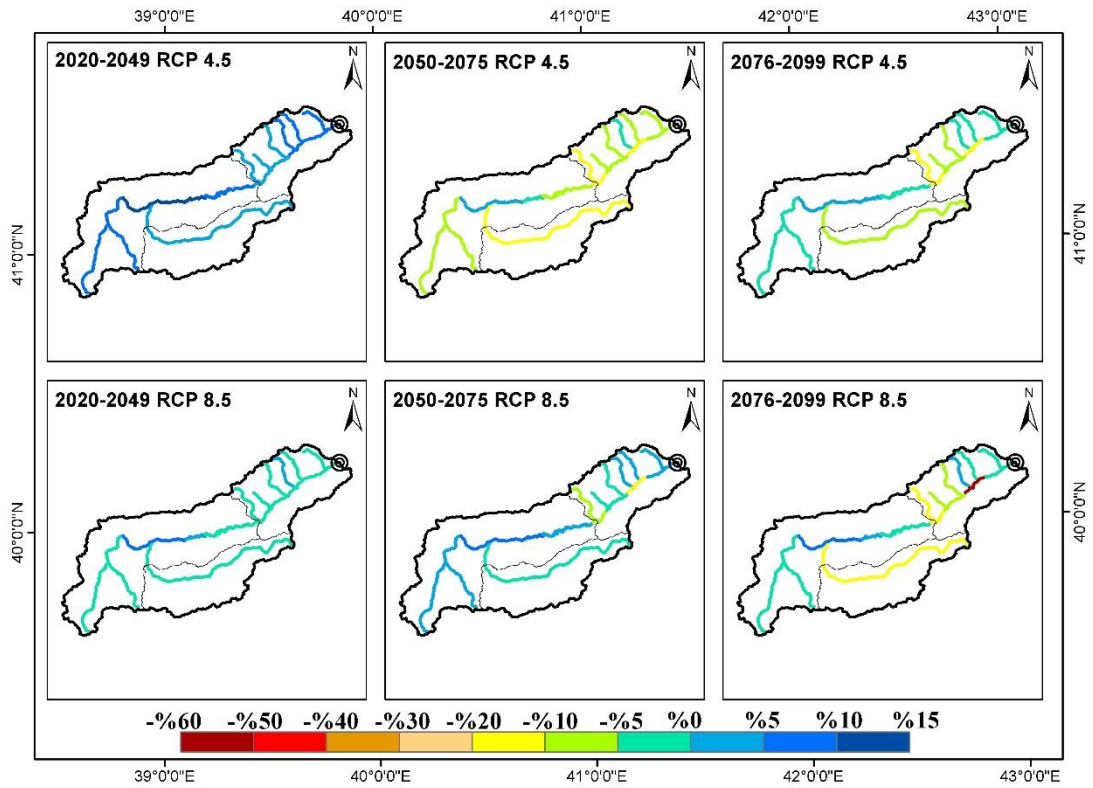
Şekil 5.61. Peterek Havzası dönemlere göre akım değişimleri

Tablo 5.23. Peterek Havzası'na ait dönemlere göre akım değişimleri (%)

PETEREK HAVZASI											
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5
2020-2049	7.7	2.7	7.0	-3.4	5.3	-6.1	5.3	6.5	8.8	-0.6	5.2
2050-2075	-4.0	18.8	-17.9	-17.0	-16.1	-13.4	12.2	15.9	-8.1	7.6	-9.8
2076-2099	-8.3	-8.1	-32.0	-33.7	4.4	4.0	21.6	18.6	3.3	13.9	-6.7

M: MPI, I: IPSL, C: CNRM, EC: EC-EARTH, N: NorESM, ENS: Ensemble

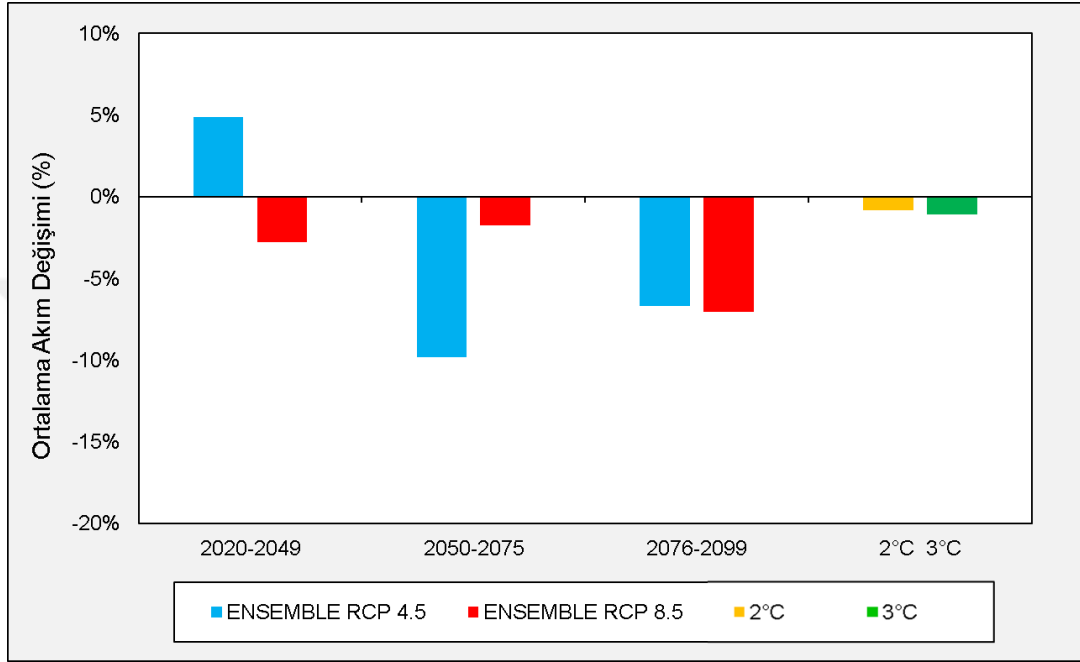
Gelecek dönemler için Peterek Havzası'ndaki akım değişimleri incelendiğinde, iklim modellerinin farklı sonuçlar ürettiği görülmüştür. Ancak modellerin ortalaması olarak ele alınan ensemble sonuçlara göre ise, havzadaki akımların düşüş eğiliminde olacağı tespit edilmiştir. Ensemble sonuçlar ışığında akımların Peterek Havzası'nda RCP 4.5 senaryosuna göre %5,2 artış ile %9,8 azalış aralığında dağılacığı gözlenmiştir. RCP 8.5 senaryosunda ise akımlarda artışlar beklenmemekte ve oluşabilecek azalma yönündeki değişimler ise %1,7 ile %7,1 aralığında tespit edilmiştir. Ensemble sonuçlarının senaryolar bazında ve önemli akarsu kollarında gösterimi ise Şekil 5.62 ile verilmiştir.



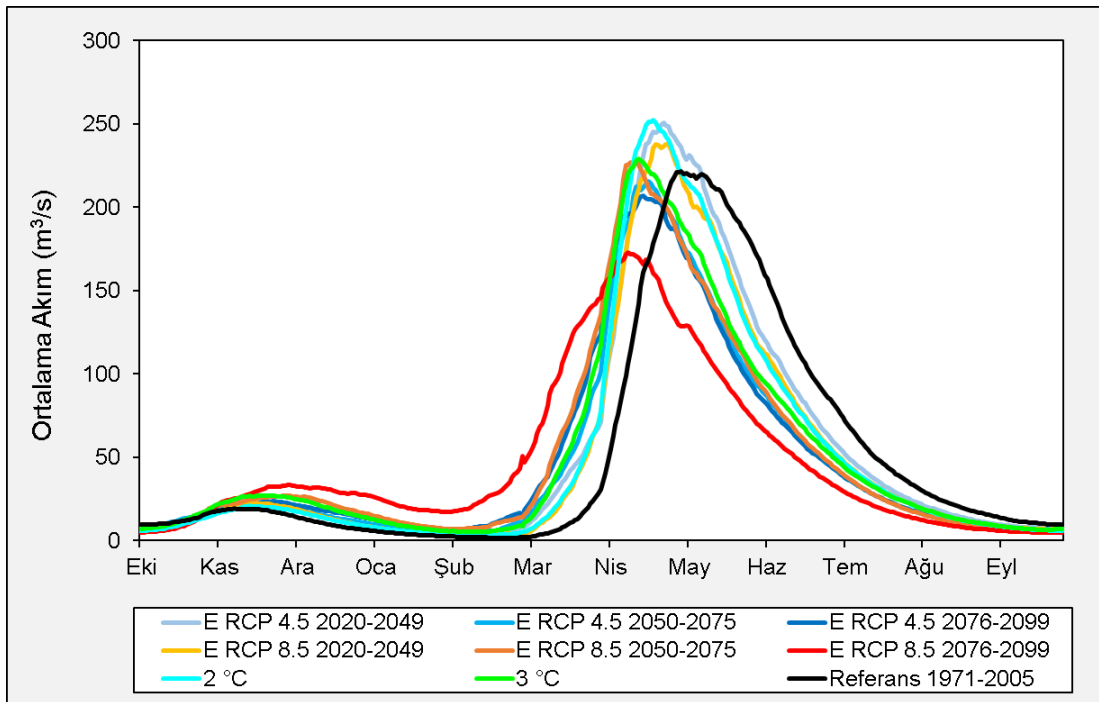
Şekil 5.62. Peterek Havzası dönemlere göre ensemble akım değişim haritası

Çoruh Nehri, Lori Çayı ve Kaçkar Dağları'ndan beslenen dereler ile bu akarsuların üzerlerinde bulunan su yapılarına göre bölümlendirilerek oluşturulan akım değişimlerinin dönemlere ve senaryolara göre dağılım haritası hazırlanmıştır. Haritalara göre Çoruh Nehri'nin membasında beklenen kar erimeleri, gelecekte akımları daha az besleyeceğinden buralarda genel olarak bir akım azalmasından söz edilmektedir. Bununla birlikte havzanın çıkışına yakın kısımlarında da 2050 yıllarından sonra akımlarda azalmalar beklenmektedir. Havzadaki akımların yaklaşık olarak %14 artış ile %34 azalış arasında dağılacığı tespit edilmiştir.

Peterek Havzası için yapılan 30'ar yıllık akım anomali sonuçları ile birlikte, aynı dönemler ölçeğinde uzun yıllar günlük akımlardaki değişimler analiz edilmiştir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen veriler de dahil edilerek Peterek Havzası için nihai çıktılar oluşturulmuştur. Ensemble olarak elde edilen özet akım anomali grafiği ve uzun yıllar günlük akımlardaki değişim grafiği Şekil 5.63 ve Şekil 5.64 ile sunulmuştur.



Şekil 5.63. Peterek Havzası dönemlere göre özet akım değişimleri



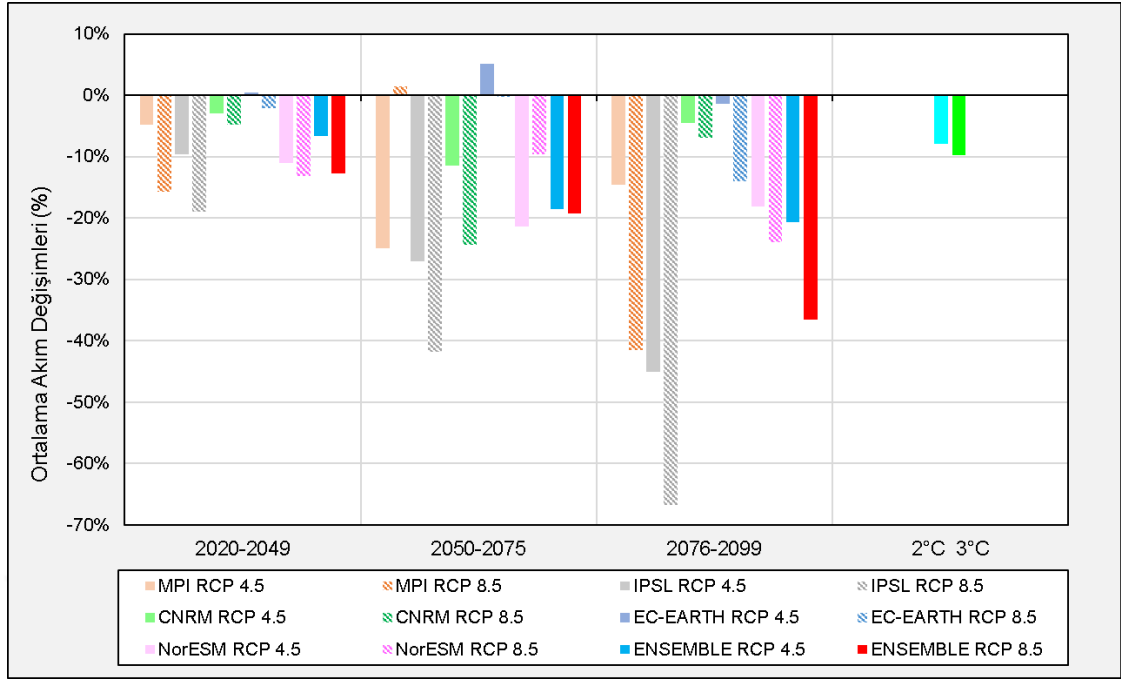
Şekil 5.64. Peterek Havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük akım ortalamaları

Peterek Havzası geneli için elde edilen akımlardaki değişim sonuçları toparlanacak olursa, referans döneme göre yıl içinde beklenen pik debilerin daha erken olacağı belirlenmiştir. Referans dönemde uzun yıllar ortalama olarak 2 Mayıs tarihinde gözlenen pik akımların, 11 Nisan tarihine kadar (yaklaşık 3 hafta) erkene çekileceği tespit edilmiştir. 2020-2049 periyodundaki senaryo sonuçları ile 2°C'lik değişime göre elde edilen akımlardaki pik değerlerin, referansa göre daha yüksek mertebelere (yaklaşık 30 m³/s) ulaşacağı tespit edilmiştir. 2050-2075 dönemi senaryoları ile 3°C'lik sıcaklık artışından elde edilen debilerdeki beklenen pik akım seviyelerinin referansa yakın konumlandığı gözlenmiştir. Ensemble RCP 8.5 senaryosunun 2076-2099 yılları arasındaki dönemde ise pik debinin oldukça düşük kaldığı görülmüştür. Bununla birlikte havzadaki akımlarda beklenen 30 yıllık periyot için en büyük azalma miktarı, yaklaşık %10'luk değişim ile 2050-2075 arası dönemdeki RCP 4.5 senaryo sonuçları olmuştur.

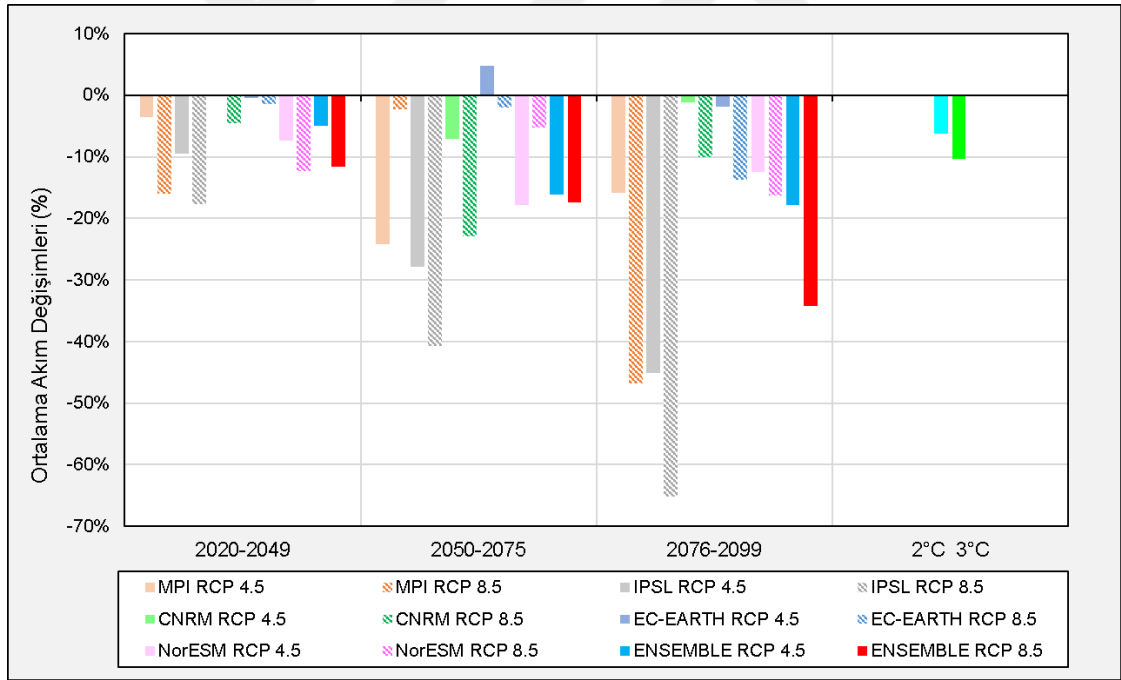
Göksu Havzası

Göksu Havzası'nın her bir alt havzası için ayrı ayrı yapılan ortalama akım değişim analizlerinde, model sonuçlarının referans döneme göre genel olarak azalan bir eğilimde olacağı görülmekte olup değişim grafikleri Şekil 5.65 ile Şekil 5.67 arasında verilmiştir. Tablo 5.24 ile de değişimlerin sayısal değerleri bütün alt havzalar için sunulmuştur.

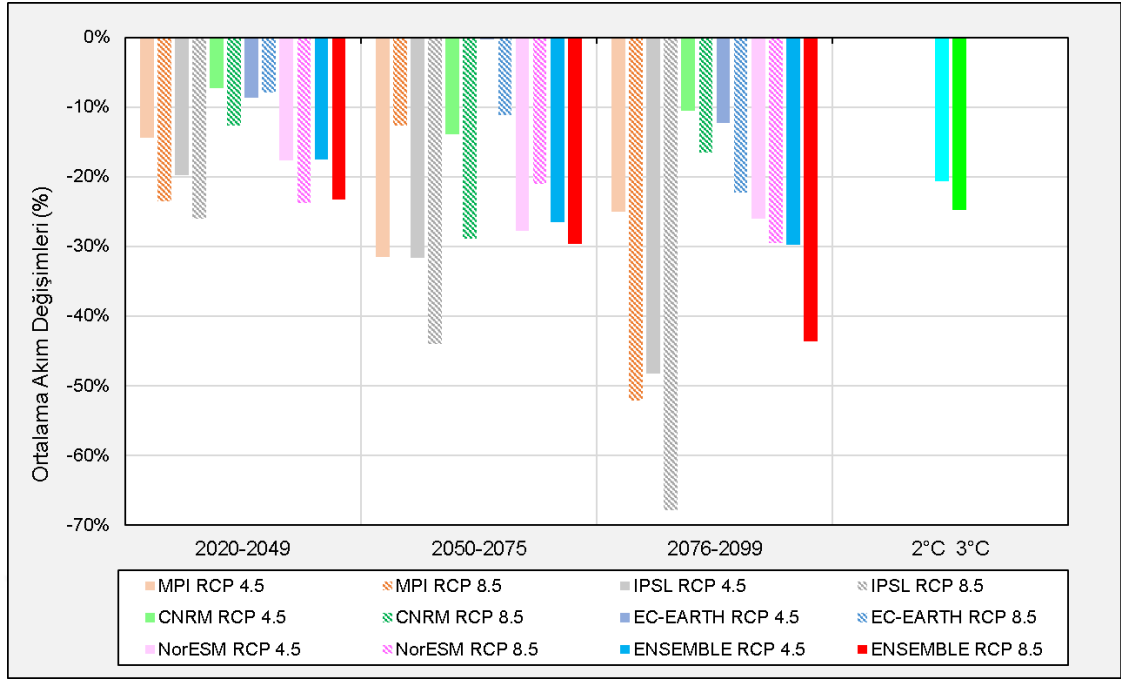
30'ar yıllık akım değişimleri incelendiğinde, ilk 30 yıllık dönem içerisinde mambadan mansaba doğru bütün alt havzalarda azalmaların giderek arttığı görülmektedir. 30'ar yıllık periyotların sonlarına doğru ise bu azalışların genel olarak artarak devam edebileceği beklenmektedir. Model sonuçları alt havzalar bazında kıyaslandığında, en dramatik azalmaların IPSL modelinin senaryolarına ait olduğu görülmektedir. Referansa göre akımlarda az da olsa artışın gerçekleşebileceğini belirten gösterge ise, EC-EARTH modelinin RCP 4.5 sonuçları olarak görülmektedir. 2 ve 3°C'lik sıcaklık artışlarında, referansa göre akımların azalması öngörülmektedir. Akımlardaki azalma oranlarının mansaba doğru artacağı belirlenmiştir.



Şekil 5.65. Çukurkışla alt havzası dönemlere göre akım değişimleri



Şekil 5.66. Himmetli alt havzası dönemlere göre akım değişimleri



Şekil 5.67. Gökdere alt havzası dönemlere göre akım değişimleri

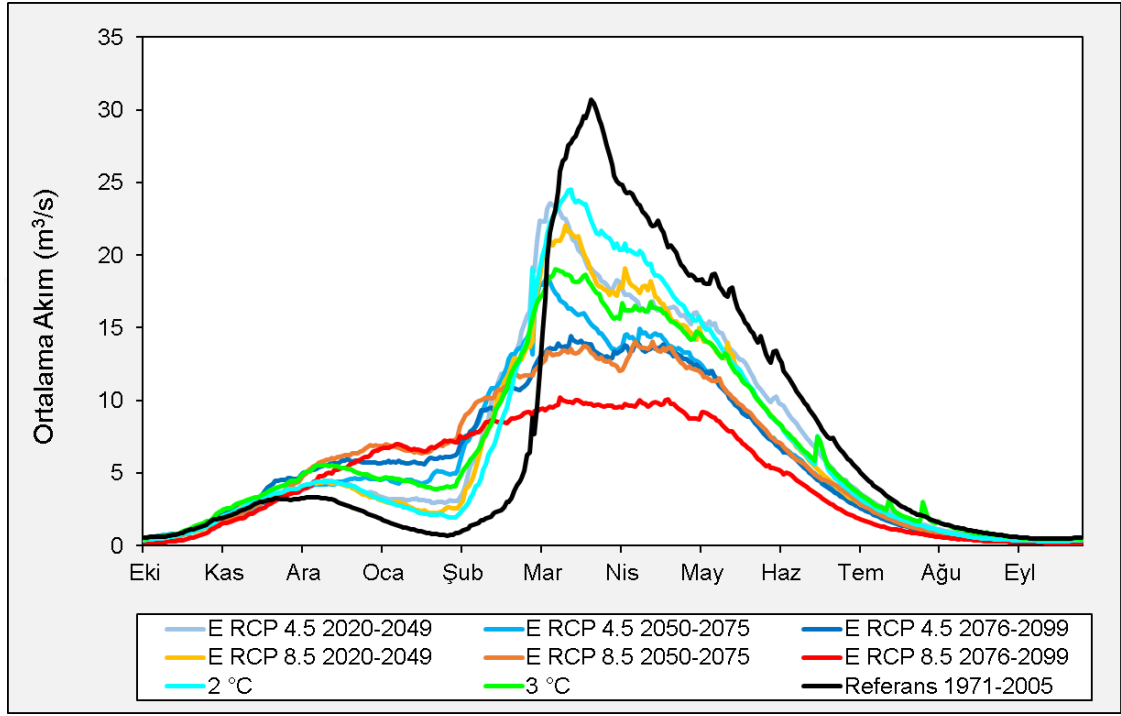
Tablo 5.24. Göksu Havzası alt havzalarına ait dönemlere göre akım değişimleri (%)

ÇUKURKIŞLA ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	-4.8	-15.7	-9.6	-19.1	-3.0	-4.8	0.5	-2.1	-11.1	-13.2	-6.7	-12.7
2050-2075	-25.0	1.5	-27.0	-41.8	-11.4	-24.4	5.1	-0.3	-21.3	-9.6	-18.5	-19.2
2076-2099	-14.6	-41.5	-45.1	-66.8	-4.5	-7.0	-1.4	-14.1	-18.2	-23.9	-20.7	-36.6
HİMMETLİ ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	-3.5	-16.0	-9.5	-17.7	0.1	-4.6	-0.5	-1.5	-7.3	-12.3	-5.0	-11.6
2050-2075	-24.1	-2.3	-27.8	-40.8	-7.1	-23.0	4.7	-2.1	-17.8	-5.2	-16.1	-17.5
2076-2099	-15.9	-46.9	-45.1	-65.1	-1.2	-10.0	-1.8	-13.8	-12.5	-16.2	-17.9	-34.3
GÖKDERE ALT HAVZASI												
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5	ENS-8.5
2020-2049	-14.4	-23.5	-19.7	-26.1	-7.3	-12.6	-8.6	-8.0	-17.7	-23.7	-17.5	-23.3
2050-2075	-31.5	-12.7	-31.6	-44.0	-13.9	-28.9	-0.2	-11.2	-27.8	-21.0	-26.6	-29.6
2076-2099	-25.0	-52.1	-48.3	-67.9	-10.6	-16.6	-12.3	-22.3	-26.0	-29.6	-29.7	-43.7

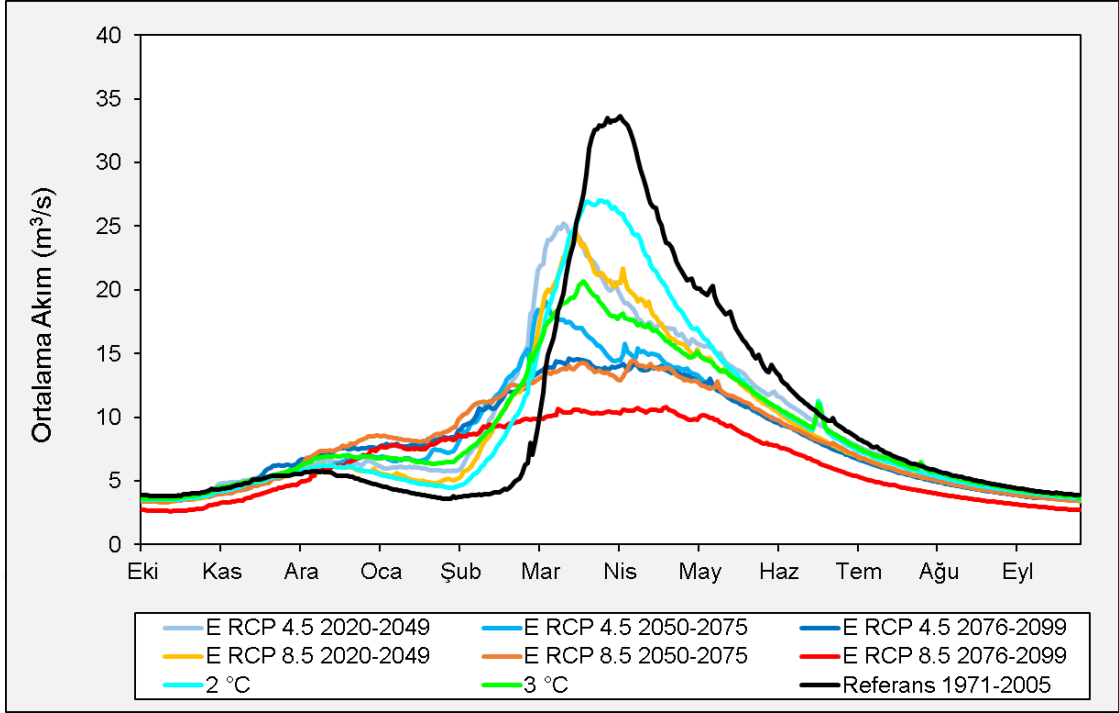
M: MPI, I: IPSL, C: CNRM, EC: EC-EARTH, N: NorESM, ENS: Ensemble

Modellerin senaryo ortalamalarına göre oluşturulan ve hidrolojik modelden sonuç olarak elde edilen ensemble akım değişimlerine alt havzalar bazında bakıldığında, Çukurkişla Alt Havzası'nda %6,7 ile %36,6 aralığında, Himmetli Alt Havzası'nda %5,0 ile %34,3 arasında ve Göksu Alt Havzası'nda ise %17,5 ile %43,7 aralığında azalmalar beklenmektedir.

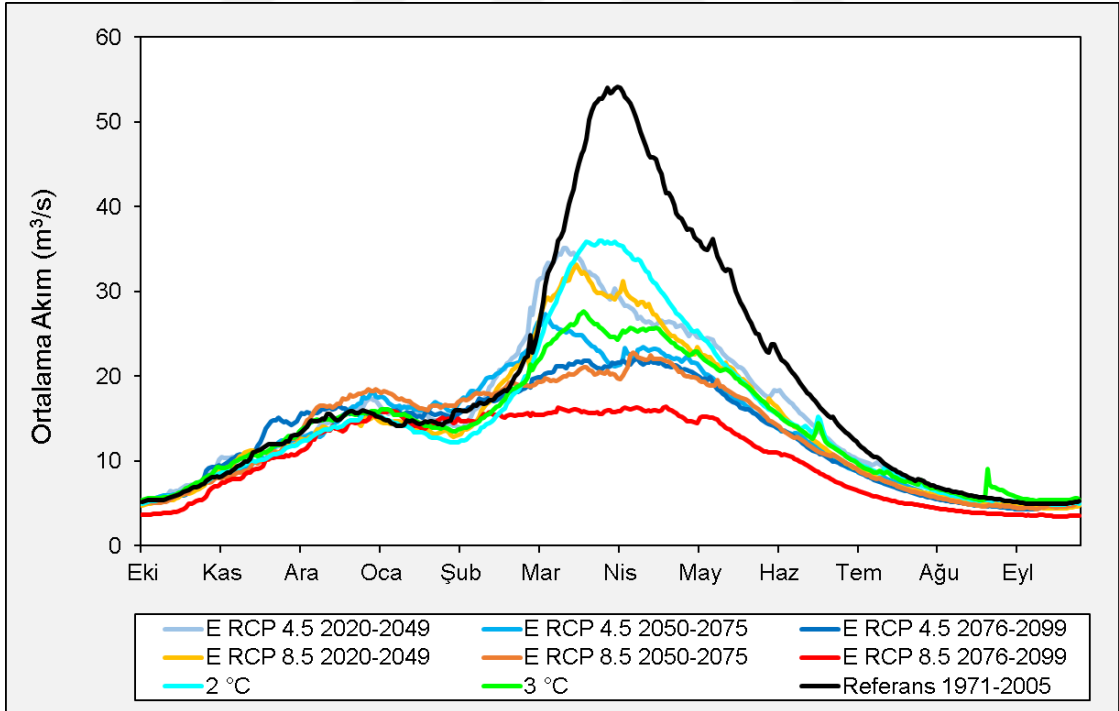
Göksu Havzası'nın alt havzaları ölçeğinde yapılan 30'ar yıllık akım değişimleri sonuçları ile birlikte, aynı dönemler çerçevesinde uzun yıllar günlük akımlardaki değişimler tespit edilmiştir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen çıktılar da dahil edilerek alt havzalar bazında analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen uzun yıllar günlük akımlardaki değişim grafikleri Şekil 5.68 ile Şekil 5.70 arasında verilmiştir.



