

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HİDRO-METEOROLOJİK
PARAMETRELERE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gamze TUNCER

İnşaat Mühendisliği

OCAK 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HİDRO-METEOROLOJİK
PARAMETRELERE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gamze TUNCER

İnşaat Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç.Dr.Osman SÖNMEZ

OCAK 2024

Gamze Tuncer tarafından hazırlanan “İklim Değişikliğinin Hidro-Meteorolojik Parametrelere Etkisi” adlı tez çalışması 10.01.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliğiyle Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :

Jüri Üyesi :

Jüri Üyesi :



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HİDRO-METEOROLOJİK PARAMETRELERE ETKİSİ**” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(10/01/2024)

Gamze TUNCER





İçimdeki kız çocuğuna..



TEŞEKKÜR

Başta, bu ülkede bir kız çocuğu olarak eğitim almamın ve bir kadın olarak iş hayatında yer bulmamın önünü açan, bugünlere gelmemiz için büyük emekler sarf etmiş Türkiye Cumhuriyeti'nin kurucusu Mustafa Kemal ATATÜRK'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca her zaman yol gösteren ve desteklerini esirgemeyen kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Osman SÖNMEZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Dünyaya geldiğim ilk andan, büyüüp kendi ayakları üzerinde duran bir kadın olduğum ana kadar beni şefkatle büyüten, eğiten ve çaba gösteren, emeklerinin karşılığını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim canım anneme tüm kalbim ve içtenliğimle teşekkür ederim.

Sadece tezim boyunca değil, hayatımın her aşamasında yanımda olduğunu ve olacağını bildiğim, bu yolda benimle yürümek kolay olmamasına rağmen, desteğini asla esirgemeyen erkek arkadaşım Semih Fatih EVCİL'e teşekkür ederim.

Şu anki ben olmamın temellerini atmamda yardımcı olan, bana sadece kimyayı değil dünyayı öğreten, her zaman orada benim için var olduğunu bildiğim canım öğretmenim, abim, dostum İbrahim TÜRKMEN'e her şey için teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca bilgi birikiminden ve desteklerinden yararlandığım arkadaşım Abdülkadir BAYCAN'a teşekkür ederim.

Bu zorlu tez yazma sürecinde, psikolojik değişkenliğime ayak uyduran, yol gösteren ve destek veren mesai arkadaşlarım Arş.Gör. Gamze DEMİRTAŞ'a ve Arş.Gör. İrfan Şehrullah ÖZTÜRK'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında desteklerinden faydalandığım lisans öğrencimiz Melisa ERGÜN'e teşekkür ederim.

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından #2022-7-24-172 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Gamze TUNCER



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxv
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
3. MATERYAL VE METOD	7
3.1. Çalışma Alanı	7
3.2. Swat Hidrolojik Modeli	8
3.2.1. Swat modeli girdileri	9
3.2.1.1. Sayısal yükseklik modeli (SYM / DEM)	10
3.2.1.2. Toprak haritası	12
3.2.1.3. Arazi kullanımı ve örtüsü haritası (LULC)	14
3.2.1.4. Eğim haritası	15
3.2.1.5. Rezervuar / baraj bilgileri	16
3.2.1.6. Meteorolojik veriler	18
3.2.1.7. Akım gözlem verileri	21
3.3. SWAT Model Kurulumu	24
3.4. SWAT Model Kalibrasyonu ve Doğrulaması	25
3.4.1. Kalibrasyon işlemi	25
3.4.1.1. Swat-kalibrasyon ve belirsizlik programı (SWAT-CUP)	26
3.4.1.2. Sufi-2 (sequential uncertainty fitting 2) algoritması	26
3.4.1.3. Duyarlılık analizi	27
3.4.2. Doğrulama işlemi	29
3.4.3. Model performans değerlendirmesi	29
3.5. İklim Modelleri ve İklim Değişikliği Senaryoları	31
3.5.1. İklim modelleri	31
3.5.2. İklim değişikliği senaryoları	32
3.5.3. Cordex verileri	34
3.5.4. İklim modelleri değerlendirme kriterleri	37
4. SONUÇLAR	41
4.1. SWAT Modeli Kalibrasyon ve Doğrulama Sonuçları	41
4.2. İklim Modelleri Değerlendirme Sonuçları	47
4.3. İklim Modeli Projeksiyon Sonuçları	58
4.3.1. Mpi-esm-lr/rca4 iklim modeli meteorolojik sonuçlar	58
4.3.1.1. Dursunbey istasyonu sonuçları	59

4.3.1.2. Keles istasyonu sonuçları	72
4.3.1.3. Tavşanlı istasyonu sonuçları	85
4.3.1.4. Mustafakemalpaşa istasyonu sonuçları	98
4.3.2. Mpi-esm-lr/rca4 iklim modeli hidrolojik sonuçlar	111
5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR.....	119
KAYNAKLAR.....	125
ÖZGEÇMİŞ.....	133



KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
AR6	: IPCC Sixth Assesment Report
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CN	: Curve Number
CNRM	: National Centre for Meteorological Research
CLMCOM	: Climate Limited-area Modelling Community
CMIP	: Coupled Model Intercomparison Project
CMIP3	: Coupled Model Intercomparison Project Phase 3
CMIP5	: Coupled Model Intercomparison Project Phase 5
CORDEX	: Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment
DEM	: Digital Elevation Model
DMI	: Danish Meteorological Institute
EC-EARTH	: A European Community Earth System Model
ESA	: European Space Agency
ESGF	: The Earth System Grid Federation
EURO-CORDEX	: European Branch of the International CORDEX Initiative
FAO	: Food and Agriculture Organization
GCM	: General Circulation Models
GLUE	: Generalized Likelihood Uncertainty Estimation
HBV	: Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning
HEC-HMS	: Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System
HRU	: Hydrologic Response Units
IPCC	: The Intergovernmental Panel on Climate Change
IPSL-INERIS	: Institut Pierre-Simon Laplace
KNMI	: Royal Netherlands Meteorological Institute
LULC	: Land Use and Land Cover
MCMC	: Markov Chain Monte Carlo
MGI	: Meteoroloji Gözlem İstasyonu

MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MPI-CSC	: Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center, Max Planck Institute for Meteorology
NSE	: Nash-Sutcliffe Efficiency
UNESCO	: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USGS	: United States Geological Survey
PARASOL	: Parameter Solution
PBIAS	: Percent Bias
PSO	: Particle Swarm Optimization
RCA	: Rossby Centre Regional Atmospheric Model
RCP	: Representative Concentration Pathway
RMSE	: Root Mean Square Error
RSR	: RMSE-Observations Standard Deviation Ratio
SCS	: Soil Conservation Service
SD	: Standard Sapma
SMHI	: Swedish Meteorological and Hydrological Institute
SRES	: Special Report on Emissions Scenarios
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
SSP	: Shared Socioeconomic Pathway
SUFI-2	: Sequential Uncertainty Fitting
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
SWAT	: Soil and Water Assessment Tool
SWAT-CUP	: SWAT Calibration and Uncertainty Programs
SWIM	: Soil and Water Integrated Model
USDA	: United States Department of Agriculture
WCRP	: World Climate Research Programme
WGCM	: Working Group on Coupled Modelling
WRF	: Weather Research and Forecasting Model
95PPU	: %95 Prediction Uncertainty

SİMGELER

$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece
E_a	: Evapotranspirasyon ile kaybedilen su miktarı [mm]
N	: Veri sayısı
O	: Gözlem değeri
$\bar{O}$	: Gözlem değeri ortalaması
P	: Tahmin değeri
$\bar{P}$	: Tahmin değeri ortalaması
Q_g	: Gözlem verisi
$\bar{Q}_g$	: Gözlem verisi ortalaması
Q_{gw}	: Yer altı su beslemesi [mm]
Q_s	: Model verisi
$\bar{Q}_s$	: Model verisi ortalaması
Q_{surf}	: Yüzeysel akışa geçen su miktarı [mm]
r	: Pearson korelasyon katsayısı
R_{day}	: Yağış miktarı [mm]
R^2	: Detarminasyon katsayısı
S_{wt}	: Nihai toprak su içeriği [mm]
S_{w0}	: Başlangıç toprak su içeriği [mm]
W_{seep}	: Vadöz bölgeye sızan su miktarı [mm]



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan veriler.	10
Tablo 3.2. Toprak sınıfları ve yüzdeleri.	12
Tablo 3.3. FAO toprak haritası ve SWAT parametreleri.	13
Tablo 3.4. Arazi kullanımı ve örtüsü sınıfları ve yüzdeleri.	14
Tablo 3.5. Eğim sınıfları ve yüzdeleri.	16
Tablo 3.6. Barajlara ait bilgiler.	17
Tablo 3.7. SWAT modeline girilen baraj bilgileri.	17
Tablo 3.8. Çalışma alanında bulunan meteoroloji gözlem istasyonu bilgileri.	19
Tablo 3.9. Çalışmada kullanılan meteoroloji gözlem istasyonu bilgileri.	19
Tablo 3.10. Çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonu bilgileri.	22
Tablo 3.11. Hidrolojik modellerin aylık zaman periyotlarındaki parametreleri için önerilen istatistiksel performans ölçütleri (Moriassi ve ark, 2015)	30
Tablo 3.12. RCP tipleri ve özellikleri (Moss ve ark, 2008)	34
Tablo 3.13. CORDEX_Düzeltilmiş veri tabanında bulunan iklim simülasyon modelleri.	36
Tablo 3.14. Çalışmada kullanılan CORDEX_Düzeltilmiş iklim simülasyon modelleri.	36
Tablo 3.15. CORDEX_Düzeltilmiş veri tabanında bulunan iklim simülasyon modellerin enstitü bilgileri.	37
Tablo 4.1. TLAPS ve PLAPS parametrelerinin kalibrasyon sonuçları.	42
Tablo 4.2. Kar erime parametrelerinin kalibrasyon sonuçları.	42
Tablo 4.3. Global duyarlılık analizi sonuçları.	44
Tablo 4.4. Parametre kalibrasyon değerleri.	45
Tablo 4.5. Model kalibrasyon performans metrikleri ve değerlendirme dereceleri.	46
Tablo 4.6. Model doğrulama performans metrikleri ve değerlendirme dereceleri.	46
Tablo 4.7. Dursunbey istasyonu 1990-2005 periyodu günlük yağış verilerinin model değerlendirme metrikleri.	48
Tablo 4.8. Keles istasyonu 1990-2005 periyodu günlük yağış verilerinin model değerlendirme metrikleri.	49
Tablo 4.9. Tavşanlı istasyonu 1990-2005 periyodu günlük yağış verilerinin model değerlendirme metrikleri.	50
Tablo 4.10. Mustafakemalpaşa istasyonu 1990-2005 periyodu günlük yağış verilerinin model değerlendirme metrikleri.	51
Tablo 4.11. Dursunbey istasyonu 1990-2005 periyodu günlük maksimum ve minimum sıcaklık verilerinin model değerlendirme metrikleri.	52
Tablo 4.12. Keles istasyonu 1990-2005 periyodu günlük maksimum ve minimum sıcaklık verilerinin model değerlendirme metrikleri.	53
Tablo 4.13. Tavşanlı istasyonu 1990-2005 periyodu günlük maksimum ve minimum sıcaklık verilerinin model değerlendirme metrikleri.	54
Tablo 4.14. Mustafakemalpaşa istasyonu 1990-2005 periyodu günlük maksimum ve minimum sıcaklık verilerinin model değerlendirme metrikleri.	55

Tablo 4.15. Döllük akım gözlem istasyonu ortalama aylık akımları ve değışimleri.	
.....	114



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Hidrolojik modellerin sınıflandırılması.	2
Şekil 3.1. Çalışma alanı.	7
Şekil 3.2. SWAT modelinin hidrolojik döngü süreci (Neitsch ve ark, 2011).	9
Şekil 3.3. Çalışma alanı sayısal yükseklik modeli.	11
Şekil 3.4. Nehir ağı ve alt havzalar.	11
Şekil 3.5. Toprak haritası.	12
Şekil 3.6. Arazi kullanımı ve örtüsü haritası.	14
Şekil 3.7. Eğim haritası.	15
Şekil 3.8. Barajların konum haritası.	17
Şekil 3.9. İlgili havzada bulunan a) tüm MGİler, b) çalışmada kullanılan MGİler..	18
Şekil 3.10. 1990-2022 yılları arasındaki ortalama aylık sıcaklıklar (°C).	20
Şekil 3.11. 1990-2022 yılları arasındaki kümülatif aylık yağış miktarları (mm).	21
Şekil 3.12. Çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonu konumu.	22
Şekil 3.13. Döllük akım gözlem istasyonu aylık ortalama akımlar (1990-2022).	22
Şekil 3.14. Döllük akım gözlem istasyonu ortalama aylık ortalama akımlar (1990-2022).	23
Şekil 3.15. Döllük akım gözlem istasyonu yıllık ortalama akımlar (1990-2022).	23
Şekil 3.16. SWAT model kurulumu.	24
Şekil 3.17. SWAT model kalibrasyon ve doğrulaması.	25
Şekil 3.18. SWAT ve SUFI2'nin şematik bağlantısı (Rouholahnejad ve ark, 2012).	27
Şekil 3.19. Düşük çözünürlük (a) ve yüksek çözünürlük (b) iklim modelleri arasındaki fark.	32
Şekil 3.20. Küresel toplam ışımsal zorlama (MGM, 2015).	34
Şekil 3.21. EURO-CORDEX model kapsam alanı (MGM, 2015).	35
Şekil 3.22. Thiessen poligonu.	37
Şekil 3.23. Örnek bir Taylor diyagramı.	39
Şekil 4.1. Döllük akım gözlem istasyonu 1993-2022 periyodu ham model sonuçları.	41
Şekil 4.2. Döllük akım gözlem istasyonu 1993-2022 periyodu ön model sonuçları.	43
Şekil 4.3. Global duyarlılık analizi sonuçları.	43
Şekil 4.4. Döllük akım gözlem istasyonu 1993-2012 periyodu için model kalibrasyon sonuçları.	45
Şekil 4.5. Döllük akım gözlem istasyonu 2013-2022 periyodu için model doğrulama sonuçları.	46
Şekil 4.6. Çalışma havzası genelinde 1990-2005 periyodu günlük gözlem ve model yağış verileriyle oluşturulmuş Taylor diyagramı.	56
Şekil 4.7. Çalışma havzası genelinde 1990-2005 periyodu günlük gözlem ve model maksimum sıcaklık verileriyle oluşturulmuş Taylor diyagramı.	57
Şekil 4.8. Çalışma havzası genelinde 1990-2005 periyodu günlük gözlem ve model minimum sıcaklık verileriyle oluşturulmuş Taylor diyagramı.	58

Şekil 4.9. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık toplam yağış grafiği.	59
Şekil 4.10. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar yağış grafiği.	60
Şekil 4.11. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz yağış grafiği.	60
Şekil 4.12. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar yağış grafiği.	61
Şekil 4.13. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış yağış grafiği.	61
Şekil 4.14. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık toplam yağış grafiği.	62
Şekil 4.15. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (226-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık maksimum sıcaklık grafiği.	63
Şekil 4.16. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (226-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık minimum sıcaklık grafiği.	64
Şekil 4.17. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar maksimum sıcaklık grafiği.	65
Şekil 4.18. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz maksimum sıcaklık grafiği.	65
Şekil 4.19. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar maksimum sıcaklık grafiği.	66
Şekil 4.20. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış maksimum sıcaklık grafiği.	66
Şekil 4.21. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar minimum sıcaklık grafiği.	68
Şekil 4.22. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz minimum sıcaklık grafiği.	68
Şekil 4.23. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar minimum sıcaklık grafiği.	69
Şekil 4.24. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış minimum sıcaklık grafiği.	69

Şekil 4.25. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık maksimum sıcaklık grafiği.	71
Şekil 4.26. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık minimum sıcaklık grafiği.	71
Şekil 4.27. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık toplam yağış grafiği.	72
Şekil 4.28. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar yağış grafiği.	73
Şekil 4.29. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz yağış grafiği.	73
Şekil 4.30. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar yağış grafiği.	74
Şekil 4.31. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış yağış grafiği.	74
Şekil 4.32. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) periyodu yıllık toplam yağış grafiği.	75
Şekil 4.33. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (226-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık maksimum sıcaklık grafiği.	76
Şekil 4.34. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (226-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık minimum sıcaklık grafiği.	77
Şekil 4.35. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar maksimum sıcaklık grafiği.	78
Şekil 4.36. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz maksimum sıcaklık grafiği.	78
Şekil 4.37. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar maksimum sıcaklık grafiği.	79
Şekil 4.38. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış maksimum sıcaklık grafiği.	79
Şekil 4.39. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar minimum sıcaklık grafiği.	81
Şekil 4.40. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz minimum sıcaklık grafiği.	81
Şekil 4.41. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar minimum sıcaklık grafiği.	82

Şekil 4.42. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış minimum sıcaklık grafiği.	82
Şekil 4.43. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık maksimum sıcaklık grafiği.	84
Şekil 4.44. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık minimum sıcaklık grafiği.	84
Şekil 4.45. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık toplam yağış grafiği.	85
Şekil 4.46. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar yağış grafiği.	86
Şekil 4.47. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz yağış grafiği.	86
Şekil 4.48. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar yağış grafiği.	87
Şekil 4.49. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış yağış grafiği.	87
Şekil 4.50. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) yıllık toplam yağış grafiği.	88
Şekil 4.51. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (226-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık maksimum sıcaklık grafiği.	89
Şekil 4.52. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (226-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık minimum sıcaklık grafiği.	90
Şekil 4.53. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar maksimum sıcaklık grafiği.	91
Şekil 4.54. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz maksimum sıcaklık grafiği.	91
Şekil 4.55. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar maksimum sıcaklık grafiği.	92
Şekil 4.56. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış maksimum sıcaklık grafiği.	92
Şekil 4.57. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar minimum sıcaklık grafiği.	94
Şekil 4.58. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz minimum sıcaklık grafiği.	94

Şekil 4.59. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar minimum sıcaklık grafiği.....	95
Şekil 4.60. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış minimum sıcaklık grafiği.	95
Şekil 4.61. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık maksimum sıcaklık grafiği.	97
Şekil 4.62. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık minimum sıcaklık grafiği.....	97
Şekil 4.63. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık toplam yağış grafiği.	98
Şekil 4.64. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar yağış grafiği.	99
Şekil 4.65. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz yağış grafiği.	99
Şekil 4.66. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar yağış grafiği.	100
Şekil 4.67. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış yağış grafiği.	100
Şekil 4.68. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) yıllık toplam yağış grafiği.	101
Şekil 4.69. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (226-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık maksimum sıcaklık grafiği.....	102
Şekil 4.70. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (226-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık minimum sıcaklık grafiği.....	103
Şekil 4.71. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar maksimum sıcaklık grafiği.....	104
Şekil 4.72. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz maksimum sıcaklık grafiği.	104
Şekil 4.73. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar maksimum sıcaklık grafiği.	105
Şekil 4.74. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış maksimum sıcaklık grafiği.	105

Şekil 4.75. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar minimum sıcaklık grafiği.	107
Şekil 4.76. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz minimum sıcaklık grafiği.	107
Şekil 4.77. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar minimum sıcaklık grafiği.	108
Şekil 4.78. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış minimum sıcaklık grafiği.	108
Şekil 4.79. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık maksimum sıcaklık grafiği.	110
Şekil 4.80. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık minimum sıcaklık grafiği.	110
Şekil 4.81. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları 2026-2100 ortalama aylık akım grafiği.	111
Şekil 4.82. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları 2026-2050 ortalama aylık akım grafiği.	112
Şekil 4.83. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları 2051-2075 ortalama aylık akım grafiği.	112
Şekil 4.84. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları 2076-2100 ortalama aylık akım grafiği.	112
Şekil 4.85. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık akım grafiği.	114
Şekil 4.86. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar akım grafiği.	115
Şekil 4.87. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz akım grafiği.	115
Şekil 4.88. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar akım grafiği.	116
Şekil 4.89. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış akım grafiği.	116
Şekil 4.90. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık akım grafiği.	118

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HİDRO-METEOROLOJİK PARAMETRELERE ETKİSİ

ÖZET

Atmosferdeki sera gazlarının artışı, ormanların yok olması, endüstriyel faaliyetler ve diğer insan faaliyetleri gibi faktörlerden kaynaklanan ve günümüzün en önemli sorunlarından biri olan iklim değişikliği, dünya genelinde hava koşullarında uzun vadeli değişikliklere yol açmaktadır. Meteorolojik parametrelerdeki bu değişiklikler su kaynaklarının miktarı, kalitesi, dağılımı ve dünya üzerindeki yaşamın devamı için kritik bir öneme sahip olan hidrolojik döngü üzerinde önemli etkilere yol açabilmektedir. Sürdürülebilir su kaynakları yönetimi ve iklim değişikliği ile mücadele stratejileri oluşturmak için hidrolojik döngüyü anlamak ve izlemek önemlidir. Hidrolojik döngü olgusunu anlamak, simüle etmek ve gelecekteki değişikliklere yanıt vermek için hidrolojik modeller kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Bursa, Balıkesir ve Kütahya illerinin bir kısmını kaplayan, Susurluk Havzasının alt havzalarından olan Emet, Orhaneli ve Mustafakemalpaşa havzalarının birleşiminden oluşan çalışma alanında SWAT (Soil and Water Assessment Tool) hidrolojik modeli ile analiz yapılarak havzadaki iklim değişikliği etkileri değerlendirilmiştir. SWAT modeli sonuçları üzerinde önemli bir etkiye sahip olan parametrelerin belirlenmesi (duyarlılık analizi), gözlem akım verileri ile hidrolojik model simülasyon sonuçlarının uyumluluğunun kalibrasyonu ve doğrulanması işlemlerinde SWAT-CUP (SWAT Kalibrasyon ve Belirsizlik Programı) programı SUFI-2 (Sıralı Belirsizlik Uydurma-2) algoritması kullanılmıştır. Model performans kriteri olarak Determinasyon Katsayısı (R^2), Kök Ortalama Kare Hatasının Gözlem Verilerinin Standart Sapmasına Oranı (RSR), Nash-Sutcliffe Verimliliği (NSE), p-faktörü ve r-faktörü kullanılmıştır. Çalışma havzasında bulunan bir adet akım gözlem istasyonu ile yapılan ön kalibrasyon işlemi sonucu model performans ölçüt ve dereceleri Döllük akım gözlem istasyonu için $R^2=0.76$, $RSR=0.66$, $NSE=0.56$ ve performans ölçütü bakımından “iyi”. “tatmin edici” ve “tatmin edici” olarak elde edilmiştir. Döllük akım gözlem istasyonu için kalibrasyon işlemi sonucu model performans ölçüt ve dereceleri $R^2=0.75$, $RSR=0.51$, $NSE=0.74$ ve “tatmin edici”, “iyi” ve “iyi” olarak elde edilmişken, doğrulama işlemi sonucu model performans ölçüt ve dereceleri $R^2=0.83$, $RSR=0.54$, $NSE=0.70$ ve “iyi”, “iyi” ve “tatmin edici” olarak elde edilmiştir. Ayrıca p-faktörü ve r-faktörü sonuçları kalibrasyon işleminde sırasıyla 0.81 ve 0.98 olarak elde edilmişken, doğrulama işleminde sırasıyla 0.51 ve 1.32 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde Emet, Orhaneli ve Mustafakemalpaşa havzalarının birleşmesiyle oluşan çalışma havzası için başarılı olarak nitelendirilebilecek bir SWAT hidrolojik modeli kurulmuştur. Elde edilen bu hidrolojik model iklim değişikliğinin çalışma alanı üzerinde etkilerini tahlil etmek amacıyla kullanılmıştır.