Şekil 5.68. Çukurkışla alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük akım ortalamaları



Şekil 5.69. Himmetli alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük akım ortalamaları

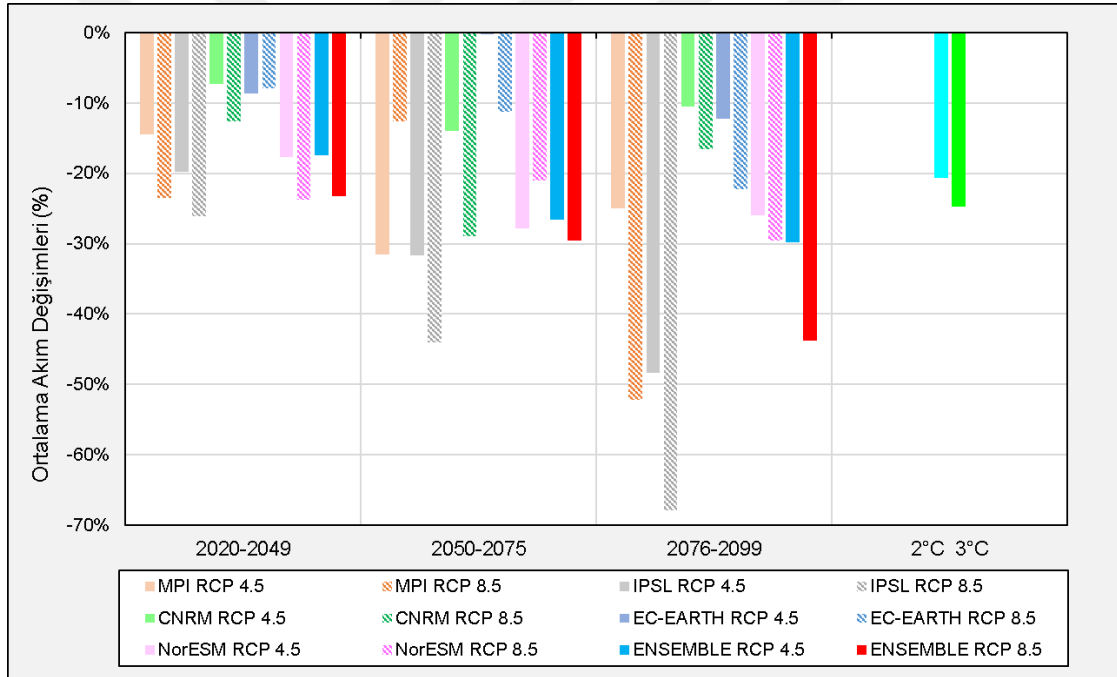


Şekil 5.70. Gökdere alt havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük akım ortalamaları

Göksu Havzası alt havzaları için elde edilen uzun yıllar günlük akım değişimleri incelendiğinde, sıcaklıklardaki artışların etkisi ile birlikte membadan mansaba doğru gidildikçe referansa göre azalmaların daha fazla olacağı öngörülmüştür. Her üç alt havzada da özellikle RCP 8.5 senaryosunun son dönemindeki akımlarda beklenen

azalmanın önemli derecelere varacağı ve akım karakterinin değişeceği öngörülmüştür. Grafiklerde genel olarak 2°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen ve pembe çizgilerle verilen akım yüzdelерinin, RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarının 2020-2049 periyodundaki senaryo sonuçları ile birlikte hareket ettiği görülmektedir. Yeşil çizgilerle verilen 3°C'lik sıcaklık değişim sonuçları ise, RCP 4.5 senaryosunun orta dönemi ile kesiştiği belirlenmiştir.

Alt havza bazlı değerlendirmelerin yanı sıra, Göksu Havzası geneli için akımlardaki değişim sonuçları belirlenmiştir. Havza genelinde model sonuçlarının referans döneme göre azalan bir eğilimde olacağı belirlenmiş ve 30'ar yıllık dönemlere göre değişim grafiği Şekil 5.71 ile verilmiştir. Elde edilen bu değişimlerin sayısal verileri ise Tablo 5.25 ile sunulmuştur.



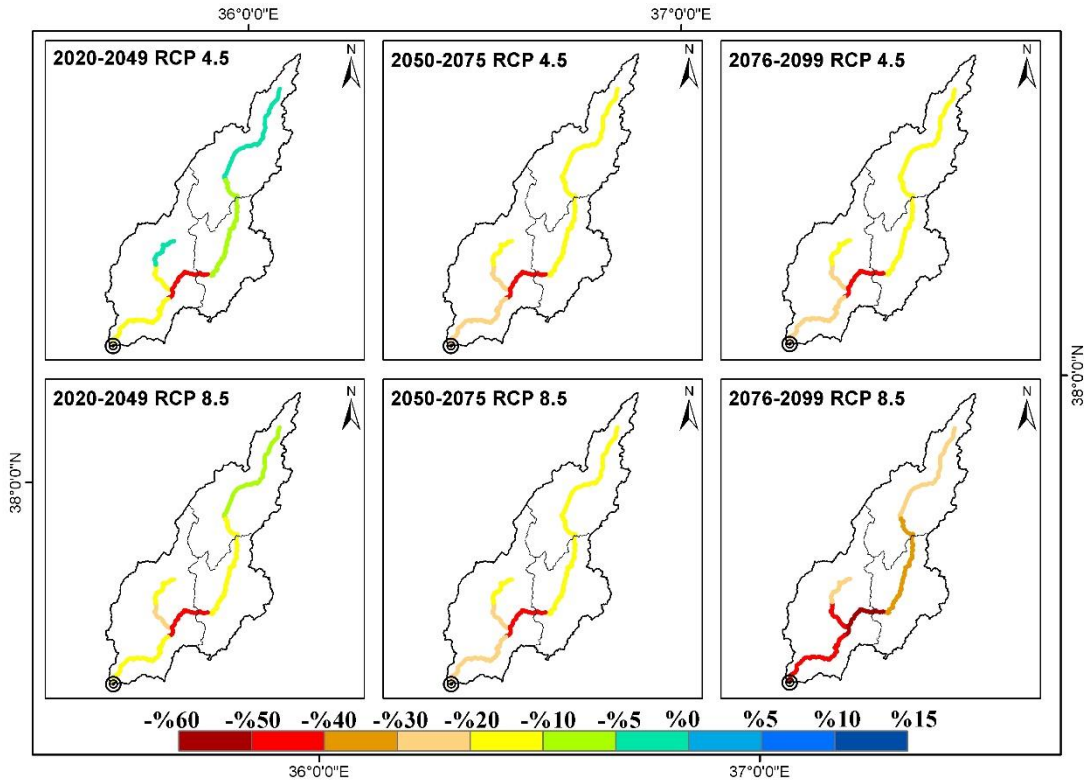
Şekil 5.71. Göksu Havzası dönemlere göre akım değişimleri

Tablo 5.25. Göksu Havzası'na ait dönemlere göre akım değişimleri (%)

GÖKSU HAVZASI											
Dönem	M-4.5	M-8.5	I-4.5	I-8.5	C-4.5	C-8.5	EC-4.5	EC-8.5	N-4.5	N-8.5	ENS-4.5
2020-2049	-9.5	-19.9	-14.9	-22.3	-4.4	-8.8	-4.5	-5.0	-13.5	-18.5	-11.8
2050-2075	-28.2	-7.0	-29.7	-42.7	-11.5	-26.3	2.2	-6.5	-23.8	-14.4	-22.0
2076-2099	-20.4	-48.5	-46.8	-66.9	-6.7	-12.8	-7.2	-18.3	-20.8	-24.8	-24.6

M: MPI, I: IPSL, C: CNRM, EC: EC-EARTH, N: NorESM, ENS: Ensemble

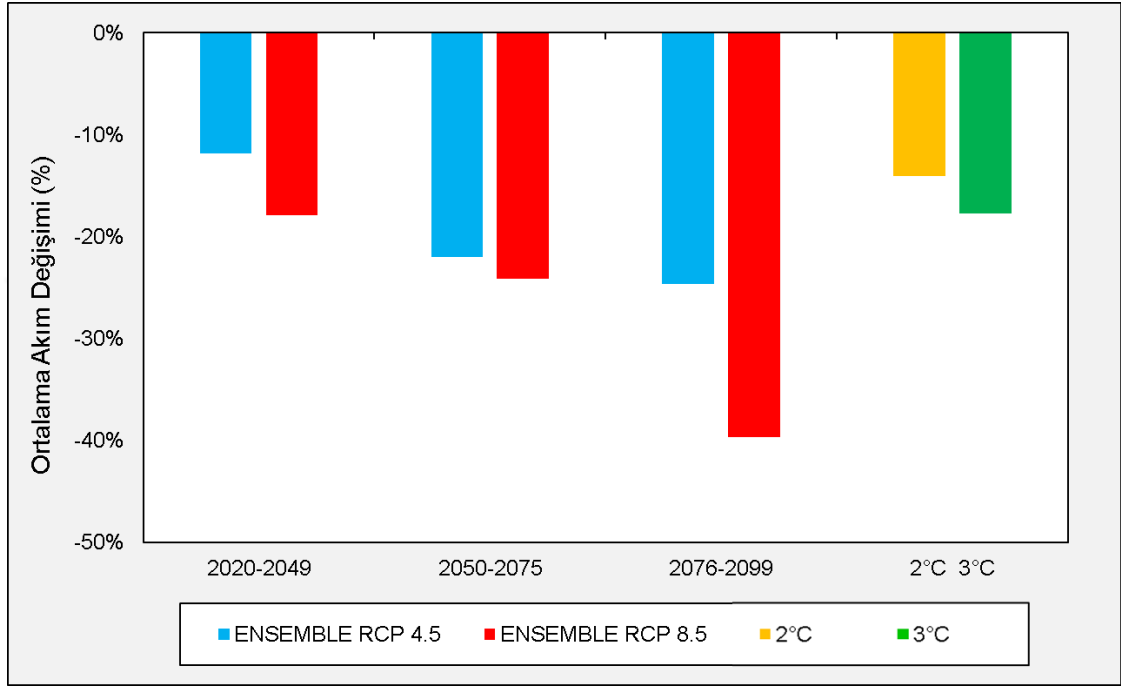
Gelecek dönemler için Göksu Havzası'ndaki akım değişimleri incelendiğinde, neredeyse bütün iklim modellerinin senaryoları ve ensemble sonuçlarda referansa göre azalmaların olacağı ve yıllar ilerledikçe bu azalmaların artarak devam edeceği belirlenmiştir. İklim modellerinin ensemble akım değişimlerine bakıldığında, Göksu Havzası'nda RCP 4.5 senaryosuna göre %11,8 ile %24,6 arasında azalmanın görüleceği, RCP 8.5 senaryosunda ise azalmanın %17,9 ile %39,6 aralığında beklendiği öngörülmüştür. Ensemble sonuçlarının senaryolar bazında alansal gösterimi ise Şekil 5.72 ile verilmiştir.



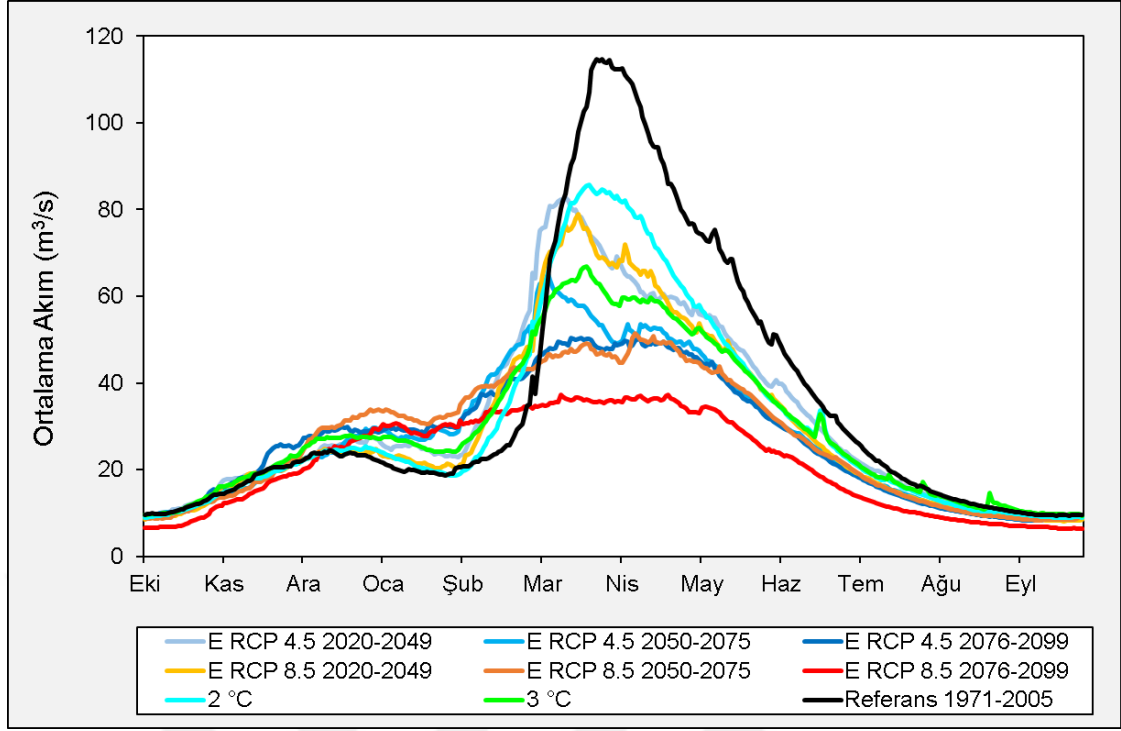
Şekil 5.72. Göksu Havzası dönemlere göre ensemble akım değişim haritası

Göksu Çayı ve en büyük yan kolu olan Asmaca Deresi için üzerindeki su yapılarına göre bölümlendirilerek oluşturulan akım değişimlerinin dönemlere ve senaryolara göre dağılım haritası hazırlanmıştır. Haritalara göre, membadan mansaba doğru gidildikçe akımlarda beklenen değişimlerdeki seviyenin negatif yönde daha baskın olabileceği tespit edilmiştir. Havzadaki akım değişimi bütün dönemlerde ve senaryolarda negatif hesaplanmış olup, en dramatik azalış mertebesi ise yaklaşık olarak %58 olarak belirlenmiştir.

Göksu Havzası için yapılan 30'ar yıllık akım anomali sonuçları ile birlikte, aynı dönemler ölçeğinde uzun yıllar günlük akımlardaki değişimler analiz edilmiştir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen debiler de dahil edilerek Göksu Havzası için nihai sonuçlar oluşturulmuştur. Ensemble olarak elde edilen özet akım anomali grafiği ve uzun yıllar günlük akımlardaki değişim grafiği Şekil 5.73 ve Şekil 5.74 ile sunulmuştur.



Şekil 5.73. Göksu Havzası dönemlere göre özet akım değişimleri



Şekil 5.74. Göksu Havzası dönemlere göre uzun yıllar günlük akım ortalamaları

Göksu Havzası geneli için elde edilen akımlardaki değişim sonuçları toparlanacak olursa, referans döneme göre yıl içinde beklenen ortalama pik akımların benzer günlerde ancak daha düşük seviyelerde oluşacağı belirlenmiştir. Referans dönemde uzun yıllar ortalama olarak 25 Mart tarihinde gözlenen pik akımların, 11 Mart tarihine kadar (yaklaşık 2 hafta) erkene çekileceği tespit edilmiştir. 2020-2049 dönemi senaryo sonuçları ile 2°C'lik değişime göre elde edilen akımlardaki pik değerler, birbirlerine yakın mertebelerde sonuçlar üretmiştir. Benzer şekilde 3°C'lik sıcaklık artışından elde edilen akımlardaki beklenen pikler, RCP 4.5 senaryosunun 2050-2075 yılları arası sonuçlar ile benzerlik göstermiştir. 2050-2075 periyodu RCP 8.5 senaryosu ile 2076-2099 dönemi RCP 4.5 senaryo sonuçları birbirine oldukça yakın değerler üretmiş olup akımlardaki pik davranışının değiştiği gözlenmiştir. Özellikle RCP 8.5 senaryosunun 2076-2099 yılları arasındaki dönemde referansa göre akım karakterizasyonu, kar erimelerinin akımlar üzerindeki etkisinin azalması ve bu sebeple de pik debilerin oluşmaması sebebiyle oldukça değişmiş ve akım seviyelerinin etkili oranlarda azalacağı tespit edilmiştir. Bununla birlikte havzadaki akımlarda beklenen 30 yıllık periyot için en büyük azalma miktarı, yaklaşık %40'lık değişim ile 2076-2099 arası dönemdeki RCP 8.5 senaryo sonuçları olmuştur.

5.3. Baraj İşletme Çalışması Sonuçları

Baraj işletme çalışması kapsamında, mevcut dönem (1971-2017) verileriyle kurgulanan model, gözlenmiş verilerle doğrulanmıştır. İklim değişikliği etkileri ile birlikte gelecekte havzalardaki su yapılarında beklenen değişimler, WEAP modeli sonuçlarıyla değerlendirilmiştir. Çalışmada projeksiyon dönemi 2020-2099 yılları arası olup, havzalarda bulunan nehir tipi ve depolamalı HES'lerin hidroelektrik üretim potansiyellerindeki miktarsal değişimlerini gösteren projeksiyonlar 30 ve 25 yıllık periyotlarla aylık ve yıllık olarak elde edilmiştir. Projeksiyon sonuçlarının elde edilmesi kapsamında yapılacak olan WEAP modelleme çalışmalarından önce, gelecek dönem çıktılarıyla karşılaştırılacak olan referans dönem sonuçlarını almak gerekmektedir. Bu nedenle, iklim modellerinin 1971-2005 yılları arası referans dönemi hidrolojik modelleme sonuçları da WEAP modeline girdi olarak kullanılıp çalıştırılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Referans ve gelecek dönem WEAP modeli çıktılarından elde edilen her bir santral için hidroelektrik üretim simülasyonları, iklim modellerinin kendi içlerinde birbirleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak Peterek ve Göksu Havzaları'nda öngörülen hidroelektrik üretim değişimleri bu yaklaşımla belirlenmiştir. Bununla birlikte, havzalarda işletmede olan baraj göllerindeki gelecek dönem hacim değişimleri incelenmiştir. Ayrıca, havzaların membalarında yer alan ve mevcut durumda işletmede olan nehir tipi tesisler için de debi süreklilik eğrisi (DSE) analizi yapılmıştır.

Gelecek dönem çalışmaları yapılırken, modelin kurgusunda kullanılan girdi dosyalarına göre dört farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolara göre model ayrı ayrı çalıştırılmış ve gelecek dönemlerde beklenen değişimler, dört farklı senaryo sonuçlarına göre değerlendirilmiş ve havzalar bazında elde edilen bulgular, aşağıdaki bölümlerde detaylandırılmıştır.

Çalışma havzalarında bulunan depolamalı, nehir tipi HES'lerin ve sulama yapan barajların 1971-2017 yıllarını kapsayan mevcut dönem periyodundaki WEAP modeli çalışması bu bölümde sunulmuştur. Modelin kurgusu yapılırken öncelikle bütün tesisler konumlarına göre yerleştirilmiş ve bütün depolamalı ve depolamasız su yapılarının fiziksel özellikleri modele tanıtılmıştır. Tesislere giren akımlar, membadan gelen ve tesisler arası ara havzadan gelen akımlar olarak mevcut dönem için hesaplanmıştır. Bu değerler modele çizilen nehirlere, ayrı ayrı bütün su yapılarına giren akımlar olarak verilmiştir.

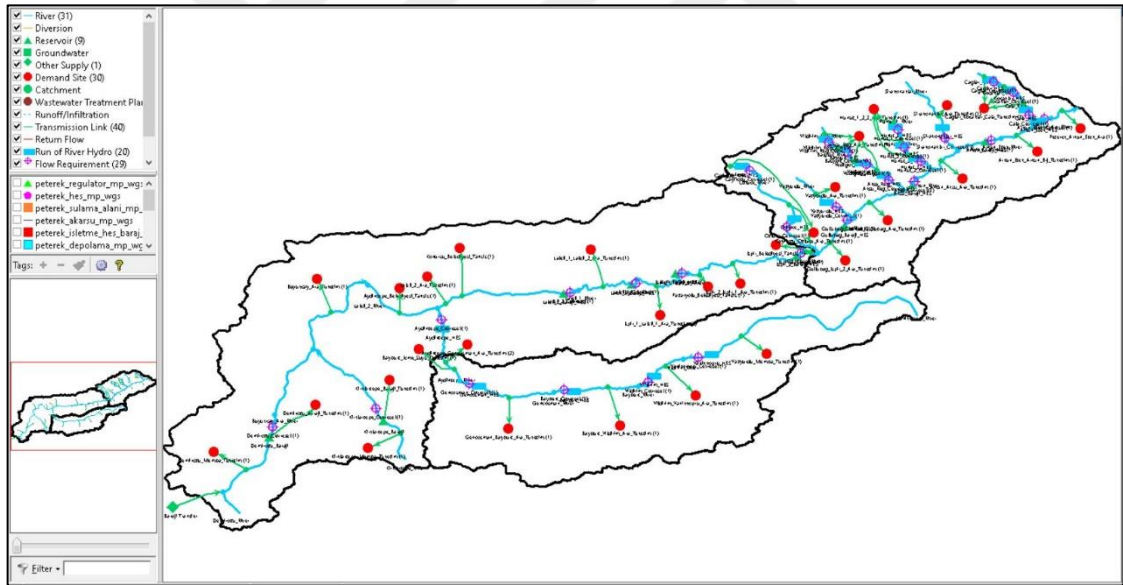
Kaynakların modele işlenmesinin ardından havzalardaki konumlarına göre su talepleri de modele tanımlanmıştır. Bu noktada Peterek Havzası için havzayı oluşturan Çoruh Nehri ve bu çayın en büyük kolu olan Büyükçay membasındaki tarımsal net su tüketimleri modele girilmiştir. Ayrıca Kaçkar Dağları'nın Çoruh Havzası'na bakan yüzeyinden toplanan ve üzerlerinde HES'lerin bulunduğu 6 farklı dere (Çapans Deresi, Tiknasur Deresi, Aksu Çayı, Çamlıkaya Deresi, Sırakonaklar Deresi ve Cala Deresi) de modele tanımlanmıştır. Benzer şekilde, her bir HES arasındaki tarımsal net kullanım değerleri modele talepler olarak işlenmiş ve nehirlerden bağlantılar sağlanmıştır. Havzadaki içme ve kullanma suyu talepleri, her ne kadar su bütçesini etkileyecek seviyede olmasa da 5 farklı yüzeysel su noktasından belediyelerin ihtiyaç duyduğu talepler modele işlenmiştir. Göksu Havzası için ise, havzayı oluşturan Göksu Çayı ve bu çayın en büyük kolu olan Asmaca Çayı membalarındaki tarımsal net su tüketimleri modele girilmiştir. Benzer şekilde, her bir HES arasındaki tarımsal net kullanım değerleri modele talepler olarak işlenmiş ve nehirlerden bağlantılar sağlanmıştır. Ayrıca Göksu Havzası'nın membasında bulunan Tufanbeyli Termik Santrali'nin su kullanımı için su talep noktası oluşturulmuştur.

Modelin kurgusunda bir diğer önemli husus, çevresel akış ihtiyaçlarının modele işlenmesidir. Bu aşamada Göksu Havzası'nda bulunan topuk santralli tesislerin (Gökkaya HES, Sarıtepe Regülatörü ve HES, Feke-2 Barajı ve HES, Menge Barajı ve HES, Kuşaklı HES, Köprü Barajı ve HES) tipi gereği çevrenin ihtiyaç duyduğu akış karşılanabildiğinden dolayı, bu tesisler hariç her iki havzada bulunan bütün depolamalı ve depolamasız su yapılarının çıkışlarına çevresel akış ihtiyaç noktaları tanımlanmıştır.

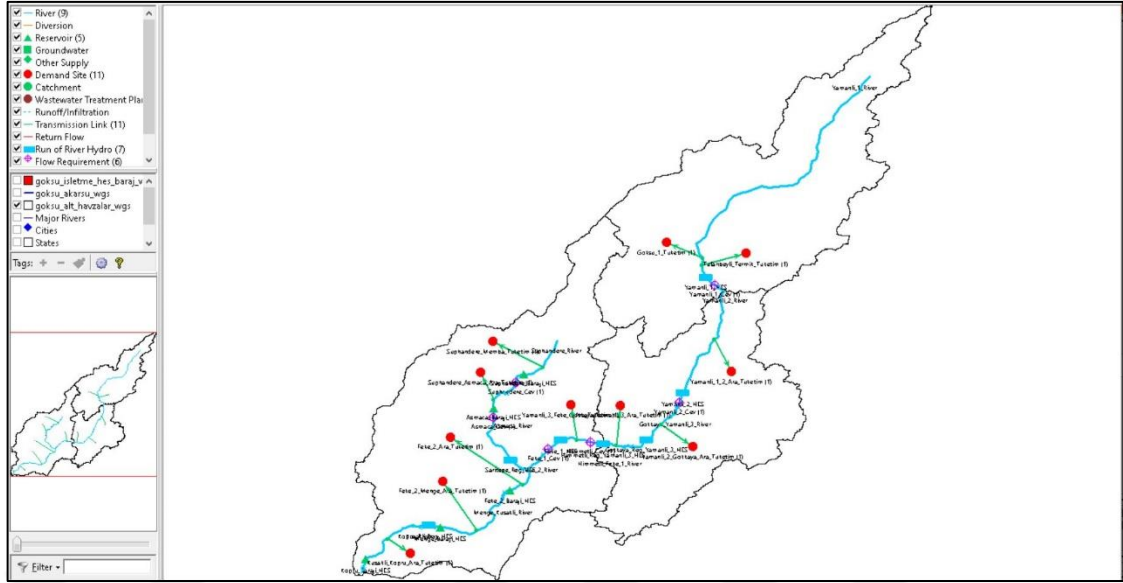
Mevcut dönem WEAP modelini havzalarda oluştururken son olarak modeldeki temin-talep bağlantıları için önceliklendirmeler girilmiştir. İçme ve kullanma suyu talepleri ile çevresel akış ihtiyaçları en öncelikli tahsis sırasında tanımlanırken hidroelektrik üretimler ise ikinci sırada önceliklendirilmiştir. Tarımsal su ihtiyaçları ile termik santral su kullanımı, depolamalı ve depolamasız tesislerden bağımsız olarak nehirlerden derive edilerek tahsis edildiği için öncelik sırası 1 olarak modelde tanımlanmıştır. Bütün bu model kurgusu ile WEAP modeli mevcut dönem periyodu için aylık olarak çalıştırılmıştır. Modelin çalıştırılması sürecinde ise, hazırlanan kurgunun mevcut dönemde doğruluğunun saptanması için gerçek zamanlı hidroelektrik üretim verileri kullanılmıştır. Her bir tesis için ayrı ayrı modelin çıktılarından elde edilen

hidroelektrik üretim simülasyonları, EPIAŞ'ın sunduğu gerçek zamanlı üretim değerleriyle (EPIAŞ, 2022) karşılaştırılmıştır. EPIAŞ'ın HES bazında yayınladığı gerçek zamanlı üretimler, saatlik veriler olup çalışma kapsamında bu veriler aylık toplam üretim verilerine dönüştürülmüştür.

Modelleme çalışmasının başarısı, hidrolojik modelleme çalışmasında olduğu gibi NSE başarı ölçütü kullanılarak değerlendirilmiştir. İşletmede olan tesisler, gerçek zamanlı üretim verileri ile kıyaslanmış ve bu tesislere ait çalışma kapasitesi ve verim yüzdeleri karşılaştırma sonuçlarına göre belirlenmiştir. Planlama aşamasında olan su yapılarında ise enerji üretim verimleri ve çalışma kapasitesi yüzdeleri, gerçek zamanlı üretimlerle kıyaslanamayacağı için her iki havzada ortak olarak %75 değeri belirlenerek üretim simülasyonları yapılmıştır. Peterek Havzası için kurulan WEAP modelinin arayüzü Şekil 5.75 ile verilirken, Göksu Havzası için kurgulanan WEAP modelinin görseli Şekil 5.76 ile sunulmuştur.



Şekil 5.75. Peterek Havzası'nda kurulan WEAP modeli



Şekil 5.76. Göksu Havzası'nda kurulan WEAP modeli

5.3.1. Mevcut dönem sonuçları

5.3.1.1. Peterek havzası

Peterek Havzası'nda işletmede bulunan toplamda 10 adet HES, 2014 su yılından itibaren işletmeye açılmıştır. Bu sebeple, simülasyonlar ile gerçek zamanlı üretimlerin karşılaştırması 2014-2017 su yılları arasını kapsamaktadır. Gerçek üretimler ile model simülasyonlarının kıyasında, NSE performans ölçütü kullanılmıştır. 10 adet HES için yapılan kıyaslamalara ait NSE değerleri Tablo 5.26 ile sunulmuştur.

Tablo 5.26. Peterek Havzası'ndaki HES'lerin model simülasyonları ile gerçek hidroelektrik üretimlerinin karşılaştırma sonuçları (2014-2017)

HES	NSE	Çalışma Kapasitesi (%)	Verim (%)
Yanıkköprü HES	0,86	80	80
Yıldırım HES	0,94	85	85
Bayburt HES	0,94	85	85
Güllübağ Barajı ve HES	0,85	80	80
Özlüce HES	0,80	85	85
Yazyurdu HES	0,68	90	90
Aksu Regülatörü ve HES	0,71	85	85
Yedigöl HES	0,69	85	85
Sırakonaklar HES	0,28	60	60
Arkun Barajı ve HES	0,24	80	80
İşletmedeki Bütün HES'ler	0,69	-	-

Tablodaki sonuçlar incelendiğinde, işletmedeki birçok HES için elde edilen model simülasyonlarının gerçek üretimlere yakın olduğu belirlenmiştir. Membadan mansaba doğru başarının düşeceği beklenmekte ve buna paralel olarak NSE değeri en düşük olan tesis, en mansaptaki Arkun Barajı ve HES için hesaplanmıştır. Bununla birlikte, Arkun Barajı ve HES Peterek Havzası'nda üretilen toplam hidroelektrik enerjinin yaklaşık %30'unu tek başına karşılayabilen ve havzadaki en büyük depolama hacmine sahip su yapısıdır.

Mevcut dönem çalışmalarında model simülasyonlarını gerçek değerlere yaklaştırmak için, HES'lerin çalışma kapasiteleri ve verimleri ile oynanarak model tekrar çalıştırılmıştır. Bu sayede modelin gerçek verilerle doğruluğu yapılmıştır. Mevcut dönemde sonuç olarak elde edilen HES'lerin çalışma kapasiteleri ve verim yüzdeleri de Tablo 5.26 ile gösterilmiştir. Santraller bazında elde edilen NSE değerleri, modelin kurgusunun doğruya yakın olduğunu göstermektedir. Bu durum ayrıca, modelden elde edilecek gelecek dönem simülasyonlarının güvenilirliğini de artırmaktadır.

5.3.1.2. Göksu havzası

Göksu Havzası'nda işletmede bulunan toplamda 9 adet HES, 2014 su yılından itibaren işletmeye açılmıştır. Bu sebeple, simülasyonlar ile gerçek zamanlı üretimlerin karşılaştırması 2014-2017 su yılları arasını kapsamaktadır. Gerçek üretimler ile model simülasyonlarının kıyasında, NSE performans ölçütü kullanılmıştır. 9 adet HES için yapılan kıyaslamalara ait NSE değerleri Tablo 5.27 ile verilmiştir.

Tablo 5.27. Göksu Havzası'ndaki HES'lerin model simülasyonları ile gerçek hidroelektrik üretimlerinin karşılaştırma sonuçları (2014-2017)

HES	NSE	Çalışma Kapasitesi (%)	Verim (%)
Yamanlı-2 HES	0,74	82	82
Gökkaya HES	0,87	90	90
Himmetli HES	0,79	78	78
Feke-1 HES	0,83	92	92
Sarıtepe HES	0,69	65	65
Feke-2 Barajı ve HES	0,81	85	85
Menge Barajı ve HES	0,71	78	78
Kuşaklı HES	0,68	75	75
Köprü Barajı ve HES	0,64	80	80
İşletmedeki Bütün HES'ler	0,82	-	-

Tablodaki sonuçlar incelendiğinde, model simülasyonlarının gerçek üretimlere oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Membadan mansaba doğru başarının düşeceği beklenmekte ve buna paralel olarak NSE değeri en düşük olan tesis, en mansaptaki Köprü Barajı ve HES için hesaplanmıştır. Bununla birlikte, Köprü Barajı ve HES Göksu Havzası'nda üretilen toplam hidroelektrik enerjinin yaklaşık %20'sini tek başına karşılayabilen ve havzadaki en büyük depolama hacmine sahip su yapısıdır.

Bölüm 5.3.1.1 kapsamında detaylı olarak belirtildiği gibi, Göksu Havzası'ndaki işletmede olan HES'ler üzerinde de model-üretim değerleri kıyası yapılarak tesislerin çalışma kapasiteleri ve verim yüzdeleri belirlenmiştir.

5.3.2. Gelecek dönem sonuçları

Bu bölümde, çalışma kapsamında yer alan 5 küresel iklim modelinin RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları ve GWL senaryoları ile çalıştırılan hidrolojik modelin akım çıktılarına göre simüle edilen WEAP modeli sonuçları, işletme senaryolarına göre Peterek ve Göksu Havzaları bazında oluşturulmuştur.