Bu çalışmada CORDEX programının Avrupa kolunun iklim simülasyon modellerinin bias düzeltilmesi yapılmış iklim verilerinin kullanılması planlanmış ve hangi küresel ve bölgesel iklim modelinin kullanılacağına modellerin geçmiş ham verileriyle aynı

periyotta ölçülmüş gözlem verilerinin kıyaslanmasıyla karar verilmiştir. İklim modeli olarak CMIP5 kapsamındaki MPI-ESM-LR küresel iklim modelinin RCA4 bölgesel iklim modeli kullanılarak ölçüğü küçültülmüş ve bias (hata) düzeltilmesi yapılmış, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları 2021-2100 periyodu verileri CORDEX programının Avrupa kolu (EURO-CORDEX) projesinden temin edilerek kullanılmıştır. Bu iklim verileri kullanılarak 2026-2100 periyodu RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları verileri aylık zaman diliminde aynı periyotta, mevsimsel ve yıllık zaman diliminde ise 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotlarında analiz edilmiştir.

MPI-ESM-LR/RCA4 iklim modeli 2026-2100 gelecek projeksiyonunda havzadaki istasyonlar meteorolojik açıdan incelendiğinde RCP4.5 senaryosuna göre Dursunbey, Keles, Tavşanlı ve Mustafakemalpaşa istasyonları yıllık toplam yağış miktarında sırasıyla 393 mm, 467 mm, 163 mm ve 118 mm artış gözlemlenirken; RCP8.5 senaryosuna göre Dursunbey, Keles, Tavşanlı ve Mustafakemalpaşa istasyonları yıllık toplam yağış miktarında sırasıyla 297 mm, 383 mm, 96 mm ve 75 mm artış gözlemlenmiştir. Tüm istasyonlar için yağış miktarlarında RCP4.5 senaryosuna göre beklenen artış RCP8.5 senaryosuna göre beklenen artıştan fazla olmuştur. Diğer istasyonlara kıyasla en fazla yağış miktarı artışının yaşanacağı istasyon Keles istasyonu olacaktır. RCP4.5 senaryosuna göre Dursunbey, Keles, Tavşanlı ve Mustafakemalpaşa istasyonları ortalama yıllık maksimum sıcaklık değerlerinde sırasıyla 2.90 °C artış, 0.88 °C artış, 0.69 °C azalış ve 2.82 °C artış beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre Dursunbey, Keles, Tavşanlı ve Mustafakemalpaşa istasyonları ortalama yıllık maksimum sıcaklık değerlerinde sırasıyla 3.84 °C, 4.76 °C, 2.23 °C ve 2.03 °C artış beklenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre Dursunbey, Keles, Tavşanlı ve Mustafakemalpaşa istasyonları ortalama yıllık minimum sıcaklık değerlerinde sırasıyla 0.22 °C artış, 1.76 °C azalış, 2.92 °C artış ve 0.63 °C azalış beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre Dursunbey, Keles, Tavşanlı ve Mustafakemalpaşa istasyonları ortalama yıllık minimum sıcaklık değerlerinde sırasıyla 3.54 °C, 2.35 °C, 6.51°C ve 3.08 °C artış beklenmektedir. MPI-ESM-LR/RCA4 iklim modeli 2026-2100 gelecek projeksiyonunda havzadaki Döllük akım gözlem istasyonu hidrolojik açıdan incelendiğinde Döllük istasyonu aylık akımlarının her iki iklim senaryosuna göre de arttığı gözlemlenmiştir. Döllük istasyonu aralık-mart ayları arası sulak dönemde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre akımların sırasıyla %144.7 (77 m³/s) ve %108.9 (56 m³/s) oranlarında ciddi şekilde arttığı görülmüştür. RCP4.5 gelecek iklim senaryosuna göre ortalama aylık akımlarda beklenen artış RCP8.5 gelecek iklim senaryosuna göre beklenen artıştan fazladır.

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON HYDRO-METEOROLOGICAL PARAMETERS

SUMMARY

Climate change, one of the most important problems of our time, caused by factors such as the increase in greenhouse gases in the atmosphere, deforestation, industrial activities, and, other human activities, leads to long-term and generalized changes in weather conditions around the world. These changes in meteorological parameters can have significant impacts on the quantity, quality, and distribution of water resources and the hydrological cycle, which is critical for the survival of life on Earth. Understanding and monitoring the hydrological cycle is important for sustainable water resources management and strategies to mitigate climate change. Hydrological models are used to understand and simulate the hydrological cycle and to respond to future changes. Within the scope of this study, the effects of climate change in the basin were evaluated by analyzing with SWAT (Soil and Water Assessment Tool) hydrological model in the study area, which covers a part of Bursa, Balıkesir and Kutahya provinces and consists of the combination of Emet, Orhaneli and Mustafakemalpaşa basins, which are sub-basins of Susurluk Basin. The hydrological model of the basin was created using the digital elevation model, land use and cover map, soil map, slope map and reservoir information of the study area and daily total precipitation, daily maximum temperature and daily minimum temperature data obtained from Dursunbey, Keles, Tavşanlı and Mustafakemalpaşa meteorological observation stations. The SUFI-2 (Sequential Uncertainty Fitting-2) algorithm of the SWAT-CUP (SWAT Calibration and Uncertainty Program) program was used to determine the parameters that have a significant effect on the SWAT model results (sensitivity analysis), and to calibrate and verify the compatibility of observation flow data and hydrological model simulation results. Coefficient of Determination (R^2), Root Mean Square Error to Standard Deviation of Observation Data (RSR), Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), p-factor and r-factor were used as model performance criteria. As a result of the preliminary calibration process with one streamflow observation station in the study basin, the model performance criteria and grades were obtained as $R^2=0.76$, $RSR=0.66$, $NSE=0.56$ and "good", "satisfactory" and "satisfactory" for Dolluk streamflow observation station. While the model performance criteria and grades were obtained as $R^2=0.75$, $RSR=0.51$, $NSE=0.74$ and "satisfactory", "good" and "good" as a result of the calibration process, the model performance criteria and grades were obtained as $R^2=0.83$, $RSR=0.54$, $NSE=0.70$ and "good", "good" and "satisfactory" as a result of the validation process. In addition, the p-factor and r-factor results were 0.81 and 0.98, respectively, in the calibration process, while they were 0.51 and 1.32, respectively, in the validation process. When these results are evaluated, a SWAT hydrological model that can be characterized as successful for the study basin formed by the merger of Emet, Orhaneli and Mustafakemalpaşa basins has been established. This hydrological model was used to analyze the effects of climate change on the study area.

In this study, the bias-corrected climate data of the climate simulation models of the European branch of the CORDEX program were planned to be used and which global and regional climate model would be used was decided by comparing the past raw data of the models with the observation data measured in the same period. As a climate model, the RCA4 regional climate model of the MPI-ESM-LR global climate model within the scope of CMIP5 was downscaled and bias corrected using the RCA4 regional climate model, and the data for the period 2021-2100 for the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios were obtained from the European branch of the CORDEX program (EURO-CORDEX) project and used. Using these climate data, the data of RCP4.5 and RCP8.5 scenarios for the period 2026-2100 were analyzed in the same period in the monthly time period, and in the seasonal and annual time periods 2026-2050, 2051-2075 and 2076-2100.

When the stations in the basin are analyzed meteorologically in the MPI-ESM-LR/RCA4 climate model 2026-2100 future projection, according to RCP4.5 scenario, Dursunbey, Keles, Tavsanlı and Mustafakemalpasa stations have an increase of 393 mm, 467 mm, 163 mm and 118 mm in total annual precipitation, respectively; while according to RCP8.5 scenario, Dursunbey, Keles, Tavsanlı, and Mustafakemalpasa stations have increased their total annual precipitation by 297 mm, 383 mm, 96 mm, and 75 mm, respectively. For all stations, the expected increase in precipitation amounts according to the RCP4.5 scenario is higher than the expected increase according to the RCP8.5 scenario. Keles station will have the highest increase in rainfall compared to other stations. According to RCP4.5 scenario, Dursunbey, Keles and Mustafakemalpasa stations average annual maximum temperature values are expected to increase by 2.90 °C, 0.88 °C and 2.82 °C, respectively, while Tavsanlı station average annual maximum temperature value is expected to decrease by 0.69 °C. According to RCP8.5 scenario, average annual maximum temperature values of Dursunbey, Keles, Tavsanlı and Mustafakemalpasa stations are expected to increase by 3.84 °C, 4.76 °C, 2.23 °C and 2.03 °C, respectively. According to RCP4.5 scenario, 0.22 °C increase, 1.76 °C decrease, 2.92 °C increase and 0.63 °C decrease are expected in the average annual minimum temperature values of Dursunbey, Keles, Tavsanlı and Mustafakemalpasa stations, respectively, while according to RCP8.5 scenario, 3.54 °C, 2.35 °C, 6.51 °C and 3.08 °C increase is expected in the average annual minimum temperature values of Dursunbey, Keles, Tavsanlı and Mustafakemalpasa stations, respectively. In the MPI-ESM-LR/RCA4 climate model 2026-2100 future projection, when the Dolluk streamflow observation station in the basin is analyzed hydrologically, it is observed that the monthly flows of Dolluk station increase according to both climate scenarios. Dolluk station showed a significant increase in flows by 144.7% (77 m³/s) and 108.9% (56 m³/s) compared to RCP4.5 and RCP8.5 scenarios in the wet period between december and march. The expected increase in average monthly flows under the RCP4.5 future climate scenario is higher than the expected increase under the RCP8.5 future climate scenario.

Increasing rainfall regimes with climate change may increase flood risks in the study area. Therefore, it is critical to develop strategies that are adaptive to possible future rainfall changes. It is important to strengthen water management infrastructure to cope with increasing rainfall regimes. In this context, dams and ponds with larger storage capacity can be built. In addition, water management strategies can be implemented to store and use water more efficiently over time. Urban drainage systems can be upgraded to manage rainwater more effectively in urban areas. In this context, green infrastructure projects and water recovery systems can be implemented to increase the

natural absorption of water. Protective embankments, dykes and river flood control structures can be built to reduce the risk of flooding along river banks and river basins. Early warning systems can be used to predict future rainfall changes and inform the public in a timely manner. It is important to educate and raise awareness of the public, local authorities and experts on climate change and flood risks. These education and awareness-raising efforts can help society to be better prepared for the impacts of climate change. In addition, an increase in precipitation may raise the water levels of Uluabat Lake, which is located in the study area and protected by the Ramsar Convention, increasing the risk of erosion in coastal areas and affecting lakeshore infrastructure. Increasing lake water levels may affect the vegetation and underwater habitats in the coastal areas of the lake. This may adversely affect the species it contains, leading to degradation of the lake ecosystem. High water levels may cause lake waters to spread over a larger area than normal, causing flooding in coastal areas and surrounding settlements.

On the other hand, this hydrological model can make significant contributions to the operation studies of the dams in the basin, to determine the current and future management strategies of the basin, and to make decisions to mitigate the effects of climate change. This model will be useful for effective planning on water resources and ensuring the sustainability of water management strategies.

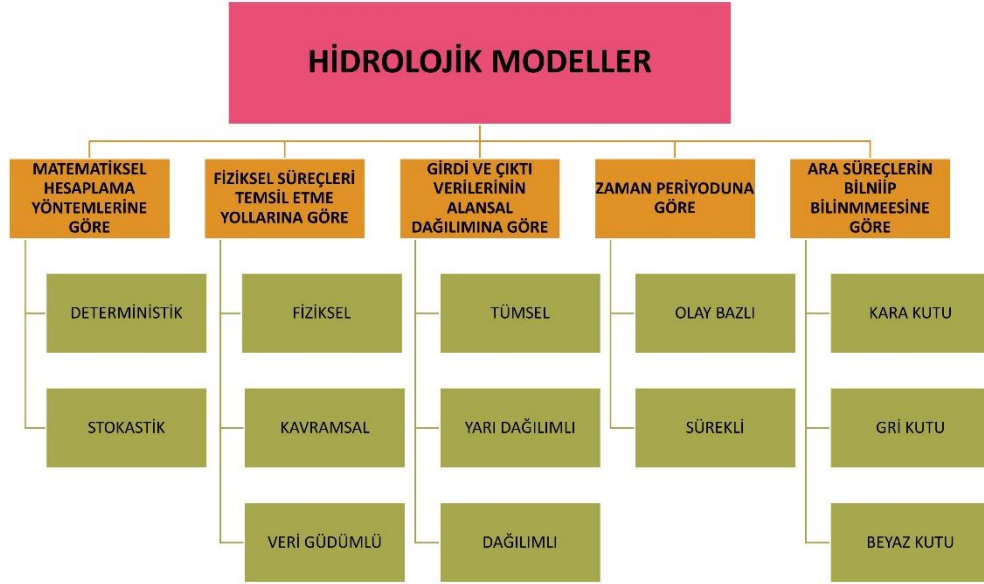


1. GİRİŞ

Atmosferdeki sera gazlarının artışı, ormanların yok olması, endüstriyel faaliyetler ve diğer insan faaliyetleri gibi faktörlerden kaynaklanan ve günümüzün en önemli sorunlarından biri olan iklim değişikliği, dünya genelinde hava koşullarında uzun vadeli değişikliklere yol açmaktadır. Ülkemiz de jeopolitik ve özel konumu gereği iklim değişikliğinden en yüksek derecede etkilenecek ülkeler arasındadır. İklimin değişmesi, yağış rejimlerinde, sıcaklıkta ve buharlaşma oranlarında değişikliklere neden olabilmektedir. Örneğin 2023 yılında yayınlanan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 6. Değerlendirme Raporu (AR6)'na göre küresel yüzey sıcaklığı 2011-2020 döneminde 1850-1900 dönemine göre yaklaşık 1.1°C üzerinde artış göstermiştir. Şiddetli yağış olaylarının sıklığı ve yoğunluğu da 1950'lerden bu yana artmıştır (International Panel on Climate Change [IPCC], 2023). Meteorolojik parametrelerdeki bu değişiklikler su kaynaklarının miktarı, kalitesi, dağılımı ve dünya üzerindeki yaşamın devamı için kritik bir öneme sahip olan hidrolojik döngü üzerinde önemli etkilere yol açabilmektedir. Su evrendeki tüm canlılar için temel bir yaşam ihtiyacıdır. Bu sebeple su kaynaklarının azalmasını önlemek ve daha sürdürülebilir bir gelecek sağlamak amacıyla çalışmalar yapılması gerekmektedir. İklimin gelecekteki durumunun nasıl olacağına dair birden fazla senaryo IPCC değerlendirme raporlarında öne sürülmüştür. İklim değişikliği sonucu meydana gelecek değişiklikler ile ilgili modellerin oluşturulması ve öngörülerde bulunulması iklim değişikliği karşısında hassas olan ülkemiz için son derece önem arz etmektedir.

Sürdürülebilir su kaynakları yönetimi ve iklim değişikliği ile mücadele stratejileri oluşturmak için hidrolojik döngüyü anlamak ve izlemek önemlidir. Hidrolojik döngü olgusunu anlamak, simüle etmek ve gelecekteki değişikliklere yanıt vermek için hidrolojik modeller kullanılmaktadır. Hidrolojik modeller, su kaynaklarını yönetmek, su kalitesini değerlendirmek, sel ve kuraklık tahminlerinde bulunmak, altyapı planlaması yapmak ve iklim değişikliği etkilerini analiz etmek için kullanılan matematiksel araçlardır. Bu modeller, genellikle karmaşık sistemlerin matematiksel bir temsiliyi sağlar ve bu temsil, suyun çeşitli bileşenleri arasındaki etkileşimlerin anlaşılmasına yardımcı olur.

Hidrolojik modeller matematiksel hesaplama yöntemlerine, fiziksel süreçleri temsil etme yollarına, girdi ve çıktı verilerinin alansal dağılımına, zaman periyoduna ve ara süreçlerin bilinip bilinmemesine göre Şekil 1.1’deki gibi sınıflandırılmaktadır.



Şekil 1.1. Hidrolojik modellerin sınıflandırılması.

Hidrolojik modeller genel anlamda deterministik ve stokastik modeller olmak üzere iki ana grupta incelenebilir. Deterministik hidrolojik modeller belirli girdi değerleri için tek bir çıktı üreten modellerdir. Yani bu tarz modellerde, girdi parametreleri tamamen belirlendiğinde, model her zaman aynı çıktıyı üretmektedir. Stokastik modeller ise rastgele değişkenlere dayalı modellerdir ve belirli bir girdi seti için birden fazla çıktı üretebilmektedir (Ghebrehiwot ve Kozlov, 2019). Hidrolojik süreçleri doğrudan fiziksel prensiplere dayandıran modeller fiziksel modeller, matematiksel ifadeler ve istatistiksel ilişkilerle temsil eden modeller kavramsal modeller olarak adlandırılırken hidrolojik süreçleri gözlemlenen verilere dayalı olarak modelleyen modeller de veri güdümlü modeller olarak adlandırılmaktadır (Devia ve ark, 2015). Hidrolojik modellerin girdi verileri genellikle coğrafi bilgi sistemleri (CBS) aracılığıyla temin edilir ve bu veriler coğrafi uzayda belirli bir dağılıma sahiptir. Bu dağılıma göre girdi verileri tümsel, yarı dağılımlı ve dağılımlı olmak üzere üç kategoriye ayrılabilir. Zaman periyoduna göre -olay bazlı ya da sürekli- sınıflandırma hidrolojik modelin belirli bir zamandaki hidrolojik olayları daha iyi anlamasına ve tahmin etmesine yardımcı olmaktadır. Beyaz kutu hidrolojik modeller, hidrolojik süreçleri fiziksel prensiplere dayanarak açıklayan modellerdir, bu modeller detaylı ve

karmaşık olabilmektedir. Siyah kutu hidrolojik modeller, hidrolojik süreçleri daha çok veri tabanlı, gözlemlere dayalı istatistiksel ve matematiksel ilişkilerle açıklayan modellerdir. Bu modeller, gözlemlenen veri setleri üzerinden elde edilen denklemler veya algoritmalara dayanmaktadır. Gri kutu hidrolojik modeller ise, beyaz kutu modellerin detaylı fiziksel prensiplerini ve siyah kutu modellerin veri tabanlı, istatistiksel ilişkilerini bir araya getirerek bir denge sağlamaktadır. Bu modeller, hem fiziksel süreçlere dayanan bilgiyi kullanabilmektedir hem de gözlemlenen verilere dayalı istatistiksel yaklaşımları içerebilmektedir (Stella ve Warner, 2018).

Hidrolojik modellere HBV, Mike-She, WRF, HEC-HMS, SWAT ve SWIM gibi modeller örnek verilebilir. Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) tarafından geliştirilmiş, fiziksel, sürekli ve yarı dağılımlı bir model olan Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (SWAT) modeli ise ücretsiz olması, erişim kolaylığı sağlaması, kapsamlı bir model olması, arayüzler ve destek yazılımlara sahip olması gibi nedenlerden ötürü yaygın olarak kullanılan hidrolojik modellerden birisidir (Aloui ve ark, 2023; Tan ve ark,2020). Bu model, yağış, sıcaklık, toprak özellikleri gibi çeşitli parametreleri kullanarak gerçek su kaynakları sistemlerinin davranışını öngörmeye yönelik olarak tasarlanmıştır. Ancak, modelin doğru sonuçlar üretebilmesi için belirli parametrelerin doğru bir şekilde seçilmesi ve modelin gözlemlenen verilerle kalibre edilmesi gerekmektedir. Kalibrasyon sürecinde, model tarafından üretilen sonuçlar gerçek akış verileri ile karşılaştırılmaktadır, model çıktılarının gözlemlenen verilere uygun olmaması durumunda parametreler değiştirilmekte ve model tekrar çalıştırılmaktadır. Bu süreç sayesinde, daha az veri ile daha iyi sonuçlar elde etmek mümkün olmaktadır, bu da karar alıcıların daha hızlı ve etkili kararlar vermelerine yardımcı olmaktadır (Baycan,2023).