5.3.2.1. WEAP modelinde kullanılan işletme senaryoları

Bu çalışmada uygulama havzaları için kurgulanan WEAP modeli, dört farklı senaryo ile çalıştırılmıştır. Belirtilen senaryolardan birincisi (Senaryo-1), havzalardaki mevcut durumun korunduğu ancak iklim değişikliği etkilerine göre bütün su yapılarına giren akımların değişmesi ile oluşturulan senaryodur. İkinci senaryo (Senaryo-2), iklim değişikliği etkilerinin olduğu ve su tüketimlerinin kademeli olarak artacağı senaryodur. Bu senaryo kapsamında havzadaki sektörlerin, su kullanımlarının ve planlanan tesislerin durumları göz önüne alınarak strateji geliştirilmiştir. Her iki havzada yerüstü suyunu kullanan ortak sektör tarımdır. Tarımsal sulama, DSI'ye, sulama birliklerine ve halk sulamalarına ait sulamalar ile havzalarda faaliyet göstermektedir. Peterek Havzası özelinde belirtilen su tüketimlerindeki artış durumu; henüz işletme aşamasında olmayan ancak inşaat, proje, planlama ve ön inceleme aşamasında olan sulama alanlarının 30'ar yıllık dönemlere göre kademeli olarak işletmeye alınması ve havzadaki nüfus artışına bağlı olarak yerüstü suyunun kaynak olarak kullanıldığı içme ve kullanma suyu ihtiyaçlarındaki artışlar olarak planlanmıştır. 2020-2049 döneminde inşaat ve proje aşamasında olan sulamaların işletmeye açılacağı, 2050-2075 döneminde planlama aşamasında olan sulamaların işletmeye açılacağı, 2076-2099 periyodunda ise ön inceleme ve master plan aşamasında olan sulamaların havzada işletmeye açılacağı planlanmıştır.

İçme ve kullanma suyu ihtiyaçlarında ise; havzadaki kentsel nüfusun az olması nedeniyle yıllık olarak %1 oranında su kullanımında artış olabileceği planlanmıştır. Böylece iklim değişikliği etkileri ile beraber havzadaki tarımsal sulama ile içme ve kullanma suyu ihtiyacının kademeli olarak artacağı ikinci senaryo, Peterek Havzası için belirlenmiştir. Göksu Havzası'nda ise, mutasavver (işletme aşamasına geçmemiş) durumda bulunan sulama tesisi sınırlı olup Peterek Havzası'ndaki kadar etkin değildir. Bu nedenle tarımsal sulama için Göksu Havzası'nda uygulanan Senaryo-2 yaklaşımı Peterek Havzası'ndan farklıdır. Göksu Havzası'nda 2020-2049 döneminde DSI'ye ait sulama alanlarının %100 sulanacağı, sulama birlikleri ve halk sulama alanlarının %70 sulanacağı belirlenmiştir. 2050-2075 periyodunda DSI'ye ait sulama alanları ile birlikte sulama birliklerine ait sulama alanlarının da %100 sulanacağı ve halk sulama alanlarının değişmeyerek %70 sulanacağı planlanmıştır. 2076-2099 döneminde ise Göksu Havzası'ndaki bütün sulama alanlarının %100 sulanacağı düşünülmüştür. Havzanın membasında bulunan termik santralin projeksiyon yıllarındaki su ihtiyaçlarında ise, her yıl bir önceki yılın %1'i oranında artacak şekilde kabul edilmiş ve modelleme çalışmalarında bu hesaplar kullanılmıştır. Böylece iklim değişikliği etkileri ile beraber havzadaki tarımsal sulama ile termik santral su kullanımlarının kademeli olarak artacağı ikinci senaryo, Göksu Havzası için belirlenmiştir. Gelecek dönem sonuçları için belirlenen üçüncü senaryo (Senaryo-3), iklim değişikliği etkilerinin olduğu ve havzalardaki bütün santrallerde dönemlere göre kademeli olarak tesislerin çalışma kapasitesi ve verimlerinin artması senaryosudur. 30'ar yıllık dönemler için her dönemde bir önceki döneme göre tesislerin çalışma kapasitesi ve verimlerinin %5 artacağı hedeflenmiştir. Mevcut dönemde işletmede olan santrallerin gerçek üretimler ile kıyası sonucu elde edilen çalışma kapasitesi ve verimlere göre %5'lik artışlar dönemlere göre gerçekleştirilmiştir. Mevcut dönemde işletmede olmayan, planlama aşamasındaki tesisler için %75 çalışma kapasitesi ve verim baz alınarak gelecek dönemlerin uygulaması yapılmıştır. Dördüncü ve son senaryo ise (Senaryo-4), belirtilen üç senaryonun birleşiminden oluşmaktadır.

Daha önce iklim modellerinin çıktıları ile çalıştırılan HBV-Light modelinin akım projeksiyonları, çalışmanın bu kısmında WEAP modeline girdi olarak verilmiştir. Yukarıda anlatıldığı gibi senaryo temelli olarak Peterek ve Göksu Havzaları'ndaki santraller için WEAP modelinden hidroelektrik üretim simülasyon sonuçları elde edilmiştir. Üretilen projeksiyonlar 5 iklim modelinin 1971-2005 referans periyodu ile karşılaştırılmış olup, 30 yıllık değişimleri incelenmiştir. Bununla birlikte 5 iklim

modelinin senaryolarına göre ortalamaları alınarak ensemble değişimler belirlenmiştir. Ayrıca GWL ile havzadaki 30 yıllık dönem için belirlenen 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre gelecek dönemde öngörülen sonuçlar belirlenmiş olup referans dönem model ortalamalarına göre değişimler elde edilmiştir. Buna göre havzalardaki toplam hidroelektrik üretimleri için 30 yıllık dönemlere göre elde edilen projeksiyonlardan referans döneminin farkı alınmış ve anomaliler hesaplanmıştır. Bununla birlikte havzalarda mevcut durumda işletmede olan baraj göllerindeki gelecek dönem hacim değişimleri incelenmiştir.

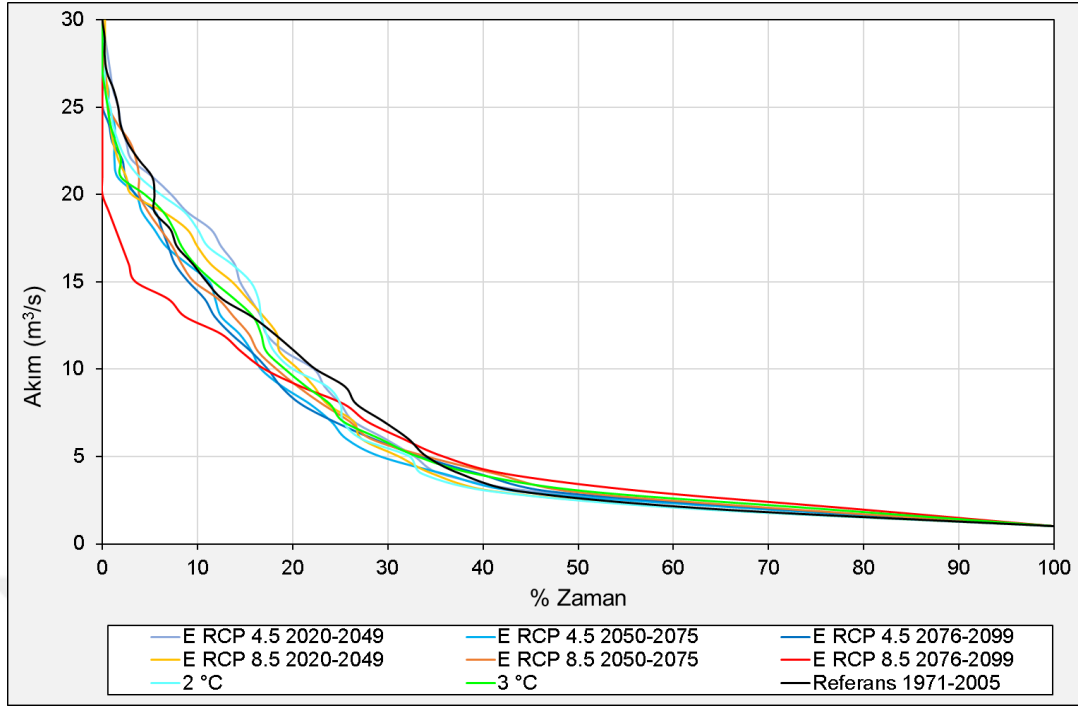
Elektrik Enerjisi Karşılanan Kişi Sayısı Değişimi

Bu bölümde gelecek dönemlerde öngörülen enerji potansiyelindeki değişimlerin, havzalarda enerjiyi kullanan kişi sayılarındaki durumları değerlendirilmiştir. Bu çalışma yapılırken, havzalarda işletmede olan HES'lerin yıllık ortalama gerçek üretim değerleri bulunmuştur. TÜİK veri tabanından kişi başına düşen ortalama elektrik tüketimi değerleri ile yıllık ortalama üretilen enerji değerlerinin çarpımı ile toplamda havzalardaki santrallerin üretimi ile kaç kişinin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabildiği bilgisi elde edilmiştir. Bu yöntem baz alınarak, gelecek dönemlerde beklenen kişi sayısındaki değişimler, WEAP modelinden elde edilen sonuçlara göre değerlendirilmiştir.

5.3.2.2. Peterek havzası

Debi Süreklilik Eğrisi Değişimleri

Bu çalışmada iklim değişikliği etkilerine göre zamanın yüzdesine karşılık gelen akışın, referansa göre değişiminin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda da Peterek Havzası'nın en membasında bulunan ve depolamasız HES olan Yanıkköprü HES'in giriş akımları için DSE analizi yapılmıştır. Yanıkköprü HES'in havzanın yüksek kotlarında konumlanması ve diğer biriktirmesiz HES'lere göre daha az müdahaleli akımlara sahip olması sebebiyle bu çalışma için seçilmiştir. Yanıkköprü HES'i besleyen akımlar için oluşturulan debi süreklilik eğrisi Şekil 5.77 ile verilmiştir. Şekilde mavi renkler RCP 4.5, kırmızı renkler RCP 8.5 ve açık mavi-yeşil renkler ise küresel iklim hedefine göre oluşturulan sıcaklık senaryolarını temsil etmektedir. Grafiklerdeki renk tonları 30 yıllık periyotların son dönemlerine doğru koyulaşmaktadır.



Şekil 5.77. Debi süreklilik eğrisi değişimleri (Yanıköprü HES)

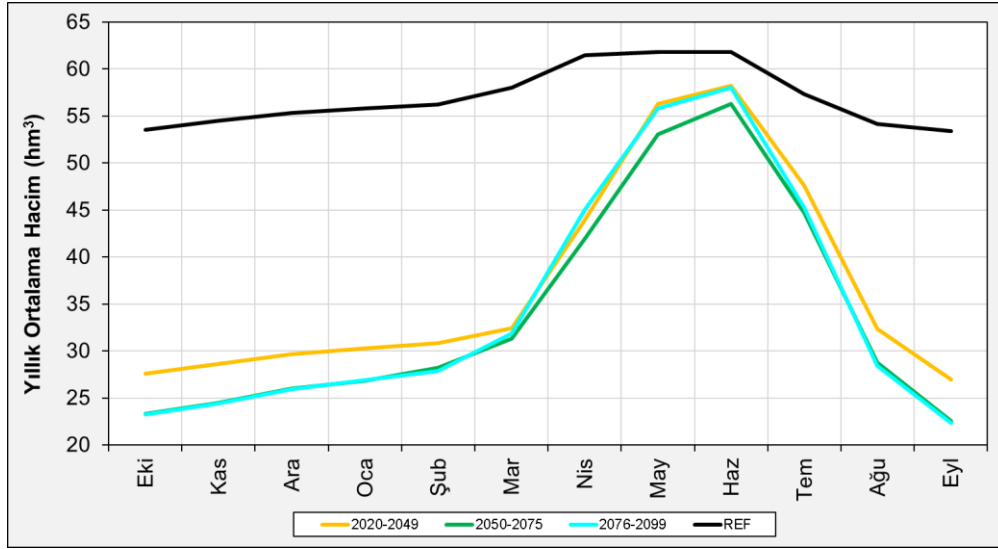
İklim modellerinin ensemble ortalamaları ile 2-3°C'lik sıcaklık artış durumlarına göre oluşturulan ve 30'ar yıllık dönemler halinde verilen grafikte, zamanın farklı yüzdelerinde oluşan gelecek dönem akışların referans değere kıyasla değişim gösterdiği belirlenmiştir. Akımlardaki referansa göre farklılıklar zamanın %50'sinden sonra azalmakta ve akımlar birlikte hareket etmektedir. Referansa göre değişimler özellikle Q_{30} 'a kadar belirgin bir şekilde görülmektedir. Pik akımların gözlemlendiği Q_5 'e bakıldığında, gelecek dönem akımların referansa göre beklenildiği üzere daha düşük değerlere sahip olacağı belirlenmiştir. Genellikle akımların referans değere yakın hareket ettiği gözlenirse de özellikle RCP 8.5 senaryosunun son döneminde pik akımlardaki azalma durumu, DSE'ye de yansımıştır. 2020-2049 periyodunun her iki senaryosu ve 2 derecelik sıcaklık artış senaryosunda, referansa göre Q_{10} akımlarında artışların olacağı hesaplanmıştır. Zamanın %20'si ve %30'undaki bütün akımların, referansa göre azalacağı belirlenmiştir. Sonuç olarak Yanıköprü HES için gelecekte beklenen hidroelektrik üretim değişimlerindeki azalmalar, DSE'nin bir fonksiyonu olarak yansıtılmıştır.

Rezervuar Hacim Değişimleri

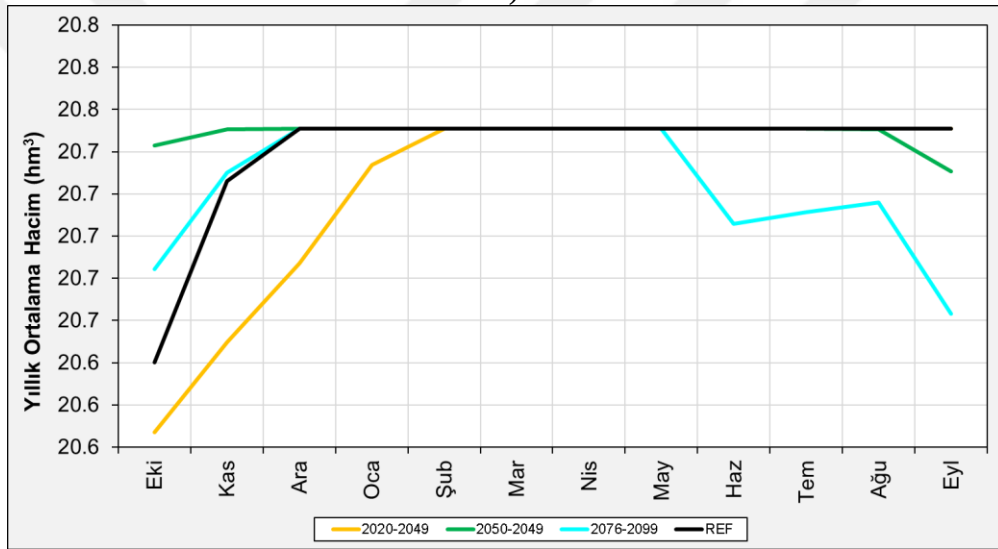
İklim değişikliği havzalardaki su kaynakları sistemini ve hidrolojik döngüyü etkilemektedir. Çalışmanın bu aşamasına kadar değişmesi muhtemel iklim koşullarının

meteorolojik ve hidrolojik süreçleri gelecekte ne yönde etkileyebileceğinden söz edilmiştir. Aynı zamanda bu etkilerin hidroelektrik enerji üretimi üzerindeki durumu bu bölümde verilmiştir. Çalışmanın bu kısmında ise, Peterek Havzası'nda mevcut durumda işletmede olan barajlar özelinde iklim değişikliği etkileri ve gelecekte memba su tüketimlerinin getirebileceği uzun yıllar ortalama hacimsel baskılar incelenmiştir. Belirtilen barajlardan birincisi havzanın membasında bulunan ve sulama amaçlı olarak işletilen Demirözü Barajı'dır. Diğer barajlar ise, Çoruh Vadisi boyunca sıralı olarak yer alan ve sadece hidroelektrik üretim amaçlı işletilen Güllübağ Barajı ve havza genelinde en büyük depolama hacmine sahip olan Arkun Barajı'dır. Gelecek dönemler için uzun yıllar aylık ortalama hacim değerleri elde edilen bu barajlarda, iklim değişikliği etkilerinin beklendiği senaryo-1 ve iklim değişikliği etkileri ile birlikte su ihtiyaçlarında kademeli artışların olacağı senaryo-2 üzerinden çalışmalar yapılmıştır. Önceki kısımlarda verilen sonuçlara benzer şekilde 5 iklim modelinin referans ile RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarının ayrı ayrı çalışılması ile sonuçlar belirlenmiştir. Bu değerlerin ortalamalarının alınması ile ensemble sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte baraj işletme çalışmaları kapsamında senaryo olarak değerlendirilen yaklaşımlardan, baraj göllerindeki hacimleri etkileyebileceği hesap edilen senaryo 1 ve senaryo 2 sonuçları bu çalışmada ele alınmıştır. Ayrıca küresel ısınma hedefi durumlarına göre elde edilen model çıktıları da bu çalışmaya dahil edilmiştir. Birçok sonuç ile elde edilen uzun yıllar aylık ortalama rezervuar hacim dağılımlarının birleştirilmesiyle 30 yıllık dönemlere göre oluşturulan grafikler, membadan mansaba doğru sıralanarak Şekil 5.78 ile sunulmuştur.

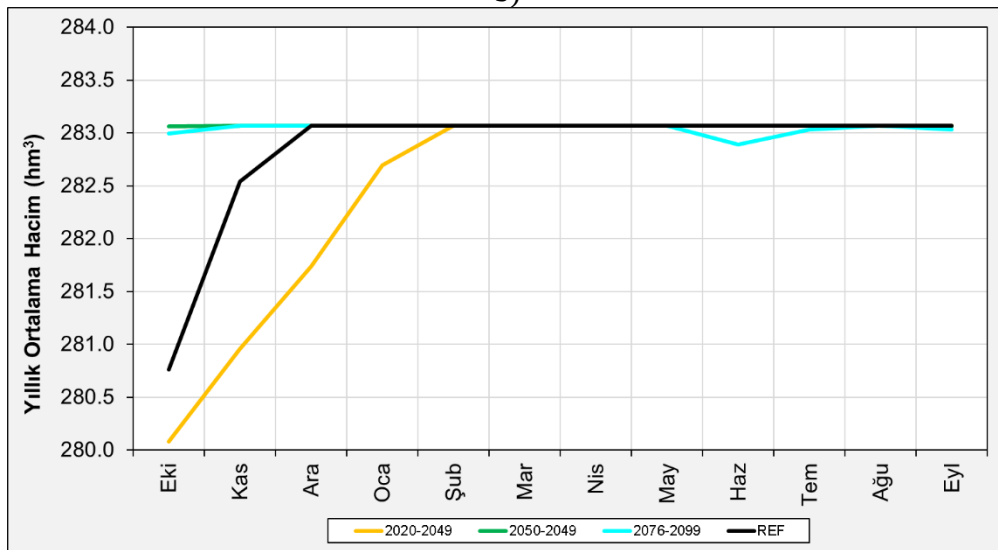
Yağış ve sıcaklıklarda beklenen değişimler, membada biriken karları, erime sezonunda baraj gölüne katılan akımları ve baraj gölünden buharlaşmaları etkilemektedir. Bu durumdan, havzanın memba bölümünde sulama amaçlı olarak işletilen Demirözü Barajı'nın diğer barajlara nazaran daha çok etkileneceği belirlenmiştir. Bütün periyotlardaki hacimlerde referansa göre önemli bir azalma beklenen Demirözü Barajı'nda, giriş akımlarının en yüksek seviyelere ulaştığı mayıs ve haziran aylarında hacimlerin nispeten referans değere yaklaşabileceği tespit edilmiştir. Baraj gölünün birinci dönemde diğer periyotlara göre daha fazla su depolayabileceği öngörülmüştür. Genel olarak Demirözü Barajı'nın depolamasında görülen bu değişimlerin iklim koşulları ile birlikte, işletmeye açılacak mansap sulamalarındaki artışlardan etkileneceği tespit edilmiştir.



a)



b)



c)

Şekil 5.78. Peterek Havzası'nda işletmede olan barajların senaryo-1 ve senaryo-2 için rezervuar hacim değişimleri (a) Demirözü Barajı, b) Güllübağ Barajı, c) Arkun Barajı)

Hidroelektrik üretim amaçlı işletilen ve Çoruh Vadisi'nde sıralı olarak konumlanan Güllübağ ve Arkun Barajları'nın depolamalarında, büyük değişimler beklenmemektedir. Özellikle su yılının başlangıcından, pik akımların oluştuğu ilkbahar dönemine kadar geçen sürede referansa göre nispeten düşük farklar beklense de Nisan ayından itibaren bu farkların da azalacağı tespit edilmiştir. Her ne kadar havzadaki iklim koşullarında özellikle memba bölgelerde değişimlerin oluşacağı öngörülse de Güllübağ ve Arkun Barajları'nın depolamaları bu durumdan daha az etkilenebilecektir. Belirtilen baraj göllerindeki hacimlerin gerek referans dönemde gerekse de gelecek yıllardaki etkilerinin düşük olmasının üç temel sebebi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, barajların mevcut durumda özel sektör tarafından işletiliyor oluşu nedeniyle model kurulumundaki veri kısıtlarından kaynaklı olarak belirli kabuller ile baraj işletme çalışmalarının yapılması olarak söylenebilir. Bir diğer sebep ise, Peterek Havzası'nda iklim değişikliği ile beklenen meteorolojik ve hidrolojik değişim öngörülerinin havzanın membasında, mansabına kıyasla daha olumsuz etkilere neden olacağının belirlenmesidir. Bu duruma membada bulunan Demirözü Baraj Gölü'nün, Çoruh Nehri üzerinde kurulu olan Güllübağ ve Arkun Baraj Göllerine kıyasla daha olumsuz etkilemesi gösterilebilir. Son olarak havzanın membasında gelecek yıllarda işletmeye açılması beklenen sulama alanları ile birlikte su kullanımlarının artması, bir sulama barajı olan Demirözü Barajı'nda olumsuz etkilere sebep olmuştur. Ancak, Güllübağ ve Arkun Barajları'nın ise membadaki su kullanımlarının artışından olumsuz olarak etkilenmeyeceği tespit edilmiştir.

Hidroelektrik Üretim Projeksiyonları

Peterek Havzası'nda uygulanan WEAP modeli ile gelecek dönemlerde havzadaki santrallerde öngörülen hidroelektrik üretim değişimleri bu kapsamda değerlendirilmiştir. Çalışmada belirlenen dört senaryonun sonuçları ayrı ayrı aşağıdaki başlıklarda değerlendirilmiştir.

Senaryo-1 Sonuçları

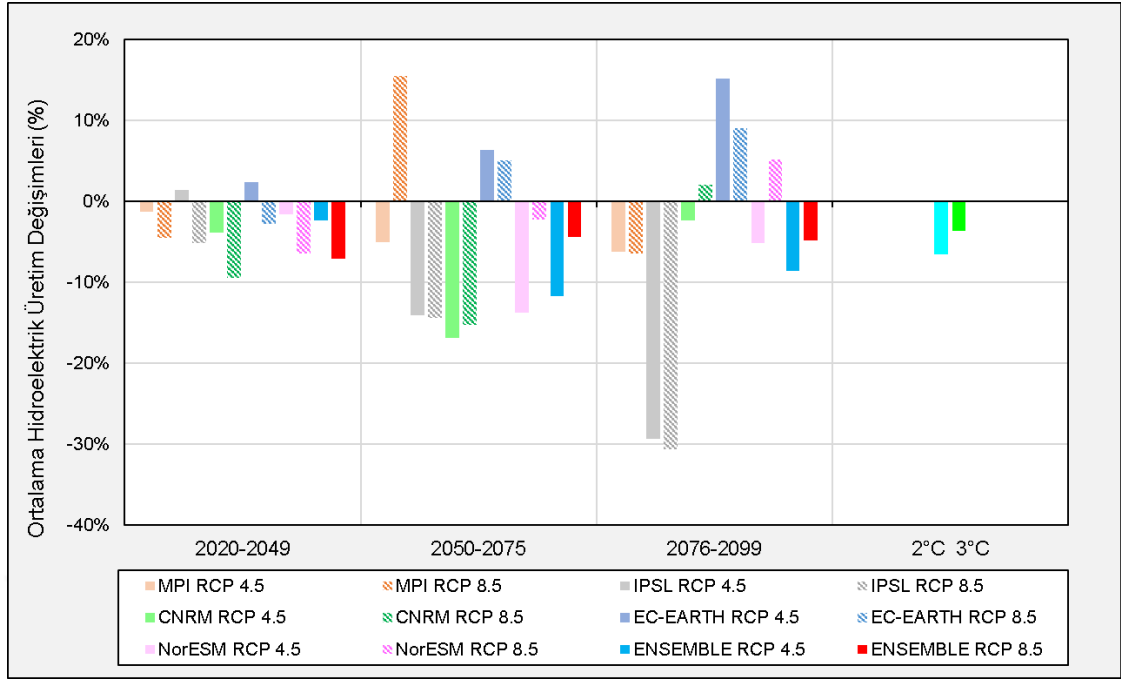
Mevcut durumun korunduğu, sadece iklim değişikliği etkilerine göre oluşturulan Senaryo-1 sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir. Peterek Havzası'nda bulunan her bir HES için ayrı ayrı yapılan ve daha sonra bu değerler toplanarak havzadaki ortalama toplam hidroelektrik üretim potansiyeli değişim analizlerinde, model sonuçlarının referans döneme göre genel olarak azalan bir eğilimde olacağı ancak bazı modellerin

sonuçlarında artışların oluşabileceği görülmekte olup değişim grafikleri Şekil 5.79 ile verilmiştir.

Senaryo-1 için 30'ar yıllık hidroelektrik üretimlerindeki değişimler incelendiğinde, ilk 30 yıllık dönem içerisinde modellerin sunmuş olduğu RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryo sonuçlarında genel olarak azalmaların olacağı öngörülmektedir. 30'ar yıllık periyotların sonlarına doğru Peterek Havzası'ndaki toplam hidroelektrik üretim değişimlerinde modellere göre azalış ve artışların olabileceği beklenmektedir. İklim modelleri arasında kıyaslama yapılacak olunursa, kar ve akım potansiyelindeki azalışlara göre beklenildiği üzere en dramatik azalmaların IPSL modelinin senaryolarında oluşabileceği, EC-EARTH modelinin senaryolarında ise yüzyılın sonuna doğru hidroelektrik üretim potansiyelinin referansa göre artabileceği öngörülmektedir.

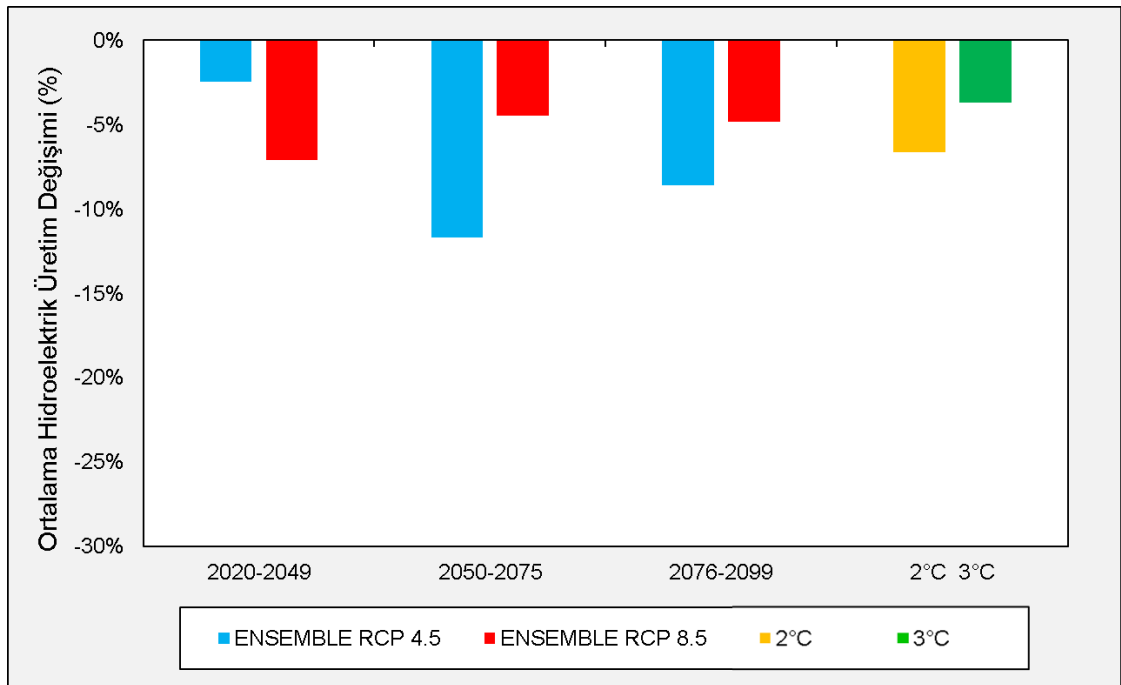
Dönemsel olarak model sonuçları değerlendirildiğinde; 2020-2049 döneminde en iyimser sonucu veren model ve senaryo %2,3 artış ile EC-EARTH RCP 4.5 senaryosu olurken, en olumsuz senaryo ise %9,5 azalış ile CNRM RCP 8.5 senaryosu olmuştur. 2050-2075 periyodunda en iyimser sonucu veren model ve senaryo %15,4 artış ile MPI RCP 8.5 senaryosu olurken, en olumsuz senaryo ise %16,9 azalış ile CNRM RCP 4.5 senaryosu olmuştur. 2076-2099 döneminde ise, en iyimser sonucu veren model ve senaryo %15,1 artış ile EC-EARTH RCP 4.5 senaryosu olurken, en olumsuz senaryo ise %30,7 azalış ile IPSL modelinin RCP 8.5 senaryosu olmuştur.

İklim modellerinin RCP4.5 ve RCP 8.5 ortalamalarına göre oluşturulan ensemble hidroelektrik üretim değişimlerine bakıldığında, Peterek Havzası'nda %2,4 ile %11,7 azalış aralığında değişimler beklenmektedir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre ise, sonuçların azalma yönünde olduğu ve son dönemdeki ensemble RCP 8.5 sonuçlarına benzediği görülmektedir.



Şekil 5.79. Peterek Havzası senaryo-1 hidroelektrik üretim değişimleri

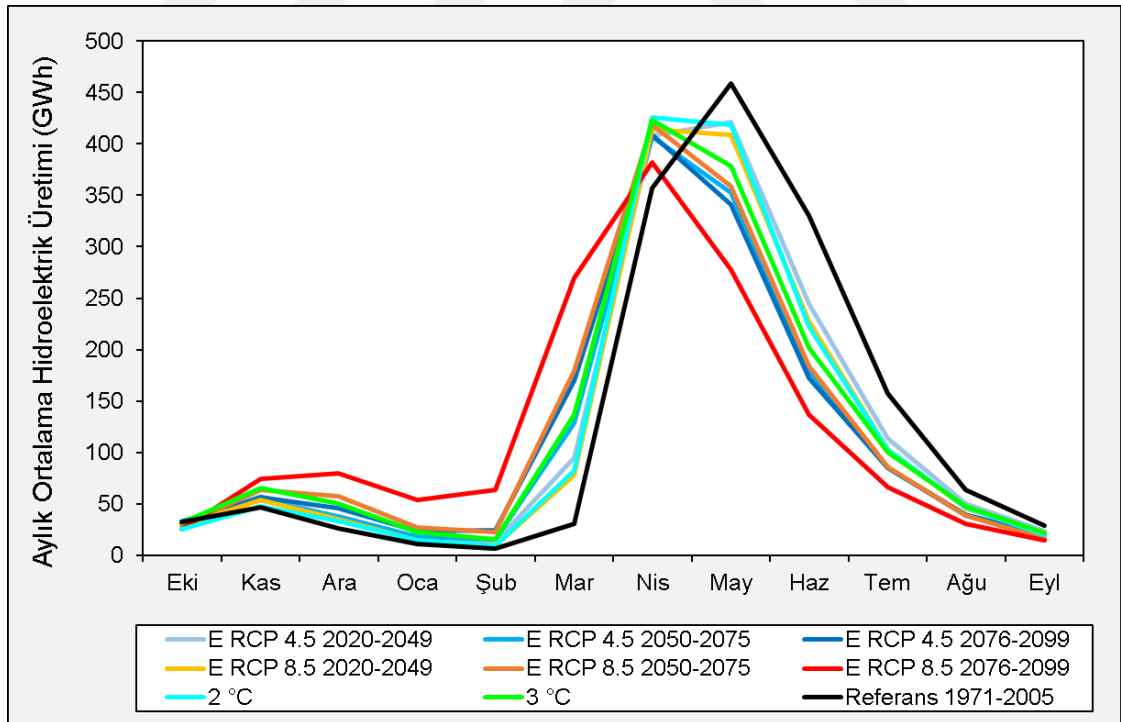
Ensemble sonuçlar ile birlikte, 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen veriler de dahil edilerek hidroelektrik üretim potansiyeli açısından Peterek Havzası'nın Senaryo-1 kapsamında özet değişim sonuçları oluşturulmuş ve Şekil 5.80 ile sunulmuştur.



Şekil 5.80. Peterek Havzası senaryo-1 ensemble hidroelektrik üretim değişimleri

Özet Senaryo-1 sonuçları incelendiğinde, 2020-2099 yılları bazındaki bütün durumlarda hidroelektrik üretim potansiyelinin azalacağı tespit edilmiştir. Bununla birlikte havzadaki yağışlarda beklenen belirsizlik durumunun doğrudan hidroelektrik potansiyeli değişimlerine yansıdığı görülmektedir. Ancak genel değişim mertebelerine bakıldığında azalışların sınırlı kaldığı ve %2'lerden %12'lere ulaşabileceği belirlenmiştir.

30 yıllık periyotlara göre hesaplanan değişim sonuçlarının yanı sıra Peterek Havzası'ndaki hidroelektrik enerji üretiminin, iklim değişikliği ile birlikte beklenen değişimleri aylık olarak incelenmiştir. Bu değerlendirmeler yapılırken, havzadaki bütün enerji santrallerinin aylık ürettikleri hidroelektrik enerjiler toplanmış ve referans değerlere göre iklim modeli senaryolarındaki değişimler tespit edilmiştir. 5 iklim modelinin referansları ile RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre elde edilen aylık ortalama hidroelektrik enerji üretim değerleri WEAP modelinden ayrı ayrı elde edilmiştir. Bu değerlerin ortalamaları alınmış ve ensemble olarak bu bölümde değerlendirilmiştir. Senaryo-1 için hazırlanmış ensemble aylık ortalama hidroelektrik üretim değişim grafiği Şekil 5.81 verilmiştir.



Şekil 5.81. Peterek Havzası aylık senaryo-1 hidroelektrik üretim değişimleri

Aylık hidroelektrik üretim verileri Peterek Havzası için incelendiğinde, Kasım-Nisan ayları arası olan dönemde projeksiyon ortalamalarının referans ortalamalarına göre

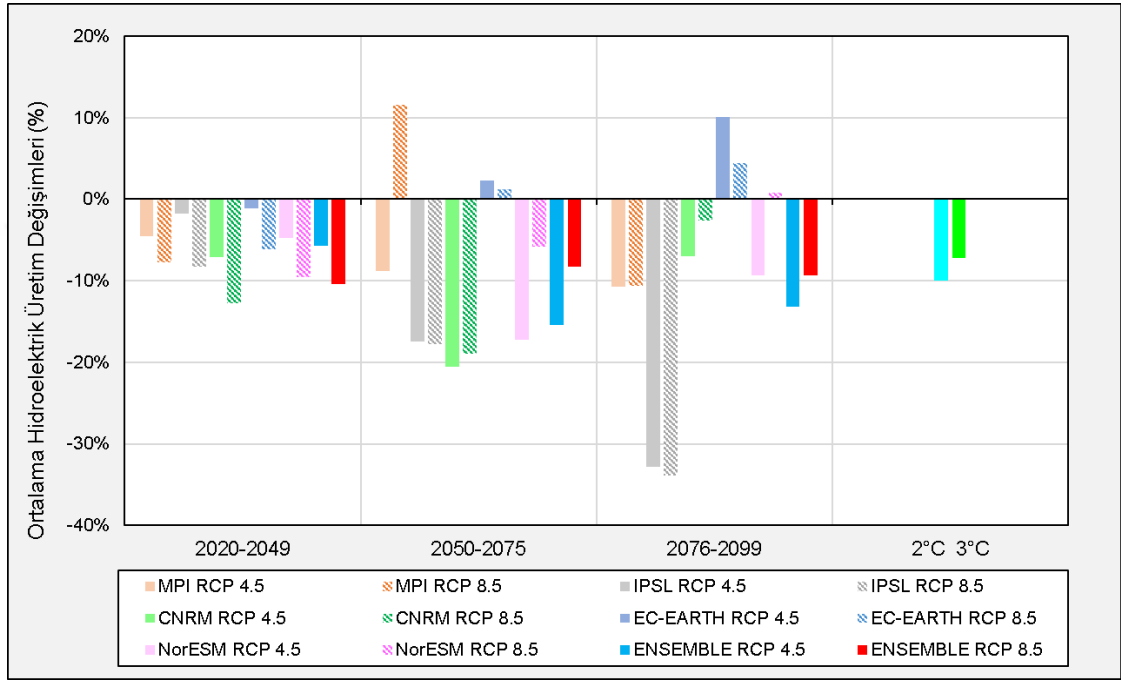
artış gösterdiği gözlenmektedir. Özellikle RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarının son dönemlerinde bu artışların, diğer dönemlere göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Havzada akımların pik yaptığı mayıs-haziran aylarındaki uzun yıllar ortalama veriler göz önüne alındığında, referansa göre hidroelektrik üretimlerde önemli miktarlarda azalmaların olacağı beklenmektedir. Bu durumun temel sebebi, havzadaki akımları önemli derecede besleyen kar erimelerinin sıcaklık artışlarına bağlı olarak geri çekileceği ve referansa göre daha erken eriyeyeceğidir. Böylece tarihsel verilere göre kış aylarında ve erken bahar aylarında akımların artacağı, bu sebeple üretilen hidroelektrik değerlerinde de paralel olarak artışların oluşacağı beklenmektedir. Belirtilen hususun tam tersi ise yaz aylarında beklenmekte olup, bu dönemdeki üretim verilerinde düşüşlerin olabileceği grafiklerden anlaşılmaktadır. Erken eriyen kar birikimlerinin geç bahar ve yaz aylarına kalmaması ve bu süre zarfında pik akımlar yerine düşük akımların havzada etkin olması, bu sonuçların alınmasında en büyük etken olmuştur. Su yılının sonu ve başlangıcı olan Eylül-Ekim aylarında ise, belirgin bir değişimin gerçekleşmeyeceği söylenebilir. Genel olarak uzun yıllar aylık veriler bütüncül olarak değerlendirildiğinde, hidroelektrik üretimlerin azalacağı ve tarihsel verilere göre en yüksek üretimlerin oluştuğu zaman aralıklarında öne kaymaların yaşanabileceği tespit edilmiştir.

Senaryo-2 Sonuçları

İklim değişikliği etkilerinin olduğu ve havzadaki su kullanımlarının 30'ar yıllık dönemlere kademeli olarak artacağı Senaryo-2 sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir. Havzadaki ortalama toplam hidroelektrik üretim potansiyeli değişim analizlerinde, model sonuçlarının referans döneme göre genel olarak azalan bir eğilimde olacağı görülmekte olup değişim grafikleri Şekil 5.82 verilmiştir.

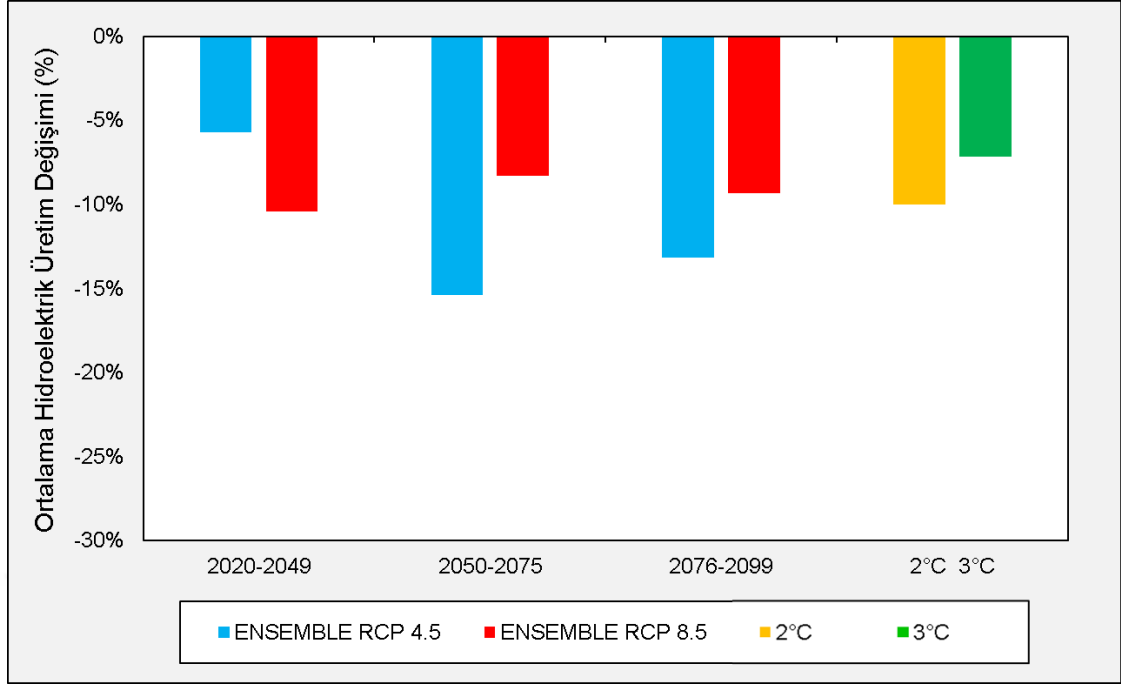
30 yıllık periyotların sunulduğu birinci dönem içerisinde modellerin bütün senaryolarına göre azalmaların olacağı öngörülmektedir. Yüzyılın sonlarına doğru Peterek Havzası'ndaki toplam hidroelektrik üretim değişimlerinde genel olarak bir azalış beklense de nispeten artışların da gerçekleşebileceği tespit edilmiştir. İklim modelleri arasında kıyaslama yapılacak olursa, en dramatik azalmaların IPSL modelinin senaryolarına ait olduğu, EC-EARTH modelinin senaryolarında ise hidroelektrik üretim potansiyelinin referansa göre artabileceği görülmektedir. Dönemsel olarak model sonuçları değerlendirildiğinde; 2020-2049 döneminde en iyimser sonucu veren model ve senaryo %1,2 azalış ile EC-EARTH RCP 4.5 senaryosu olurken, en olumsuz senaryo ise

%12,8 azalış ile CNRM RCP 8.5 senaryosu olmuştur. 2050-2075 periyodunda en iyimser sonucu veren model ve senaryo %11,6 artış ile MPI RCP 8.5 senaryosu olurken, en olumsuz senaryo ise %20,6 azalış ile CNRM RCP 4.5 senaryosu olmuştur. 2076-2099 döneminde ise, en iyimser sonucu veren model ve senaryo %10,1 artış ile EC-EARTH RCP 4.5 senaryosu olurken, en olumsuz senaryo ise %33,9 azalış ile IPSL RCP 8.5 senaryosu olmuştur.



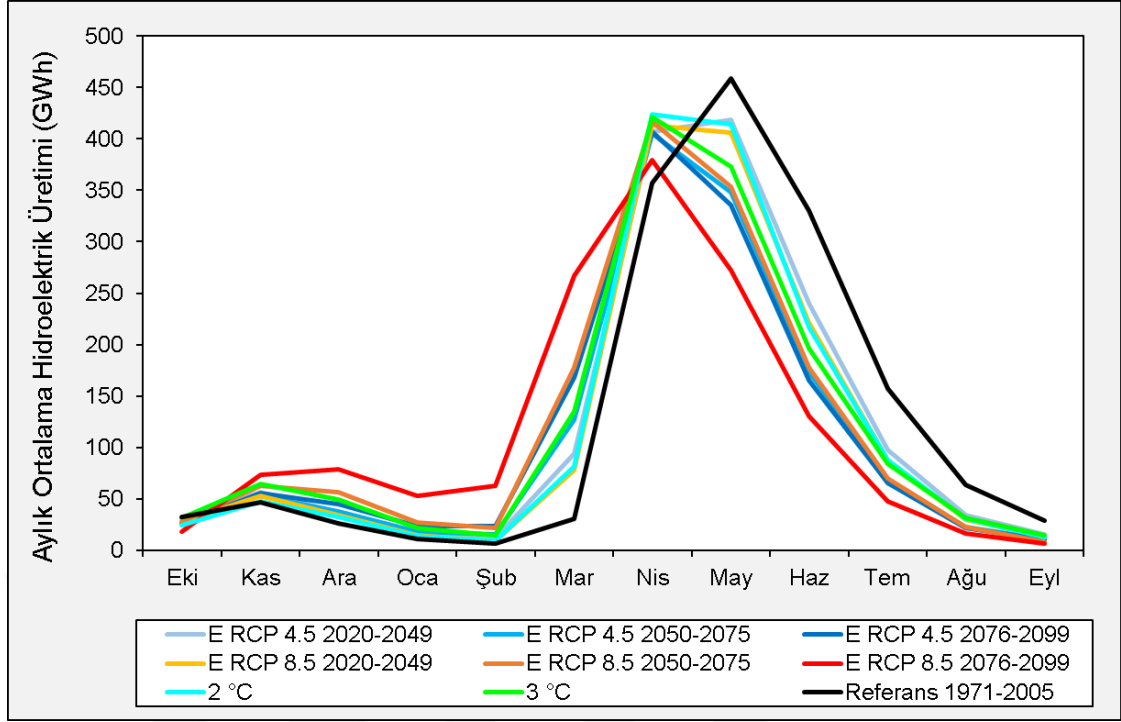
Şekil 5.82. Peterek Havzası senaryo-2 hidroelektrik üretim değişimleri

İklim modellerinin RCP 4.5 ve RCP 8.5 ortalamalarına göre oluşturulan ensemble hidroelektrik üretim değişimlerine bakıldığında, Peterek Havzası'nda %5,7 ile %15,4 aralığında azalışların oluşabileceği beklenmektedir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre ise, sonuçların azalma yönünde olduğu ve genel olarak ensemble RCP 8.5 sonuçlarına benzediği görülmektedir. Ensemble sonuçlar ile birlikte, 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen veriler de dahil edilerek hidroelektrik üretim potansiyeli açısından Peterek Havzası'nın Senaryo-2 kapsamında özet değişim sonuçları oluşturulmuş ve Şekil 5.83 ile sunulmuştur.



Şekil 5.83. Peterek Havzası senaryo-2 ensemble hidroelektrik üretim değişimleri

Senaryo-2 sonuçlarının özet analiz sonuçları incelendiğinde, bütün projeksiyon periyotlarında hidroelektrik üretim potansiyelinin azalacağı belirlenmiştir. Senaryo-1 ile elde edilen sonuçlara kıyasla, değerlerin beklenildiği üzere her iki senaryoda da benzer eğilimde olacağı ve azalış oranlarının daha da artacağı (%6-%16 seviyelerinde) tespit edilmiştir. İklim modellerinin ortalaması olan sonuçların, referans verilere göre karşılaştırması Şekil 5.84 ile aylık değişim grafiği olarak sunulmuştur.



Şekil 5.84. Peterek Havzası aylık senaryo-2 hidroelektrik üretim değişimleri

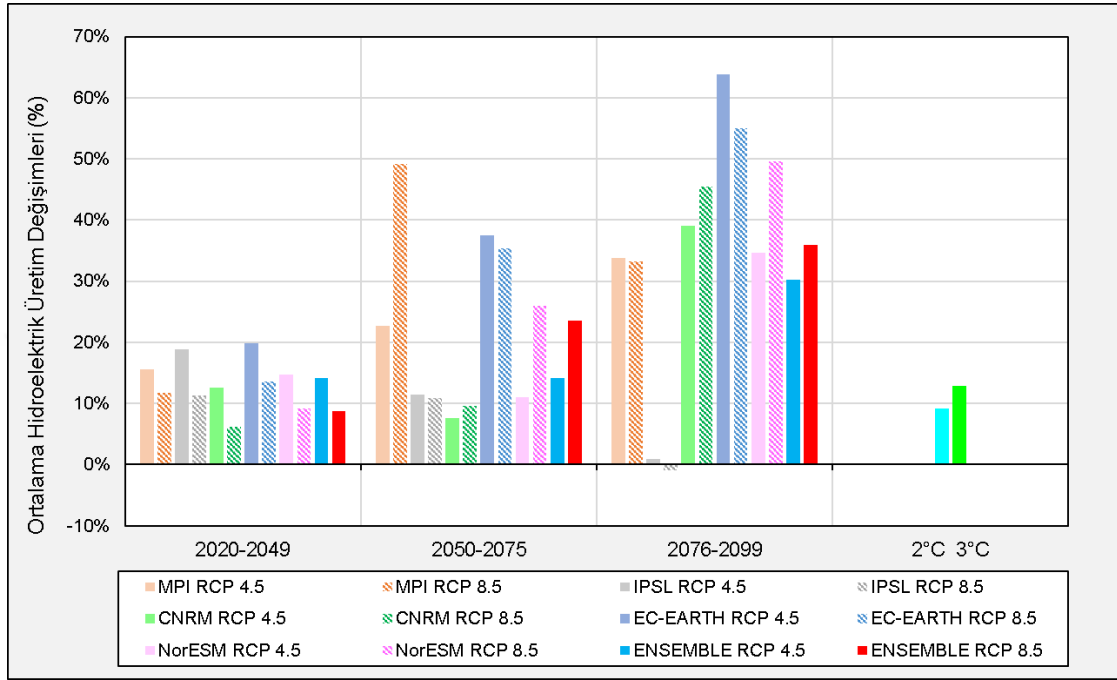
Aylık hidroelektrik üretim verileri Peterek Havzası için incelendiğinde, senaryo-1 ile benzer çizgide olduğu ancak beklendiği üzere referansa göre daha düşük seviyelerde enerji üretebildiği görülmektedir.

Senaryo-3 Sonuçları

İklim değişikliği etkilerinin olduğu ve santrallerin çalışma kapasitesi ile elektrik üretim verimlerinin kademeli olarak artacağı Senaryo-3 sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir. Havzadaki ortalama toplam hidroelektrik üretim potansiyeli değişim analizlerinde, model sonuçlarının referans döneme göre artan bir eğilimde olacağı görülmekte olup değişim grafikleri Şekil 5.85 ile verilmiştir.

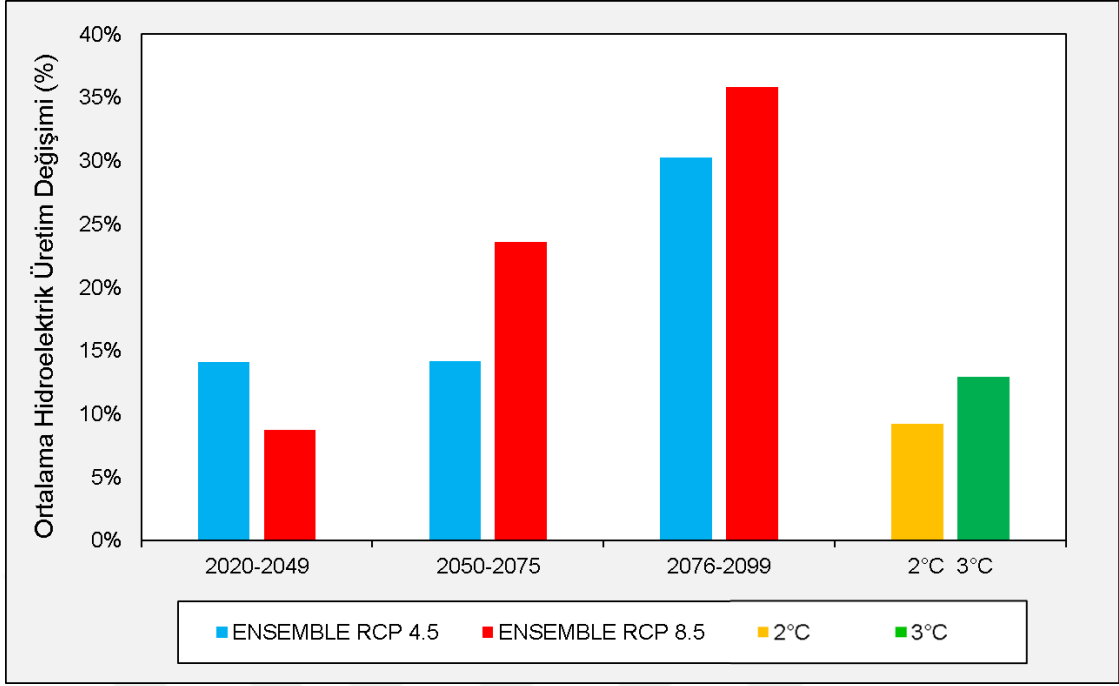
Senaryo-3 için 30'ar yıllık hidroelektrik üretimlerindeki değişimler incelendiğinde, 2020-2099 yılları arası bütün dönemlerde genel olarak artışların oluşacağı ve bu değerlerin yüzyılın sonuna doğru çalışma kapasitesinin ve verimlerin kademeli artışlarına bağlı olarak daha da yükseleceği belirlenmiştir. Dönemsel olarak model sonuçları değerlendirildiğinde; 2020-2049 döneminde en iyimser sonucu veren model ve senaryo %19,9 artış ile EC-EARTH RCP 4.5 senaryosu olurken, en olumsuz senaryo ise %6,1 artış ile CNRM RCP 8.5 senaryosu olmuştur. 2050-2075 periyodunda en iyimser sonucu veren model ve senaryo %49,2 artış ile MPI RCP 8.5 senaryosu olurken, en olumsuz

senaryo ise %7,6 artış ile CNRM RCP 4.5 senaryosu olmuştur. 2076-2099 döneminde ise, en iyimser sonucu veren model ve senaryo %63,9 artış ile EC-EARTH RCP 4.5 senaryosu olurken, en olumsuz senaryo ise %0,9 azalış ile IPSL RCP 8.5 senaryosu olmuştur.



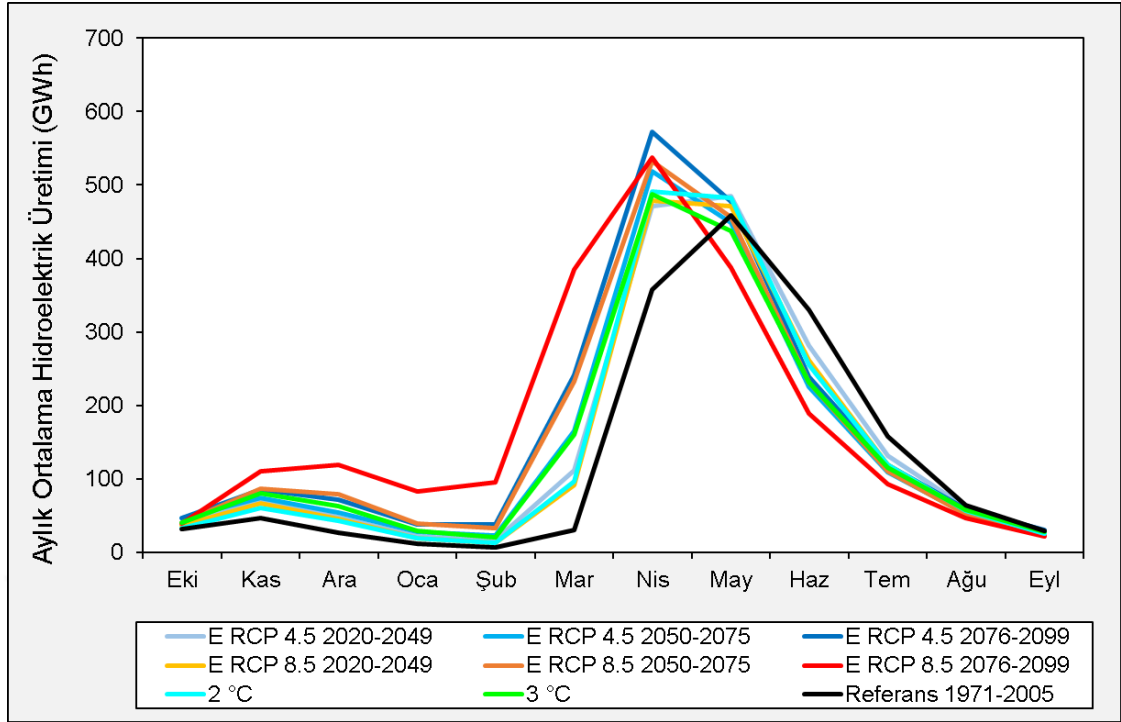
Şekil 5.85. Peterek Havzası senaryo-3 hidroelektrik üretim değişimleri

Bu senaryo yaklaşımı ile, iklim değişikliği etkileri olsa bile havzadaki hidroelektrik üretim potansiyeli üzerinde nasıl bir etkiye sahip olabileceği değerlendirilmiştir. İklim modellerinin RCP 4.5 ve RCP 8.5 ortalamalarına göre oluşturulan ensemble hidroelektrik üretim değişimlerine bakıldığında, Peterek Havzası'nda %8,7 ile %35,9 aralığında artışların oluşabileceği beklenmektedir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre ise, sonuçların artış yönünde olacağı belirlenmiştir. Ensemble sonuçlar ile birlikte, 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen veriler de dahil edilerek hidroelektrik üretim potansiyeli açısından Peterek Havzası'nın Senaryo-3 kapsamında özet değişim sonuçları oluşturulmuş ve Şekil 5.86 ile sunulmuştur.



Şekil 5.86. Peterek Havzası senaryo-3 ensemble hidroelektrik üretim değişimleri

Senaryo-3 sonuçlarının özet analiz sonuçları incelendiğinde, bütün projeksiyon periyotlarında hidroelektrik üretim potansiyelinin artacağı (%10-%35 mertebelerinde) belirlenmiştir. Bu çalışma sonuçları ile birlikte havzadaki hidroelektrik enerji üretiminin, bu senaryo kapsamındaki değişim oranları aylık olarak değerlendirilmiştir. İklim modellerinin ortalaması olan sonuçların, referans verilere göre karşılaştırması Şekil 5.87 ile aylık ortalama hidroelektrik üretim değişim grafiği olarak sunulmuştur.



Şekil 5.87. Peterek Havzası aylık senaryo-3 hidroelektrik üretim değişimleri

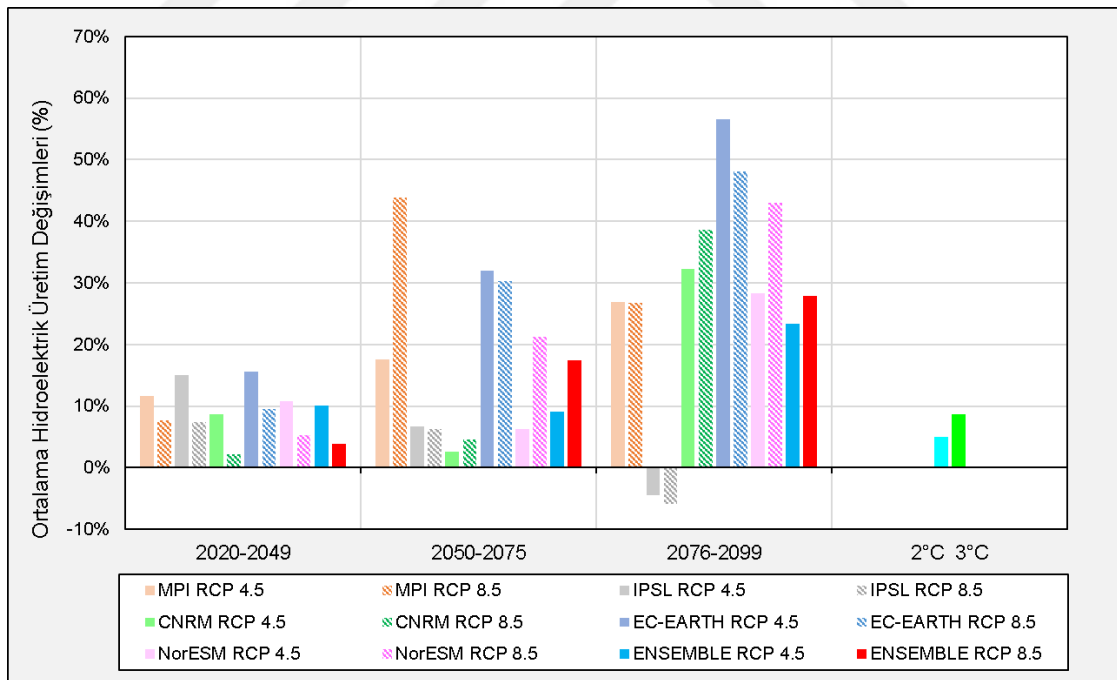
Uzun yıllar aylık hidroelektrik üretim verileri Peterek Havzası için incelendiğinde, senaryo-1 ve senaryo-2 ile benzer geri çekilme hareketleri yaptığı ancak bununla birlikte de enerji üretimlerinin referansa göre artacağı aylık grafikten okunmaktadır. Bu sonucun yanı sıra kademeli kapasite ve üretim verimlerindeki artışların, iklim değişikliğine karşı mücadelede etkin bir rol oynayabileceğini göstermektedir. Hidroelektrik üretimlerin yaz aylarında referansa göre az da olsa düşeceği tespit edilmiştir. Kapasite ve verim artışlarının genel olarak havzadaki hidroelektrik üretimler üzerinde olumlu bir etkiye sahip olacağı öngörülse de yaz aylarının referansa göre hala yükselmediği görülmektedir. Bu durumun en önemli sebebi, kar erimelerinin erkene çekilmesinden kaynaklı olarak gelecek yıllarda akımları besleyen kar erimelerinin yaz aylarına kadar referansa göre azalması ve pik akımlar yerine düşük akımların oluşması gösterilebilir.

Senaryo-4 Sonuçları

Bu senaryo kapsamında ilk üç senaryonun birleşim durumu değerlendirilmiştir. Senaryo-4 ile havzada beklenen iklim değişikliği etkilerinin yanında su ihtiyaçlarındaki artışlar, bölgede bulunan su yapıları üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Bu durumla mücadele edebilmek için senaryo-3 kapsamında değerlendirilen tesis kapasite ve verim artış durumları da dahil edilerek çalışma senaryo-4 çalışması yapılmıştır. Havzadaki

ortalama toplam hidroelektrik üretim potansiyeli değişim analizlerinde, model sonuçlarının referans döneme göre artan bir eğilimde olacağı görülmekte olup değişim grafikleri Şekil 5.88 ile verilmiştir.