Bu çalışmada, Susurluk Havzası'nın alt havzalarından olan Emet, Orhaneli ve Mustafakemalpaşa (Mkp) havzalarının birleşiminden oluşan havzada SWAT modeli kullanılarak hidrolojik bir analiz gerçekleştirilmiş ve farklı iklim senaryolarından yararlanılarak akarsu akım sonuçlarının nasıl etkileneceği tahmin edilmeye çalışılmıştır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Akarsu havzalarını modellemek amacıyla geliştirilmiş hidrolojik modeller ülkemiz ve dünya literatüründe yaygın bir araştırma alanı oluşturmaktadır (Kazezyılmaz-Alhan ark, 2021; Prasad ve ark, 2020; Sorman ve ark, 2020). SWAT modeli de, dünya genelinde farklı iklim kuşaklarına ve coğrafi koşullara sahip, çok küçük ölçekten havza ölçeğine kadar değişen alanlarda çeşitli disiplinler tarafından uygulanan hidrolojik modellerden birisidir (Lévesque ve ark, 2008; Ningthoujam ve ark, 2022; Wallace ve ark, 2018; Xie ve ark, 2010; Zhang ve ark, 2014). SWAT modelinin diğer hidrolojik modellere kıyasla, açık kaynaklı yazılım oluşu, coğrafi bilgi sistemleri ile entegre çalışabilmesi, teknik dökümanlarla kullanıcıları yönlendirebilmesi, kullanıcıların tartışabildiği aktif internet gruplarının bulunması, model için geliştirilmiş otomatik kalibrasyon yazılımlarının bulunması ve hidrolojik açıdan çeşitli teknik özelliklere sahip olması gibi nedenlerle birçok üstlünlülüğü bulunmaktadır (Abbaspour, 2015; Fontaine ve ark, 2002; Gassman ve ark, 2007; Neitsch ve ark, 2011; Neitsch ve ark, 2012). SWAT modeli hem nütrient (Sohoulande Djebou ve ark, 2023; Niroula ve ark, 2023) hem de hidrolojik modelleme (Ningthoujam ve ark, 2022; Swain ve ark, 2022) çalışmalarında, pestisit (Doğan ve Karpuzcu, 2023; Kırtıloğlu,2023) ve bakteri (Iqbal ve ark, 2022) simülasyonları gibi veri analizi çalışmalarında yenilikçi bir şekilde kullanılmakta ve bu yönüyle araştırmacıların dikkatini çekmektedir. SWAT hidrolojik modeli, iklim değişikliğinin etkisinin incelenmesinde de ülke ve dünya çapında sıklıkla kullanılan bir modeldir (Aibaidula ve ark, 2023; Bhatta ve ark, 2019; Li ve Fang, 2021; Marin ve ark, 2020; Peker ve Sorman, 2021; Yılmaz ve ark, 2022).

Ülkemizde birçok ulusal ve uluslararası akarsu havzası modelleme çalışmasında, SWAT modeli geniş bir kabul görmüştür. SWAT modeli ile havza modelleme çalışmaları hidroloji (Ertürk ve ark, 2014; Ertürk ve ark, 2017; Daggupati ve ark, 2017; Güngör ve Göncü, 2013; Jones ve ark, 2008; Tüfekçioğlu ve ark, 2017; Zaimes ve ark, 2016) ve su kalitesi (Ekdal ve ark, 2011; El-Sadek ve Irvem, 2014; Germeç ve Ülker, 2023) ile alakalı çalışmalar olarak iki ana başlıkta incelenebilir. Yüzey suyu (Daggupati ve ark, 2017; Güngör ve Göncü, 2013; Jones ve ark, 2008; Tüfekçioğlu ve ark, 2017; Zaimes ve ark, 2016) ve yer altı suyu (Ertürk ve ark, 2014; Ertürk ve ark,

2017) hidroloji odaklı yapılan SWAT modeli çalışmaları iken sediment (El-Sadek ve Irvem, 2014) ve kirlilik çalışmaları su kalitesi odaklı yapılan SWAT modeli çalışmalarıdır. SWAT modeli ile yapılan havza modelleme çalışmalarında mevcut dönem ya da gelecek dönem (iklim değişikliği) analizleri yapılmaktadır. İklim değişikliği analiz çalışmalarında küresel iklim model verileri, bölgesel iklim model verileri ve iklim senaryo verileri sıklıkla kullanılmaktadır (Aibaidula ve ark, 2023; Peker ve Sorman, 2021; Yılmaz ve ark, 2022; Yalçın, 2023).

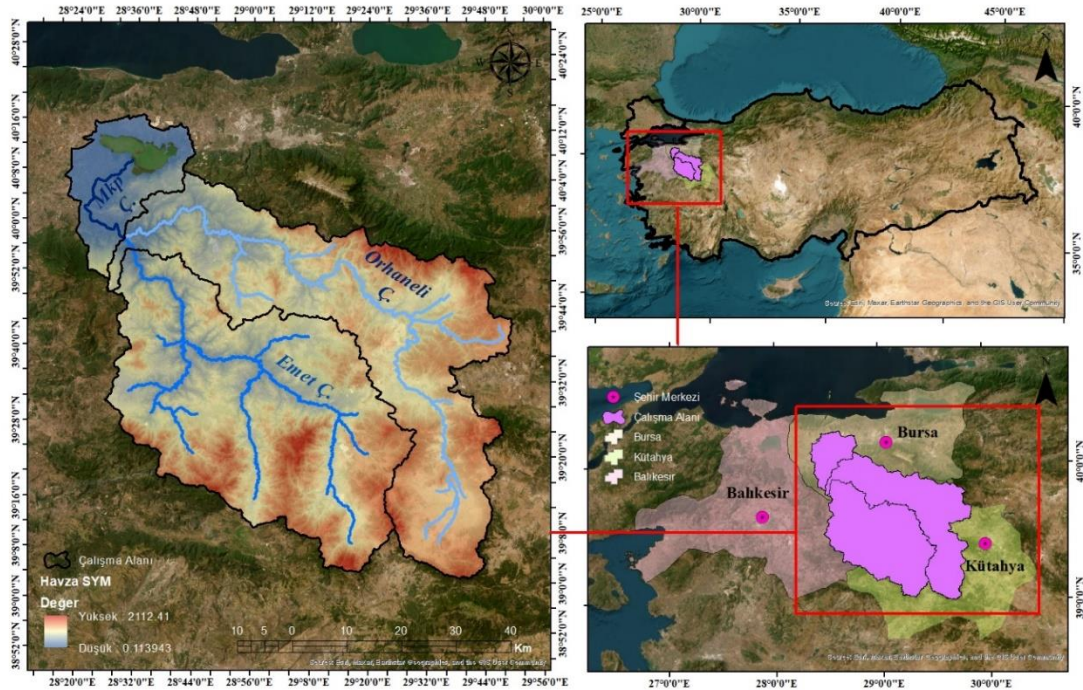
SWAT modelinin kalibrasyonu, doğru sonuçlar elde etmek ve modelin güvenilirliğini artırmak için önemli bir adımdır. (Baycan,2023). Havzanın hidrolojik modelinin SWAT modeli kullanılarak kurulduğu çalışmalarda kalibrasyon için sıklıkla kullanılan model çıktısı akımdır (Dwivedi ve ark, 2022; Kim ve ark, 2023; Peker ve Sorman, 2021). Sediment ve azot yükleri gibi diğer parametreler de SWAT modeli kalibrasyonunda kullanılan diğer model çıktılarından (Chen ve ark, 2023; Dakhlalla ve Parajuli, 2019). Model çıktıları ile kalibrasyon ve validasyon işlemlerinin yapılması için genellikle SWAT-CUP programı kullanılmaktadır (Chen ve ark, 2023; Dakhlalla ve Parajuli, 2019; Dwivedi ve ark, 2022; Peker ve Sorman, 2021; Kim ve ark, 2023). SUFI-2, GLUE, ParaSol ve PSO gibi SWAT-SUP programında bulunan kalibrasyon algoritmaları ile yapılan kalibrasyonlar incelenmiş ve bu algoritmalarından SUFI-2 algoritmasının en iyi sonucu veren algoritma olduğu görülmüştür (Houshmand Kouchi ve ark, 2017; Liang ve ark,2021; Shivhare ve ark, 2018).

İncelenen çalışmalar doğrultusunda daha önce benzer bir çalışma yapılmamış olan Susurluk Havzası alt havzalarında (Emet, Orhaneli ve Mustafakemalpaşa) kurulan, kalibrasyonu ve doğrulaması yapılmış SWAT hidrolojik modeline bias düzeltilmesi yapılmış CORDEX iklim verilerinin girdi olarak kullanılması ve iklim değişikliğinin bu bölgedeki meteorolojik ve hidrolojik parametrelere etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Balıkesir, Bursa ve Kütahya illerinin kesiştiği noktada, 28°20'04.24"- 28°51'39.86" doğu boylamları ve 39°01'10.36"- 40°16'14.90" kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Ayrıca çalışma alanı Susurluk Havzası'nın alt havzalarından olan Emet, Orhaneli ve Mustafakemalpaşa (Mkp) havzalarının birleşiminden oluşan havzadır (Şekil 3.1). Havza alanı 10619 km²'dir ve havzada Ramsar Sözleşmesiyle korunan ve Yaşayan Göller Ağına dahil edilmiş Uluabat Gölü de bulunmaktadır. Bu gölün en önemli kaynaklarından biri 230 km uzunluğa sahip Mustafakemalpaşa Çayıdır ve bu çay 90 km uzunluğa sahip Emet ve 200 km uzunluğa sahip Orhaneli Çaylarının birleşmesi ile oluşmuştur. Çalışma alanı içerisinde Çınarcık, Çavdarhisar, Devecikonağı, Hasanlar, Kayaboğazı ve Büyükorhan Barajı olmak üzere 6 adet baraj bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Çalışma alanı.

3.2. Swat Hidrolojik Modeli

Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (Soil and Water Assessment Tool / SWAT) modeli USDA (Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı) tarafından geliştirilmiş ıslak ve kurak dönemleri kapsayan uzun bir periyotta sonuçlar veren başka bir deyişle sürekli, fiziksel tabanlı ve mekânsal olarak küçük işlem birimleri ya da alt havzalar bazında sonuçlar verebilen yarı dağılımlı bir havza modelidir (Arnold ve ark, 1998; Neitsch ve ark, 2011; Neitsch ve ark, 2012). SWAT modeli, büyük ve karmaşık su havzalarında uzun dönem boyunca yönetimin etkisini ölçmek amacıyla farklı toprak tipleri, arazi kullanımları ve yönetim koşullarını içeren bir araç olarak geliştirilmiştir (Janjic ve Tadic, 2023). Model, yıllık, aylık veya günlük zaman adımları üzerinde çalışma seçeneğiyle yarı dağıtııcıdır (Douglas-Mankin ve ark, 2010).

Bir havzanın hidrolojisinin SWAT modeli ile simülasyonu iki ana bölüme ayrılabilir. İlk bölüm, hidrolojik döngünün kara aşamasıdır. Hidrolojik döngünün kara aşaması, her bir alt havzadaki ana kanala giden su, sediment vb. gibi yüklerin miktarını kontrol eder. İkinci bölüm, hidrolojik döngünün su aşamasıdır ve suyun, sedimanların vb. havzanın kanal ağı üzerinden çıkışa doğru hareketi olarak tanımlanabilir (Neitsch ve ark, 2011). SWAT tarafından simüle edilen ve Şekil 3.2’de gösterilen bu hidrolojik döngü, aşağıda matematiksel olarak ifade edilen su dengesi denklemine (Denklem 3.1) dayanmaktadır.

$$S_{wt} = S_{w0} + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{qw}) \quad (3.1)$$

Bu denklemde yer alan;

S_{wt} : nihai toprak su içeriği (mm),

S_{w0} : başlangıç toprak su içeriği (mm),

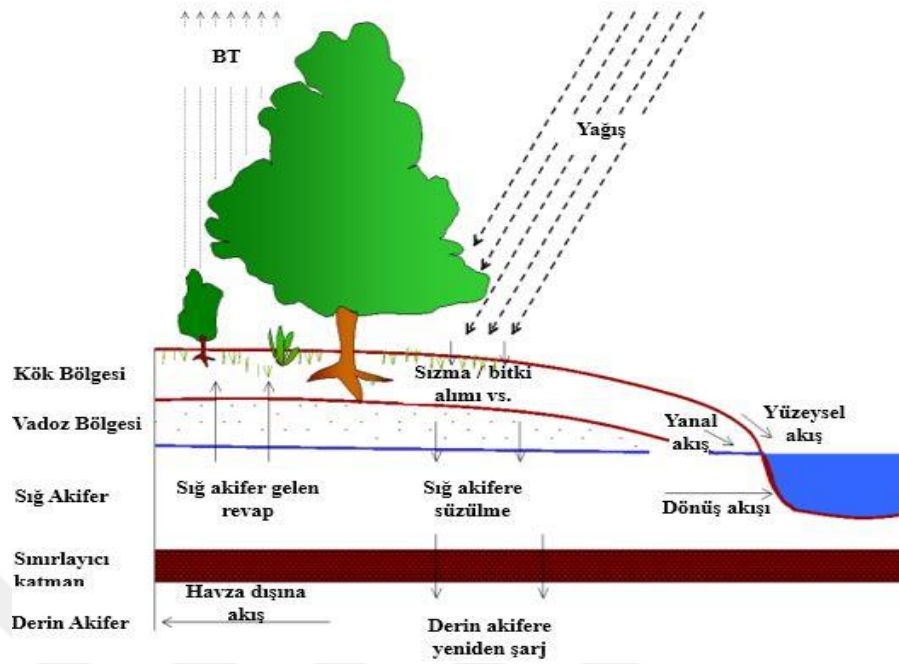
R_{day} : yağış miktarını (mm),

Q_{surf} : yüzeysel akışa geçen su miktarını (mm),

E_a : terleme ve buharlaşma ile (evapotranspirasyon) kaybedilen su miktarını (mm),

w_{seep} : vadöz bölgeye sızan su miktarını (mm) ve

Q_{gw} : yer altı su beslemesini (mm) ifade etmektedir.



Şekil 3.2. SWAT modelinin hidrolojik döngü süreci (Neitsch ve ark, 2011).

SWAT modeli, SCS (Soil Conservation Service) yöntemi veya Green-Ampt sızma denklemi kullanarak yüzeysel akışı hesaplayabilir (Neitsch ve ark, 2011). Bu modelde perkolasyon (süzülme) her bir toprak tabakası için hesaplanmaktadır. SWAT modeli, yanal yüzey altı akışını ve sığ akiferden akarsuya katılan akışı başarılı bir şekilde simüle edebilir. Ayrıca, potansiyel evapotranspirasyon hesaplamaları için Hargreaves (Hargreaves ve ark, 1985), Priestly-Taylor (Priestly ve Taylor, 1972) ve Penman-Monteith (Monteith, 1965) yöntemlerini kullanmaktadır. SWAT modeli, kar erimesi, akarsu kanalından sızma, su biriktirme ve göletlerden sızma süreçlerini de başarıyla modelleyebilmektedir.

3.2.1. Swat modeli girdileri

SWAT modelinin ana girdileri, mekânsal girdiler olan; topografyayı temsil eden sayısal yükseklik, arazi kullanımı ve toprak özellikleri haritaları ile zamansal girdiler olan; yağış, rüzgar hızı, minimum / maksimum sıcaklık, nispi nem ve güneş radyasyonu gibi iklim verileridir. Ayrıca SWAT modelinin kalibrasyonu ve doğrulanması için akım gözlem verilerinin de kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan girdi bilgileri Tablo 3.1’de yer almaktadır.

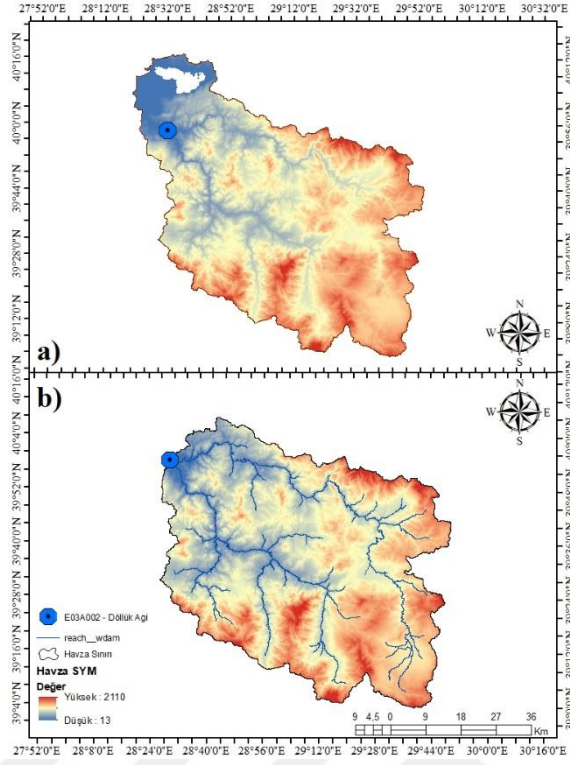
Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan veriler.

Veri Tipi	Kaynak	Çözünürlük
Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)	USGS EarthExplorer SRTM	30 m
Arazi Örtüsü ve Kullanımı Haritası (LULC)	Avrupa Uzay Ajansı (ESA) WorldCover 2021	10 m
Toprak Haritası	UNESCO – FAO Küresel Toprak Haritası	5 km
İklim Verileri	Meteoroloji Genel Müdürlüğü	4 İstasyon (Günlük)
Akım Gözlem Verileri	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü	1 İstasyon (Aylık)

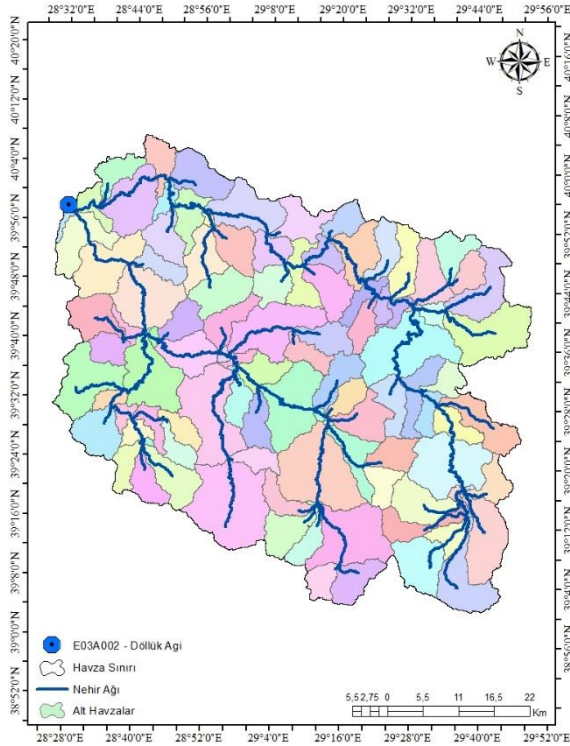
SWAT modeli için kullanılan iklim verileri, saatlik veya günlük zaman dilimlerinde sağlanabilir. Ancak, modelde yaygın olarak tercih edilen SCS yöntemi, yağış verilerini günlük zaman diliminde kullanmayı gerektirir. Ayrıca, model, yağış ve sıcaklık verilerinin yanı sıra tercihe bağlı olarak nispi nem, güneş ışıınımı ve rüzgar hızı verilerine de ihtiyaç duyabilir. Bu veri setleri, Penman-Monteith yöntemi kullanılıyorsa potansiyel evapotranspirasyon hesaplamaları için gereklidir. Priestly-Taylor ve Hargreaves gibi diğer yöntemler yalnızca minimum ve maksimum sıcaklık girdileri ile çalışabilmektedir (Peker ve Cüceloğlu,2022).

3.2.1.1. Sayısal yükseklik modeli (SYM / DEM)

Çalışma alanının ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu'na (United States Geological Survey / USGS) ait 1 yay-saniye (30 m) çözünürlüklü açık kaynaklı SRTM verisi sayısal yükseklik modeli olarak kullanılmıştır (Şekil 3.3.a.). Havzanın çıkış (outlet) noktası E03A002 numaralı Döllük akım gözlem istasyonu seçilmiştir. Bu istasyon Mustafakemalpaşa Çayı'nın Uluabat Gölü'ne dökülen kotlarında değil de daha yüksek kotlarında bulunmaktadır. Çalışma havzası, SWAT modelinde bulunan havza çizim modülüyle Şekil 3.3.b.'de görüldüğü gibi oluşturulmuştur. Aynı modülle nehir ağı da oluşturulmuştur ancak arazi eğiminin düşük olduğu ova kesimlerinde oluşturulan nehir ağlarının güzergahının fiziki güzergahıyla örtüşmeme durumunu önlemek amacıyla Google Earth üzerinden gerçek nehir ağları çizilmiş ve SWAT modelinin “burn-in” komutu ile nehir ağları doğru lokasyonlarına getirilmiştir. Yeni oluşan havza alanı 9629 km² olarak bulunmuş olup, havza 110 alt havzaya bölünmüş ve toplam 974 adet hidrolojik işlem birimi (HRU) oluşturulmuştur (Şekil 3.4). Havzada yükseklikler 13 m ile 2110 m arasında değişmektedir.



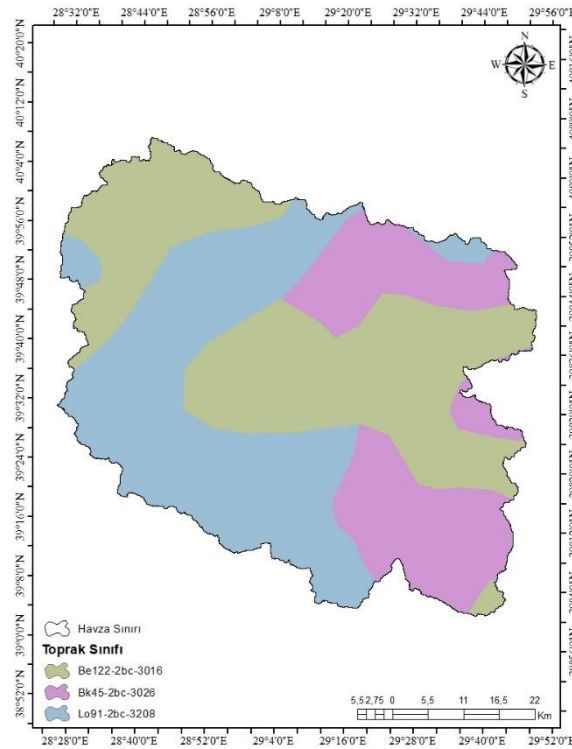
Şekil 3.3. Çalışma alanı sayısal yükseklik modeli.



Şekil 3.4. Nehir ağı ve alt havzalar.

3.2.1.2. Toprak haritası

Toprak özellikleri haritası UNESCO kuruluşu Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından bütün dünya için hazırlanmış olan Digital Soil Map of the World açık kaynaklı veri tabanından temin edilmiştir (Şekil 3.5). Toprak sınıflandırmasına göre havzada 3 farklı toprak çeşidi olup havzada kapladığı alanlar ve eşleştirilen SWAT sınıflandırması Tablo 3.2’de gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 3.5’te yer alan toprak sınıflarına ait SWAT modeli veri tabanı detaylarına ilişkin açıklama ve öznitelik özellikleri Tablo 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.5. Toprak haritası.

Tablo 3.2. Toprak sınıfları ve yüzdeleri.

FAO Kodu	SWAT Kodu	Toprak Bünyesi	Hidrolojik Grup	Kapladığı Alan (%)
Bk45-2bc	3026	Toprak (Loam)	C	22.89
Be122-2bc	3016	Toprak (Loam)	C	39.66
Lo91-2bc	3208	Toprak (Loam)	D	37.45

Tablo 3.2 incelendiğinde havzada en çok karşılaşılan toprak tipinin %39.66’lık oranla 3016 SWAT koduna sahip killi toprak tipi olduğu söylenebilir. Çalışma alanının %62.55’inin hidrolojik grubu yüzeyssel, güvenli miktarda kil ve kolloid içeren ve geçirgenlikleri ortalamanın altında olan toprakları içeren C iken, kalan %37.45’inin

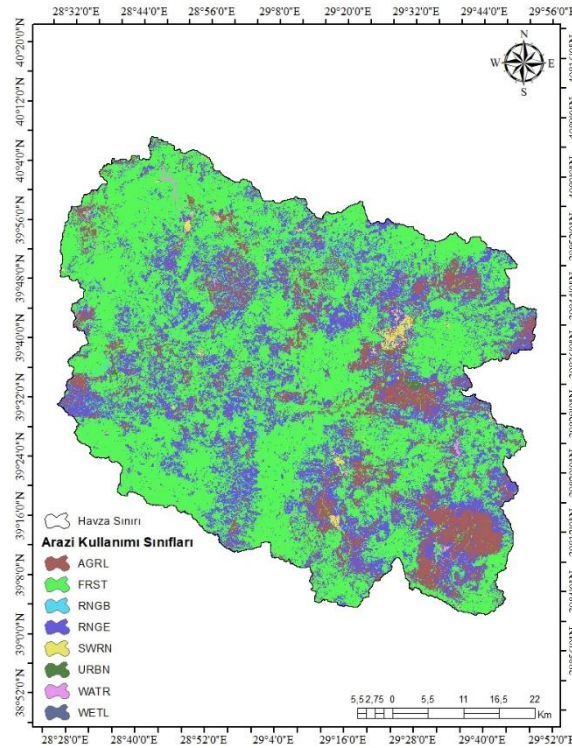
hidrolojik grubu derin, şişme oranı oldukça yüksek, fazlaca killi, alt tabakaları geçirimsiz, geçirgenlikleri çok az olan toprakları içeren D grubudur. Buna göre çalışma alanının tamamındaki toprak killi toprak olarak tanımlanabilir ve bu tip topraklardaki sızma hızı düşük olduğundan dolayı bu topraklar yüksek yüzeysel akış potansiyellerine sahiptirler.

Tablo 3.3. FAO toprak haritası ve SWAT parametreleri.

SWAT Parametreleri	Zemin Türü		
	Bk45-2bc	Be122-2bc	Lo91-2bc
NLAYERS	2	2	2
SOL_ZMX	660	790	800
ANION_EXCL	0.5	0.5	0.5
SOL_CRK	0.5	0.5	0.5
SOL_Z1	300	300	300
SOL_BD1	1.3	1.2	1.4
SOL_AWC1	0.117	0.097	0.106
SOL_K1	8.49	13.63	5.95
SOL_CBN1	1.2	2	1
CLAY1	22	22	22
SILT1	40	36	34
SAND1	39	42	44
ROCK1	0	0	0
SOL_ALB1	0.0484	0.0103	0.0712
USLE_K1	0.2671	0.2759	0.287
SOL_EC1	0	0	0
SOL_Z2	1000	1000	1000
SOL_BD2	1.5	1.3	1.5
SOL_AWC2	0.117	0.097	0.106
SOL_K2	2.67	7.62	2.66
SOL_CBN2	0.6	0.7	0.5
CLAY2	27	26	30
SILT2	38	33	32
SAND2	35	41	38
ROCK2	0	0	0
SOL_ALB2	0.154	0.1269	0.1867
USLE_K2	0.2671	0.2759	0.287
SOL_EC2	0	0	0

3.2.1.3. Arazi kullanımı ve örtüsü haritası (LULC)

Arazi örtüsü ve kullanımı haritası Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından Sentinel-1 ve Sentinel-2 uydu görüntülerinin işlenmesiyle 11 sınıftan oluşan WorldCover 2021 projesinden temin edilmiştir (Şekil 3.6). Arazi sınıflandırmasına göre havzada 8 farklı arazi kullanımı ve örtü çeşidi olup havzada kapladığı alanlar ve eşleştirilen SWAT sınıflandırması Tablo 3.4’te gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Arazi kullanımı ve örtüsü haritası.

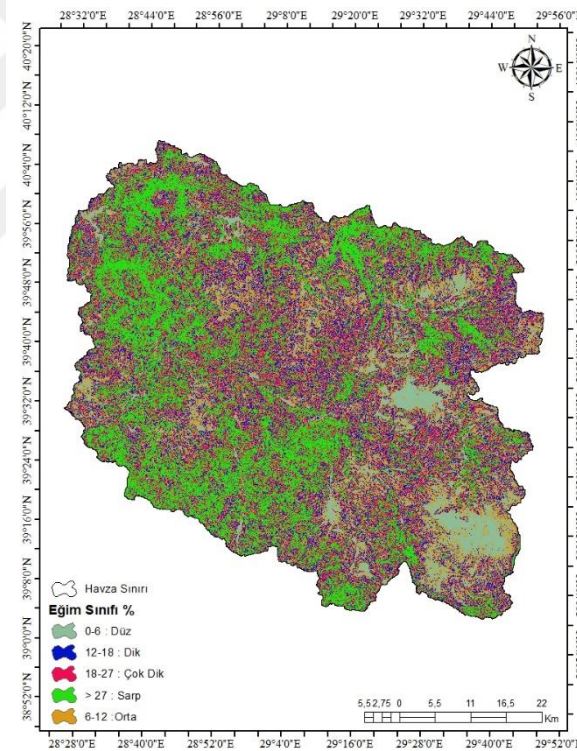
Tablo 3.4. Arazi kullanımı ve örtüsü sınıfları ve yüzdeleri.

WorldCover Sınıfı	SWAT Sınıfı	Kapladığı Alan (%)
Tarla (Cropland)	Tarım Arazisi (AGRL)	10.65
Ağaç Örtüsü (Tree Cover)	Orman (FRST)	59.35
Çalılık (Shrubland)	Çalılık (RNGB)	0.93
Otlak (Grassland)	Otlar (RUGE)	27.00
Çıplak/Seyrek Bitki Örtüsü (Bare/sparse vegetation)	ABD Güneybatısı Çorak Bölge Örtüsü (SWRN)	1.02
Yerleşik Alan (Built-up)	Yerleşim Alanı (URBN)	0.77
Kalıcı Su Kütlesi (Permanent water bodies)	Su (WATR)	0.28
Otsu Sulak Alan	Bataklık (WETL)	0.00

Tablo 3.4 incelendiğinde %59.35’lik bir oranla havzanın büyük bir kısmını ağaç örtüsü ya da orman olarak adlandırılan arazi kullanımı ve örtüsü sınıfının kapladığı görülürken, %0.28’lik bir oranla havzanın çok küçük bir kısmını kalıcı su kütlesi olarak adlandırılan arazi kullanımı ve örtüsü sınıfının kapladığı görülmüştür. Ayrıca çalışılan havzada otsu sulak alan ya da bataklık olarak adlandırılan arazi kullanımı ve örtüsü sınıfının bulunmadığı çıkarımı yapılabilmektedir.

3.2.1.4. Eğim haritası

Eğim Haritası SWAT modelinin kurulumu için gerekli olan birincil girdilerden değildir ancak SWAT modelinin havzayı alt havzalara ve küçük işlem birimlerine bölebilmesi için modele eğim sınıfları tanıtılmalıdır. Eğim sınıfları sayısal yükseklik modelinden yararlanılarak ArcMap programı aracılığıyla oluşturulmuştur (Şekil 3.7). Havzanın eğim sınıfları ve bu eğim sınıflarının kapladığı alan Tablo 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.7. Eğim haritası.

Tablo 3.5. Eğim sınıfları ve yüzdeleri.

Eğim Sınıfı (%)	Kapladığı Alan (%)
0-6 : Düz	10.88
6-12 : Orta	17.69
12-18 : Dik	18.19
18-27 : Çok Dik	22.64
> 27 : Sarp	30.60

Tablo 3.5 incelendiğinde %30.60'lık bir oranla havzanın büyük bir kısmını %27'den fazla sarp eğime sahip alanların kapladığı görülürken, %10.88'lik bir oranla havzanın göreceli olarak küçük bir kısmını %6'dan düşük eğime sahip düz alanların kapladığı görülmektedir.

3.2.1.5. Rezervuar / baraj bilgileri

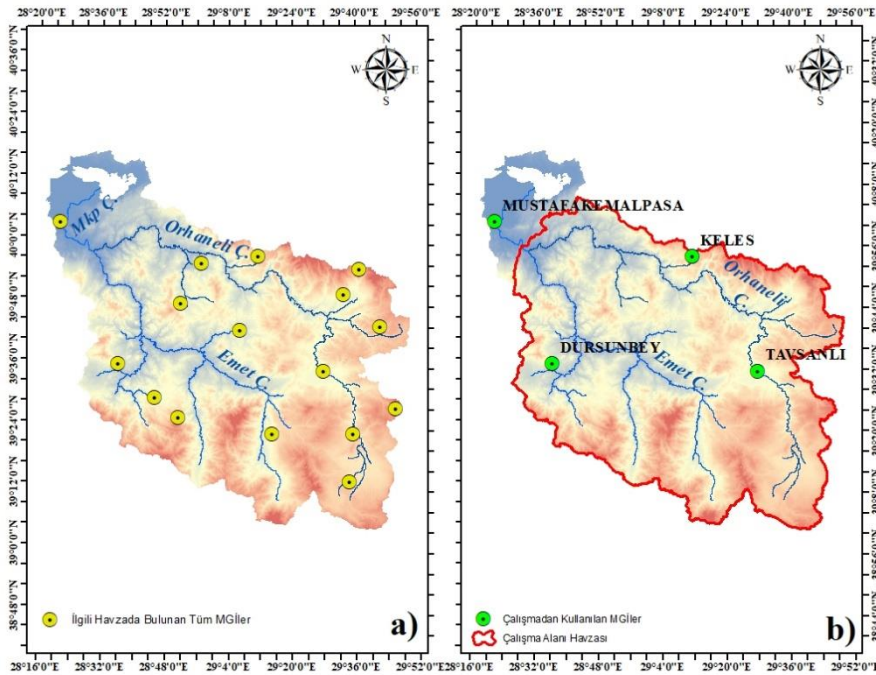
Rezervuar / baraj bilgileri de SWAT modelinin kurulumu için gerekli olan birincil girdilerden değildir ancak gerçekte havzada yaşanan hidrolojik süreçleri modele gerçekçi yansıtabilmek ve model doğruluğunu arttırabilmek için çalışma alanında bulunan mümkünse tüm baraj ya da rezervuarların değilse büyük hacme ve su tutma kapasitesine sahip olanların SWAT model kurulumunda girdi olarak kullanılması gerekmektedir. SWAT modeli rezervuar ya da barajların işletmeye açılış yılı (IYRES), dolusavak seviyesindeki rezervuar yüzey alanı (RES_ESA), dolusavak seviyesindeki su hacmi (RES_EVOL), dipsavak seviyesindeki rezervuar yüzey alanı (RES_PSA), dipsavak seviyesindeki su hacmi (RES_PVOL) ve ilk rezervuar hacmi (RES_VOL) gibi karakteristik bilgilere ihtiyaç duymaktadır.

Çalışma alanı içerisinde Çınarcık, Çavdarhisar, Devecikonağı, Hasanlar, Kayaboğazı ve Büyükorhan Barajı olmak üzere 6 adet baraj bulunmaktadır. Bu barajlardan Hasanlar Barajı SWAT modeli tarafından oluşturulan en uzun akış kolları (longest path) üzerinde bulunmadığından ve veri ölçüm eksiliğinden dolayı model kurulumunda girdi olarak kullanılmamıştır. Geriye kalan 5 baraj (Çınarcık, Çavdarhisar, Devecikonağı, Kayaboğazı ve Büyükorhan Barajı) SWAT model kurulumunda girdi olarak kullanılmıştır. Girdi olarak kullanılacak bu barajlara ait karakteristik bilgiler Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Barajların havzadaki konumu Şekil 3.8'de gösterilirken karakteristik bilgileri Tablo 3.6 ve Tablo 3.7'de gösterilmiştir.

rezervuarın faaliyete geçtiği günkü rezervuar hacmidir. Barajlardan sadece Kayaboğazı barajı simülasyon döneminin başında mevcuttur (işletmeye 1988 yılında açılmıştır). Bu sebeple Kayaboğazı Barajının başlangıç rezervuar hacmi simülasyonun ilk günündeki (1990 yılı) hacim olarak alınmıştır.

3.2.1.6. Meteorolojik veriler

Çalışma alanı içerisinde toplamda 16 adet meteoroloji gözlem istasyonu bulunmaktadır (Şekil 3.9.a). Bu istasyonların alt havza ve ölçüm aralığı bilgileri Tablo 3.8’de gösterilmiştir. Bu 16 istasyon analiz edildiğinde SWAT modelinin doğru sonuçlar vereceği kadar ıslak ve kuru dönemleri kapsayan ve havzanın meteorolojik açıdan karakteristiğini yansıtan, en uzun veri ölçüm aralığına sahip Dursunbey MGI, Mustafakemalpaşa MGI, Keles MGI ve Tavşanlı MGI olmak üzere 4 adet meteoroloji gözlem istasyonunun verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilerek çalışmada kullanılmıştır (Şekil 3.9.b). Çalışmada kullanılan meteoroloji gözlem istasyonu veri bilgileri Tablo 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. İlgili havzada bulunan a) tüm MGİler, b) çalışmada kullanılan MGİler.

Tablo 3.8. Çalışma alanında bulunan meteoroloji gözlem istasyonu bilgileri.

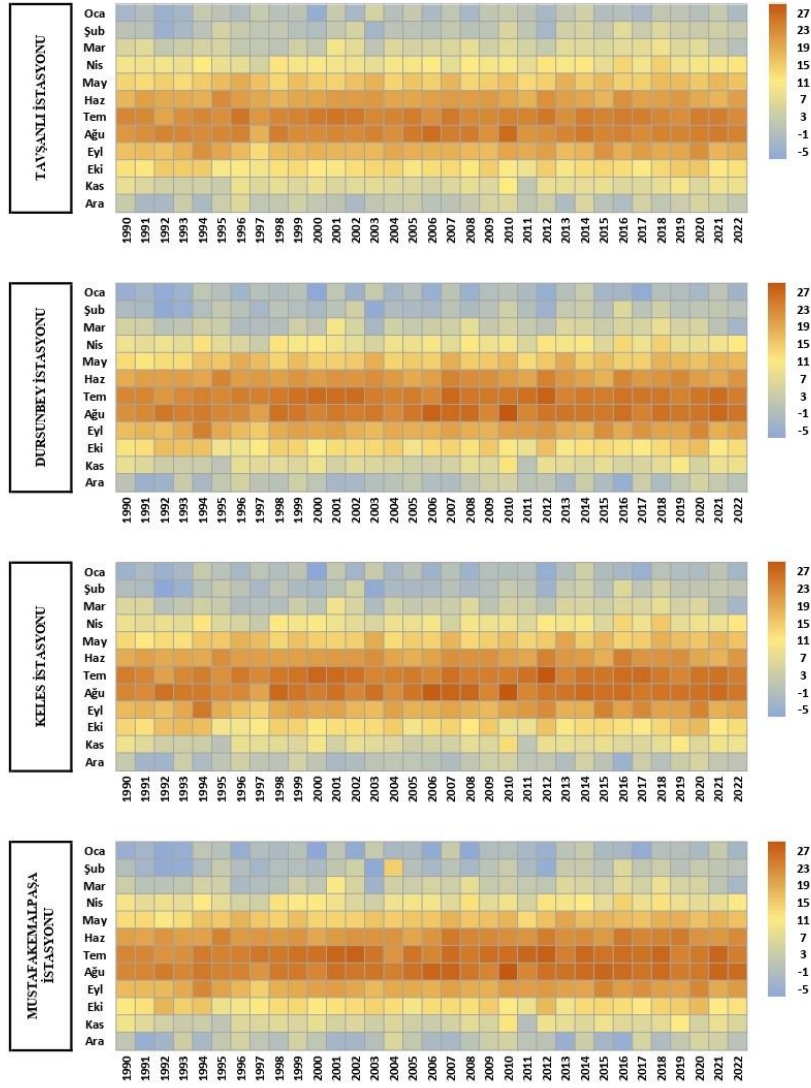
İstasyonlar	Alt Havza	Ölçüm Aralığı
Büyükorhan	Orhaneli	2013-2022
Orhaneli	Orhaneli	1996, 2012-2022
Keles	Orhaneli	1965-2022
Domaniç / Kocayayla	Orhaneli	2015-2022
Domaniç	Orhaneli	1965-1974,1976-1990
Tavşanlı / Gümüşyeniköy	Orhaneli	2015-2022
Tavşanlı	Orhaneli	1966-2022
Kütahya / Kirazlıyaylası Köyü	Orhaneli	2015-2022
Emet / Esatlar Köyü	Orhaneli	2015-2022
Çavdarhisar	Orhaneli	2012-2022
Dursunbey	Emet	1965-2022
Dursunbey / Yayla Orman Sahası	Emet	2014-2022
Dursunbey / Reşadiye Mevkii	Emet	2015-2022
Harmancık	Emet	1988-1992,2012-2022
Emet	Emet	1976-1994,2006-2022
Mustafakemalpaşa	Mustafakemalpaşa	2006-2022

Çalışmada kullanılmak üzere seçilen 4 istasyon 57 yıllık veri setine sahiptir. Ancak bu çalışmada analiz yıl aralığı bilgisayar analiz süresinin makullüğü ve SWAT modelinin havzanın ıslak ve kuru dönemlerini kapsayacak şekilde çalıştırılması amacı ile 1990-2022 (33 yıl) seçilmiştir.

Tablo 3.9. Çalışmada kullanılan meteoroloji gözlem istasyonu bilgileri.