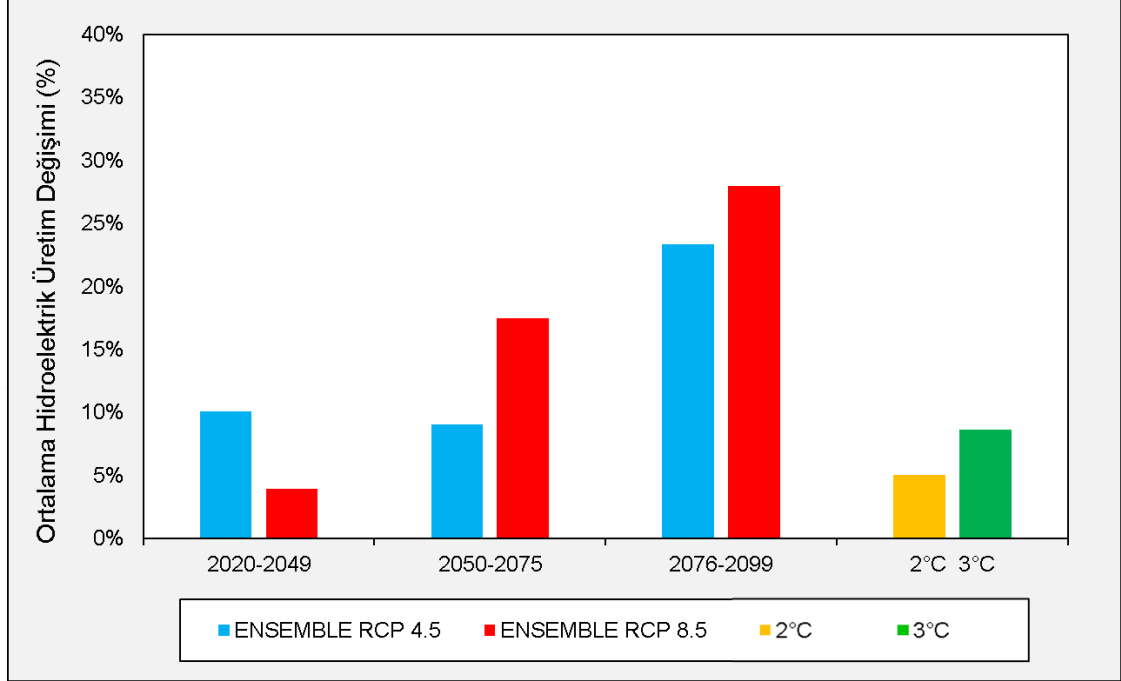
Senaryo-4 için 30'ar yıllık hidroelektrik üretimlerindeki değişimler incelendiğinde, 2020-2099 yılları arası bütün dönemlerde genel olarak artışların oluşacağı ve bu değerlerin yüzyılın sonuna doğru senaryodaki baskın özelliğinden dolayı çalışma kapasitesinin ve verimlerin kademeli artışlarına bağlı olarak daha da artacağı belirlenmiştir. Dönemsel olarak model sonuçları değerlendirildiğinde; 2020-2049 döneminde en iyimser sonucu veren model ve senaryo %15,6 artış ile EC-EARTH RCP 4.5 senaryosu olurken, en olumsuz senaryo ise %2,1 artış ile CNRM RCP 8.5 senaryosu olmuştur. 2050-2075 periyodunda en iyimser sonucu veren model ve senaryo %43,9 artış ile MPI RCP 8.5 senaryosu olurken, en olumsuz senaryo ise %2,6 artış ile CNRM RCP 4.5 senaryosu olmuştur. 2076-2099 döneminde ise, en iyimser sonucu veren model ve senaryo %56,5 artış ile EC-EARTH RCP 4.5 senaryosu olurken, en olumsuz senaryo ise %5,8 azalış ile IPSL RCP 8.5 senaryosu olmuştur.



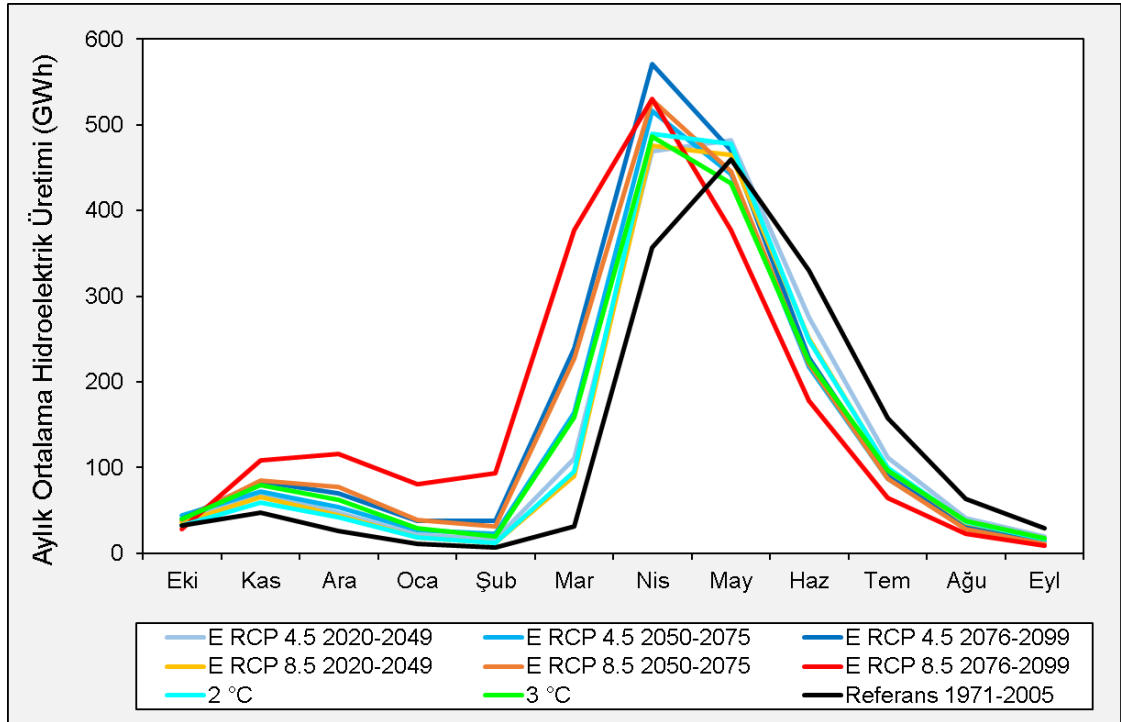
Şekil 5.88. Peterek Havzası senaryo-4 hidroelektrik üretim değişimleri

Ensemble hidroelektrik üretim değişimleri incelendiğinde, Peterek Havzası'nda %3,9 ile %27,9 aralığında artışların oluşabileceği beklenmektedir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre ise, sonuçların artış yönünde olduğu görülmektedir. Ensemble sonuçlar

ile birlikte, 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen veriler de dahil edilerek hidroelektrik üretim potansiyeli açısından Peterek Havzası'nın Senaryo-4 kapsamında özet değişim sonuçları oluşturulmuş ve Şekil 5.89 ile sunulmuştur.



Şekil 5.89. Peterek Havzası senaryo-4 ensemble hidroelektrik üretim değişimleri



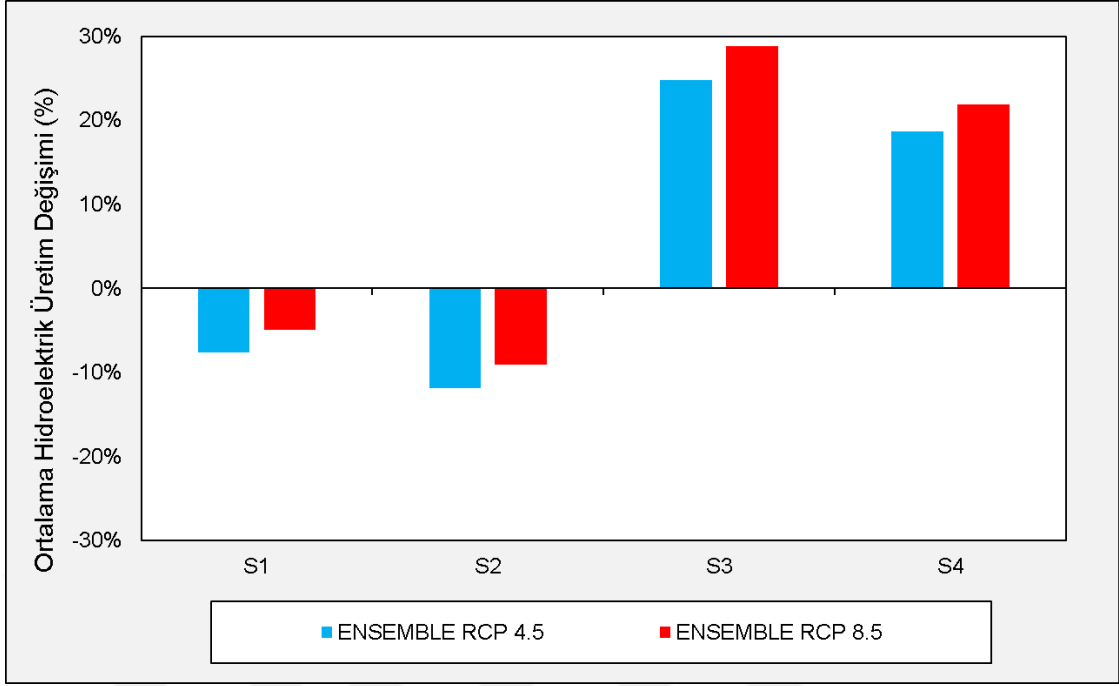
Şekil 5.90. Peterek Havzası aylık senaryo-4 hidroelektrik üretim değişimleri

Senaryo-4 sonuçlarının özet analiz sonuçları incelendiğinde, bütün projeksiyon periyotlarında hidroelektrik üretim potansiyelinin artacağı (%5-%30 mertebelerinde) belirlenmiştir. Bu çalışma sonuçlarının yanı sıra havzadaki hidroelektrik enerji üretiminin, bu senaryo kapsamındaki değişim oranları aylık olarak değerlendirilmiştir. Ensemble sonuçların, referans verilere göre karşılaştırması Şekil 5.90 ile aylık grafik olarak sunulmuştur.

Uzun yıllar aylık ortalama hidroelektrik üretim verilerine bakıldığında, sonuçların senaryo-3 ile benzer çizgide olduğu ancak su ihtiyaçlarındaki artışlara bağlı olarak referansa göre daha düşük seviyelerde enerji üretebileceği görülmektedir.

Peterek Havzası Senaryo Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Peterek Havzası için gelecek yıllarda öngörülen değişimler, birçok farklı yaklaşım ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. İklim modelleri, HBV-Light ve WEAP modellerinin entegre sonuçları ile çalışma sonuçları elde edilmiştir. Özellikle havzadaki en önemli sektör olan hidroelektrik enerjideki değişim bulguları, farklı işletme senaryoları ile projekte edilmiştir. Belirtilen senaryoların, hidroelektrik üretim değişimleri ve dolayısıyla bu enerjiye ulaşabilen kişi sayısındaki etkileşim, bu kapsamda değerlendirilen bir diğer çalışmadır. Bu çalışmada kullanılan işletme senaryolarının, referansa göre enerji değişimleri üzerindeki etkisi birlikte değerlendirilmiştir. Senaryoların, özellikle yüzyılın sonuna doğru (2076-2099 yılları) havzadaki hidroelektrik üretim üzerinde nasıl bir etkiye sahip olacağı değerlendirilmiş ve Şekil 5.91 ile sunulmuştur.



Şekil 5.91. *Peterek Havzası senaryolara göre ensemble hidroelektrik üretim değişimleri (2076-2099)*

İklim modellerinin ensemble senaryoları ve 2-3°C'lik sıcaklık artış senaryolarının birleşiminden oluşan grafiğe göre, iklim senaryolarının Peterek Havzası'ndaki hidroelektrik üretimlerde referansa göre %5 ile %8 arasında bir azalmaya sebep olacağı belirlenmiştir (Senaryo-1). Bu havzada RCP 4.5 senaryo sonuçlarının RCP 8.5 senaryosuna göre daha olumsuz sonuçlar elde ettiği tespit edilmiştir. Su tüketimlerinin artması ile birlikte (Senaryo-2) uzak gelecekte %12'lere varan azalmalar öngörülmüştür. Tesislerdeki kapasite ve verim artışlarında (Senaryo-3 ve Senaryo-4) ise, iklim değişikliği ile mücadele kapsamında önemli bir adım atılmış ve enerji üretimlerinde %19 ile %29 arasında artışlara neden olmuştur.

Elektrik Enerjisi Karşılanan Kişi Sayısı Değişimi

5 iklim modelinin senaryoları ve baraj işletme senaryolarına göre çalıştırılan WEAP modelinden, havzadaki santrallerin gelecek dönemlere göre yıllık ortalama hidroelektrik enerji üretim değerleri elde edilmiştir. Bu değerler ile kişi başına düşen birim enerji değeri çarpılarak havzada toplamda kaç kişinin elektrik enerjisinin karşılandığı bilgisi tespit edilmiştir. Bununla birlikte 5 modelin ortalaması alınarak ensemble dağılımlı kişi sayısı belirlenmiştir. Ensemble değerlendirmelerinin yanı sıra 2° ve 3°'lik sıcaklık artışlarına bağlı olarak elektrik enerjisi karşılanan kişi sayısı değişim sonuçları elde edilmiştir. Referansa göre elektrik ihtiyacı karşılanan kişi sayılarındaki değişim, 4 farklı senaryonun

ensemble sonuçları ile 2-3°C'lik sıcaklık artış durumu sonuçları ile birlikte Tablo 5.28 ile gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre en olumsuz değişimler beklendiği üzere Senaryo-2 sonuçları olurken, enerji ihtiyacı karşılanan kişi sayılarındaki artışlar ise en fazla Senaryo-3 sonuçlarında öngörülmüştür. Senaryo-2 kapsamında elde edilen 2050-2075 yıllarındaki ensemble RCP 4.5 iklim senaryosu sonuçlarında, referansa göre yaklaşık 76 bin kişinin hidroelektrik enerjiye ulaşamayacağı tahmin edilmiştir. Kişi sayısındaki artışlara bakıldığında ise yaklaşık 143 bin kişilik artışın, son dönemdeki ensemble RCP 8.5 iklim senaryosunda olacağı belirlenmiştir. Santrallerdeki kademeli verim artışlarının etkisiyle birlikte bu durum öngörülmüştür. 2-3°C'lik sıcaklık artışlarının bu parametreye yansımaları ise, referansa göre yaklaşık olarak kişi sayısında 31 bin azalış ve 55 bin artış beklenmektedir. Genel olarak Peterek Havzası'nda uygulanan işletme senaryolarının, iklim değişikliği ile mücadele kapsamında ve birçok yönüyle önemli bir etkiye sahip olabileceği bu çalışma ile bir kez daha teyit edilmiştir.

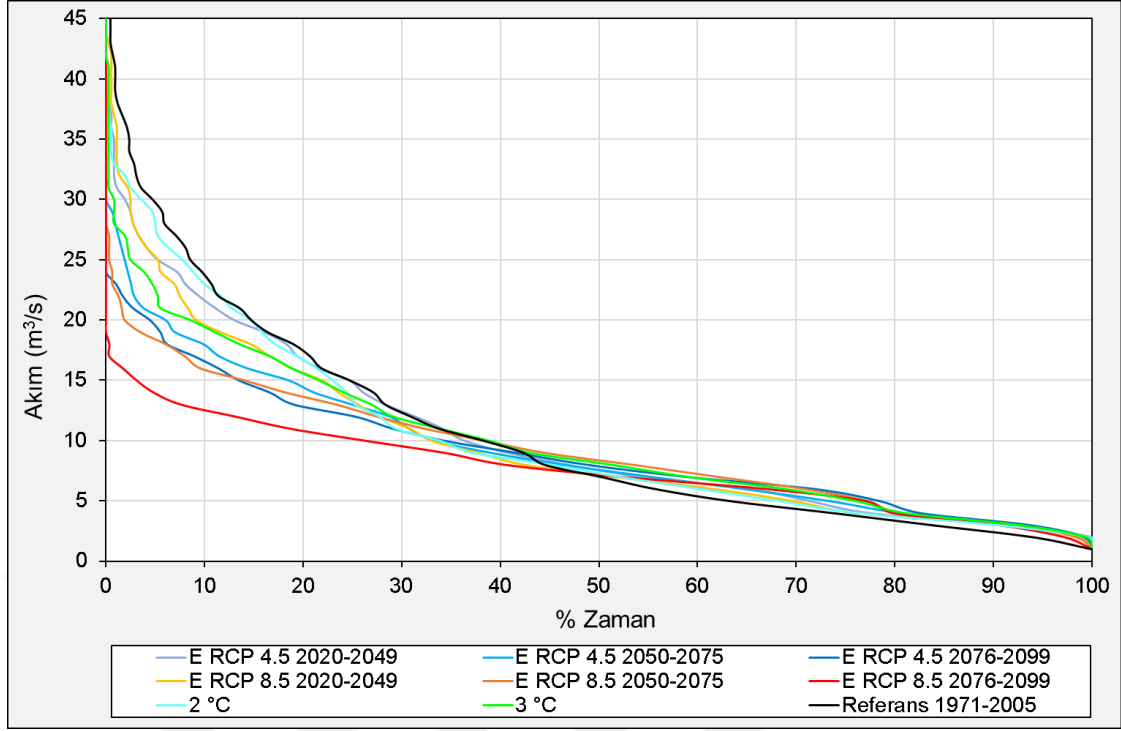
Tablo 5.28. Peterek Havzası 30 yıllık dönemlere göre elektrik enerjisi karşılanan kişi sayısı değişimleri

Referansa Göre Kişi Farkı	Senaryo-1	Senaryo-2	Senaryo-3	Senaryo-4
E RCP-45 (2020-2049)	-20306	-34383	50375	33044
E RCP-45 (2050-2075)	-59861	-75715	50599	28807
E RCP-45 (2076-2099)	-46588	-66221	119416	89687
E RCP-85 (2020-2049)	-40240	-54381	27321	6756
E RCP-85 (2050-2075)	-28951	-45299	90763	64564
E RCP-85 (2076-2099)	-30604	-49823	143210	109358
2°C	-28306	-42663	39236	21576
3°C	-15682	-30703	55275	36778

5.3.2.3. Göksu havzası

Debi Süreklilik Eğrisi Değişimleri

Bu bölümde Göksu Havzası'nın membasında bulunan Yamanlı-2 nehir tipi HES'i besleyen akımlar için yalnızca iklim değişikliğinin etkili olduğu Senaryo-1 sonuçları üzerinden DSE analizi yapılmıştır. Havzada beklenen iklim değişikliği etkilerinin zamanın yüzdesine karşılık gelen akış üzerinde referansa göre nasıl değişeceğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Peterek Havzası'nda uygulanan yaklaşıma benzer olarak, havzanın yüksek kotlarında ve diğer enerji santrallerine nazaran daha az müdahaleli akımlara sahip olması nedenleriyle Yamanlı-2 HES seçilmiştir. HES'e giren akımlar ile oluşturulan DSE Şekil 5.92 ile verilmiştir.



Şekil 5.92. Debi süreklilik eğrisi değişimleri (Yamanlı-2 HES)

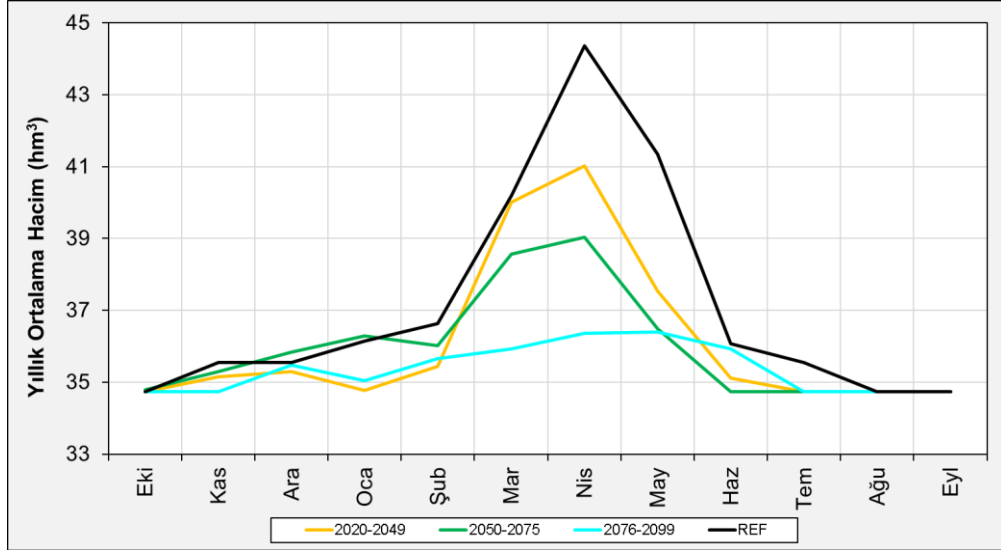
İklim modellerinin ensemble ortalamaları ile 2-3°C'lik sıcaklık artış durumlarına göre oluşturulan ve 30'ar yıllık dönemler halinde verilen grafikte, zamanın farklı yüzdelerinde oluşan gelecek dönem akışların referans değere kıyasla değişim gösterdiği belirlenmiştir. Akımlardaki referansa göre azalışlar zamanın %40'ından sonra azalmakta bundan sonra referansa göre artış göstermektedir. Bu durum, gelecek yıllarda santrali besleyecek düşük akımların tarihsel verilere göre artış sergileyeceğinin göstergesidir. Referansa göre değişimler özellikle Q_{30} 'a kadar belirgin bir şekilde görülmektedir. Pik akımların gözlendiği Q_5 'e bakıldığında, gelecek dönem akımların referansa göre beklenildiği üzere daha düşük değerlere sahip olacağı belirlenmiştir. İklim senaryolarının ürettiği bütün yüksek akımlarda yüzyılın sonuna doğru yaklaştıkça, referans değerden daha da uzaklaştığı grafikten okunmaktadır. Özellikle RCP 8.5 senaryosunun 2075-2099 dönemindeki pik akımlarda beklenen azalma durumu, DSE'de oldukça belirgin olarak görülmektedir. Sonuç olarak Yamanlı-2 HES için gelecekte beklenen hidroelektrik üretim değişimlerindeki azalmalar, DSE'nin bir fonksiyonu olarak grafik ile belirlenmiştir.

Rezervuar Hacim Değişimleri

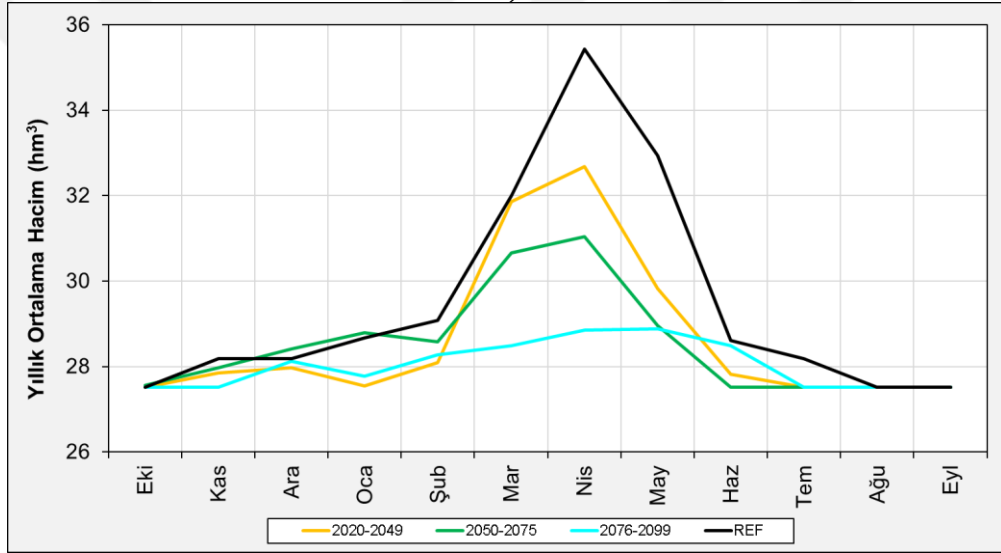
Göksu Havzası'nda mevcut durumda işletmede olan barajlar özelinde iklim değişikliği etkileri ve gelecekte memba su tüketimlerinin getirebileceği uzun yıllar ortalama hacimsel değişimler bu bölümde değerlendirilmiştir. Bu çalışmadaki yaklaşımlar Peterek Havzası'nda belirtildiği gibi uygulanmış olup Göksu Havzası'nda membadan mansaba doğru sırasıyla konumlanan Feke-2, Menge ve Köprü Baraj Göllerinde beklenen gelecek yıllardaki ortalama hacim değişimleri WEAP modeli için kurgulanan 1. ve 2. Senaryonun birleştirilmesiyle oluşturularak Şekil 5.93 ile sunulmuştur.

Göksu Havzası'nın geneli için gelecek yıllarda iklim değişikliği ile birlikte beklenen meteorolojik ve hidrolojik değişimler, nihai olarak havzada bulunan baraj göllerindeki hacimleri etkilemektedir. Barajları besleyen akımlar ve yağışlardaki değişimler ile havzadaki sıcaklıkların artması, haznelerde depolanan suyun seviyesini doğrudan etkilemektedir. Belirtilen çalışmalar bu bölüme kadar adım adım uygulanmış ve sonuç olarak havzada bulunan üç enerji barajındaki depolama durumları referans döneme göre değerlendirilmiştir.

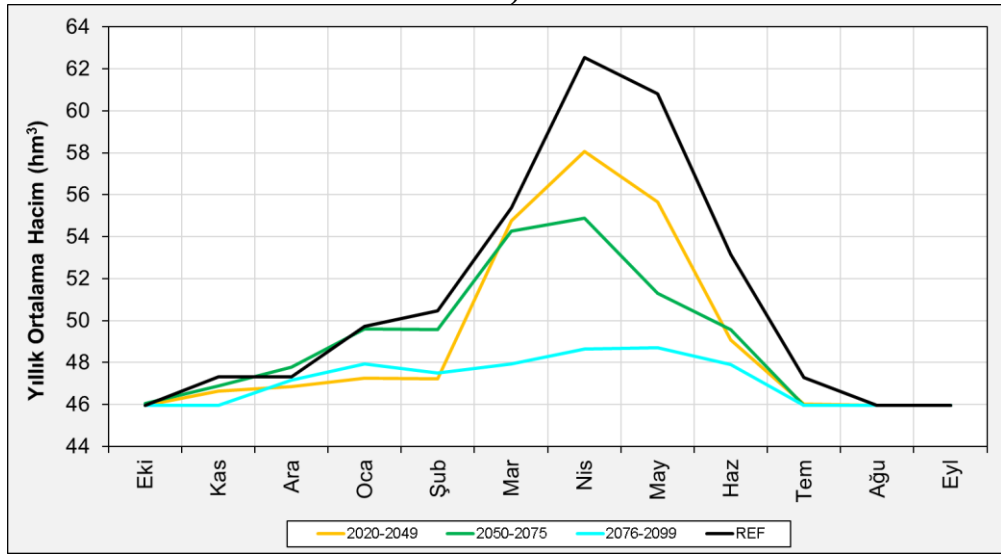
Hidroelektrik üretim amaçlı işletilen üç barajın gelecek yıllardaki referans döneme göre değişimleri benzerlik göstermektedir. 30 yıllık dönemlere göre elde edilen sonuçlarda, yüzyılın sonuna doğru gidildikçe depolanan hacimlerde dramatik olarak azalışların olabileceği tespit edilmiştir. Bu durumun en büyük sebebi olarak, Göksu Havzası'nda beklenen sıcaklıkların artışı ile birlikte yıllık akımların önemli bir bölümünü oluşturan kar erimelerinin önemli seviyelerde azalması ve bununla birlikte de yağışlarda azalmaların beklenmesi gösterilebilir. Özellikle RCP 8.5 senaryosunun son 30 yıllık döneminde havzada kar birikiminin neredeyse oluşmayacak duruma gelmesi nedeniyle, barajlar göllerinde beklenen hacimlerin büyük oranlarda azalması öngörülmektedir. Barajların haznelerinde beklenen bu değişimlerin bir diğer sebebi olarak, su kullanımlarının artışlarına göre kurgulanan senaryo 2 gösterilebilir. Ancak, gelecek yıllar için tahmin edilen su kullanımları, referans döneme göre çok büyük farklılıklar göstermeyeceği için iklim değişiminden kaynaklanan değişimlere göre 2.senaryonun etkisi düşük kalmıştır.



a)



b)



c)

Şekil 5.93. Göksu Havzası'nda işletmede olan barajların senaryo-1 ve senaryo-2 için rezervuar hacim değişimleri (a) Feke-2 Barajı, b) Menge Barajı, c) Köprü Barajı)

Hidroelektrik Üretim Projeksiyonları

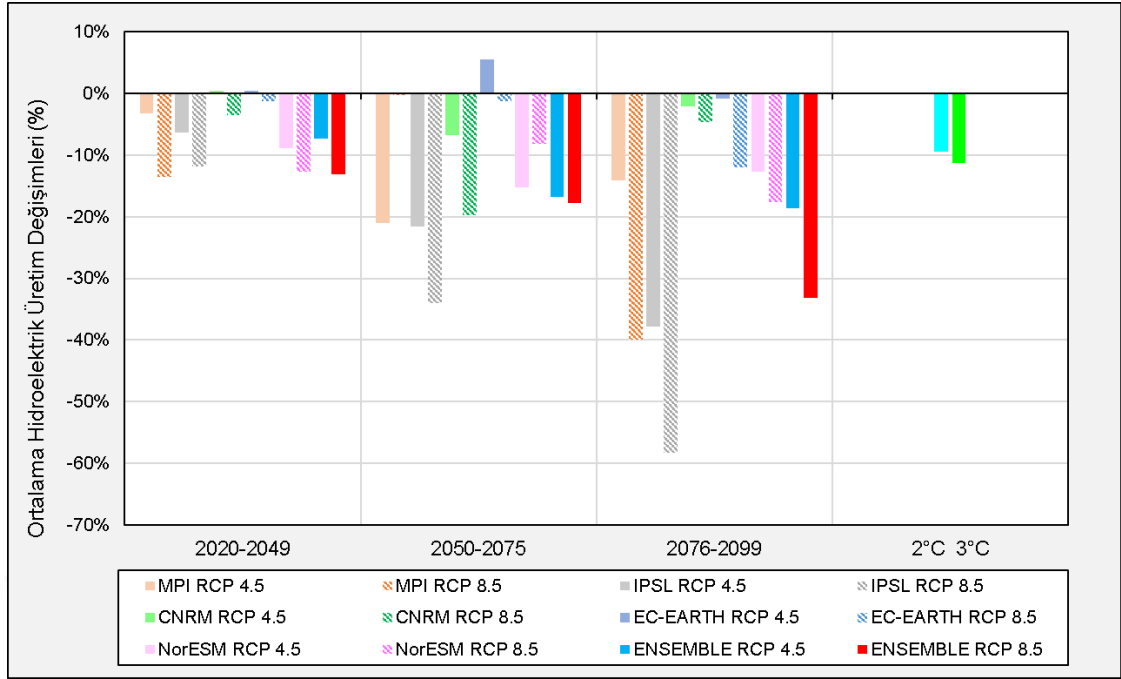
Göksu Havzası'nda uygulanan WEAP modeli ile gelecek dönemlerde havzadaki santrallerde öngörülen hidroelektrik üretim değişimleri bu kapsamda değerlendirilmiştir. Çalışmada belirlenen dört senaryonun sonuçları ayrı ayrı aşağıdaki başlıklarda değerlendirilmiştir.

Senaryo-1 Sonuçları

Mevcut durumun korunduğu, sadece iklim değişikliği etkilerine göre oluşturulan Senaryo-1 sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir. Göksu Havzası'nda bulunan her bir HES için ayrı ayrı yapılan ve daha sonra bu değerler toplanarak havzadaki ortalama toplam hidroelektrik üretim potansiyeli değişim analizlerinde, model sonuçlarının referans döneme göre genel olarak azalan bir eğilimde olacağı görülmekte olup değişim grafikleri Şekil 5.94 ile verilmiştir.

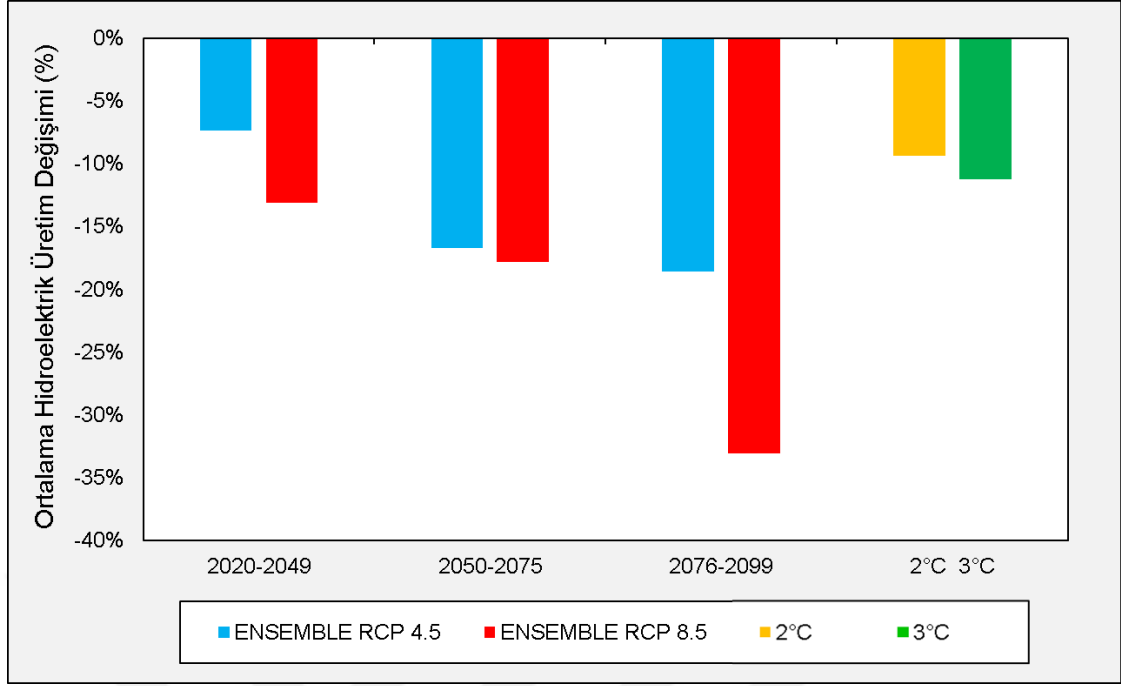
Senaryo-1 için 30'ar yıllık hidroelektrik üretimlerindeki değişimlere bakıldığında, ilk 30 yıllık dönem içerisinde modellerin sunmuş olduğu RCP 4.5 ve RCP 8.5 sonuçlarında genel olarak azalmaların olacağı tespit edilmiştir. 30'ar yıllık periyotların sonlarına doğru Göksu Havzası'ndaki toplam hidroelektrik üretim değişimlerinde azalışların modellere göre artarak devam edebileceği beklenmektedir. İklim modelleri arasında kıyaslama yapılacak olursa, en dramatik azalmaların IPSL modelinin senaryolarına ait olduğu görülmektedir.

Dönemsel olarak model sonuçları değerlendirildiğinde; 2020-2049 döneminde en iyimser sonucu veren model ve senaryo %0,5 artış ile EC-EARTH RCP 4.5 senaryosu olurken, en olumsuz senaryo ise %13,5 azalış ile MPI RCP 8.5 senaryosu olmuştur. 2050-2075 periyodunda en iyimser sonucu veren model ve senaryo %5,6 artış ile EC-EARTH RCP 4.5 senaryosu olurken, en olumsuz senaryo ise %34,0 azalış ile IPSL RCP 8.5 senaryosu olmuştur. 2076-2099 döneminde ise, en iyimser sonucu veren model ve senaryo %0,8 azalış ile EC-EARTH RCP 4.5 senaryosu olurken, en olumsuz senaryo ise %58,3 azalış ile IPSL RCP 8.5 senaryosu olmuştur. Sonuç olarak modeller arası değerlendirme yapıldığında, Göksu Havzası'nda üretilen hidroelektrik enerjide iyimser durumu EC-EARTH modelinin RCP 4.5 senaryosu verirken, en olumsuz sonuçlar IPSL modelinin RCP 8.5 senaryosundan elde edilmiştir.



Şekil 5.94. Göksu Havzası senaryo-1 hidroelektrik üretim değişimleri

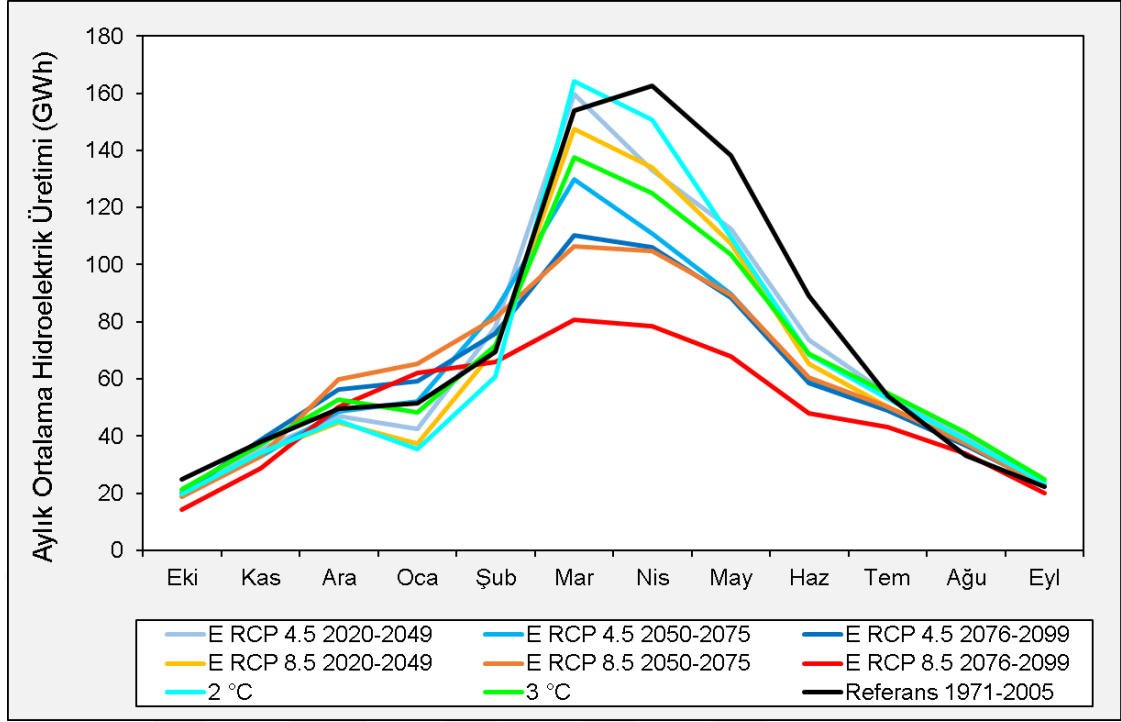
İklim modellerinin RCP4.5 ve RCP 8.5 ortalamalarına göre oluşturulan ve WEAP modelinden sonuç olarak elde edilen ensemble hidroelektrik üretim değişimlerine bakıldığında, Göksu Havzası'nda %7,4 ile %33,1 azalış aralığında değişimler beklenmektedir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre ise, sonuçların azalma yönünde olduğu ve 2020-2049 dönemdeki ensemble senaryo sonuçlarına benzediği görülmektedir. Ensemble sonuçlar ile birlikte, 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen veriler de dahil edilerek hidroelektrik üretim potansiyeli açısından Göksu Havzası'nın Senaryo-1 kapsamında özet değişim sonuçları oluşturulmuş ve Şekil 5.95 ile sunulmuştur.



Şekil 5.95. Göksu Havzası senaryo-1 ensemble hidroelektrik üretim değişimleri

İklim senaryolarının birleştirilmesiyle oluşturulmuş Senaryo-1 sonuçları incelendiğinde, 2020-2099 yılları bazındaki bütün durumlarda hidroelektrik üretim potansiyelinin azalacağı tespit edilmiştir. Genel değişim mertebelerine bakıldığında azalışların yüzyılın sonlarına doğru %33'lere ulaşabileceği belirlenmiştir.

30 yıllık periyotlara göre hesaplanan değişim sonuçlarının yanı sıra Göksu Havzası'ndaki hidroelektrik enerji üretiminin, iklim değişikliği ile birlikte beklenen değişimleri aylık olarak incelenmiştir. Senaryo-1 için hazırlanmış ensemble aylık ortalama hidroelektrik üretim değişim grafiği Şekil 5.96 ile verilmiştir.



Şekil 5.96. Göksu Havzası aylık senaryo-1 hidroelektrik üretim değişimleri

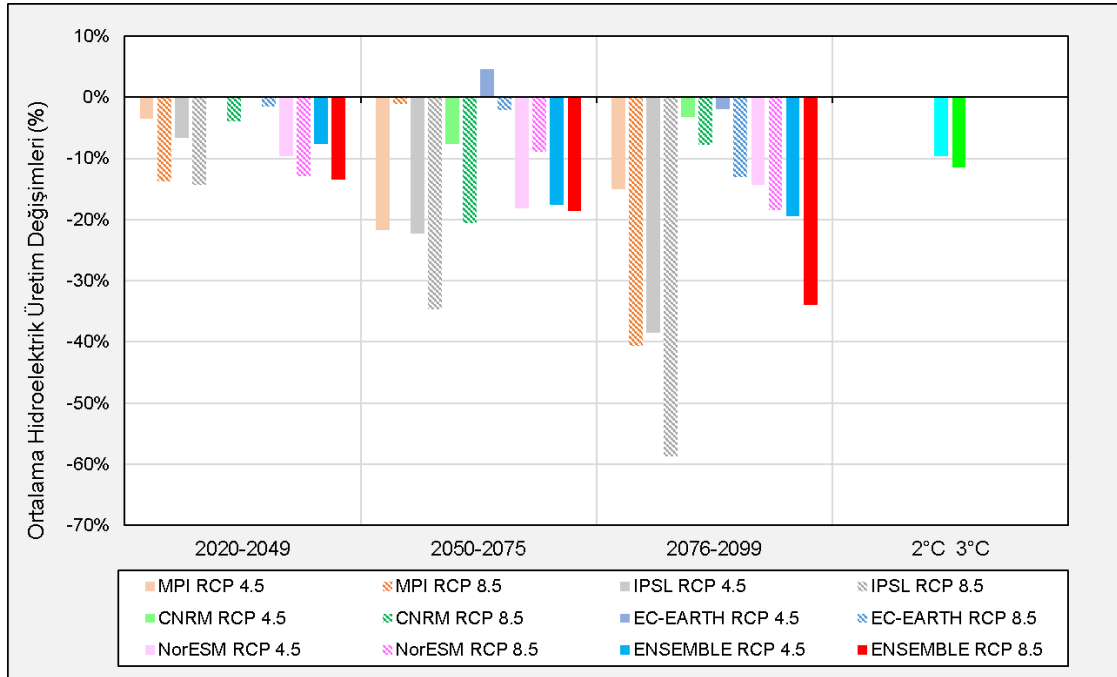
Aylık hidroelektrik üretim verileri Göksu Havzası için incelendiğinde, Aralık-Şubat ayları arası olan dönemdeki projeksiyon ortalamalarının referans değerlerine göre artış gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarının orta ve son dönemlerindeki artışların, 2020-2049 periyoduna göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Pik akımların geldiği ve havzadaki yıllık üretilen hidroelektriğin büyük bir kısmının elde edildiği dönem olan bahar ve erken yaz aylarında ise, azalmaların ve aynı zamanda zamansal olarak geri çekilmelerin olacağı gözlenmiştir. Açıklanan durumların temel nedeni, havzaya düşen yağışların azalması, giderek artan sıcaklık değerlerine bağlı olarak kar erimesinden beslenen akımların bahar aylarından kış aylarına doğru geri çekilmesi ve dolayısıyla enerji üretim oranının da bu etkilere paralel olarak kayması söylenebilir. Ağustos-Eylül aylarında ise referansa göre az da olsa hidroelektrik üretiminin artacağı tespit edilmiştir.

Aylık uzun yıllar ortalama üretim verileri genel olarak değerlendirildiğinde, havzaya düşen yağışlardaki azalmalara ve artan sıcaklıkların etkilerine bağlı olarak havzada üretilen enerjide azalışların olacağı ve referansa göre en fazla üretimlerin olduğu dönemlerde zamansal olarak öne çekilmelerin oluşabileceği tespit edilmiştir.

Senaryo-2 Sonuçları

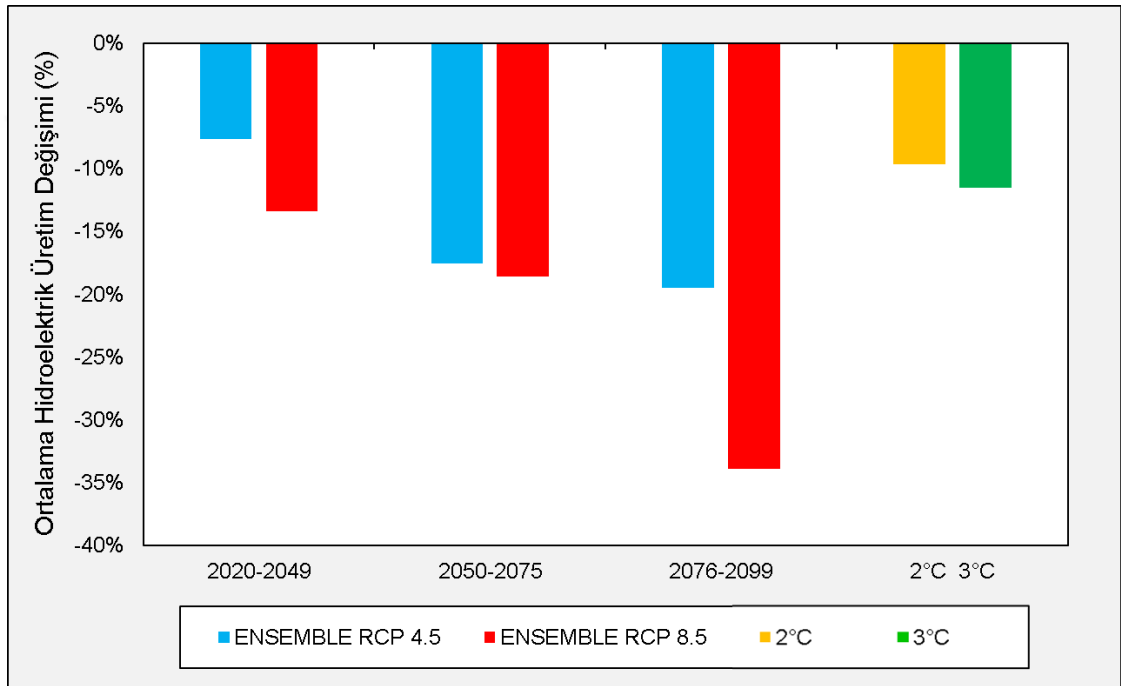
İklim değişikliği etkilerinin olduğu ve havzadaki su kullanımlarının 30'ar yıllık dönemlere göre kademeli olarak artacağı Senaryo-2 sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir. Havzadaki ortalama toplam hidroelektrik üretim potansiyeli değişim analizlerinde, model sonuçlarının referansa göre genel olarak azalış göstereceği ve bu azalmaların yüzyılın sonuna doğru artarak devam edeceği belirlenmiştir (Şekil 5.97). İklim modelleri arasında kıyaslama yapılacak olursa, en olumsuz azalmalar veren model IPSL modeli olup, EC-EARTH modelinin senaryolarında ise nispeten daha pozitif yönde sonuçların elde edildiği gözlenmektedir.

Dönemsel olarak model sonuçları değerlendirildiğinde; 2020-2049 döneminde en iyimser sonucu veren model ve senaryo %0,1 artış ile EC-EARTH ve CNRM modellerinin RCP 4.5 senaryosu olurken, en olumsuz senaryo ise %14,3 azalış ile IPSL RCP 8.5 senaryosu olmuştur. 2050-2075 periyodunda en iyimser sonucu veren model ve senaryo %4,6 artış ile EC-EARTH RCP 4.5 senaryosu olurken, en olumsuz senaryo ise %34,6 azalış ile IPSL RCP 8.5 senaryosu olmuştur. 2076-2099 döneminde ise, en iyimser sonucu veren model ve senaryo %2,0 azalış ile EC-EARTH RCP 4.5 senaryosu olurken, en olumsuz senaryo ise %58,8 azalış ile yeniden IPSL RCP 8.5 senaryosu olmuştur.



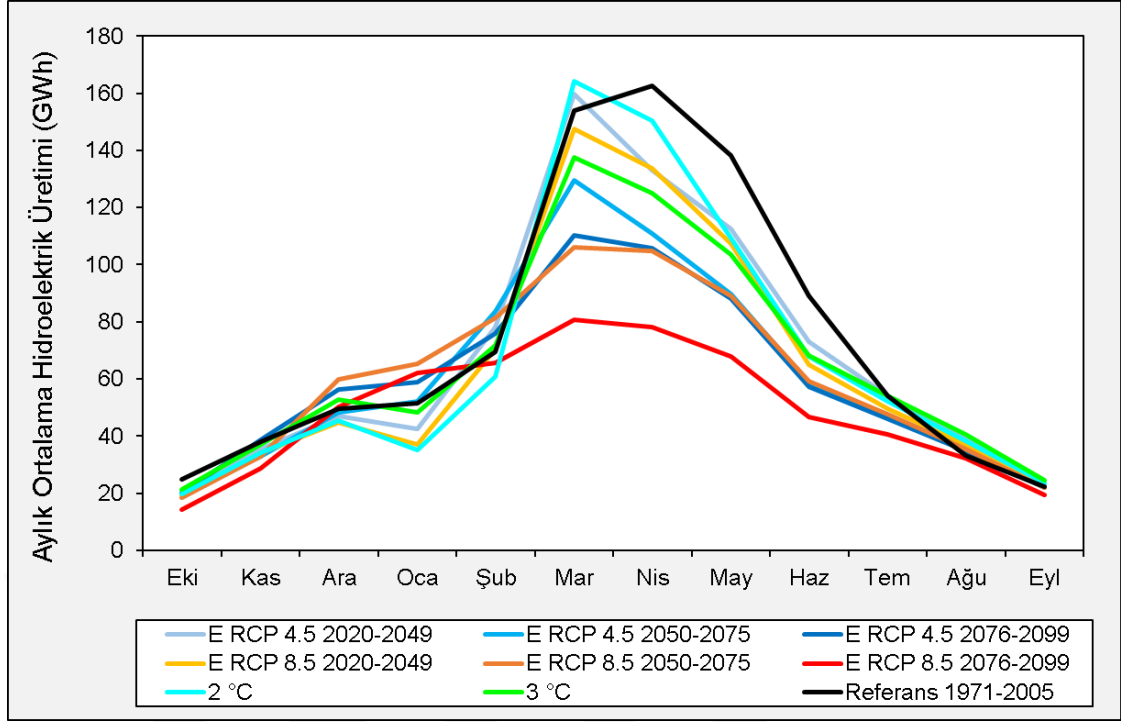
Şekil 5.97. Göksu Havzası senaryo-2 hidroelektrik üretim değişimleri

5 iklim modelinin ensemble hidroelektrik üretim değişimleri incelendiğinde, Göksu Havzası'nda %7,7 ile %33,9 aralığında azalışların oluşabileceği beklenmektedir. 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre ise, sonuçların azalma yönünde olduğu ve genel olarak Senaryo-1 ile sunulduğu gibi 2020-2049 dönemdeki ensemble senaryo sonuçlarına benzediği görülmektedir. Ensemble sonuçlar ile birlikte, 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen veriler de dahil edilerek hidroelektrik üretim potansiyeli açısından Göksu Havzası'nın Senaryo-2 kapsamında özet değişim sonuçları oluşturulmuş ve Şekil 5.98 ile sunulmuştur.



Şekil 5.98. Göksu Havzası senaryo-2 ensemble hidroelektrik üretim değişimleri

Göksu Havzası'ndaki Senaryo-2 sonuçlarının özet analiz sonuçları incelendiğinde, bütün projeksiyon periyotlarında hidroelektrik üretim potansiyelinin azalacağı belirlenmiştir. Senaryo-1 ile elde edilen sonuçlara göre, değerlerin beklenildiği üzere benzer eğilimde olacağı ve azalış oranlarının nispeten artacağı (%8-%35 seviyelerinde) belirlenmiştir. Bu sonuçlar ile beraber havzadaki hidroelektrik enerji üretiminin, bu senaryo kapsamındaki değişim oranları aylık olarak değerlendirilmiştir. Ensemble verilerin, referansa göre karşılaştırması aylık değişim grafiği olarak Şekil 5.99 ile sunulmuştur.



Şekil 5.99. Göksu Havzası aylık senaryo-2 hidroelektrik üretim değişimleri

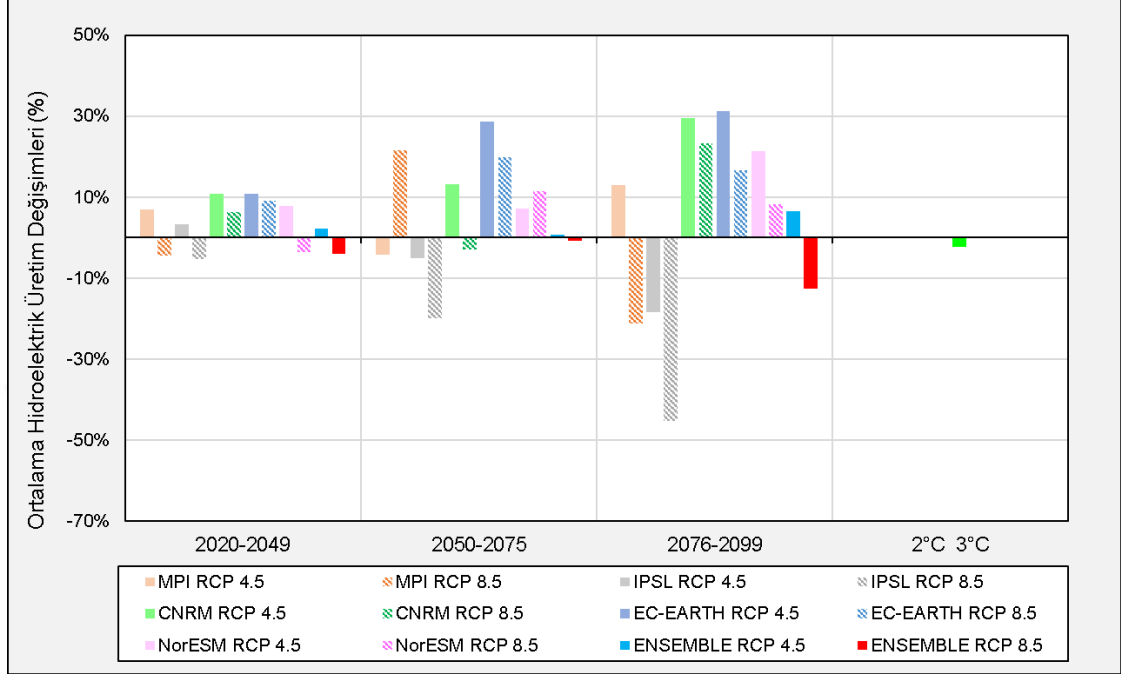
Uzun yıllar aylık hidroelektrik üretim verileri Göksu Havzası için değerlendirildiğinde, Senaryo-1'e yakın sonuçların elde edildiği ve referansa göre nispeten daha düşük seviyelerde enerji üretebildiği görülmektedir.

Senaryo-3 Sonuçları

İklim değişikliği etkilerinin olduğu ve santrallerin çalışma kapasitesi ile elektrik üretim verimlerinin kademeli olarak artacağı Senaryo-3 sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir. Havzadaki ortalama toplam hidroelektrik üretim potansiyeli değişim analizlerinde, model sonuçlarının referans döneme göre artış ve azalışlara sahip olacağı belirlenmiş olup değişim grafikleri Şekil 5.100 ile verilmiştir.

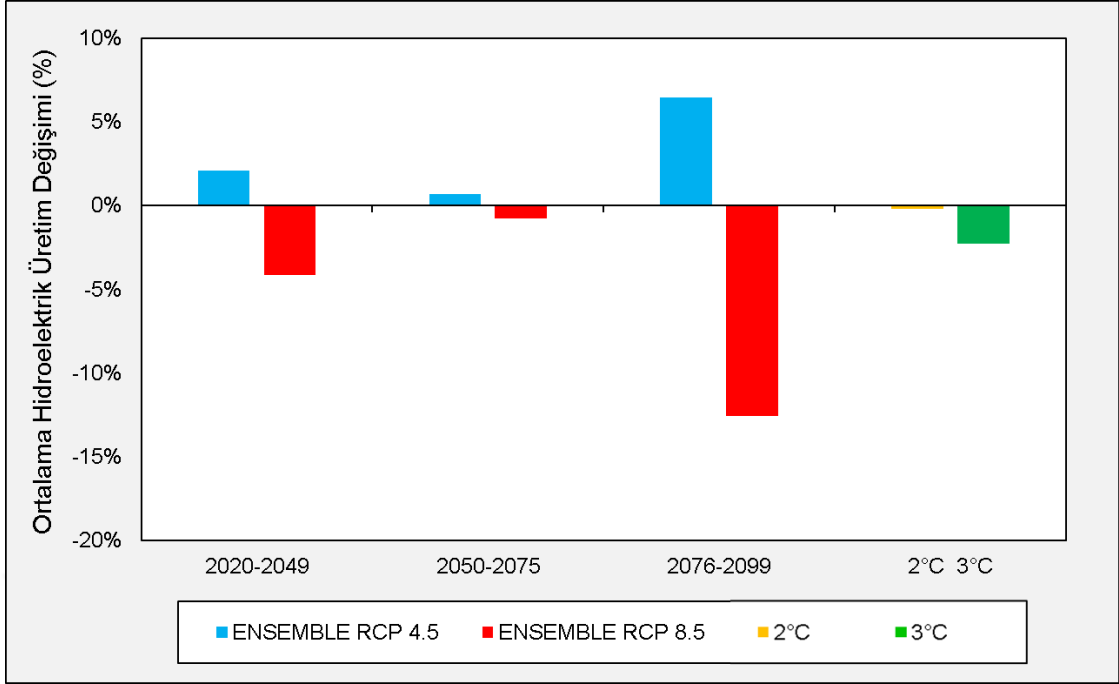
Senaryo-3 için 30'ar yıllık hidroelektrik üretimlerindeki değişimlere bakıldığında, 2020-2099 yılları arasındaki dönemlerde iklim modellerinin farklı sonuçlar üreteceği ve bu değişim farklarının artacağı tespit edilmiştir. Tesislerdeki kapasite ve verim artışları, havzada değişmesi beklenen iklim koşullarını en aza indirebilmek adına zorlayıcı bir faktör olsa da hidroelektrik üretiminin azalmasını tam olarak engelleyemediği görülmüştür. Sonuçlara periyotlar açısından bakıldığında, 2020-2049 döneminde en iyimser sonucu veren model ve senaryo yaklaşık %11'lik artışla, CNRM ve EC-EARTH modellerinin RCP 4.5 senaryoları olmuştur. 2050-2075 yılları ve 2076-2099 periyodunda

EC-EARTH modeli RCP 4.5 senaryosu olurken, 2020-2099 yıllarında %5-%45 arası azalma sonuçları ile en olumsuz sonuçlar IPSL modelinin RCP 8.5 senaryosuna ait olduğu tespit edilmiştir.



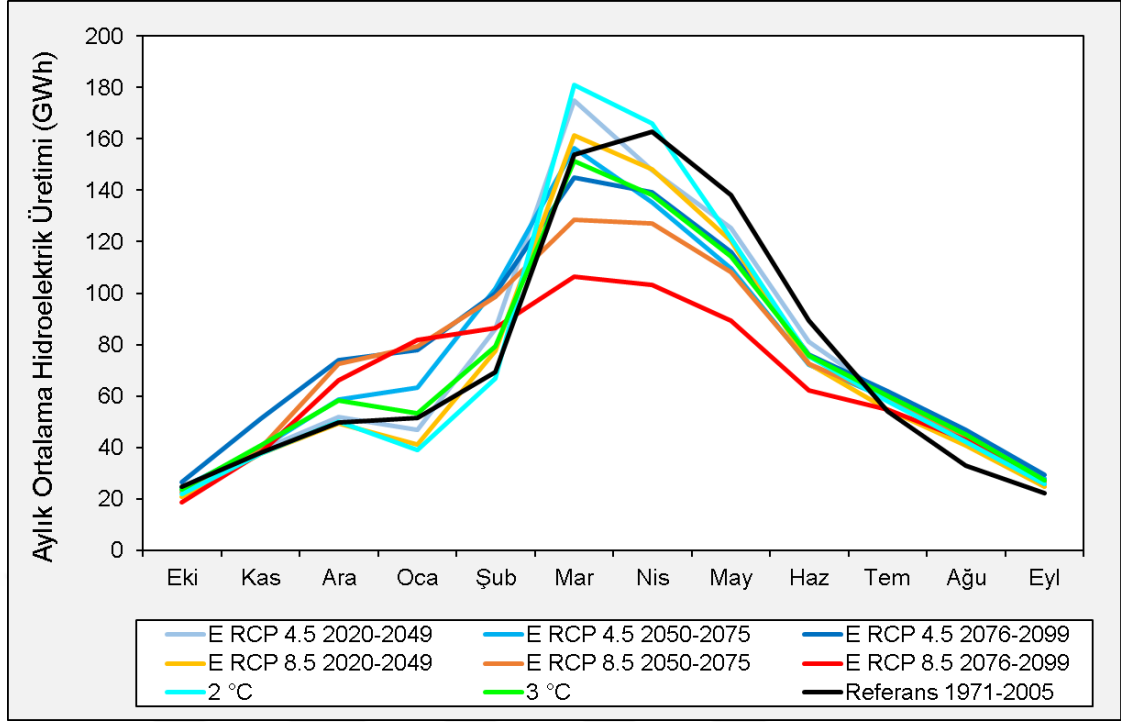
Şekil 5.100. Göksu Havzası senaryo-3 hidroelektrik üretim değişimleri

Bu senaryo yaklaşımı ile, iklim değişikliği etkileri olsa bile havzadaki hidroelektrik üretim potansiyeli üzerinde nasıl bir etkiye sahip olabileceği değerlendirilmiştir. İklim modellerinin RCP 4.5 ve RCP 8.5 ortalamalarına göre oluşturulan ensemble hidroelektrik üretim değişimleri incelendiğinde, Göksu Havzası'nda %0,7 ile %6,5 arasında artışların RCP 4.5 senaryosuna göre beklendiği tespit edilmiştir. RCP 8.5 ensemble sonuçlarına göre de yaklaşık olarak %1-%13 arasında azalmaların yaşanabileceği belirlenmiştir. 2°C'lik sıcaklık artışındaki Senaryo-3 sonuçlarının, iklim değişikliği ile mücadele edebilir durumda olacağı belirlenmiştir. 3°C'lik sıcaklık artışında ise, sonuçların hala azalış yönünde olacağı öngörülmüştür. Ensemble sonuçlar ile birlikte, 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artış durumlarının da dahil edildiği özet değişim sonuçları oluşturulmuş ve Şekil 5.101 ile sunulmuştur.



Şekil 5.101. Göksu Havzası senaryo-3 ensemble hidroelektrik üretim değişimleri

Senaryo-3 için toparlanmış özet sonuçlar incelendiğinde, yukarıda belirtildiği gibi RCP 4.5 senaryosuna göre hidroelektrik değişimin olumlu etkileneceği, RCP 8.5 senaryosuna göre de azalmaların olacağı belirlenmiştir. 2 derecelik sıcaklık artışında değişimin neredeyse oluşmayacağı, 3 °C'lik sıcaklık artışında ise %2'ler düzeyinde azalma beklendiği tespit edilmiştir. Genel değişim sonuçları ile birlikte havzadaki hidroelektrik enerji üretiminin, bu senaryo kapsamındaki beklenen değerleri aylık olarak incelenmiştir. Ensemble sonuçların, referans verilere göre karşılaştırması uzun yıllar aylık ortalama grafik olarak Şekil 5.102 ile verilmiştir.