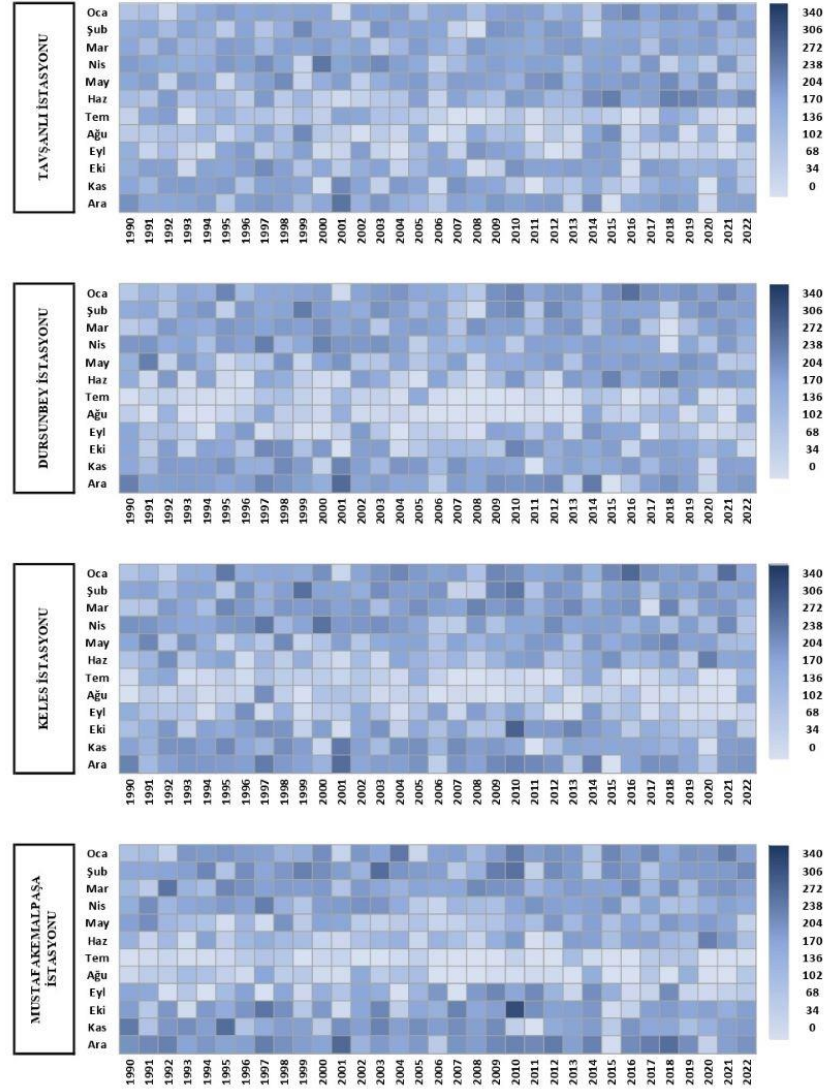
İstasyon Adı	İstasyon Kodu	Enlem	Boylam	Kot (m)	Ölçüm Aralığı	Seçilen Model Çalışma Süresi
Dursunbey	17700	39°34'37.9"K	28°38'04.9"D	637	1965-2022	
Keles	17695	39°54'54.1"K	29°13'52.6"D	1063	1965-2022	1990-2022
Tavşanlı	17704	39°32'18.2"K	29°29'38.7"D	833	1966-2022	
Mustafakemalpaşa	17675	40°02'33.0"K	28°23'58.3"D	60	1965-2022	

Dursunbey, Keles, Tavşanlı ve Mustafakemalpaşa gözlem istasyonlarında 1990-2022 yılları arasında ortalama yıllık maksimum sıcaklık değerleri sırasıyla 37.2 °C, 34.3 °C, 38.5 °C ve 38.7 °C iken ortalama yıllık minimum sıcaklık değerleri sırasıyla -10.2 °C, -13.6 °C, -15.5 °C ve -7.4 °C'dir. Ayrıca, çalışmada kullanılan dört istasyonun 1990-2022 dönemine ait aylık ortalama sıcaklık verileri Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



Şekil 3.10. 1990-2022 yılları arasındaki ortalama aylık sıcaklıklar (°C).

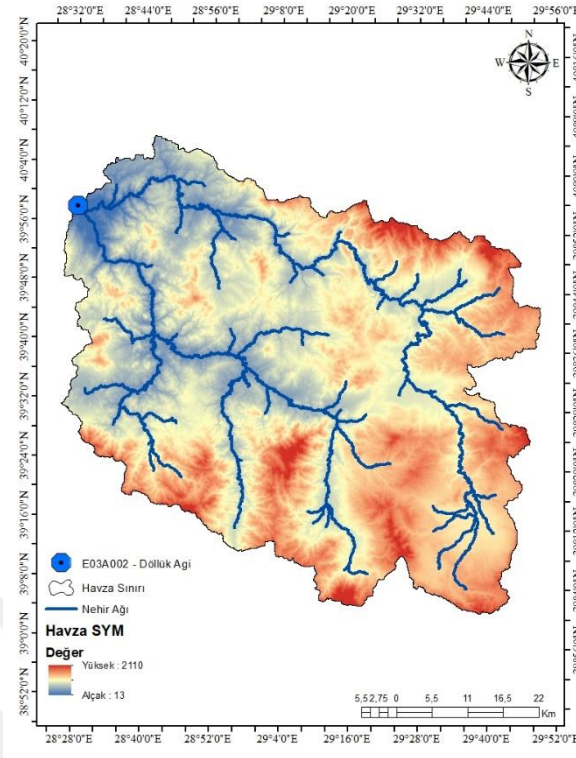
Dursunbey, Keles, Tavşanlı ve Mustafakemalpaşa gözlem istasyonlarında 1990-2022 yılları arasında gözlenen ortalama yıllık toplam yağış yükseklikleri sırasıyla 528.71 mm, 695.05 mm, 490.21 mm ve 679.56 mm'dir. Ayrıca, çalışmada kullanılan dört istasyonun 1990-2022 dönemine ait aylık toplam yağış verileri Şekil 3.11'de gösterilmektedir.



Şekil 3.11. 1990-2022 yılları arasındaki kümülatif aylık yağış miktarları (mm).

3.2.1.7. Akım gözlem verileri

Model simülasyonu sonucunda elde edilen akış verilerinin kalibrasyonu ve doğrulamasının yapılması için Mustafakemalpaşa Çayı üzerinde bulunan E03A002 numaralı Döllük akım gözlem istasyonunun 1990-2022 yılları arasında ölçülmüş aylık akış verileri kullanılmıştır (Şekil 3.12). Döllük istasyonunun 1928 yılından günümüze kadar akış verileri mevcuttur. Devlet Su İşleri akım yıllıklarından günlük ortalama akış verileri alınarak aylık ortalama akış verilerine geçilmiştir. Bu istasyona ait detaylı bilgiler Tablo 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonu konumu.

Tablo 3.10. Çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonu bilgileri.

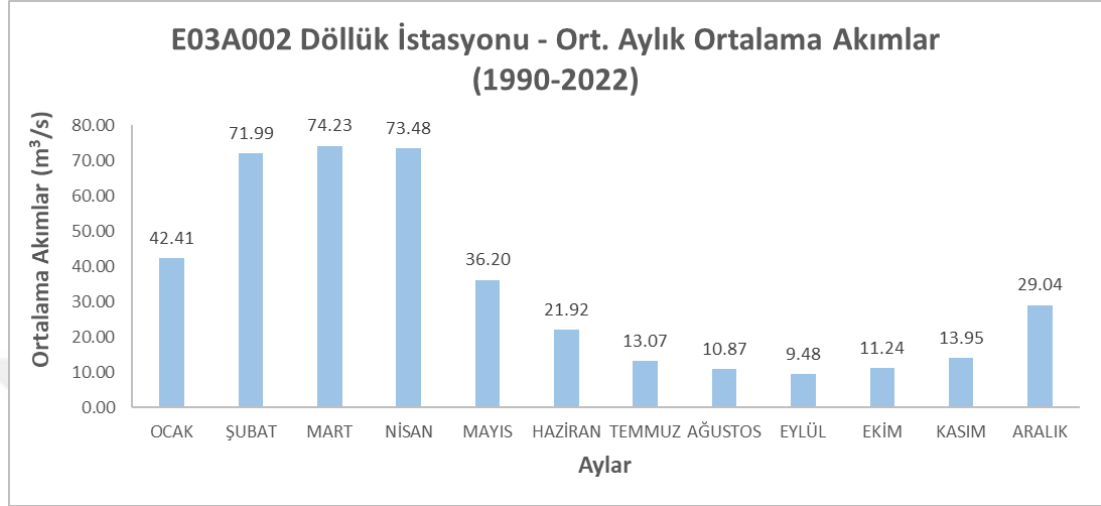
İstasyon Adı	İstasyon Kodu	Enlem	Boylam	Kot (m)	Yağış Alanı (km ²)	Ölçüm Aralığı
Döllük	E03A002	39°57'41.0"K	28°30'58.0"D	40	9629.2	1938-2022

Döllük akım gözlem istasyonunun 1990-2022 periyodu için ölçülmüş aylık ortalama akımları Şekil 3.13'te görülmektedir. Bu periyotta ortalama aylık ortalama nehir debisi 34.11 m³/s'dir. Bu periyotta gözlenen maksimum aylık ortalama akım ise 252 m³/s'dir.



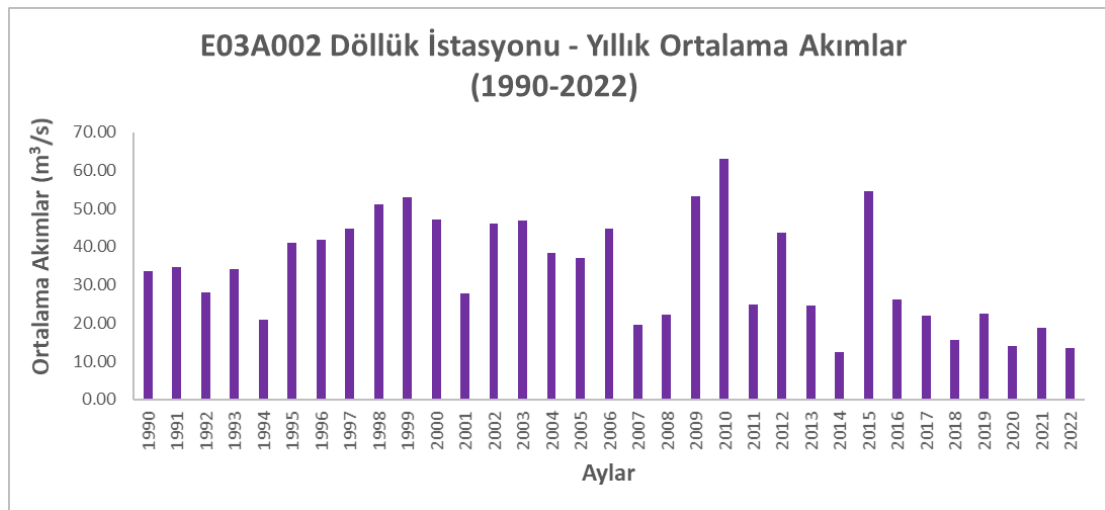
Şekil 3.13. Döllük akım gözlem istasyonu aylık ortalama akımlar (1990-2022).

Döllük akım gözlem istasyonunun 1990-2022 periyodu için ölçülmüş ortalama aylık ortalama akımları Şekil 3.14'te görülmektedir. Şekil 3.14 incelendiğinde kış sonu (şubat) ve ilkbahar aylarında (mart, nisan) ortalama aylık ortalama akımın diğer aylara kıyasla daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3.14. Döllük akım gözlem istasyonu ortalama aylık ortalama akımlar (1990-2022).

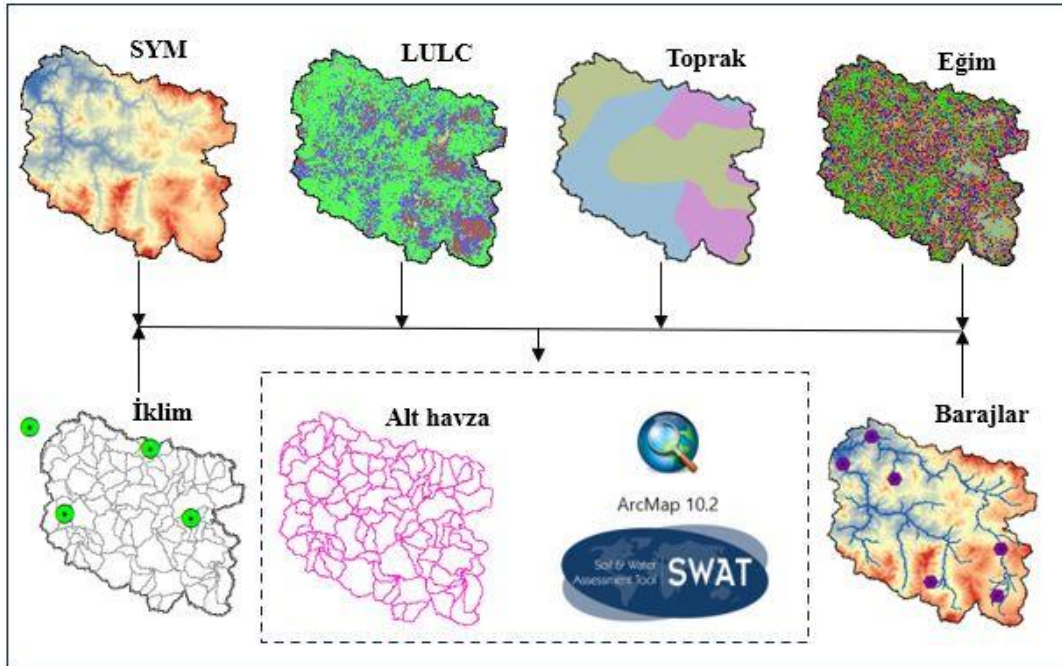
Döllük akım gözlem istasyonunun 1990-2022 periyodu için ölçülmüş yıllık ortalama akımları Şekil 3.15'te görülmektedir. Şekil 3.15 incelendiğinde 2009 yılında Çınarcık Barajının ve 2013 yılında Devecikonağı Barajının işletmeye açılması ve su tutmasıyla özellikle bu yıllar sonrasında bu barajlar mansabında konumlandırılmış akım gözlem istasyonunun yıllık ortalama akımlarında düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 3.15. Döllük akım gözlem istasyonu yıllık ortalama akımlar (1990-2022).

3.3. SWAT Model Kurulumu

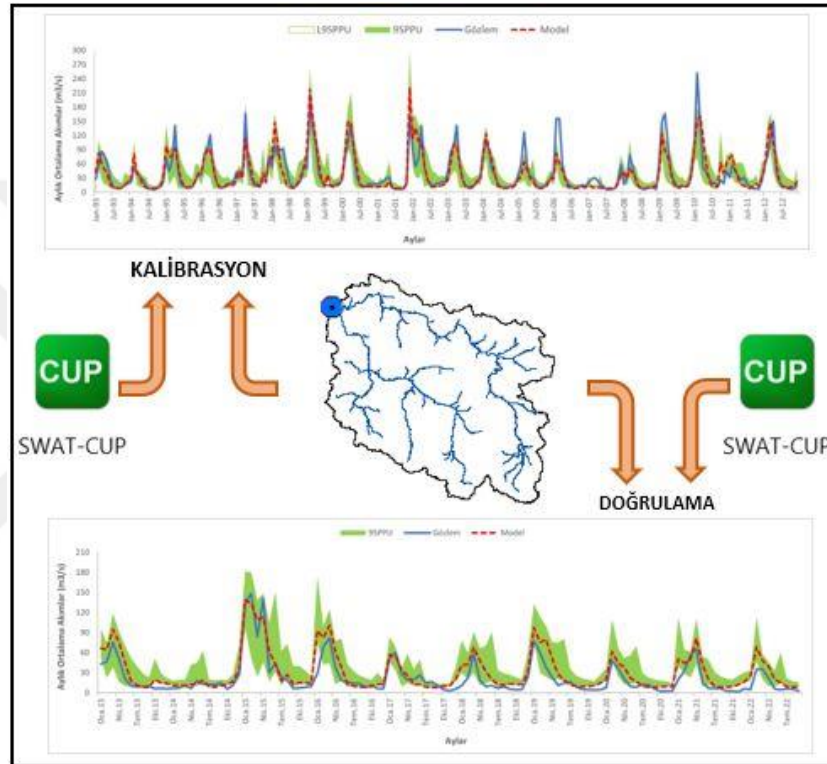
SWAT modeli ArcGIS programında ArcSWAT2012 arayüzüyle kurulmuştur. Topografyayı temsil eden sayısal yükseklik verisi SWAT modeline tanıtılarak havza sınırları belirlenmiş ve nehir ağı tanımlanmıştır (Şekil 3.3). Nehir ağı üzerinde havzanın çıkış noktasının tanımlanmasının ardından 110 adet alt havza oluşturularak havza tanımlama adımı tamamlanmıştır (Şekil 3.4). Ayrıca sayısal yükseklik verisinden havzanın eğim haritası elde edilmiştir (Şekil 3.7). Elde edilen bu eğim haritası ile arazi kullanım haritaları ve FAO'dan elde edilmiş toprak haritaları kullanılarak model tarafından otomatik olarak modelin su bütçesi hesaplarını yaptığı en küçük alansal bileşen olan 974 adet Hidrolojik Müdahale Birimleri (HRU) oluşturulmuştur. Hidrolojik müdahale birimleri bir alt havza içindeki eşsiz arazi kullanımı, eğim ve toprak kombinasyonlarını temsil etmektedir. Yani model alt havzalarda bulunan aynı arazi kullanımına, toprak ve eğim sınıfına sahip bölgeleri homojen ve kapalı bir alan olan hidrolojik müdahale birimlerinde toplamaktadır (Saddiqi ve Karpuzcu, 2019). Oluşturulan bu hidrolojik müdahale birimleri ve MGM'den elde edilen geçmiş (gözlemlenmiş) iklim verileri kullanılarak SWAT modelinin simülasyonu tamamlanır (Şekil 3.16). Oluşturulan modelin kalibre edilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.16. SWAT model kurulumu.

3.4. SWAT Model Kalibrasyonu ve Doğrulaması

Önceki bölümde bahsedilen girdilerle oluşturulan SWAT modelinin simülasyonu sonucu elde edilen akış değerlerinin gözlemlenen akış verilerine uyumluluğu modelin performansını ifade etmektedir. Model sonucu elde edilen akış verileri gözlemlenen verilerle ne kadar uyumlu ise model o kadar başarılı demektir. Bu uyumluluğu arttırmak amacıyla modele kalibrasyon işlemi uygulanır, sonrasında kalibre edilmiş modelin doğrulama işlemi yapılır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. SWAT model kalibrasyon ve doğrulaması.

3.4.1. Kalibrasyon işlemi

SWAT modelinin kalibrasyonu otomatik veya manuel olarak gerçekleştirilebilmektedir. Kullanıcılar, model parametrizasyonu işlemini model arayüz seçeneklerini kullanarak ya da model girdi dosyaları üzerinden elle yapabilmektedir (Peker ve Cüceoğlu, 2022). SWAT modeli fazla sayıda model girdi dosyası ve parametreye sahip olduğundan, modelin elle kalibrasyonunu zorlaştırmaktadır. Bu sebeple model kalibrasyonunu otomatik gerçekleştirebilen yazılımlar geliştirilmiştir. SWAT-CUP (SWAT-Calibration and Uncertainty Program) yazılımı bu amaçla geliştirilmiş yazılımlardan biridir ve SWAT modelinin

kalibrasyonu işleminde sıklıkla kullanılmaktadır (Hosseini ve Khaleghi,2020; Sao ve ark, 2020; Tejaswini ve Sathian, 2018).

3.4.1.1. Swat-kalibrasyon ve belirsizlik programı (SWAT-CUP)

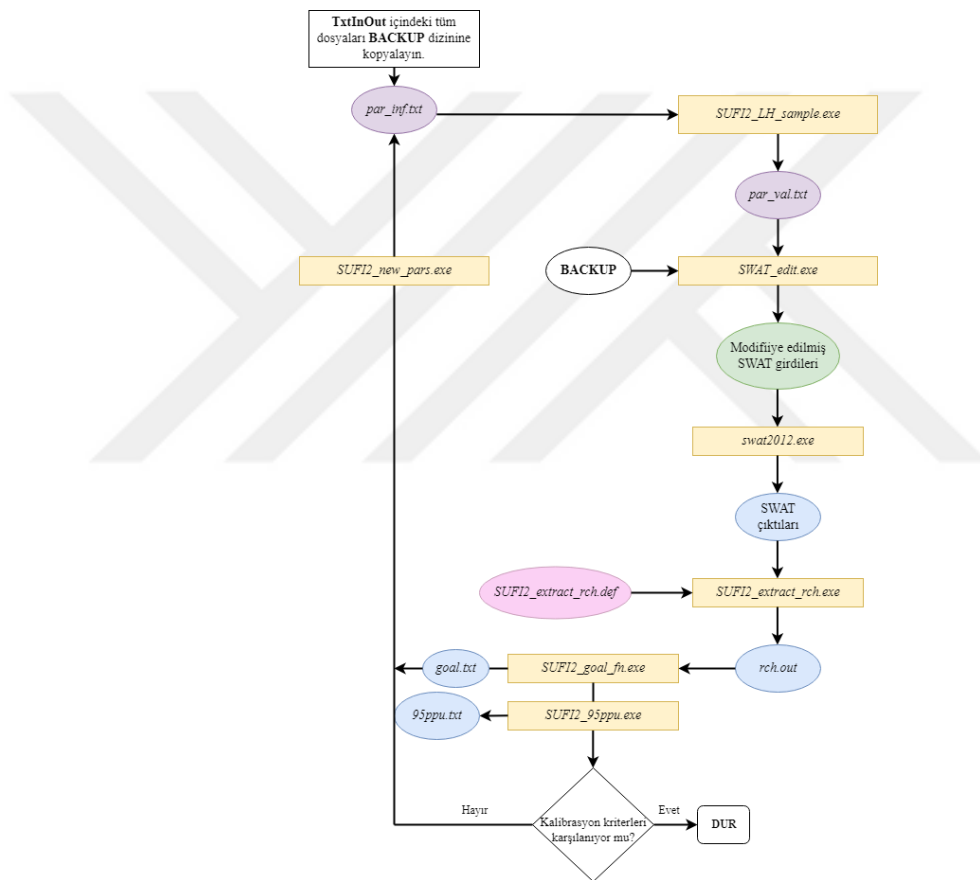
Bu çalışmada oluşturulan SWAT modelinin kalibrasyon ve doğrulaması için SWAT-CUP programı kullanılmıştır. Program kalibrasyon, doğrulama, duyarlılık analizi (tek seferde ve global) ve belirsizlik analizi işlemlerinin yapılmasına imkan tanımaktadır. Ayrıca, program SUFI2 (Sequential Uncertainty Fitting 2), ParaSol (Parameter Solution), MCMC (Markov Chain Monte Carlo), PSO (Particle Swarm Optimization) ve GLUE (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation) algoritmalarını SWAT'a bağlamaktadır. Bu programla 11 adet model performans kriteri (R^2 , NSE, PBIAS vb.) SWAT modellerini kalibre etmek ve doğrulamak için amaç fonksiyonları olarak kullanılabilir.

3.4.1.2. Sufi-2 (sequential uncertainty fitting 2) algoritması

Mevcut çalışmada model kalibrasyonu ve belirsizlik analizi için SUFI-2 algoritması (Abbaspour ve ark, 2004; Abbaspour ve ark, 2007) kullanılmıştır. Zaman alan çalışmalar için büyük ölçekli modellerde SUFI-2'nin oldukça verimli olduğu görülmüştür (Abbaspour ve ark, 2007; Verma ve ark, 2023). Manuel kalibrasyon sürecinin karmaşıklığı ve kalibrasyon kısmını çok karmaşık ve hesaplama açısından kapsamlı hale getiren çok sayıda model parametresinin dahil edilmesi nedeniyle araştırmacılar arasında SUFI-2 algoritması daha fazla ilgi görmüştür.

SUFI-2 algoritması parametre , kavramsal model ve girdi gibi tüm belirsizlikleri (tekdüze dağılımlar veya aralıklar olarak ifade edilir) üzerinde belirler ve ölçülen verilerin çoğunu yinelemeli bir süreçte modelin %95 tahmin belirsizliği (95PPU) içinde yakalamaya çalışır (Abbaspour ve ark, 2015). Belirli parametre aralıkları tarafından üretilen iyi çözümlerin bir zarfını ifade eden 95PPU, Latin hiperküüp yani yerel örnekleme yoluyla elde edilen bir çıktı değişkeninin kümülatif dağılımının %2.5 ve %97.5 seviyelerinde hesaplanmaktadır (Abbaspour ve ark, 2004). 95PPU belirsizliği ile gözlem verileri arasındaki uyumu ölçmek, kalibrasyon ve doğrulamanın gücünü değerlendirmek için p-faktörü ve r-faktörü olmak üzere iki endeks bulunmaktadır. P-faktörü, 95PPU bandı tarafından çerçevelenen gözlem verileri (artı hatası) oranıdır ve 0 ila 1 arasında değişir; burada 1, model tahmin belirsizliği dahilinde ölçülen verilerin %100 çerçevelendiğini yani, belirsizliği dikkate alan

mükemmel bir model simülasyonunu gösterir. Akım simülasyon sonuçlarının kalibrasyonu için p-faktörünün $>70\%$ veya $>75\%$ olması önerilmektedir (Abbaspour ve ark, 2015). R-faktörü ise 95PPU bandının kalınlığını gösterir ve 95PPU bandının ortalama genişliği ile gözlenen değerlerin standart sapmasının oranıdır. İdeal olarak, R-faktörü sıfıra yakın olmalıdır ancak akım simülasyon sonuçları için bu indeksin de 1.5 değerinden küçük olması arzu edilmektedir (Bui ve ark, 2021). R-faktörü ve P-faktörünün kabul edilebilir değerlerine ulaşıldığı son iterasyonda, parametre aralıkları kalibre edilmiş parametreler olarak alınır. SUFI-2 algoritmasının akış şeması Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. SWAT ve SUFI2'nin şematik bağlantısı (Rouholahnejad ve ark, 2012).

3.4.1.3. Duyarlılık analizi

Duyarlılık Analizi, belirli model sonuçları üzerinde önemli bir etkiye sahip olan parametrelerin belirlenmesine ve sıralanmasına yardımcı olan etkili ve güvenilir bir öngörücü hidrolojik model geliştirmenin birincil aşamasıdır (Saltelli ve ark, 2000). SWAT modelinin kalibrasyonu ve doğrulanması için bir ön adım olarak, en hassas parametreler genellikle uzman görüşüne veya bir duyarlılık analizine dayalı olarak

belirlenmektedir (Aloui ve ark, 2023). Parametreler SWAT modelinde süreçleri temsil etmektedir ve duyarlılık analizi çalışma bölgesindeki en önemli süreçler hakkında kullanıcıya bilgi vermektedir. Aynı zamanda duyarlılık analizi hassas olmayan parametreleri eleyerek kalibrasyon prosedüründeki parametre sayısını azaltmaya yardımcı olur. Bu sebeplerden ötürü duyarlılık analizi önemlidir (Abbaspour ve ark, 2017).

Duyarlılık analizi SWAT-CUP programı aracılığıyla SUFI-2 algoritmasında tek seferde veya lokal (one at a time) ya da global (all at a time) olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Tek seferde duyarlılık analizi işleminde tüm parametreler sabit tutulurken, bazı model çıktıları veya amaç fonksiyonları üzerindeki etkisini belirlemek için bir tanesi değiştirilir. Bu durumda, yalnızca birkaç (3-5) model çalışması genellikle yeterlidir. Ancak global duyarlılık analizi işleminde tüm parametreler değişmektedir; bu nedenle her bir parametrenin amaç fonksiyonu üzerindeki etkisini görmek için daha fazla sayıda çalıştırma (parametre sayısına ve prosedüre bağlı olarak 500-1000 veya daha fazla) gerekmektedir. Her iki prosedürün de sınırlamaları ve avantajları vardır. Tek seferde duyarlılık analizinin sınırlaması, bir parametrenin hassasiyetinin genellikle doğruluğu bilinmeyen değerlere sabitlenen diğer parametrelerin değerlerine bağlı olmasıdır. Ancak bu yöntem basit ve hızlı olduğundan avantajlıdır. Global duyarlılık analizi işleminin sınırlaması, parametre aralıklarının ve çalıştırma sayısının parametrelerin göreceli hassasiyetini etkilemesidir. Ancak avantaj olarak global duyarlılık analizi daha güvenilir sonuçlar üretmektedir. SWAT-CUP'ta tek seferde duyarlılık analizi, üç ila beş parametre değerinin çıktı sinyali üzerindeki etkisini doğrudan karşılaştırmak için kullanılırken, global duyarlılık analizi her bir parametrenin hassasiyetini ölçmek için çoklu regresyon yaklaşımını kullanır.

$$g = \alpha + \sum_{i=1}^n \beta_i b_i \quad (3.2)$$

Burada g amaç fonksiyonu değeri, α regresyon sabiti ve β parametrelerin katsayısıdır. Daha sonra her bir b parametresinin göreceli önemini belirlemek için bir t-istatistiği (t-stat) kullanılır. t-istatistiği (t-stat), bir parametrenin katsayısının standart hatasına bölünmesiyle elde edilir. T-stat regresyon katsayısının ölçüldüğü hassasiyetin bir ölçüsüdür. Bir katsayı standart hatasına kıyasla "büyük" ise, muhtemelen 0'dan farklıdır ve parametre duyarlıdır. Duyarlılık analizinde belirleyici olan ve asıl

bakılması gereken p-değeridir (p-value). Düşük bir p-değeri ($< 0,05$) sıfır hipotezini reddeder. Başka bir deyişle, düşük p-değerine sahip bir tahmin edicinin modele anlamlı bir ekleme yapması muhtemeldir çünkü tahmin edicinin değerindeki değişiklikler bağımlı değişkendeki değişikliklerle ilişkilidir. Tersine, daha büyük bir p-değeri, tahmin edicideki değişikliklerin bağımlı değişkendeki değişikliklerle ilişkili olmadığını gösterir. Özetle bu analizde, t-stat değeri mutlak değer olarak ne kadar büyükse ve p-değeri ne kadar küçükse, parametre o kadar duyarlıdır.

Bu çalışmada kurulan modelin hangi parametrelere karşı hassas olduğunu değerlendirmek amacıyla global duyarlılık analizi yapılmıştır.

3.4.2. Doğrulama işlemi

Doğrulama işlemi kalibre edilmiş parametrelerin güvenilirliğini test etmek için yapılmaktadır. SWAT modelinin doğrulanması işleminde de SWAT-CUP programı kullanılmıştır. Duyarlılık analiziyle elde edilen hassas parametreler kalibre edilip parametre aralıkları belirlendikten sonra, kalibre edilmiş bu parametreler herhangi bir değişiklik yapılmadan bağımsız bir gözlem veri setine uygulanmıştır. Doğrulama işleminde son kalibrasyon yinelemesine benzer şekilde aynı sayıda simülasyonla bir yineleme yapılmıştır. Kalibrasyon işleminde olduğu gibi doğrulama sonuçları p-faktörü, r-faktörü ve amaç fonksiyonu değeri ile nicelendirilmiştir.

3.4.3. Model performans değerlendirmesi

Simüle edilen akım sonuçları, korelasyon (determinasyon) katsayısı (R^2) (denklem 3.3), Nash-Sutcliffe verimliliği (NSE) (denklem 3.4) ve kök ortalama kare hatasının (RMSE) gözlem verilerinin standart sapmasına oranı (RSR) (denklem 3.5) gibi istatistiksel metrikler kullanılarak gözlemlenen verilerle karşılaştırılmıştır.

$$R^2 = \frac{[\sum_j (Q_{g,j} - \bar{Q}_g)(Q_{s,j} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_j (Q_{g,j} - \bar{Q}_g)^2 \sum_j (Q_{s,j} - \bar{Q}_s)^2} \quad (3.3)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_j (Q_g - Q_s)_j^2}{\sum_j (Q_{g,j} - \bar{Q}_g)^2} \quad (3.4)$$

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^n (Q_g - Q_s)_j^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (Q_{g,j} - \bar{Q}_g)^2}} \quad (3.5)$$

Burada Q akışı, g gözlem verisini, s model verisini, çizgi ortalamayı, j ise j . gözlem veya model verisini temsil etmektedir.

Performans kriterlerinden R^2 model sonuçları ile gözlem verileri arasındaki doğrusallığın derecesini hesaplamaktadır ve 0 ile 1 arasında değişmektedir. R^2 , Pearson korelasyon katsayısı r 'nin karesidir, ancak kovaryans ile gözlenen ve tahmin edilen değerlerin çarpılmış standart sapmaları arasındaki kareli oran olarak da ifade edilebilir (Krause ve ark, 2005). $-\infty$ ile 1.0 aralığında değişen ve optimum değeri 1.0 olan NSE metriği, gözlem veri varyansına kıyasla artık varyansın göreceli büyüklüğünü belirleyen normalleştirilmiş bir metriktir (Nash ve Sutcliffe, 1970). 0.0 ile 1.0 arasındaki NSE değerleri genellikle kabul edilebilir performans seviyeleri olarak görülürken, <0.0 değerleri ortalama gözlenen değerin simüle edilen değerden daha iyi bir tahmin edici olduğunu gösterir ki bu da kabul edilemez performansa işaret eder (Moriasi ve ark, 2007). RSR, gözlemlerin standart sapmasını kullanarak yaygın olarak kullanılan hata indeksi metriklerden birisi olan RMSE'yi standartlaştırır. Bu metrik, sıfır RMSE veya artık varyasyon ve dolayısıyla mükemmel model simülasyonunu gösteren optimum değer olan 0'dan büyük bir pozitif değere kadar değişir. RSR ne kadar düşükse, RMSE o kadar düşük ve model simülasyon performansı o kadar iyi olur (Moriasi ve ark, 2007).

SWAT modeli gibi havza ve saha ölçekli hidrolojik modellerin aylık akarsu akışları bakımından başarı performansı Tablo 3.11'deki gibi derecelendirilmektedir.

Tablo 3.11. Hidrolojik modellerin aylık zaman periyotlarındaki parametreleri için önerilen istatistiksel performans ölçütleri (Moriasi ve ark, 2015)

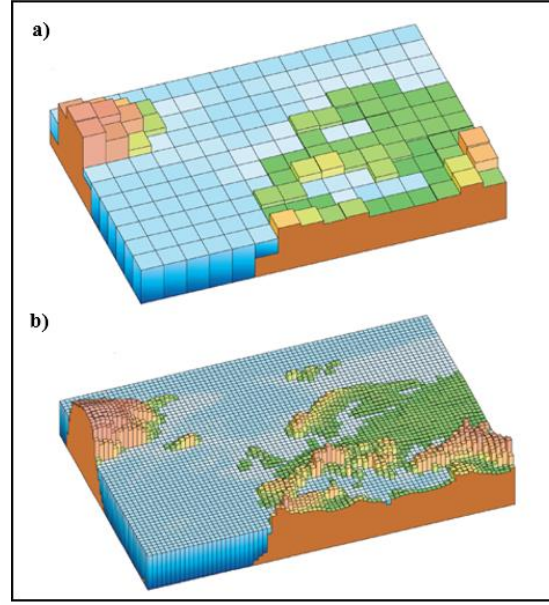
Performans Derecesi	R^2	NSE	RSR
Çok İyi	$0.85 < R^2 \leq 1.00$	$0.80 < NSE \leq 1.00$	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$
İyi	$0.75 < R^2 \leq 0.85$	$0.70 < NSE \leq 0.80$	$0.50 < RSR \leq 0.60$
Tatmin Edici	$0.60 < R^2 \leq 0.75$	$0.50 < NSE \leq 0.70$	$0.60 < RSR \leq 0.70$
Yetersiz	$0.60 \leq R^2$	$0.50 \leq NSE$	$0.70 > RSR$

3.5. İklim Modelleri ve İklim Değişikliği Senaryoları

3.5.1. İklim modelleri

Gelecekte beklenen iklimin tahmin edilmesinde en önemli çalışma, iklimin modellenmesidir. Bu amaçla mevcut koşullar göz önünde bulundurularak belirli fiziksel denklemler yardımıyla bu koşulların değişimi hesaplanır ve gelecekteki hava veya iklim şartlarının genel bir çerçevesi çizilmeye çalışılır. İklim modelleri küresel veya bölgesel olabilir. Küresel iklim modelleri (GCM), okyanuslardaki, kriyosferdeki, atmosferdeki ve arazi yüzeyindeki fiziksel prosesleri temsil etmektedirler. Bu iklim modelleri, iklimi atmosferde 10 ila 80 seviye kadar ve yatayda 200 ila 600 km çözünürlükteki 3 boyutlu kutucuklar (gridler) yardımı ile tanımlarlar. Bu temsil yeteneği, çok büyük ölçekteki iklim eğilimlerini gösterebilir ancak etki analizleri için oldukça yetersiz kalmaktadır (MGM, 2015). Çok büyük alanları temsil eden küresel iklim modeli verileri ayrıntılı değildir (Şekil 3.19.a.) ve bölgesel analizlere olanak tanımamaktadır. Bu nedenle, küresel iklim modellerinin eksikliklerini gidermek için istatistiksel ve dinamik olmak üzere farklı ölçek küçültme yaklaşımları geliştirilmiştir. İstatistiksel ölçek küçültme yaklaşımları, düşük çözünürlüklü iklimsel veya atmosferik veriler ile yerel olarak gözlemlenen veriler arasında istatistiksel ilişkiler kurarak daha yüksek çözünürlüklü iklim verilerini tahmin ederken (Vrac ve ark, 2007), dinamik ölçek küçültme yöntemlerinde ise yerel ölçekli iklim, bölgesel iklim modelinin (RCM) bir küresel iklim modeli içine yerleştirilmesiyle tahmin edilir (Derdour ve ark, 2022).

Gridlenmiş çok düşük çözünürlüklü küresel iklim modeli verilerini, tekrar girdi olarak kullanarak daha küçük bölgeler için daha ayrıntılı ve yüksek çözünürlüklü veriler (Şekil 3.19.b.) üretmeyi sağlayan modellere bölgesel iklim modelleri adı verilmektedir. Bölgesel iklim modeli, iklim sistemindeki fiziksel süreçleri simüle etmesi bakımından küresel iklim modeline benzer ve küresel modeldeki kaba çözünürlük özellikleriyle tutarlı ince ölçekli hava durumu modelleri üreterek küresel modelin ölçeğini küçültür. Hesaplama açısından pahalılık ve küresel model ile gözlemler arasındaki sistematik hataları (bias) istatistiksel yöntemlerin yapabildiği gibi açıkça ortadan kaldıramaması bölgesel iklim modellerinin dezavantajlarından. Bu nedenle, uygulamalarda küresel ve bölgesel modelin birleşik hatalarını ortadan kaldırmak için sonuçlara hata düzeltmeleri (bias correction) uygulanmalıdır (Salathé ve ark, 2010).



Şekil 3.19. Düşük çözünürlük (a) ve yüksek çözünürlük (b) iklim modelleri arasındaki fark.

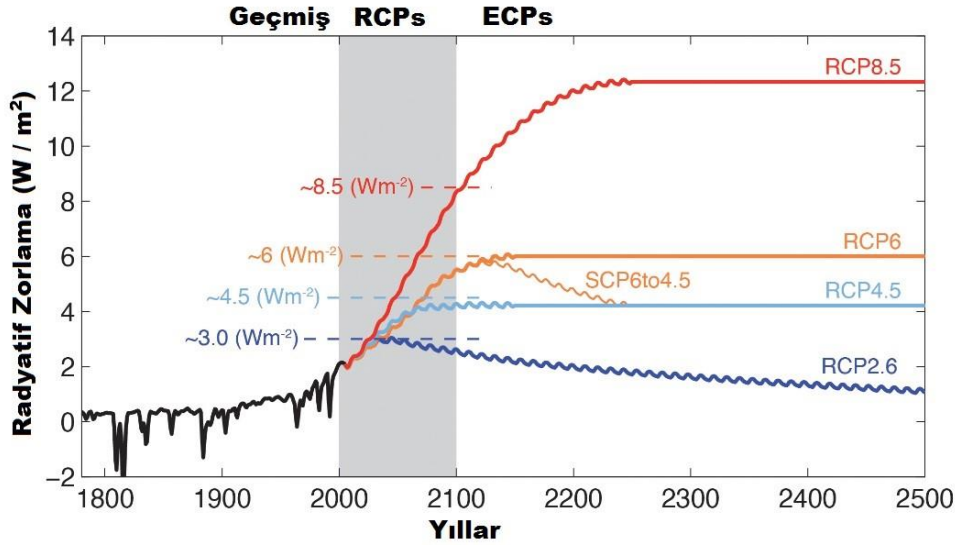
3.5.2. İklim değişikliği senaryoları

Senaryo analizi, iklim değişikliği çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. İklim değişikliğinin gelecekteki durumunun nasıl olacağına dair birden fazla senaryo (SRES, RCP ve SSP) Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) değerlendirme raporlarında öne sürülmüştür (IPCC, 2001, 2007, 2014, 2021). Bu senaryoların oluşturulmasında ise Dünya İklim Araştırma Programı (WCRP) kapsamında Birleştirilmiş Modelleme Çalışma Grubu'nun (WGCM) himayesinde düzenlenen Birleştirilmiş Modellerarası Karşılaştırma Projesi (CMIP), şimdiki ve gelecekteki iklim değişikliklerini anlamak için iklim projeksiyonları sağlamak amacıyla 1995 yılında kurulmuştur.

IPCC 4. Değerlendirme Raporu'nun hazırlanmasında, CMIP3 Küresel İklim Model Simülasyonlarından yararlanılmıştır. Bu raporda sıralı yaklaşım adı verilen iklim değişikliği değerlendirme süreci iklim modelleme çalışmalarında kullanılmıştır. Bu süreç birbirini takip eden fazlar şeklindedir. Bu yaklaşımda öncelikle sosyo-ekonomik senaryolar, sonrasında sosyo-ekonomik gelişmelerin neden olacağı emisyon salımlarına göre senaryolar oluşturulmaktadır. Daha sonrasında emisyonların sebep olacağı ışımsal zorlamalar emisyon seviyelerine göre hesaplanmakta ve iklim modellerinde girdi olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemle iklim parametrelerinde oluşabilecek değişimler tespit edilmektedir. Son olarak atmosferde oluşması muhtemel bu değişimler, uyum ve etki çalışmalarına girdi oluşturarak politika üretilmesine

yardımcı olmaktadır. Bu rapordaki Emisyon Raporları Özel Raporu SRES senaryoları dört ana senaryo ailesi (A1, A2, B1 ve B2) ve bunların da kendi içlerinde farklı senaryolara ayrıştırılması ile üretilmiştir (MGM, 2015).