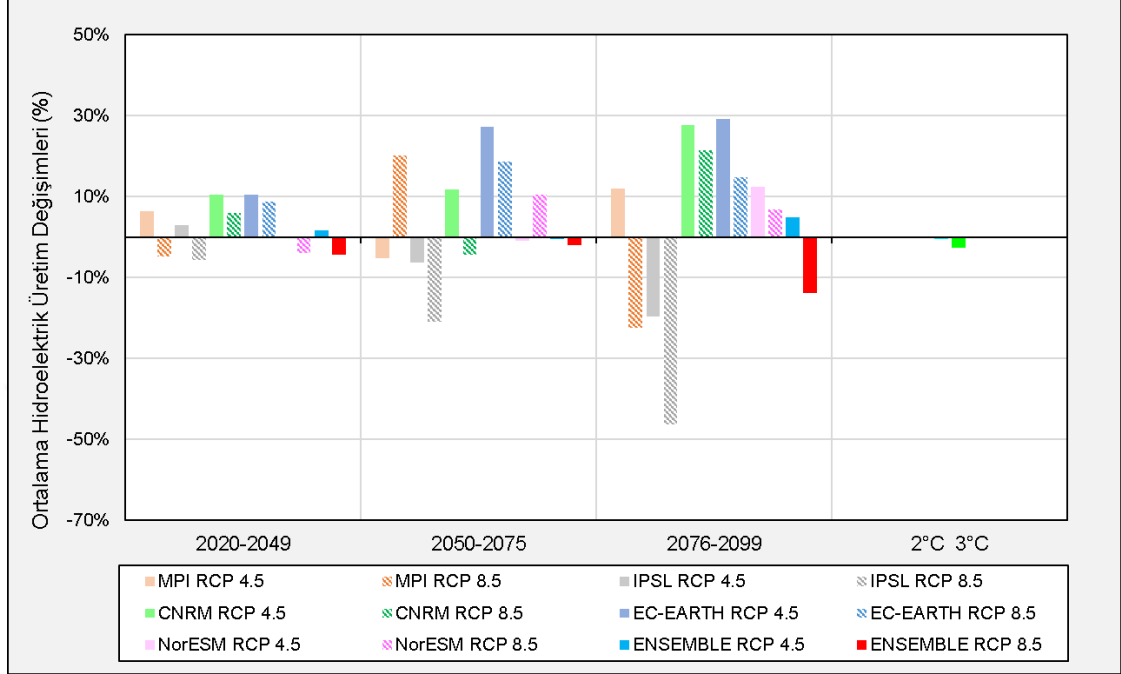
Şekil 5.102. Göksu Havzası aylık senaryo-3 hidroelektrik üretim değişimleri

Uzun yıllar aylık hidroelektrik üretim verileri Göksu Havzası için incelendiğinde, yaz aylarının sonu (Temmuz ve Ağustos) ve sonbahar aylarının başında (Eylül) referansa göre artışların oluşacağı belirlenmiştir. Genel olarak kış aylarında hidroelektrik üretiminin artacağı, ilkbaharda ise azalacağı belirlenmiştir. Bu durum her ne kadar üretim verimi ve kapasite artırılmış olsa da iklim değişikliği etkisinin baskın olacağını göstermektedir. Gelecek yıllarda sıcaklık artışıyla birlikte kar erimelerinden kaynaklanan akımların erkene çekilme ihtimali, havzadaki hidroelektriğin referansa göre hem azalmasına hem de önemli miktarının daha erken aylarda üretilmesine sebep olacağı öngörülmektedir.

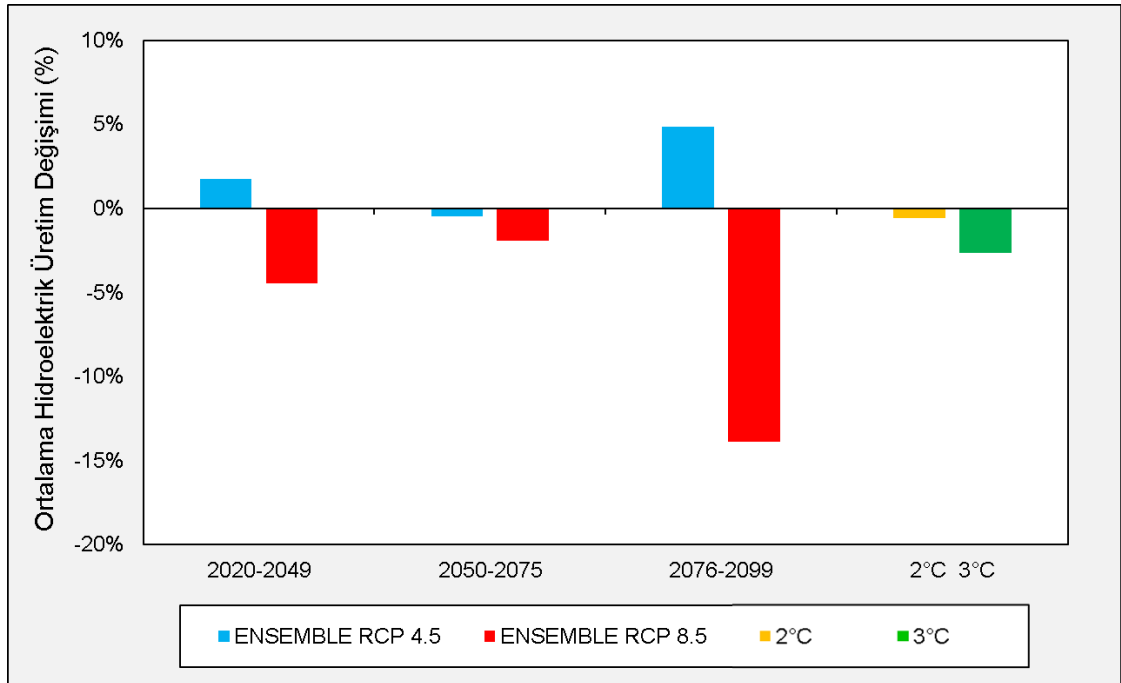
Senaryo-4 Sonuçları

Göksu Havzası için gelecek yıllarda öngörülen hidroelektrik üretim değişim sonuçları kapsamında belirlenen 3 senaryonun birleşiminden oluşan Senaryo-4 sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir. Senaryo-4 ile havzada beklenen iklim değişikliği etkilerinin yanında su ihtiyaçlarındaki artışlar, bölgede bulunan su yapıları üzerindeki olumsuz etkiyi artırmaktadır. Ancak, değişim sonuçları (Şekil 5.103), senaryodaki baskın özelliğinden dolayı çalışma kapasitesi ile üretim verimlerinin kademeli artışlarına bağlı olarak senaryo-3 sonuçlarına yakın olarak elde edilmiştir. Senaryo-4 için 30'ar yıllık

hidroelektrik üretimlerindeki değişimlere bakıldığında, önceki senaryolarda olduğu gibi en iyimser sonuçları veren iklim modeli EC-EARTH modeli olurken, IPSL modelinin sonuçları ise en kötümser değerleri vermiştir.



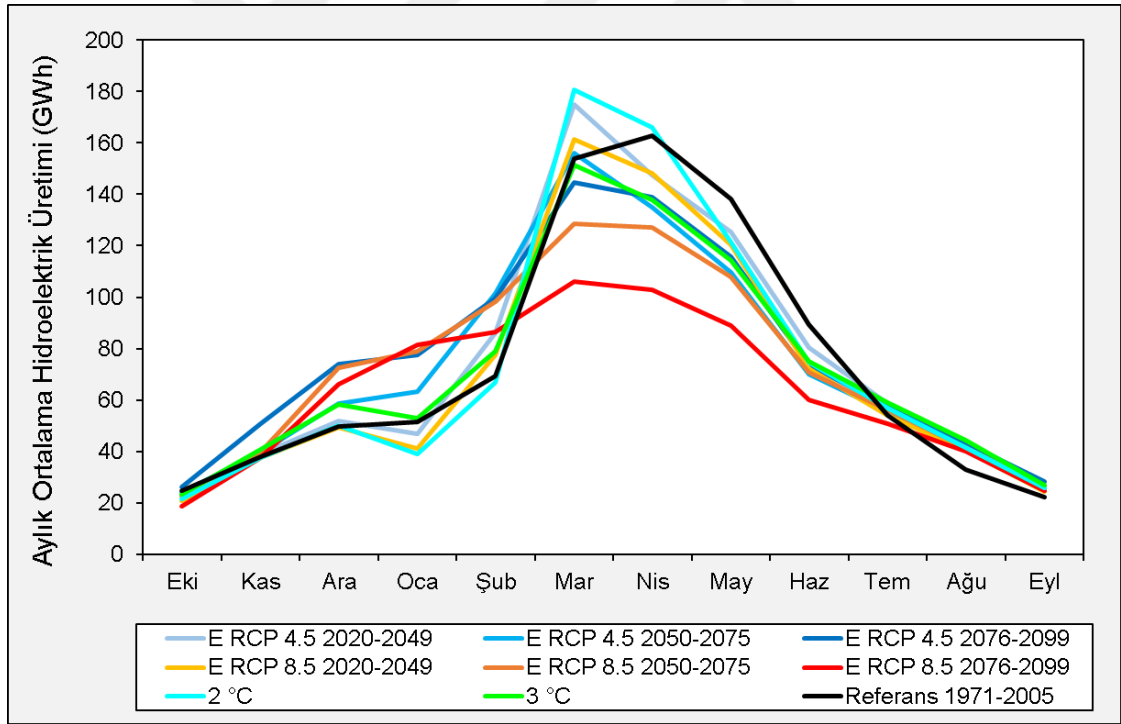
Şekil 5.103. Göksu Havzası senaryo-4 hidroelektrik üretim değişimleri



Şekil 5.104. Göksu Havzası senaryo-4 ensemble hidroelektrik üretim değişimleri

Ensemble sonuçlar incelendiğinde, Göksu Havzası'ndaki hidroelektrik üretim değişimlerinde %5'lere varan artışlar ile %14'ler mertebelerinde azalmalar beklenmektedir. Bu sonuçlar ile birlikte, 2°C ve 3°C'lik sıcaklık artışlarına göre elde edilen veriler de dahil edilerek hidroelektrik üretim potansiyeli açısından Göksu Havzası'nın Senaryo-4 kapsamında özet değişim sonuçları elde edilmiş ve Şekil 5.104 ile sunulmuştur.

Senaryo-4 sonuçlarının özet analiz sonuçları değerlendirildiğinde, bütün projeksiyon periyotlarında ve iklim senaryolarında senaryo-3 sonuçlarına yakın değerler elde edildiği görülmektedir. Azalış ve artışların görülebileceği sonuçlarda, yalnızca azalmaların olacağı konusunda anlaşılan dönem 2050-2075 periyodu olmuştur. 30 yıllık dönemlere göre sunulan genel değerlendirmenin yanı sıra, havzadaki hidroelektrik enerji üretiminin referansa göre değişim oranları uzun yıllar aylık ortalama (Şekil 5.105) olarak irdelenmiştir.

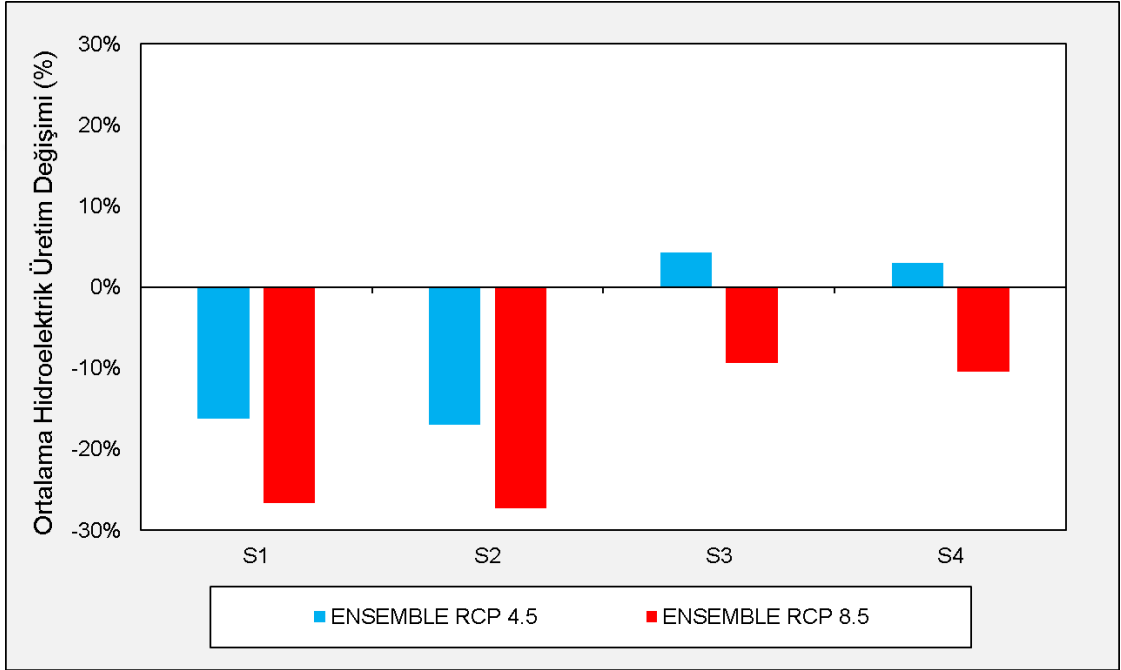


Şekil 5.105. Göksu Havzası aylık senaryo-4 hidroelektrik üretim değişimleri

Uzun yıllar aylık ortalama hidroelektrik üretim verilerine bakıldığında, sonuçların senaryo-3 ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Ancak su ihtiyaçlarındaki artışlara bağlı olarak üretilen enerjinin senaryo-3 sonuçlarına göre azalacağı hesaplanmıştır.

Göksu Havzası Senaryo Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Göksu Havzası için uygulanan modelleme yaklaşımları ve işletme senaryoları ile gelecekte beklenen hidroelektrik üretim değişimleri analiz edilmiştir. Belirtilen senaryoların, hidroelektrik üretim değişimleri ve bununla birlikte enerjiye ulaşabilen kişi sayısındaki etkileşim, bu kapsamda değerlendirilen bir diğer çalışmadır. Senaryoların, özellikle yüzyılın sonuna doğru (2076-2099 yılları) havzadaki hidroelektrik üretim üzerinde nasıl bir etkiye sahip olacağı değerlendirilmiş ve Şekil 5.106 ile sunulmuştur.



Şekil 5.106. Göksu Havzası senaryolara göre ensemble hidroelektrik üretim değişimleri (2076-2099)

Ensemble iklim senaryoları ve 2-3°C'lik sıcaklık artış senaryolarının birleşiminden oluşan grafiğe göre, havzadaki hidroelektrik üretimlerin %16-%27 aralığında azalması beklenmektedir. Su kullanımlarındaki artışın (Senaryo-2), Peterek Havzası'ndaki hidroelektrik üretimler kadar bu havzada etkili olmadığı görülmüştür. Enerji tesislerindeki verim ve kapasite artışlarının (Senaryo-3 ve Senaryo-4) ise, iklim değişikliği ile mücadele kapsamında önemli olduğu ve RCP 4.5 senaryo sonuçlarını olumlu tarafa taşıyabildiği tespit edilmiştir. Ancak ensemble RCP 8.5 senaryo sonuçlarının, bütün durumlarda azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç ile Göksu Havzası'nda özellikle uzak gelecekte beklenen iklim değişikliği şiddetinin yıkıcı sonuçlar doğurabileceği ve havzada su kullanan sektörleri olumsuz olarak etkileyebileceği tespit edilmiştir.

Elektrik Enerjisi Karşılana Kışi Sayısı Değişimi

5 iklim modelinin senaryoları ve baraj işletme senaryolarına göre alıştırılan WEAP modelinden, havzadaki santrallerin gelecek dönemlere göre yıllık ortalama hidroelektrik enerji üretim değerleri elde edilmiştir. Bu değerler ile kişi başına düşen birim enerji değeri çarpılarak havzada toplamda kaç kişinin elektrik enerjisinin karşılandığı bilgisi tespit edilmiştir. Ensemble sonuçlar ile birlikte 2-3°'lik sıcaklık artışlarına bağlı olarak elektrik enerjisi karşılana kişi sayısı değişim sonuçları Göksu Havzası için elde edilmiştir. Referansa göre elektrik ihtiyaç karşılana kişi sayılarındaki değişim, 4 farklı işletme senaryosunun sonuçları ile birlikte Tablo 5.29 ile gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre en olumsuz değişimler beklendiği üzere Senaryo-2 sonuçları olurken, enerji ihtiyaç karşılana kişi sayılarındaki artışlar ise en fazla Senaryo-3 sonuçlarında ngrlmştir. Senaryo-2 kapsamında elde edilen son dönemdeki ensemble RCP 8.5 iklim senaryosu sonuçlarında, referansa göre yaklaşık 83 bin kişinin hidroelektrik enerjiye ulaşamayacağı tahmin edilmiştir. Kişi sayısındaki artışlara bakıldığında ise yaklaşık 16 bin kişilik artışın, Senaryo-3 ile elde edilen ensemble RCP 4.5 iklim senaryosunun son döneminde olacağı belirlenmiştir. Santrallerdeki kademeli verim artışlarının etkisiyle birlikte bu durum ngrlmştir. 2-3°C'lik sıcaklık artışlarının bu parametreye yansımaları ise, referansa göre yaklaşık olarak kişi sayısında 6 bin ile 28 bin azalma arasında olacağı beklenmektedir. Göksu Havzası'nda uygulanan işletme senaryolarının, iklim değişikliği ile mücadele kapsamında ve birçok yönüyle önemli bir etkiye sahip olabileceği gözlenmiştir. Ancak, yine de HES'lerdeki çalışma kapasitesi artışları RCP 8.5 sonuçları ile 2-3°C'lik sıcaklık artış senaryolarını pozitif tarafa geçirememiştir.

Tablo 5.29. Göksu Havzası 30 yıllık dönemlere göre elektrik enerjisi karşılana kişi sayısı değişimleri

Referansa Göre Kişi Farkı	Senaryo-1	Senaryo-2	Senaryo-3	Senaryo-4
E RCP-45 (2020-2049)	-18019	-18729	5116	4262
E RCP-45 (2050-2075)	-40797	-42802	1664	-1190
E RCP-45 (2076-2099)	-45326	-47649	15772	11906
E RCP-85 (2020-2049)	-32062	-32714	-10117	-10907
E RCP-85 (2050-2075)	-43478	-45471	-1836	-4666
E RCP-85 (2076-2099)	-80833	-82795	-30678	-33929
2°C	-22938	-23620	-551	-1368
3°C	-27421	-28135	-5576	-6429

6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında, ülkemizdeki kar potansiyeli yüksek olan Çoruh ve Seyhan Havzaları'nın memba bölgelerinde yer alan Peterek ve Göksu Havzaları'nda iklim değişimi etkilerini incelemek üzere, hidrolojik modelleme ve su kaynakları planlama modelinin entegre olarak kullanıldığı baraj işletme çalışmaları yapılmıştır. Önemli enerji barajlarının bulunduğu bu havzalarda, gelecek yıllarda beklenen iklimsel koşulların değişimleri ile birlikte; kar kaplı alanlar, barajlara gelen akımlar ve hazne hacimleri ile hidroelektrik enerji üretimlerinde olası etkiler değerlendirilmiştir.

Çalışmada öncelikle seçilen alanların karakteristik özellikleri belirlenmiş ve uzun yıllar ölçülmüş veriler ile hidro-meteorolojik veri analiz çalışmaları yapılmıştır. Havzaların yoğun yerleşim bölgelerinden uzak, dağlık ve yüksek kotlarda bulunmaları ve ortalama olarak %35'lik eğimli, derin ve dik vadilerden oluşmaları bu havzaların benzer topografiye sahip olduklarını göstermektedir. Farklı coğrafyalarda konumlanan bu nehir havzalarındaki çalışmaların detaylı olarak yapılabilmesi için havzalarda uzun yıllar ölçülmüş AGİ'ler incelenmiş ve çalışma havzaları üç alt havzaya ayrılmıştır. Yine bu alanların mevcut koşullardaki iklim özelliklerini belirleyebilmek adına, havzaların içinde ve yakın çevrelerinde bulunan ve uzun yıllar gözlem kayıtları olan MGİ verileri değerlendirilerek hidro-meteorolojik analizler gerçekleştirilmiştir. Havzalardaki ölçülmüş verilerle yapılan analizlere göre; Peterek Havzası'nın yıllık ortalama sıcaklığının 8,5°C, havzaya düşen yıllık ortalama toplam yağışın 465 mm ve günlük ortalama akışın 70 m³/s olduğu tespit edilmiştir. Göksu Havzası'nda ise günlük ortalama sıcaklık 12°C olarak ölçülürken, yıllık ortalama toplam yağışın 664 mm ve günlük ortalama akımın da 56 m³/s olduğu belirlenmiştir. Çalışma havzalarının yine mevcut dönemdeki işletmede ve mutasavver durumda bulunan su yapılarına bakıldığında, Peterek Havzası'nda toplam 9 baraj ve 19 nehir tipi HES bulunduğu belirlenmiştir. İşletme aşamasında olan 8 nehir tipi HES ve 2 depolamalı HES'in bulunduğu Peterek Havzası'nda, membasındaki tarım alanlarının önemli bir kısmını sulayan 1 adet sulama barajı işletilmektedir. Göksu Havzası'nda bulunan 5 barajın 3'ü ve 7 HES'in 6'sı işletilmektedir. Su kullanımlarında ise her iki havzanın özellikle memba bölgelerinde tarımsal sulama faaliyetlerinin yoğun olarak yapıldığı ve mansaba doğru ise dar ve dik vadilerin oluşumu sebebiyle sulamalara karşı elverişsiz bölgeler olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın ana hedeflerinden biri, havzaların gelecek projeksiyonlarını (akım, kar, enerji üretimi, vb) belirlemektir, bu nedenle öncelikle mevcut durumdaki yağış-akış ilişkisinin belirlenmesi gerekmiştir. Bu amaçla dağlık ve karlı bölgelerde iyi sonuçlar üreten bir hidrolojik model olan HBV-Light modeli, alt havzalar bazında uygulanmıştır. Modellerin kalibrasyonu, mevcut dönemin ilk 30 yılına (1971-2000) ait veriler ile yapılmıştır. Kalibre edilen modelin validasyonu ise 2 farklı periyot için ayrı ayrı yapılmıştır. Bütün alt havzalar için ortak olan validasyon dönemi (validasyon-1), 2001-2011 yılları arasında yapılmış olup, ikinci validasyon dönemi ise 2012-2017 yılları arasında uygulanmıştır. Validasyon döneminin ikiye ayrılmasının nedeni, bazı alt havza çıkışlarında bulunan AGİ'lerin kapatılmış ve dolayısıyla ölçüm verilerinin olmamasından kaynaklanmaktadır. Model kalibrasyon ve validasyon-1 dönemleri havzalarda nispeten doğal akımların gözlemlendiği ve yok denecek kadar az su yapısının olduğu dönemleri kapsamaktadır. Model sonuçları incelendiğinde, kalibrasyon ve validasyon-1 dönemlerindeki NSE sonuçlarının bütün alt havzalarda 0,70 değerinden yüksek olduğu belirlenmiş ve sonuçlar iyi (Moriasi, vd., 2007) olarak değerlendirilmiştir. Özellikle Peterek Havzası'nın alt havzalarındaki NSE değerlerinin 0,86-0,94 aralığında olması, simüle edilen akımların gözlenen akımlara oldukça yakın olduğunu göstermektedir. Hem Peterek Havzası'nda hem de Göksu Havzası'nda validasyon-2 dönemleri performanslarının göreceli olarak düştüğü gözlemlense de sonuçların yeterli ile iyi arasında yer aldığı görülmektedir. Belirtilen NSE sonuçları ile her iki havzada da HBV-Light hidrolojik modelinin iklim projeksiyonlarının değerlendirilmesi için uygun olduğu tespit edilmiştir. Yine bu çalışmalarla birlikte, havzaların kar potansiyeli uydu görüntüleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Hem havzaların mevcut şartlardaki kar potansiyellerini belirlemek hem de hidrolojik modelin sonuçlarını test etmek için uydu görüntüleri kullanılarak karla kaplı alan çalışmaları yapılmıştır. Bu hedef doğrultusunda, günlük olarak görüntü üreten ve buluttan etkilenmeyen IMS uydu verileri her bir alt havza için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. 2000-2011 yıllarını arasında günlük olarak elde edilen veriler ile, alt havzalar ve havzalara ait kar karakterizasyonu yapılmış ve kar birikimi ile kar erimesi dönemleri tespit edilmiştir. Yıllık ortalama olarak havzaların %50'sinin karla kaplı olduğu toplam gün sayıları Peterek Havzası için 128 gün, Göksu Havzası için 86 gün olarak belirlenmiştir. Bu veriler ile hidrolojik model çalışmasından elde edilen karla kaplı alan çıktıları karşılaştırılmış ve modelin içsel işleyişi test edilmiştir. Kar kaplı alanlardaki kıyaslama sonuçları, NSE performans ölçütüne göre Peterek Havzası için

0,94, Göksu Havzası için ise 0,91 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar ile birlikte hidrolojik modelin akımlardaki performansının yanı sıra kar değişkenleri konusunda da performansı da gözetilmiş ve modelleme ayağının nispeten güvenilir olması sağlanılmıştır.

Çalışmanın devamında ilgili alanlarda beklenen iklim değişikliği etkileri, Euro-CORDEX veri tabanından elde edilen 12,5 km mekânsal çözünürlüklü 5 farklı küresel iklim modelinin 2 farklı senaryosu ile değerlendirilmiştir. Referans dönem olarak 1971-2005 periyodu, gelecek dönem ise 2020-2099 yılları olarak ele alınmıştır. Ham veri olarak elde edilen bu veriler, doğrusal ölçeklendirme yaklaşımı ile yanlılık düzeltilmesine tabi tutulmuştur. İklim değişikliği etkilerinin belirlendiği çalışmanın sonuçları, kısa, orta ve uzun vadeli olarak 30 ve 25'er yıllık dönemler bazında ve iklim modellerinin ortalamaları alınarak elde edilen ensemble değerler çerçevesinden sunulmuştur. Buna ek olarak, Paris İklim Anlaşması'nda belirlenen küresel sıcaklık hedeflerinden olan 2 °C ve 3°C derecelik sıcaklık artışları senaryosu da ensemble sonuçlar ile birlikte incelenmiştir.

Havzalarda gelecek dönemlerde projekte edilen meteorolojik değişkenlere bakıldığında, seçilen model ve senaryolar sıcaklıkların yıllar ilerledikçe referansa göre artacağını göstermektedir. Özellikle uzun vadeli tahminlerin (2076-2099) kötümser senaryosuna göre, her iki havzanın da 6°C'lere varan sıcaklık artışlarına maruz kalması beklenmektedir. Artan sıcaklıklar, doğrudan havzalarda biriken ve eriyen karla kaplı alanları etkileyebilecektir. Yağış projeksiyonlarında ise, Göksu Havzası'na düşen yağışların %1 ile %18 aralığında kademeli olarak azalabileceği belirlenmiştir. Göksu Havzası'nda sonbahar yağışlarının RCP 8.5 senaryosunun son dönemi hariç diğer dönemlerde ve GWL'de artabileceği, geriye kalan bütün mevsimlerde yağışların azalması beklenmektedir. Peterek Havzası'ndaki yağışlarda ise genel olarak azalışlar beklense de dönemlere ve iklim senaryolarına göre bu durumun farklılık gösterebileceği tespit edilmiştir. Sonuçlar, havzadaki yağışların gelecekte %5 azalabileceği gibi %6'lara varan artışlarında oluşabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte ilkbahar ve yaz sezonlarında yağışların referansa kıyasla azalması ve sonbaharda ise artması öngörülmüştür. Göksu Havzası'ndaki yağış projeksiyonlarından farklı olarak, bütün dönem ve senaryolarda kış aylarında da yağışların artması beklenmektedir. Peterek Havzası için elde edilen gelecek dönem yağış belirsizliğine iki temel unsurun sebep olabileceği değerlendirilmiştir. Birincisi, Peterek Havzası konumu itibarıyla farklı iklim koşullarına sahip Doğu Karadeniz Havzası ile Fırat Havzası'nın membası arasında kalmaktadır. Dolayısıyla

havzanın kuzeyinde yağışlı Doğu Karadeniz ikliminin, havzanın güney kesimlerinde ise karasal iklimin etkili olabileceği tespit edilmiştir. Bu durumun, havzanın ortalama yağış anomali sonuçlarını belirsiz kılabilen değeri değerlendirilmiştir. Bu sonuçların alınmasındaki diğeri bir sebep ise, iklim modeli sayısının bu bölgenin yağış analizi için yetersiz kalmış olabileceğidir. Bu değerlendirmeler ile birlikte, 2020-2099 yılları geneli için havzalar ve alt havzalardaki yağış ve sıcaklıkların eğilim yönleri belirlenmiştir. Mann-Kendall trend testi ile yapılan çalışmalar neticesinde, her iki havzadaki sıcaklıkların anlamlı olarak artan eğilime sahip olduğu tespit edilmiştir. Yağışlarda ise Peterek Havzası'nda anlamlı bir trend yönü olmadığı, Göksu Havzası'nda RCP 8.5 senaryonun ensemble yağışlarında anlamlı olarak azalış eğiliminin görüldüğü tespit edilmiştir.

İklim değeriışikliğinin havzalarda etkileyebileceği meteorolojik değeriışkenler, hidrolojik döngüyü doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle iklim modellerinin senaryolarına ait referans ve gelecek dönem yağış ve sıcaklık verileri, kalibrasyon ve doğrulaması yapılan hidrolojik modele girdi olarak kullanılmıştır. Hem referans dönem hem de gelecek yıllara ait karla kaplı alan ve akım verileri elde edilmiştir.

Değeriışen iklim koşullarının havzalarda neden olabileceği sonuçlar değerişendirildiğinde, her iki havzanın da kar potansiyellerinde önemli azalışların beklendiği ve yüzyılın sonuna doğru bu azalışların artarak devam edebileceği öngörülmektedir. Kar örtüsünde beklenen miktarsal azalmaların yanı sıra, referans döneme kıyasla karın havzalarda daha geç birikmeye başlayacağı ve sıcaklıklardaki artışla birlikte de daha kısa sürelerde yerde kalarak daha erken eriyebileceği belirlenmiştir. Havzaların %50'sinin karla kaplandığı günler değerişlendirildiğinde, karın birikme ve erime dönemlerindeki gözlenen zamansal farklılıklar referans döneme kıyasla tespit edilmiştir. Ensemble senaryo sonuçlarında havzaların %50'sinin karla kaplı olduğu günlerin referans döneme göre azalması beklenmektedir. Hesaplanan karlı günlerdeki azalma değerişleri, Peterek Havzası için 2 hafta ile 2 aylık süre zarfını kapsarken, Göksu Havzası için neredeyse 3 aylık bir azalma öngörülmektedir. Ayrıca, en olumsuz senaryo sonuçları ile kar yağışının Göksu Havzası'nda neredeyse hiç oluşmayacağı görülmektedir. Bu durum Şekil 5.38 ve Şekil 5.48 ile havzalar bazında ortaya konmuştur. Özellikle sıcaklıkların önemli değerişlerde artmasının beklendiği RCP 8.5 senaryosunun 2076-2099 döneminde Peterek Havzası'ndaki karla kaplı alanların referansa göre %45'ler

mertebesinde azalacağı, Göksu Havzası'nda ise bölgeye düşen yağış formunun değişeceği ve kar örtüsünden neredeyse söz edilemeyeceği görülmektedir.

Dağlık bölgelerdeki su kaynaklarının etkili ve verimli bir şekilde yönetilmesinde önemli rol oynayan kar su eşdeğeri de gelecek dönemler kapsamında değerlendirilmiştir. Havzalardaki kar örtüsünde referansa kıyasla beklenen azalmaların, KSE'yi de doğrudan olarak etkilemesi beklenmektedir. Sıcaklıkların artması ile birlikte en dramatik azalmaların RCP 8.5 ensemble senaryo ortalamalarının 2076-2099 döneminde olacağı öngörülmektedir. Bu dönemde Peterek Havzası'nda %60'lara, Göksu Havzası'nda ise %99'lara varan azalmaların olacağı beklenmektedir.

Havzalardaki su yapılarını besleyen akımlara bakıldığında, genel olarak referansa göre düşüşlerin gerçekleşebileceği tespit edilmiştir. En önemli değişimlerin beklendiği uzak gelecekte Peterek Havzası'ndaki günlük ortalama akımlardaki azalmalar en fazla %10 seviyelerine ulaşırken, Göksu Havzası'nda bu azalmanın %40'lar mertebesine dayandığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, pik akım zamanlamalarında beklenen değişimler de incelenmiştir. Peterek Havzası'ndaki akımların referansa göre daha erken pik seviyelere ulaşacağı tespit edilmiştir. Göksu Havzası'ndaki ortalama akımlarda da benzer durum görülse de Peterek Havzası'ndaki kadar erkene çekilme beklenmemektedir. Ancak yine son dönemin RCP 8.5 senaryosuna göre değişen yağış paterninin akım karakteristiğini etkilediği ve pik akımların oluşmayabileceği öngörülmüştür. Sonuç olarak, havzaların karla beslenen akımları, sıcaklık artışına bağlı olarak azalması beklenen kar erimesinden önemli derecede etkilenebilecektir.