CMIP5 Küresel İklim Model Simülasyonları ise CMIP3 modellerinin fiziksel süreçler ve ağ doğruluğu bakımından geliştirilmiş versiyonu olan ve IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nun hazırlanmasında kullanılan simülasyonlardır. IPCC 5. Değerlendirme Raporunda geliştirilen iklim değişikliği senaryoları ise Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP: Representative Concentration Pathways) olarak adlandırılmıştır. (MGM, 2015). Özellikle, küresel sera gazı ve aerosol konsantrasyonlarının alternatif geleceklerini bir başlangıç noktası olarak kullanan IPCC 5. Değerlendirme Raporu, iklim sistemi değişikliği, sosyo-ekonomik etmenler ve doğal ve beşeri sistemlerin kırılganlığı arasında daha iyi bir entegrasyon sağlamak amacıyla emisyonların iklim sistemi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için RCP'leri kullanmıştır (Xu ve ark, 2022). RCP senaryoları, ışımsal zorlama seviyesine göre iklimin dört değişim eğilimini ortaya koymaktadır. Bunlar sıkı bir azaltma senaryosu olan RCP2.6, iki ara senaryo; RCP4.5 ve RCP6.0 ve çok yüksek sera gazı emisyonlarına sahip bir senaryo olan RCP8.5'tir (Şekil 3.20). Bu senaryolar, gelecekte meydana gelebilecek çeşitli sera gazı seviyelerini ve ışımsal zorlamaları tanımlamaktadır. RCP2.6 RCP'ler arasındaki en düşük ışımsal zorlamaya sahip konsantrasyon rotasıdır. Bu senaryoda kabul edilen varsayım yüzyıl bitmeden ışımsal zorlamanın ya da emisyonların zirve yaparak düşüşe geçeceğidir. RCP4.5 senaryosu ise orta bir dengede tutma rotası olup bu senaryoda ışımsal zorlamanın 2100-2150 yılları arasında 4.5W/m^2 'de sabitleneceği varsayılmaktadır. RCP6.0 ikinci orta rotadır ve yaklaşık 6W/m^2 ışımsal zorlamanın 2100'den sonra sabitleneceği varsayılmaktadır. Yüksek ışımsal zorlamaya sahip konsantrasyon rotası olan RCP8.5 senaryosunda ise ışımsal zorlamanın 2100 yılında 8.5W/m^2 değerine ulaşacağı varsayılmaktadır. RCP tipleri ve özellikleri ayrıntılı olarak Tablo 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Küresel toplam ışımsal zorlama (MGM, 2015).

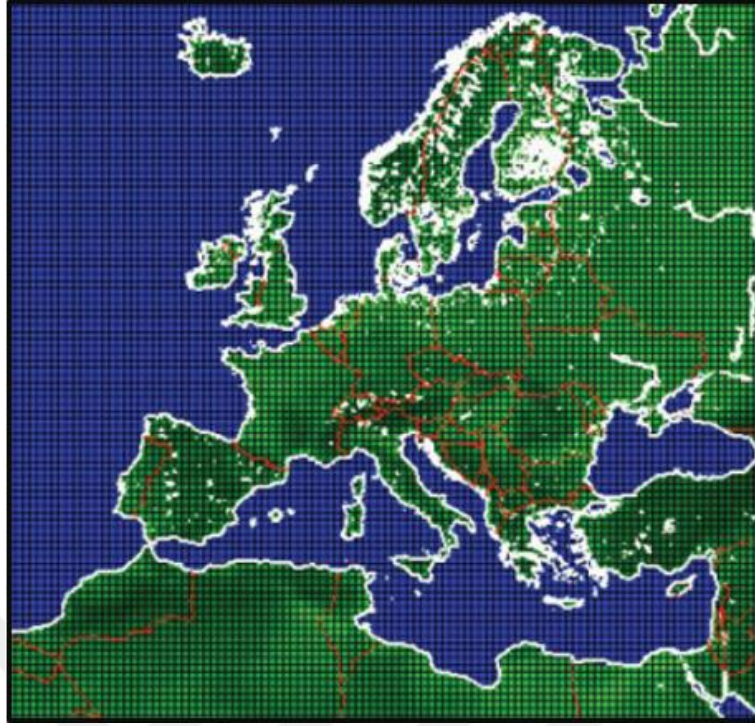
Tablo 3.12. RCP tipleri ve özellikleri (Moss ve ark, 2008)

RCP'ler	İşimsal Zorlama	Zaman	İşimsal Zorlama Değişimi	CO ₂ Eşdeğer Toplam Konsantrasyon
RCP2.6	~ 3.0 W/m ²	2100 öncesi	3.0 W/m ² 'ye ulaşmadan zirve ve düşüş	Zirve ~ 490 ppm ve 2100'de düşüş
RCP4.5	~ 4.5 W/m ²	2100 öncesi	Hedefi geçmeden stabilizasyon	~650 ppm (2100'de)
RCP6.0	~ 6.0 W/m ²	2100 sonrası	Hedefi geçmeden stabilizasyon	~850 ppm (2100'de)
RCP8.5	> 8.5 W/m ²	2100'de	Yükselme	~1370 ppm (2100'de)

Bu çalışmada IPCC 5. Değerlendirme Raporunda geliştirilen iklim değişikliği senaryolarından ara senaryo RCP4.5 ve çok yüksek sera gazı emisyonlarına sahip bir senaryo olan RCP8.5 senaryolarının ürettiği gelecek iklim verileri kullanılmıştır.

3.5.3. Cordex verileri

Koordineli Bölgesel İklim Küçültme Deneyi (CORDEX), bölgesel iklim modeli performansını değerlendirmek için bir dizi deney aracılığıyla CMIP5'e dayalı olarak yüksek çözünürlüklü, ölçeği küçültülmüş bölgesel iklim projeksiyonları üretmeyi amaçlayan bir Dünya İklim Araştırma Programı (WCRP) yapısıdır. EURO-CORDEX ise CORDEX girişiminin Avrupa koludur ve kapsam alanı Şekil 3.21'de gösterilmektedir. EURO-CORDEX bölgesel iklim simülasyonları, ~50 km / 0,44 derecelik genel CORDEX çözünürlüğü (EUR-44) ve ~12.5 km / 0,11 derecelik daha hassas çözünürlük (EUR-11) olmak üzere iki farklı uzamsal çözünürlükte gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.21. EURO-CORDEX model kapsam alanı (MGM, 2015).

Bu çalışmada CORDEX programının Avrupa kolunun iklim simülasyon modellerinin bias düzeltilmesi yapılmış iklim verilerinin kullanılması (CORDEX_Düzeltilmiş (CORDEX_Adjusted) / EUR-11) planlanmıştır. CORDEX_Düzeltilmiş veri tabanında bulunan iklim simülasyon modelleri Tablo 3.13'te, bu modellerin enstitü bilgileri ise Tablo 3.15'te gösterilmiştir. Tablo 3.13'te verisi olmayan modeller kırmızı, eksik verisi olan modeller ise mavi ile gösterilmiştir. Verisi eksik ya da olmayan modeller çıkarıldığında kullanılabilir bias düzeltilmesi yapılmış iklim verileri Tablo 3.14'teki gibidir. Bu çalışmada hangi küresel ve bölgesel modelin kullanılacağına modellerin geçmiş ham verilerinin aynı periyotta ölçülmüş gözlem verilerinin kıyaslanmasıyla karar verilmiştir. Bu analiz bölüm 4.2'de anlatılmıştır. Ham CORDEX ve CORDEX_Düzeltilmiş verileri Dünya Sistemi Ağ Federasyonu'nun (ESGF) resmi sitesinden temin edilmiştir.

Tablo 3.13. CORDEX_Düzeltilmiş veri tabanında bulunan iklim simülasyon modelleri.

CORDEX_Düzeltilmiş		Düzeltilmiş_Veri		Ham Geçmiş Veriler	
GCM	RCM	Başlangıç	Bitiş	Başlangıç	Bitiş
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	ARPEGE51	1971	2100	Veri yok	
	CCLM4-8-17	1951	2100	1950	2005
	RCA4	1971	2100	1970	2005
ICHEC-EC-EARTH	CCLM4-8-17	1951	2100	1949	2005
	HIRHAM5	1951	2100	1951	2005
	RACMO22E	1971	2100	1950	2005
	RCA4	1971	2100	1970	2005
IPSL-IPSL-CM5A-MR	RCA4	1971	2100	1970	2005
	WRF331F	1971	2100	Veri yok	
MOHC-HadGEM2-ES	CCLM4-8-17	1951	2100	1949	2005
	RACMO22E	1971	2100	1950	2005
	RCA4	1971	2100	1970	2005
MPI-M-MPI-ESM-LR	CCLM4-8-17	1951	2100	1949	2005
	RCA4	1971	2100	1970	2005
	REMO2009	1951	2100	1950	2005

Tablo 3.14. Çalışmada kullanılan CORDEX_Düzeltilmiş iklim simülasyon modelleri.

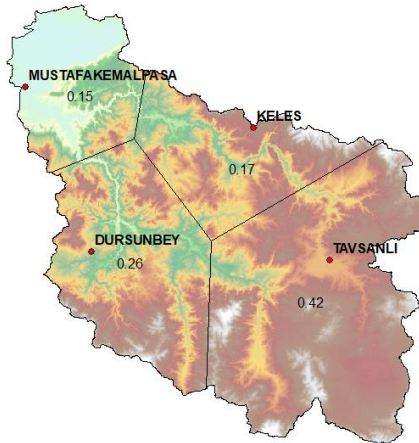
CORDEX_Düzeltilmiş		Düzeltilmiş_Veri		Ham Geçmiş Veriler	
GCM	RCM	Başlangıç	Bitiş	Başlangıç	Bitiş
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CCLM4-8-17	1951	2100	1950	2005
	RCA4	1971	2100	1970	2005
ICHEC-EC-EARTH	CCLM4-8-17	1951	2100	1949	2005
	HIRHAM5	1951	2100	1951	2005
	RACMO22E	1971	2100	1950	2005
	RCA4	1971	2100	1970	2005
MPI-M-MPI-ESM-LR	CCLM4-8-17	1951	2100	1949	2005
	RCA4	1971	2100	1970	2005
	REMO2009	1951	2100	1950	2005

Tablo 3.15. CORDEX_Düzeltilmiş veri tabanında bulunan iklim simülasyon modellerin enstitü bilgileri.

GCM	Enstitü	Kurum Adı	RCM
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	Ulusal Meteorolojik Araştırma Merkezi, Fransa	CNRM	ARPEGE51
	İklim Sınırlı Alan Modelleme Topluluğu, ABD	CLMCom	CCLM4-8-17
	İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü, İsveç	SMHI	RCA4
ICHEC-EC-EARTH	İklim Sınırlı Alan Modelleme Topluluğu, ABD	CLMCom	CCLM4-8-17
	Danimarka Meteoroloji Enstitüsü, Danimarka	DMI	HIRHAM5
	Hollanda Kraliyet Meteoroloji Enstitüsü, Hollanda	KNMI	RACMO22E
	İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü, İsveç	SMHI	RCA4
IPSL-IPSL-CM5A-MR	İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü, İsveç	SMHI	RCA4
	Pierre-Simon Laplace Enstitüsü	IPSL-INNERIS	WRF331F
MOHC-HadGEM2-ES	İklim Sınırlı Alan Modelleme Topluluğu, ABD	CLMCom	CCLM4-8-17
	Hollanda Kraliyet Meteoroloji Enstitüsü, Hollanda	KNMI	RACMO22E
	İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü, İsveç	SMHI	RCA4
MPI-M-MPI-ESM-LR	İklim Sınırlı Alan Modelleme Topluluğu, ABD	CLMCom	CCLM4-8-17
	İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü, İsveç	SMHI	RCA4
	Max Planck Meteoroloji Enstitüsü, Almanya	MPI-CSC	REMO2009

3.5.4. İklim modelleri değerlendirme kriterleri

İklim model simülasyonlarının performansı, her istasyon gözlemsel iklim verileri ile havza ölçeğindeki yağış ve sıcaklık verilerini nasıl yeniden ürettikleri ile değerlendirilmiştir. Her istasyon için Tablo 3.14’te gösterilen iklim modellerinin verileri elde edilmiş ve Thiessen poligon yöntemi kullanılarak alansal yağış, maksimum ve minimum sıcaklıkları hesaplanmıştır. Bu yöntem çalışma havzasını her bir iklim istasyonunun etki alanı temelinde daha küçük boyutlu poligonlara ayırmaktadır (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Thiessen poligonu.

Çalışma havzasının yağış ve sıcaklık simülasyonunda iklim modellerinin performans değerlendirmesi için kriter olarak üç istatistiksel metrik kullanılmıştır. Bu performans metrikleri, pearson korelasyon katsayısı (r) (denklem 3.6), kök ortalama kare hatası (RMSE) (denklem 3.7) ve BIAS (denklem 3.8)'tir.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (3.6)$$

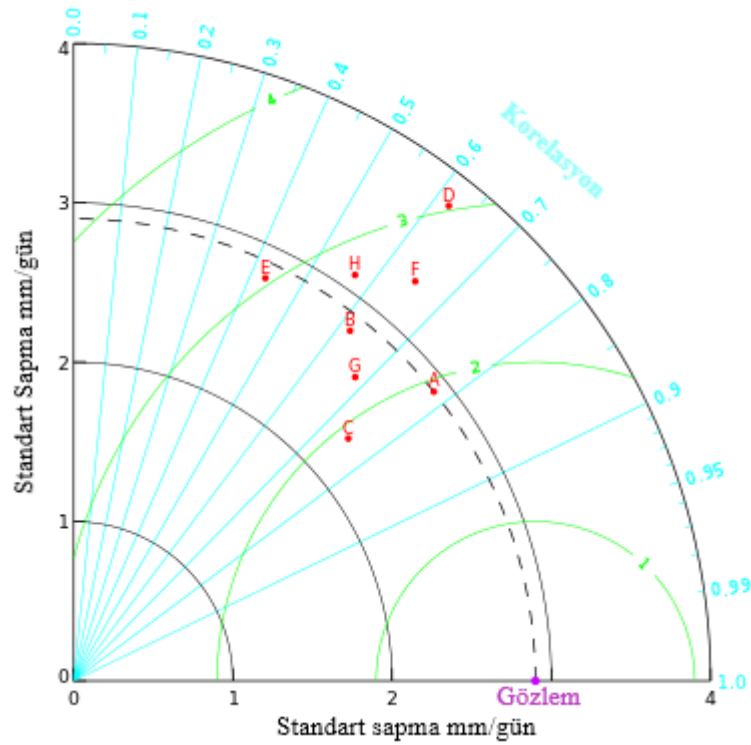
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (3.7)$$

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (3.8)$$

Pearson korelasyon katsayısı (r), iki sürekli değişken arasındaki istatistiksel ilişkiyi veya birlikteliği ölçen test istatistiğidir. İlişkinin yönünün yanı sıra ilişkinin veya korelasyonun büyüklüğü hakkında da bilgi veren Pearson korelasyon katsayısı, iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin gücünün bir ölçüsüdür. Gözlenen ve modellenen iklim verileri arasında -1 ve +1 korelasyon katsayısı, sırasıyla iklim modeli ve gözlemsel verilerin ortalamaları arasında mükemmel bir negatif ve pozitif korelasyon anlamına gelmektedir. Kök ortalama kare hata (RMSE), bir model tarafından tahmin edilen değerler ile gerçekte gözlemlenen değerler arasındaki farkın bir ölçüsüdür. RMSE mutlak model hatasını temsil eder ve nispeten en iyi model daha küçük RMSE değerleri ile temsil edilebilir. Yani 0 RMSE değeri en iyi performans modelini temsil etmektedir (Demessie ve ark, 2023). BIAS iklim modellerinin çıktısı ile gözlenen iklim değişkenleri arasındaki hacimsel değişimi değerlendirmek için kullanılır ve 0 BIAS değeri çok küçük bir farklılık anlamına gelirken, 0'dan farklı bir BIAS değeri iklim modellerinin çıktısı ile iklim değişkenlerinin gözlenen değerleri arasında bir sapmayı temsil etmektedir.

Bu çalışmada Taylor diyagramı da iklim modellerini grafiksel olarak değerlendirmek için kullanılmıştır. Bu diyagram Taylor (2001) tarafından çeşitli iklim modellerinin performansını karşılaştırırken kullanıcılara yardımcı olması amacıyla geliştirilmiştir. Bu diyagram gözlenen ve iklim modeli simülasyonları arasındaki uygunluk derecesini

ölçmek için kullanılır. Bu amaçla, diyagramları açıklamak için RMSE, korelasyon katsayısı (r) ve Standart sapma (SD) olmak üzere üç istatistiksel metrik kullanılmıştır. Bu diyagrama göre; iklim model verilerinin daha küçük bir RMSE değerine, modelin standart sapma değerinin gözlenen verilere daha yakın bir değere ve gözlenen ile modellenen veriler arasında güçlü bir korelasyona sahip model nispeten en iyi model olabilir (Demessie ve ark, 2023). Şekil 3.23'te örnek bir basit Taylor diyagramı gösterilmiştir. Şekil 3.23'te gösterilen örnek Taylor diyagramı, çeşitli küresel iklim modellerinin yıllık ortalama yağışın mekânsal modelini simüle etme konusundaki göreceli becerilerinin bir özetini sunmaktadır. Diyagramda her biri farklı bir harfle temsil edilen sekiz model karşılaştırılmakta ve her model ile "gözlemlenen" olarak etiketlenen nokta arasındaki mesafe, her modelin gözlemleri ne kadar gerçekçi bir şekilde yeniden ürettiğinin bir ölçüsüdür. Her model için, simüle edilen ve gözlemlenen değerler arasındaki benzerliği ölçen Pearson korelasyon katsayısı (mavi konturlar), simülasyon modelinin RMSE değeri (yeşil konturlar) ve orijinden radyal uzaklıkla orantılı olan ve simüle edilen modelin standart sapması (siyah konturlar) olmak üzere üç istatistik çizilmiştir.



Şekil 3.23. Örnek bir Taylor diyagramı.

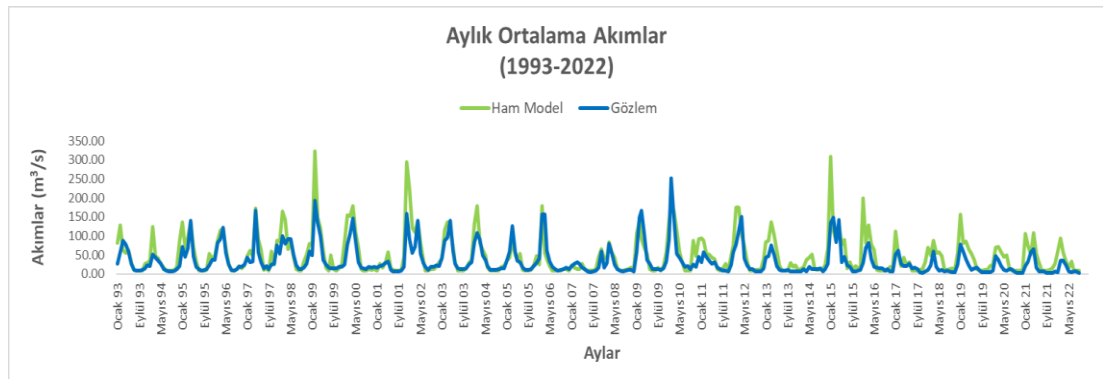


4. SONUÇLAR

4.1. SWAT Modeli Kalibrasyon ve Doğrulama Sonuçları

SWAT Modeli çalışma periyodu olarak 1990-2022 arası -33 yıl- belirlenmiştir. Modelin başlangıç koşullarını oluşturabilmesi ve model çıktı doğruluğunun artması için modele “ısınma periyodu” olarak adlandırılan bir sürenin tanıtılması gerekmektedir. Bu çalışmada ısınma periyodu 3 yıl olarak belirlenmiştir. Bu sebeple modelin ilk 3 yıl çalışmasına rağmen modelden çıktı alınamayacaktır. Model aylık zaman dilimlerinde çalıştırılmış ve model ham akım sonuçları olan akım değerleri elde edilmiştir. AGİ gözlem verileri ile bu akım sonuçlarının birbirine yeterli uyumu göstermediği görülmüştür. Model simülasyon sonuçları ile gözlem verileri arasındaki uyumu arttırabilmek amacıyla kalibrasyon ve doğrulama işlemi yapılmıştır. Yağışlı ve kurak dönemleri içerecek şekilde 1993-2012 arası 20 yıl kalibrasyon, 2013-2022 arası 10 yıl doğrulama periyodu olarak belirlenmiştir.

Kurulan SWAT ham model sonuçları Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Döllük akım gözlem istasyonunda 1993-2022 periyodunda gözlenen en yüksek aylık ortalama akım 252 m³/s ve ortalama aylık ortalama akım 34.32 m³/s iken, kurulan ham modelde gözlenen en yüksek aylık ortalama akım 323 m³/s ve ortalama aylık ortalama akım 47.62 m³/s’dir. Şekil 4.1 incelendiğinde ham model sonuçlarının özellikle gözlemlenmiş pik akım değerlerini yakalamada yetersiz olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. Döllük akım gözlem istasyonu 1993-2022 periyodu ham model sonuçları.

Çalışma havzasında yükseklikler 10 m ile 2110 m arasında değişmektedir. Meteoroloji istasyonları ~2000 m (dağlık) kotlarına göre düşük kotlarda bulunduğundan, bu

istasyonların yüksek kotlardaki yağış ve sıcaklık durumunu tam olarak yansıtamayacağı düşünülmüştür. Bu sebeple model yükselti şeritleri (elevation band) tanımlanarak kurulmuş ve dağlık kesimlerdeki sıcaklık düşümleri ve yağışlar modele tanıtılmıştır. Bu nedenle model meteoroloji gözlem istasyonu konumlarına göre yüksek kesimlerde yaşanan yağış ve sıcaklık sapmalarını tayin edebilmek için kalibrasyonun ilk adımı olarak TLAPS ve PLAPS parametreleri kalibre edilmiştir. Bu parametrelerin sonuçları Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. TLAPS ve PLAPS parametrelerinin kalibrasyon sonuçları.