Akımlarda öngörülen azalmalar, havzalarda bulunan hidroelektrik enerji üretimlerini de gelecekte olumsuz olarak etkileyebilecektir. Mevcut dönem için hidrolojik modelden elde edilen akım simülasyonları ile kurulan ve saatlik ölçülmüş hidroelektrik üretim verilerine göre kalibre edilmiş olan WEAP modeli ile gelecekte havzalarda üretilen hidroelektrik enerjinin durumu değerlendirilmiştir. Havzalarda işletmede olan santrallerdeki üretim verilerinin, model simülasyonları ile elde edilen aylık toplam enerji karşılaştırılması ile model kalibrasyonu yapılmıştır. Mevcut dönemdeki model kurgu sonuçları NSE performans kriterine göre incelendiğinde, Peterek Havzası için 0,69 ve Göksu Havzası için 0,82 değeri elde edilmiştir. Baraj işletmesi ve enerji üretim projeksiyon çalışmaları kapsamında, iklim değişikliği, su kullanımlarının artması, santrallerdeki kapasite ve verim artışları ve bunların birlikte değerlendirilmesi

senaryolarına göre WEAP modeli kurgulanmıştır. Sonuçların çoklu koşullar ile değerlendirilmesi ve belirsizliklerin azaltılması için bu yaklaşıma başvurulmuştur.

Havzalardaki iklim koşullarının değişmesi ve buna bağlı olarak hidrolojik döngünün etkilenmesi kaçınılmazdır. Bu husus, havzalarda bulunan su yapılarını besleyen akımları ve dolayısıyla barajlarda depolanan su ile santrallerde üretilen hidroelektrik enerji üretim performanslarını etkilemektedir. Bu çalışmadaki nihai hedeflerden biri olarak belirlenen enerji üretimlerindeki değişimler detaylı olarak ve belirtilen farklı senaryo durumlarına göre ele alınmıştır. Yapılan değerlendirmelerde iklim modellerinin ensemble ortalamaları ve 2 ile 3°C'lik sıcaklık artış durumları birlikte incelenmiştir. Mevcut koşulların korunarak iklim değişikliğinin beklendiği 1.senaryoya göre Peterek Havzası'nda üretilen hidroelektrik enerjinin referansa göre bütün iklim senaryolarında azalacağı öngörülmüştür. Havzadaki en dramatik sonuçların beklendiği 2050-2075 dönemi RCP 4.5 senaryosunda ise bu oranın, %12 seviyelerine ulaşabileceği hesaplanmıştır. Enerji üretiminde beklenen miktarsal azalışlarla birlikte, referans dönemde üretimlerin en yoğun olduğu aylarda, zamansal kaymaların olabileceği aylık değişim sonuçlarında öngörülmüştür. Özellikle RCP 8.5 senaryosunun 2076-2099 döneminde enerji üretiminin havzada pik yaptığı zamanlarda, 1 aylık geriye çekilmenin oluşabileceği belirlenmiştir. Havzada yüzeysel su kullanan sektörlerdeki tüketimlerin kademeli olarak artacağı kurgusu ile oluşturulan 2.senaryoda ise %6-%15 aralığında azalma yönünde değişimler beklenmektedir. Santrallerdeki enerji üretim kapasite ve verimlerin 30 ve 25'er yıllık periyotlarda kademeli olarak artırılması senaryosunda (senaryo 3), havzadaki hidroelektrik enerjinin referansa göre %9 ile %36 arasında artması öngörülmektedir. Bütün senaryoların birleşiminden oluşan 4.senaryoda ise, referans döneme göre enerji üretiminde %4 ile %28 arasında artış olabileceği tahmin edilmektedir. Göksu Havzası'nda ise bulunduğu coğrafya da esas alındığında kuzeyde ve geçiş ikliminde yer alan Peterek Havzası'na göre kuraklık etkilerinin, daha yoğun olacağı öngörülmüştür. Dolayısıyla artan sıcaklıklar ve azalması beklenen yağışlar neticesinde, kar örtüsünün ve akımların azalması barajlardaki hacimlerin daha düşük seviyelerde olacağı ve havzadaki hidroelektrik üretimlerinin önemli ölçüde bu durumdan etkilenebileceği tespit edilmiştir. Senaryo 1 sonuçlarında, referansa göre enerji üretimlerinin %7'lerden %33'lere varan azalmalara maruz kalabileceği belirlenmiştir. Göksu Havzası'nda enerji üretimlerinde beklenen zamansal kaymaların, Peterek Havzası'nda beklendiği kadar etkili olmayacağı, bundan ziyade miktarsal azalmaların

daha baskın olacağı belirlenmiştir. Bu durum su kullanımlarının da artışı ile birlikte Senaryo 2’de %8-%34 aralığında beklenirken, enerji tesislerindeki kapasite ve verim artışları kurgusunda (Senaryo 3) bile Peterek Havzası’ndaki gibi olumlu etki görülememiştir. Nitekim Göksu Havzası’ndaki 3.Senaryonun son döneminde %6’lara varan üretim artışlar (RCP 4.5) öngörülürken, kar örtüsünün neredeyse havzada oluşmayacağı RCP 8.5 iklim senaryosunun 2076-2099 döneminde ise, hidroelektrik enerji üretiminin %13’ler seviyesinde azalacağı ve senaryo 4 koşulunda da bu duruma yakın sonuçlar beklendiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, iklim koşullarının değişmesi ve su kullanımlarının kademeli olarak artması beklenildiği üzere havzalardaki enerji üretimini azaltabilecektir. Ancak bu sonuçlarla mücadele edebilmek ve azalacak enerji üretimini artırabilecek durumlardan önemli bir adımın, santrallerdeki kapasite ve üretim verimlerinin artabilmesi ile oluşabileceği değerlendirilmiştir. Lucena, vd., (2018) tarafından yapılan çalışmada da benzer bir yaklaşım kullanılarak, HES’lerdeki kapasite artışlarının iklim değişikliğine karşı uyum sağlamada iyi bir savunma gücü olacağı belirtilmiştir. Bu çalışma özellikle Peterek Havzası’nın bütün dönem ve senaryolarında, kapasite ve verim artışının önemli oranda etkili olacağı beklense de Göksu Havzası’nda bu koşulun iklim değişikliğine karşı meydan okumada yeterli olamayabileceği öngörülmüştür. Göksu Havzası’nın, kuzeyde bulunan Peterek Havzası’na göre iklim değişikliğine karşı daha hassas ve kırılgan olabileceği dolayısıyla daha çok etkilenebileceği tespit edilmiştir.

Bu çalışmalarla birlikte, özellikle nehir tipi HES’lerde üretilen hidroelektrik enerji için önemli olan zamana bağlı akış eğrisi analizleri seçili HES’ler için oluşturulmuştur. Her iki havzanın da memba bölgelerinde bulunan ve santrallere giriş akımlarının daha az müdahaleli olduğu HES’ler üzerinde, iklim değişikliği etkilerini kapsayan DSE analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre gelecek yıllarda Göksu Havzası’nın membaındaki Yamanlı-2 HES’e giren pik (Q₅) akımlarda, Peterek Havzası’nda bulunan Yanıkköprü HES’i besleyen pik akımlara göre daha saçılımlı ve referansa göre daha etkili azalmaların beklendiği görülmektedir. Bir diğer çalışmada ise, havzalarda mevcut dönemde işletmede bulunan barajlardaki rezervuar hacimlerinin, iklim şartlarında öngörülen değişimlere karşı etkileri değerlendirilmiştir. İklim değişikliği ile birlikte su kullanımlarındaki artışların (senaryo 1 ve senaryo 2) birlikte ele alındığı bu çalışmada, Göksu Havzası’nda bulunan baraj göllerindeki hacimlerin yıllar ilerledikçe referansa göre

azalacağı tespit edilmiştir. Peterek Havzası'nda hidroelektrik enerji üreten barajlarda ise, Göksu Havzası'ndaki baraj göllerinde öngörüldüğü kadar belirgin bir hacim azalmalarının oluşmayacağı tespit edilmiştir. Ancak, Peterek Havzası'nın membaında sulama amaçlı olarak işletilen Demirözü Barajı'nın haznesinde, referansa kıyasla önemli ölçüde hacim azalmalarının öngörüldüğü değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışmaların kazanımları, havzalar üzerinde bulunan büyük barajların ve gelecekte planlanan önemli su yapılarının daha verimli ve güvenli işletilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca barajları işleten kurum ve kuruluşlar için geleceğe dönük iklim değişikliği etkilerini içeren bir işletme planı oluşturmaları için referans olabilecek çıkarımlar elde edilmiştir.

6.2. Gelecek Çalışmalar için Öneriler

Son olarak, tez çalışmasının gelecekte yapılması muhtemel çalışmalara sunacağı öneriler şunlardır:

- Hidrolojik modelin güvenilirliğinin test edilmesi için bu çalışmada kullanılan karla kaplı alan verisi dışında; toprak nemi ve kar su eşdeğeri verileri de kullanılabilir. Ayrıca akımlara dayalı tekli kalibrasyon yerine, farklı amaç fonksiyonlarının da dahil olacağı çoklu kalibrasyon seçeneklerinin de değerlendirilmesi, hidrolojik modelin belirsizliğini azaltabilecektir.
- Bu çalışmada kullanılan 5 küresel iklim modelinin yanı sıra, özellikle iklim açısından geçiş bölgesinde yer alan Çoruh Havzası'nda yapılacak araştırmalarda daha fazla iklim modeli ve senaryoları kullanılarak, ensemble sonuçlardaki belirsizlikler azaltılabilir.
- Baraj işletme modeli, havzalardaki kaskat sistemli su yapılarını işleten özel kuruluşların etkisi ve Çoruh Havzası'nın sınır aşan sular kategorisinde olması gerekçeleriyle kısıtlı veriler ile uygulanmıştır. Modelin kurgusu, ölçülmüş saatlik hidroelektrik üretim verileri ile doğrulanmıştır. Bununla birlikte baraj göllerindeki aylık ölçülmüş hacim verilerinin de doğrulama çalışmalarına dahil edilebilmesi, model belirsizliklerini azaltabilecektir.
- İklim değişikliğine karşı su yapılarının verebileceği reaksiyonu ölçümlemek için bu çalışmada su kaynakları planlama modeli kurularak, baraj işletme çalışmaları yapılmıştır. Sonuçlar elde edilirken tek bir çıktı yerine birden fazla değişim durumu üzerine analizler gerçekleştirilmiştir. Farklı senaryolar ile yapılan

Çalışmadaki bu durum, projeksiyonlardaki belirsizliği azaltmada etkili olmuştur. Gelecek çalışmalarda, uygulama havzalarının özelliklerine göre daha fazla senaryo seçenekleri de araştırmalara dahil edilebilir. Bu senaryolar; arazi kullanımlarındaki değişim senaryoları, su kullanan farklı sektörlerin bölgedeki varlığını artırması ve su kaynakları üzerinde yeni bir stres oluşturmaları senaryoları örnek olarak verilebilir.



KAYNAKÇA

- Anghileri, D., Voisin, N., Castelletti, A., Pianosi, F., Nijssen, B., & Lettenmaier, D. (2016). Value of long-term streamflow forecasts to reservoir operations for water supply in snow-dominated river catchments. *Water Resources Research*, 52 (6), 4209–4225.
- Asitatie, A. N., & Gebeyehu, W. Z. (2021). Assessment of hydrology and optimal water allocation under changing climate conditions: the case of Megech river sub basin reservoir, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7, 2629-2642.
- Bar, R., Rouholahnedjad, E., Rahman, K., Abaspour, K. C., & Lehmann, A. (2015). Climate change and agricultural water resources: A vulnerability assessment of the Black Sea catchment. *Environmental Science and Policy*, 46, 57-69.
- Bekele, W. T., Haile, A. T., & Rientjes, T. (2021). Impact of climate change on the streamflow of the arjo-didessa catchment under RCP scenarios. *Journal of Water and Climate Change*, 12 (6), 2325-2337.
- Bergström, S., & Lindström, G. (2015). Interpretation of runoff processes in hydrological modelling-experience from the HBV approach. *Hydrological Processes*, 3535-3545.
- Bombelli, G. M., Soncini, A., Bianchi, A., & Bocchiola, D. (2019). Potentially Modified Hydropower Production under Climate Change in the Italian Alps. *Hydrological Processes*, 33 (77), 2355-72.
- Bozkurt, D., & Sen, O. L. (2013). Climate change impacts in the Euphrates–Tigris Basin based on different model and scenario simulations. *Journal of Hydrology*, 480, 149-161.
- Bozkurt, D., Turuncoglu, U., Sen, O. L., Onol, B., & Dalfes, N. H. (2012). Downscaled simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3 global models for the eastern Mediterranean–Black Sea region: evaluation of the reference period. *Climate Dynamics*, 39, 207-225.
- Brisbane Declaration. (2007). *Environmental Flows are Essential for Freshwater Ecosystem Health and Human Well-Being*.
- Chathuranika, I. M., Gunathilake, M. B., Baddewela, P. K., Sachinthanie, E., Babel, M. S., Shrestha, S., & Jha, M. K. (2022). Comparison of two hydrological models, HEC-HMS and SWAT in runoff estimation: Application to Huai Bang Sai Tropical Watershed, Thailand. *Fluids*, 7 (8), 267.
- Chilkoti, V., Bolisetti, T., & Balachandar, R. (2017). Climate change impact assessment on hydropower generation using multi-model climate ensemble. *Renewable Energy*, 109, 510-517.
- Dams, J., Nossent, J., Senbeta, T., Willems, P., & Batelaan, O. (2015). Multi-model approach to assess the impact of climate change on runoff. *Journal of Hydrology*, 529, 1601-1616.

- Doğan, O. Y., Şorman, A. A., & Şensoy, A. (2023). Multi-criteria evaluation for parameter uncertainty assessment and ensemble runoff forecasting in a snow-dominated basin. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 71 (3), 231-247.
- Donk, P., Uytven, E. V., Williems, P., & Taylar, M. A. (2018). Assessment of the potential implications of a 1.5 oC versus higher global temperature rise for the afobaka hydropower scheme in Suriname. *Regional Environmental Change*, 18, 2283-2295.
- DSİ. (2014). *Seyhan Havzası Master Plan Raporu*. DSİ.
- DSİ. (2018). *Çoruh Havzası Master Plan Raporu*. DSİ.
- EPIAŞ. (2022). Şeffaflık EPIAŞ.
<https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/uretim/gerceklesen-uretim/gercek-zamanli-uretim.xhtml> adresinden alındı
- Erkol, I. Z., Yesilyurt, N. S., & Dalkilic, Y. H. (2024). Impacts of climate change on spatial drought distribution in the Mediterranean Basin (Turkey): different climate models and downscaling methods. *Theoretical and Applied Climatology*.
- ESGF. (2021). *Department of Energy*. Lawrence Livermore National Laboratory: esgf-node.llnl.gov adresinden alındı
- Farinotti, D., Round, V., Huss, M., Compagno, L., & Zekollari, H. (2019). Large hydropower and water-storage potential in future glacier-free basins. *Nature*, 575, 341-344.
- Frei, P., Kotlarski, S., Liniger, M. A., & Schar, C. (2018). Future snowfall in the Alps: Projections based on the EURO-CORDEX regional climate models. *Cryosphere*, 12 (1), 1-24.
- Fujihara, Y., Tanaka, K., Watanabe, T., Nagano, T., & Kojiri, T. (2008). Assessing the impacts of climate change on the water resources of the Seyhan River Basin in Turkey: Use of dynamically downscaled data for hydrologic simulations. *Journal of Hydrology*, 353, 33-48.
- Georgopoulou, E., Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., Giannakopoulos, C., Varotsos, K., & Gakis, N. (2024). Climate change impacts on the energy systems of a climate-vulnerable mediterranean country (Greece). *Atmosphere*, 15, 286.
- Gernaat, D. E., Boer, H. S., Daioglou, V., Yalaw, S. G., Müller, C., & van Vuuren, D. P. (2021). Climate change impacts on renewable energy supply. *Nature Climate Change*, 11, 362.
- Gernaat, D. E., Bogaart, P., van Vuuren, D. P., Biemans, H., & Niessink, R. (2017). High-resolution assessment of global technical and economic hydropower potential. *Nature Energy*, 2, 821-828.
- Giorgi, F., & Gutowski, W. J. (2015). Regional Dynamical Downscaling and the CORDEX Initiative. *Annual Review of Environment and Resources*, 467-490.
- Giorgi, F., & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Glob Planet Chang*, 63, 90-104.

- Giorgi, F., Im, E. S., Coppola, E., Diffenbaugh, N. S., Gao, X. J., Mariotti, L., & Shi, Y. (2011). Higher hydroclimatic intensity with global warming. *Journal of Climate*, 24 (20), 5309-5324.
- Giorgi, F., Whetton, P., Jones, R. G., Christensen, J. H., Mearns, L. P., Hewitson, B., . . . Jack, C. (2001). Emerging patterns of simulated regional climatic changes for the 21st century due to anthropogenic forcings. *Geophys Res Lett*, 28, 3317-3320.
- Giorgi, F.; Jones, C.; Asrar, G R. (2009). Addressing climate information needs at the regional level: The CORDEX framework. *WMO Bull*, 175-183.
- Helfrich, S. M. (2007). Enhancements to, and forthcoming developments in the Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS). *Hydrological Processes*, Volume 21, Issue 12, 15 June 2007, 1576-1586.
- Huangpeng, Q., Huang, W., & Gholinia, F. (2021). Forecast of the hydropower generation under influence of climate change based on RCPs and Developed Crow Search Optimization Algorithm. *Energy Reports*, 7, 385-397.
- IHA. (2022). *Hydropower Status Report*. International Hydropower Association.
- IPCC. (2023). *Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jacob, D. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 563-578.
- Jain, S. K., Goswami, A., & Saraf, A. K. (2010). Snowmelt runoff modelling in a Himalayan basin with the aid of satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 31 (24), 6603-6618.
- Kendall, M. (1975). *Rank Correlation Methods*. London: 4th edition, Charles Griffin.
- Kumar, R., Manzoor, S., Vishwakarma, D. K., Al-Ansari, N., Kushwaha, N. L., Elbeltagi, A., . . . Kuriqi, A. (2022). Assessment of Climate Change Impact on Snowmelt Runoff in Himalayan Region. *Sustainability*, 14 (3), 1150.
- Lafon, T. D. (2013). Bias correction of daily precipitation simulated by a regional climate model: a comparison of methods. *International Journal of Climatology*, 33, 1367-1381.
- Lenderink, G. B. (2007). Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11 (3), 1145–1159.
- Li, D., Zhou, T., Zou, L., Zhang, W., & Zhang, L. (2018). Extreme high-temperature events over East Asia in 1.5 °C and 2 °C warmer futures: analysis of NCAR CESM low-warming experiments. *Geophys. Res. Lett.*, 45 (3), 1541–1550.
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M., Bergström, S., & s. (1997). Development and test of the distributed HBV-96 model. *Journal of Hydrology*, 272-288.

- Liu, L., Xu, H., & Wang, Y. (2017). Impacts of 1.5 °C and 2 °C global warming on water availability and extreme hydrological events in Yiluo and Beijiag River catchments in China. *Climate Change*, 145 (1), 145-158.
- Lucena, A. F., Hejazi, M., Vasquez-Arroyo, E., Turner, S., Köberle, A. C., Daenzer, K., . . . van der Zwaan, B. (2018). Interactions between climate change mitigation and adaptation: The case of hydropower in Brazil. *Energy*, 164, 1161-1177.
- Mann, H. (1945). *Non-parametric tests against trend*. *Econometrica* 13:163-171.
- Maure, G., Pinto, I., Ndebele-Murisa, M., Muthige, M., Lennard, C., Nikulin, G., . . . Meque, A. (2018). The southern African climate under 1.5oC and 2oC of global warming as simulated by CORDEX regional climate models. *Environmental Research Letters*, 13, 065002.
- Meng, Y., Liu, J., Leduc, S., Mesfun, S., Kraxner, F., Mao, G., . . . Wang, Z. (2020). Hydropower production benefits more from 1.5 oC than 2 oC climate scenario. *Water Resources Research*, 56 (5).
- Mengistu, D., Bewket, W., Dosio, A., & Panitz, H.-J. (2021). Climate change impacts on water resources in the Upper Blue Nile (Abay) River Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology*, 592, 125614.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Binger, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 885-900.
- Muhury, N., Ayele, G., Balcha, S., Jemberie, M., & Teferi, E. (2023). Basin Runoff Responses to Climate Change Using a Rainfall-Runoff Hydrological Model in Southeast Australia. *Atmosphere*, 14, 306.
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 282-290.
- Nonki, R. M., Amoussou, E., Lennard, C. J., Lenouo, A., Tshimanga, R. M., & Houndenou, C. (2023). Quantification and allocation of uncertainties of climate change impacts on hydropower potential under 1.5C and 2.0C global warming levels in the headwaters of the Benue River Basin, Cameroon. *Renewable Energy*, 215, 118979.
- Obahoundje, S., Diedhiou, A., Dubus, L., Alamou, E. A., Amoussou, E., Akpoti, K., & Ofosu, E. A. (2022). Modeling climate change impact on inflow and hydropower generation of Nangbeto dam in West Africa using multi-model CORDEX ensemble and ensemble machine learning. *Applied Energy*, 325, 119795.
- Obahoundje, S., Youan Ta, M., Diedhiou, A., Amoussou, E., & Kouadio, K. (2021). Sensitivity of Hydropower Generation to Changes in Climate and Land Use in the Mono Basin (West Africa) using CORDEX Dataset and WEAP Model. *Environmental Processes*, 8, 1073-1097.
- Ospina-Norea, J. E., Garca, C. G., Conde, A. C., Magaa, V. O., & Esqueda, G. S. (2009). Vulnerability of water resources in the face of potential climate change: Generation of hydroelectric power in Colombia. *Atmósfera*, 22 (3), 229-252.

- Parajka, J., & Blöschl, G. (2012). MODIS-based Snow Cover Products, Validation, and Hydrologic Applications. *Multiscale Hydrologic Remote Sensing Perspectives and Applications*, 185–212.
- Qi, W., Feng, L., Liu, J., & Yang, H. (2022). Growing hydropower potential in China under 1.5 °C and 2.0 °C global warming and beyond. *Environmental Research Letters*, 17, 114049.
- Qin, P., Xu, H., Liu, M., Du, L., Xiao, C., Liu, L., & Tarroja, B. (2020). Climate change impact on Three Gorges Reservoir impoundment and hydropower generation. *Journal of Hydrology*, 580, 123922.
- Rango, A. (1993). Snow Hydrology processes and remote sensing. *Hydrological Processes*, Vol. 7, pp. 121-138.
- Ranzani, A., Bonato, M., Patro, E. R., Gaudard, L., & Michele, C. (2018). Hydropower Future: Between Climate Change, Renewable Deployment, Carbon and Fuel Prices. *Water*, 10 (9), 1197.
- Rathjens, H. B. (2016). *CMhyd User Manual*. [https://swat.tamu.edu/software/cmhyd/adresinden alındı](https://swat.tamu.edu/software/cmhyd/adresinden%20alındı)
- Reichl, F., & Hack, J. (2017). Derivation of Flow Duration Curves to Estimate Hydropower Generation Potential in Data-Scarce Regions. *Water*, 9, 572.
- Rhodes, C. J. (2016). The 2015 Paris Climate Change Conference: COP21. *Science Progress*, 99 (1), 97-104.
- Robinson, D. A. (1993). Global snow cover monitoring-an update. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 74(9), 1689 - 1696.
- Schaeffli, B., Manso, P., Fischer, M., Huss, M., & Farinotti, D. (2019). The Role of Glacier Retreat for Swiss Hydropower Production. *Renewable Energy*, 132, 615-27.
- SEI. (2015). *WEAP21: Water Evaluation and Planning System-Tutorial and User guide*. Boston, USA: Stockholm Environment Institute.
- Seibert, J., & Vis, M. (2012). Teaching hydrological modeling with a user-friendly catchment runoff model software package. *Hydrology and Earth System Sciences*, 3315-3325.
- Şensoy, A., Uysal, G., & Şorman, A. (2016). Developing a decision support framework for real-time flood management using integrated models. *Journal of Flood Risk Management*, 11, S866–S883.
- Şensoy, A., Uysal, G., Doğan, Y. O., & Civelek, H. S. (2023). The Future Snow Potential and Snowmelt Runoff of Mesopotamian Water Tower. *Sustainability*, 15 (8), 6646.
- Shaeri Karimi, S. Yasi, M., ve Eslamian, S. (2012). Use of hydrological methods for assessment of environmental flow in a river reach. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 9, 549-558.
- Singh, V. P. (1995). Computer models of watershed hydrology. *Water Resources Pub*, 1130.

- Sleziak, P., Holko, L., Danko, M., & Parajka, J. (2020). Uncertainty in the number of calibration repetitions of a hydrologic model in varying climatic conditions. *Water*, 12 (9), 2362.
- Smakhtin, V., & Anputhas, M. (2006). *An assessment of environmental flow requirements of Indian river basins, IWMI Research Report 107*. Colombo, Sri Lanka, 36 pp.: International Water Management Institute.
- Sun, L., Zhou, X., & Gu, A. (2022). Effects of climate change on hydropower generation in China based on a WEAP model. *Sustainability*, 14 (9), 5467.
- SYGM. (2016). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi*. Ankara: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- SYGM. (2019a). *İklim Değişikliğinin Kar Erimelerine ve Akımlarına Etkisinin Belirlenmesi Projesi*. Ankara: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- SYGM. (2019b). *Seyhan Havzası Kuraklık Yönetim Planının Hazırlanması Projesi*. Ankara: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- Teutschbein, C., & Seibert, J. (2012). Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology*, 456-457, 12-29.
- Tobin, I., Greuell, W., Jerez, S., Ludwig, F., Vautard, R., van Vliet, M., & Breon, F. M. (2018). Vulnerabilities and resilience of European power generation to 1.5 oC, 2 oC and 3 oC warming. *Environmental Research Letters*, 13, 044024.
- Tortajada, C. (2014). Water infrastructure as an essential element for human development. *International Journal of Water Resources Development*, 30 (1), 8-19.
- Ulbrich, U., May, W., Li, L., Lionello, P., Pinto, J. G., & Somot, S. (2006). Mediterranean climate change under global warming. In: *Mediterranean climate variability. Elsevier, Amsterdam*, 324-372.
- Ullah, S., You, Q., Zhang, Y., Bhatti, A. S., Ullah, W., Hagan, D. T., . . . Ali, A. (2020). Evaluation of CMIP5 models and projected changes in temperatures over South Asia under global warming of 1.5 C, 2 C, and 3 C. *Atmospheric Research*, 246, 105122.
- UN. (2015). *Paris Agreement*. Paris: United Nations.
- van Vliet, M. T., Wiberg, D., Leduc, S., & Riahi, K. (2016). Power-generation system vulnerability and adaptation to changes in climate and water resources. *Nature Climate Change*, 6, 375-380.
- Watts, G., Battarbee, R. W., Bloomfield, J. P., Crossman, J., Daccache, A., Durance, I., & Hess, T. (2015). Climate change and water in the UK past changes and future prospects. *Progress in Physical Geography*, 39 (1), 6-28.
- Yılmaz, M., Alp, H., Tosunoğlu, F., Aşıkoğlu, Ö. L., & Eriş, E. (2022). Impact of climate change on meteorological and hydrological droughts for Upper Coruh Basin, Turkey. *Natural Hazards*, 112, 1039-1063.

- Yucel, I., Güventürk, A., & Sen, O. L. (2014). Climate change impacts on snowmelt runoff for mountainous transboundary basins in eastern Turkey. *International Journal of Climatology*.
- Zhang, X., Li, H.-Y., Deng, Z. D., Ringler, C., Gao, Y., Hejazi, M. I., & Leung, L. R. (2018). Impacts of climate change, policy and Water-Energy-Food nexus on hydropower development. *Renewable Energy*, 116, 827-834.
- Zhang, Y., Gu, A., Lu, H., & Wang, W. (2017). Hydropower Generation Vulnerability in the Yangtze River in China under Climate Change Scenarios: Analysis Based on the WEAP Model. *Sustainability*.
- Zhao, Y., Li, Z., Cai, S., & Wang, H. (2020). Characteristics of extreme precipitation and runoff in the Xijiang River Basin at global warming of 1.5oC and 2oC. *Natural Hazards*, 101 (3), 669-688.
- Zhao, Y., Xu, K., Dong, N., & Wang, H. (2022). Projection of climate change impacts on hydropower in the source region of the Yangtze River based on CMIP6. *Journal of Hydrology*, 606, 127453.
- Zhong, W., Guo, J., Chen, L., Zhou, J., Zhang, J., & Wang, D. (2020). Future hydropower generation prediction of large-scale reservoirs in the upper Yangtze River basin under climate change. *Journal of Hydrology*, 588, 125013.
- http-1: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp> (Erişim Tarihi: 02.11.2021)
- http-2: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018> (Erişim Tarihi: 15.01.2022)
- http-3: <https://nsidc.org/data/user-resources/data-tools/> (Erişim Tarihi: 22.02.2022)
- http-4: <https://cordex.org/domains/cordex-region-euro-cordex/> (Erişim Tarihi: 06.09.2022)
- http-5: <http://www.wsag.unh.edu/> (Erişim Tarihi: 05.12.2023)

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0002-9255-2704

Ad Soyad : Yusuf Oğulcan DOĞAN

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2019-2024, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Hidrolik Anabilim Dalı, Doktora
- 2017-2018, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Hidrolik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans
- 2011-2016, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Lisans
- 2013-2014, VSB-Technical University of Ostrava, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Lisans, Erasmus
- 2018-Devam Ediyor, Proje ve Modelleme Uzmanı, io Çevre Çözümleri

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- Uysal, G., Doğan, Y.O., Civelek, H.S., Şorman, A.A., and Şensoy, A., (2024). Analyzing the Effects of Climate Change for the Water Tower of Mesopotamia, Türkiye. International Association of Hydrological Sciences. 385, 465-470.
- Doğan, Y.O., Şorman, A.A., Şensoy, A., (2023). Multi-Criteria Evaluation for Parameter Uncertainty Assessment and Ensemble Runoff Forecasting in a Snow-dominated Basin. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 71 (3), 1-17.
- Doğan, Y.O., Uysal, G., Şensoy, A., (2023). Impact of Climate Change for Hydropower Generation Using Water Evaluation and Planning (WEAP) Model in Snowfed Basins. IUGG The 28th General Assembly of The International Union of Geodesy and Geophysics, Berlin, Germany.
- Şensoy, A., Uysal, G., Doğan, Y.O., ve Civelek, H.S., (2023). The Future Snow Potential and Snowmelt Runoff of Mesopotamian Water Tower. Sustainability, 15, 6646.
- Uysal, G ve Doğan, Y.O., (2022). Assessment of Climate Change Effects on Dam Reservoir Management. Journal of Construction Engineering, Management & Innovation, 5 (3), 194-207.
- Uysal, G., Doğan, Y.O., Civelek, H.S., Şorman, A.A., Şensoy, A., (2022). Analyzing the Effects of Climate Change for the Water Tower of Mesopotamia, Turkey. IAHS-AISH Scientific Assembly, Montpellier, Fransa
- Doğan, Y.O., Şorman, A.A., Şensoy, A., (2022). Multi-Objective Hydrologic Model Calibration for Runoff Forecasting. 14th International Conference on Hydrosience & Engineering, İzmir, Türkiye.
- Şorman, A.A., Taş, E., Doğan, Y.O., (2020). Comparison of Hydrological Models in Upper Aras Basin, Pamukkale Üni. Müh. Bilimleri Dergisi, 26 (6), 1015-1022.
- Şorman, A.A., Taş, E., Doğan, Y.O., (2017). Yukarı Aras Havzası'nda Hidrolojik Modelleme Karşılaştırması, IX Ulusal Hidroloji Kongresi, Dicle Üni., Diyarbakır.