Parametre	Tanım	Sınır Değer		İlk Değer		Kalibrasyon	
		Min	Max	Min	Max	Metodu	Fit Değer
TLAPS	Sıcaklık değişim oranı (°C/km)	-10	10	-10	0	v	-7.725
PLAPS	Yağış değişim oranı (mm H ₂ O/km)	-1000	1000	0	300	v	2.250

v: değiştirme , r: çarpma

Tablo 4.1 incelendiğinde havzada sıcaklık değişim oranı kilometrede -7.725 °C ve yağış değişim oranı ise kilometrede 2.25 mm olarak bulunmuştur.

SFTMP, SMTMP, SMFMX, SMFMN ve TIMP parametreleri sisteme su veren önemli kaynaklardır ve bu parametreler kar erimesi sürecini kontrol etmektedirler. Bu parametrelerde yapılan herhangi bir değişiklik diğer süreçleri kontrol eden parametreleri etkilediğinden bu parametrelerin kendi içerisinde kalibre edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple TLAPS ve PLAPS parametreleri kalibre edildikten sonra kar parametreleri ayrıca kalibre edilmiştir. Kar parametrelerinin kalibrasyon sonuçları Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

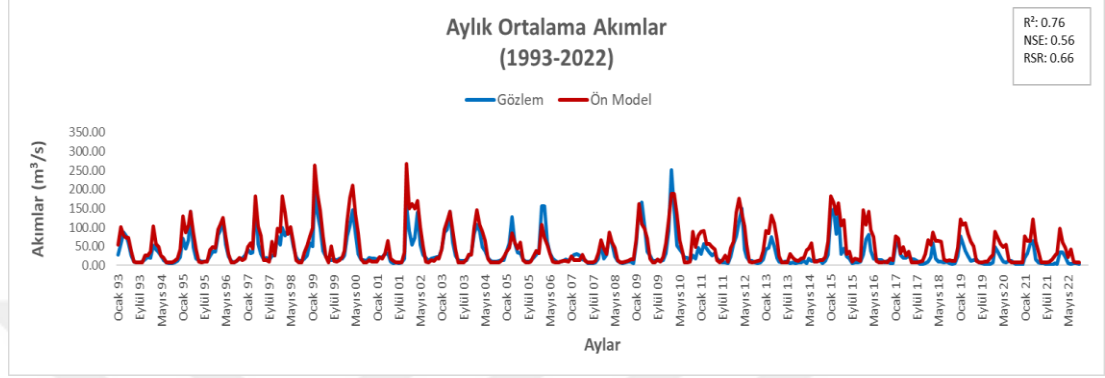
Tablo 4.2. Kar erime parametrelerinin kalibrasyon sonuçları.

Parametre	Tanım	Sınır Değer		İlk Değer		Kalibrasyon	
		Min	Max	Min	Max	Metodu	Fit Değer
SFTMP	Kar yağışı sıcaklığı (°C)	-20	20	-5	5	v	-0.725
SMTMP	Kar erimesi taban sıcaklığı (°C)	-20	20	-5	5	v	-1.275
SMFMX	21 Haziranda kar erime faktörü (mmH ₂ O/(°C-gün)	0	20	0	10	v	2.775
SMFMN	21 Aralıkta kar erime faktörü (mmH ₂ O/(°C-gün)	0	20	0	10	v	0.925
TIMP	Kar yığını sıcaklığı gecikme faktörü	0	1	0	1	v	0.3725

v: değiştirme , r: çarpma

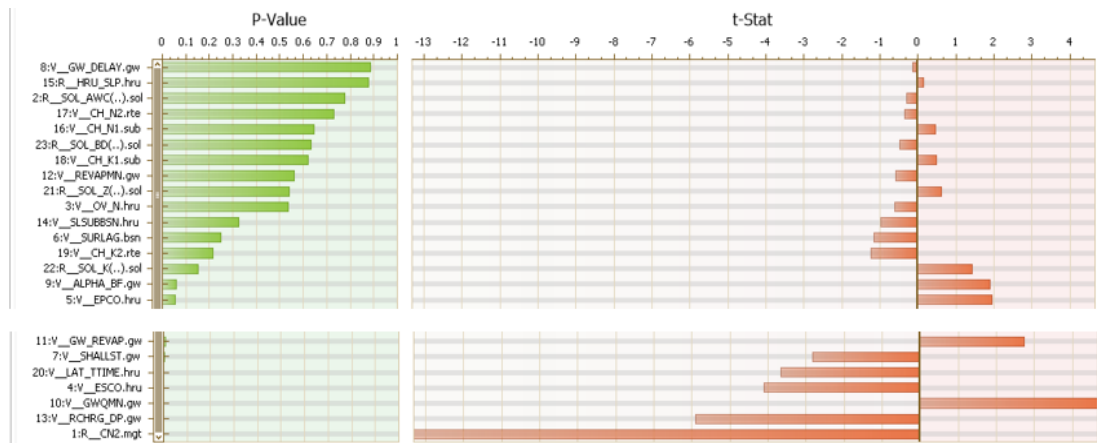
Yükseklik ve kar parametrelerinin belirlenip sabitlenmesi ile elde edilmiş model ön sonuçları Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Döllük akım gözlem istasyonunda 1993-2022

periyodunda gözlenen en yüksek aylık ortalama akım $252 \text{ m}^3/\text{s}$ ve ortalama aylık ortalama akım $34.32 \text{ m}^3/\text{s}$ iken, ön modelde gözlenen en yüksek aylık ortalama akım $266.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ve ortalama aylık ortalama akım $49.52 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Ön model akım sonuçları ham model akım sonuçlarına göre gözlemlenmiş akım değerleri ile daha iyi uyum göstermektedir.



Şekil 4.2. Döllük akım gözlem istasyonu 1993-2022 periyodu ön model sonuçları.

Yükseklik ve kar parametreleri belirlenip sabitlendikten sonra diğer hidrolojik prosesleri yansıtan parametrelerin kalibrasyon adımına geçilmiştir. Modelde çok sayıda parametrenin varlığı ve her parametrenin model sonuçlarına ayrı ayrı etki etmesinden dolayı modele duyarlılık analizi uygulanmıştır. 23 parametre eş zamanlı olarak parametre sınır değerleri içerisinde 600 simülasyonda değiştirilmiştir. Global duyarlılık analizi ile elde edilen t-stat ve p-value grafiği Şekil 4.3'te, değerleri ise Tablo 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Global duyarlılık analizi sonuçları.

Tablo 4.3'e göre global duyarlılık analizi sonucunda istatistiksel p-değerleri kıyaslandığında CN2, RCHRG_DP, GWQMN, ESCO, LAT_TTIME, SHALLST ve

GW_REVAP olmak üzere 7 adet hassas parametre elde edilmiştir. Modelin performans kriterlerini arttırmak amacıyla kalibrasyon işlemine göreceli olarak daha hassas olan 5 (CN2, RCHRG_DP, GWQMN, ESCO, LAT_TTIME) parametre ile devam edilmiştir. Kalibrasyon sonucu bu 5 parametrenin sabitlenmek üzere bulunan değerleri Tablo 4.4'te gösterilmiştir. Tablo 4.4 incelendiğinde, SCS akış eğrisi numarasının modeldeki değerinin yaklaşık %5 azaltılması, derin akifer süzülme oranının 0.129, sığ akiferde geri dönüş akışının gerçekleşmesi için gereken eşik su derinliğinin 1055 mm, toprak buharlaşma dengeleme faktörünün 0.201 ve yanal akış seyahat süresinin 63.9 gün ile değiştirilmesi sonucunda SWAT modeli kalibre edilmiş olacaktır.

Tablo 4.3. Global duyarlılık analizi sonuçları.

Parametre	Metot	Sınır Değerler		t-stat	p-value	Sıralama
		Min	Max			
CN2.mgt	r	0.5	0.5	-13.309	0.000	1
RCHRG_DP.gw	v	0	1	-5.911	0.000	2
GWQMN.gw	v	0	5000	4.657	0.000	3
ESCO.hru	v	0	1	-4.096	0.000	4
LAT_TTIME.hru	v	0	180	-3.653	0.0003	5
SHALLST.gw	v	0	5000	-2.839	0.005	6
GW_REVAP.gw	v	0.02	0.2	2.723	0.007	7
EPCO.hru	v	0	1	1.941	0.053	8
ALPHA_BF.gw	v	0	1	1.896	0.058	9
SOL_K.sol	r	-0.5	0.5	1.430	0.153	10
CH_K2.rte	v	0	500	-1.246	0.213	11
SURLAG.bsn	v	1	24	-1.154	0.249	12
SLSUBBSN.hru	v	10	150	-0.982	0.327	13
OV_N.hru	v	0.01	30	-0.620	0.535	14
SOL_Z.sol	r	-0.5	0.5	0.615	0.539	15
REVAPMN.gw	v	0	500	-0.581	0.561	16
CH_K1.sub	v	0	300	0.496	0.620	17
SOL_BD.sol	r	-0.5	0.5	-0.480	0.632	18
CH_N1.sub	v	0.01	0.3	0.461	0.645	19
CH_N2.rte	v	0.01	0.3	-0.346	0.729	20
SOL_AWC.sol	r	-0.5	0.5	0.285	0.776	21

Tablo 4.3. (Devamı) Global duyarlılık analizi sonuçları.

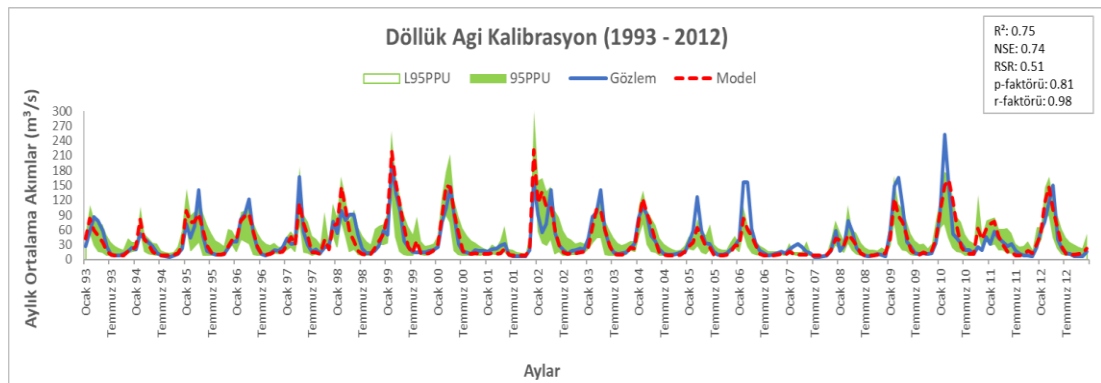
Parametre	Metot	Sınır Değerler		t-stat	p-value	Sıralama
		Min	Max			
HRU_SLP.hru	r	-0.3	0.3	0.156	0.876	22
GW_DELAY.gw	v	0	500	-0.143	0.887	23

Tablo 4.4. Parametre kalibrasyon değerleri.

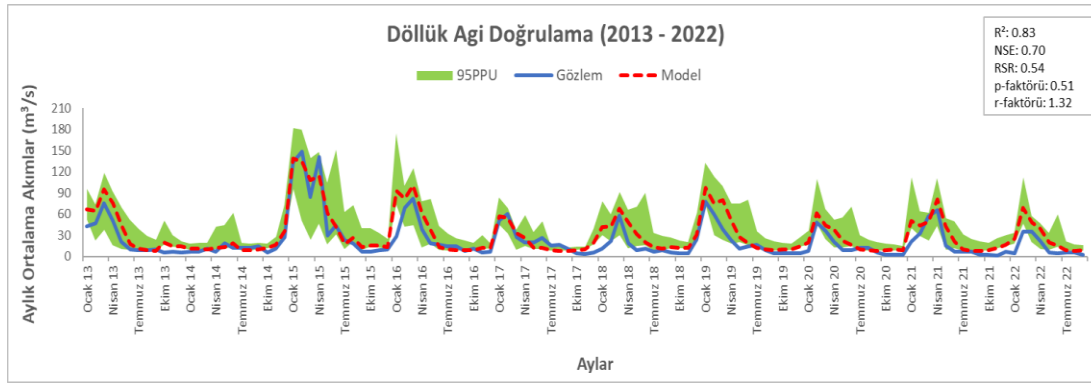
Parametre	Tanım	Metot	Sınır Değerler		Başlangıç Değerleri		Fit Değer
			Min	Max	Min	Max	
CN2	SCS akış eğrisi numarası	r	0.5	0.5	-0.1	0.1	-0.0466
RCHRG_DP	Derin akifer süzülme oranı	v	0	1	0	1	0.1290
GWQMN	Sığ akiferde geri dönüş akışının gerçekleşmesi için gereken eşik su derinliği (mm)	v	0	5000	0	5000	1055
ESCO	Toprak buharlaşma dengeleme faktörü	v	0	1	0	1	0.2010
LAT_TTIME	Yanal akış seyahat süresi (gün)	v	0	180	0	180	63.900

v: değiştirme , r: çarpma

1993-2012 periyodu için kalibre edilmiş SWAT modelinin akım sonuçları ile bu periyotta gözlemlenen akım değerlerini içeren grafik Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Yapılan kalibrasyon işlemleri sonucunda model akımlarının gözlem verisi baz akımları ile uyum gösterdiği ve pik akımların ön model sonuçlarına kıyasla daha iyi yansıtıldığı görülmüştür.

**Şekil 4.4.** Döllük akım gözlem istasyonu 1993-2012 periyodu için model kalibrasyon sonuçları.

1993-2012 periyodu için kalibre edilen SWAT modelinin doğrulama işlemi 2013-2022 periyodu için yapılmıştır ve doğrulama sonucu Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Döllük akım gözlem istasyonu 2013-2022 periyodu için model doğrulama sonuçları.

Gözlem verileriyle kalibrasyon ve doğrulama işlemleri uygulanmış olan model akım verilerinin uyumluluğunu test eden istatistiksel performans metrikleri ve model değerlendirme dereceleri Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da sunulmuştur.

Tablo 4.5. Model kalibrasyon performans metrikleri ve değerlendirme dereceleri.

AGİ	p-faktörü	r-faktörü	R ²	NSE	RSR
E03A002-Döllük	0.81	0.98	0.75 (TE)	0.74(İ)	0.51(İ)

İ: İyi, TE: Tatmin Edici

Tablo 4.6. Model doğrulama performans metrikleri ve değerlendirme dereceleri.

AGİ	p-faktörü	r-faktörü	R ²	NSE	RSR
E03A002-Döllük	0.51	1.32	0.83 (İ)	0.70(TE)	0.54(İ)

İ: İyi, TE: Tatmin Edici

1993-2022 periyodu için Mustafakemalpaşa Çayı üzerinde bulunan tek akım gözlem istasyonu olan Döllük AGİ model ön sonuçları performans değerleri $R^2=0.76$, $NSE=0.56$, $RSR=0.66$ olarak elde edilmişken 1993-2012 periyodu için kalibrasyon sonucunda $R^2=0.75$, $NSE=0.74$, $RSR=0.51$ olarak elde edilmiştir. NSE ve RSR metriklerinde iyileşme söz konusu iken R^2 metriğinde çok az bir düşüş gözlemlenmiştir ancak bu düşüş kabul edilebilir seviyededir. NSE ve RSR amaç fonksiyonlarına göre model, performans derecelendirmesinde “iyi” sınıfta yer alırken R^2 amaç fonksiyonuna sınırdan “tatmin edici” sınıfta yer almaktadır. 2013-2022 periyodunda uygulanan doğrulama işlemi sonucunda elde edilen Döllük AGİ performans değerleri $R^2=0.83$, $NSE=0.70$, $RSR=0.54$ şeklindedir ve bu değerler, performans değerlendirmesinde "iyi" ve "tatmin edici" kategorilerinde yer almaktadır.

Bu performans değerleri, oluşturulan modelin havzanın hidrolojik süreçlerini başarılı bir şekilde yansıttığını ve gerçekte gözlemlenen akarsu akımlarını etkili bir biçimde simüle ettiğini göstermektedir. Bu durum, modelin havzanın mevcut yönetim stratejilerine katkı sağlayabileceği anlamına gelir. Ayrıca, bu modelin kullanılması sayesinde iklim modelleri ve senaryoları havzanın gelecekteki projeksiyonlarında kullanılabilir, böylece iklim değişikliğinin havza süreçlerine etkileri gözlemlenebilir. Bu etkilerin değerlendirilmesi ile havzanın gelecekteki yönetim stratejisinin belirlenmesi için iklim değişikliğinin etkilerini azaltmaya yönelik kararlar alınabilir.

4.2. İklım Modelleri Değerlendirme Sonuçları

Bu alışmada CORDEX programının Avrupa kolunun iklim simülasyon modellerinin bias düzeltmesi yapılmış iklim verilerinin kullanılması (CORDEX_Dzeltilmiş (CORDEX_Adjusted) / EUR-11) planlanmıştır. Bu amaçla 3 farklı küresel iklim modeli ile çalıştırılmış birden farklı bölgesel iklim modelinin (Tablo 3.14) 1990-2005 periyodunda Dursunbey, Keles, Tavşanlı ve Mustafakemalpaşa istasyonu için günlük yağış, günlük maksimum ve minimum sıcaklık verileri elde edilmiştir. İklım modelinin değerlendirilmesi işleminde günlük verilerin kullanılmasının sebebi SWAT modeline iklim parametrelerinin günlük zaman diliminde tanıtılmasıdır. İstasyon bazında günlük iklim verilerinin model değerlendirme metrikleri hesaplanmıştır. Ayrıca, her bir iklim modeli verileriyle thiessen polygonu kullanılarak havza bazında yağış, maksimum ve minimum sıcaklık verileri elde edilmiş ve havza genelinde gözlem verileriyle taylor diyagramı kullanılarak kıyaslanmıştır.

Çalışma alanında bulunan istasyonların günlük yağış verilerinin model değerlendirme metrikleri Tablo 4.7, Tablo 4.8, Tablo 4.9 ve Tablo 4.10’da gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Dursunbey istasyonu 1990-2005 periyodu günlük yağış verilerinin model değerlendirme metrikleri.

GCM	RCM	RMSE	BIAS	Korelasyon (r)
CNRM-CERFACS-CNRM-CM	CCML4-8-17	6.721	0.807	0.022
	RCA4	5.600	-0.040	0.033
ICHEC-EC-EARTH	CCML4-8-17	6.183	0.255	0.017
	HIRHAM5	4.905	-0.690	0.021
	RACMO22E	5.476	-0.069	0.046
	RCA4	5.221	-0.268	0.048
MPI-M-MPI-ESM-LR	CCLM4-8-17	6.476	0.545	0.050
	RCA4	5.569	-0.121	0.058
	REMO2009	5.517	-0.147	-0.006

Tablo 4.7 incelendiğinde Dursunbey istasyonunda EC-EARTH küresel modelinin çıktılarını girdi olarak kullanan HIRHAM5 bölgesel modelinin en düşük RMSE değerine sahip model, hata (bias) değeri en küçük olan modelin CNRM-CM küresel modelinin çıktılarını girdi olarak kullanan RCA4 bölgesel modeli ve gözlem verileri ile korelasyonu en yüksek olan modelin ise MPI-ESM-LR küresel modelinin çıktılarını girdi olarak kullanan RCA4 bölgesel modeli olduğu gözlenmektedir. Dursunbey istasyonu günlük yağış verilerini bütün istatistiksel metrikler bakımından en iyi şekilde yansıtan tek bir model bulunmamaktadır.

Tablo 4.8. Keles istasyonu 1990-2005 periyodu günlük yağış verilerinin model değerlendirme metrikleri.

GCM	RCM	RMSE	BIAS	Korelasyon (r)
CNRM-CERFACS-CNRM-CM	CCML4-8-17	7.907	1.075	0.022
	RCA4	9.444	1.774	0.036
ICHEC-EC-EARTH	CCML4-8-17	7.011	0.321	0.035
	HIRHAM5	9.720	1.026	0.048
	RACMO22E	8.296	1.013	0.038
	RCA4	8.659	1.221	0.042
MPI-M-MPI-ESM-LR	CCLM4-8-17	7.645	0.848	0.040
	RCA4	8.345	0.926	0.034
	REMO2009	10.708	1.342	0.022

Tablo 4.8 incelendiğinde Keles istasyonunda EC-EARTH küresel modelinin çıktılarını girdi olarak kullanan CCLM4-8-17 bölgesel modelinin en düşük RMSE değerine ve en düşük hata değerine sahip model olduğu gözlemlenirken, gözlem verileri ile korelasyonu en yüksek olan modelin ise aynı küresel modelin çıktılarını girdi olarak kullanan HIRHAM5 bölgesel modeli olduğu gözlenmektedir. Tüm modeller Keles istasyonu bazında karşılaştırıldığında EC-EARTH küresel modelini girdi olarak kullanan bölgesel modellerin diğer modellere kıyasla gözlem verilerini daha iyi yansıttığı söylenebilir.

Tablo 4.9. Tavşanlı istasyonu 1990-2005 periyodu günlük yağış verilerinin model değerlendirme metrikleri.

GCM	RCM	RMSE	BIAS	Korelasyon (r)
CNRM-CERFACS-CNRM-CM	CCML4-8-17	6.651	0.984	0.010
	RCA4	5.487	0.078	0.013
ICHEC-EC-EARTH	CCML4-8-17	5.875	0.434	0.007
	HIRHAM5	4.928	-0.456	0.016
	RACMO22E	5.001	-0.114	0.010
	RCA4	5.142	-0.137	0.017
MPI-M-MPI-ESM-LR	CCLM4-8-17	6.446	0.704	0.030
	RCA4	5.255	-0.137	0.025
	REMO2009	5.701	0.304	-0.013

Tablo 4.9 incelendiğinde Tavşanlı istasyonunda EC-EARTH küresel modelinin çıktılarını girdi olarak kullanan HIRHAM5 bölgesel modelinin en düşük RMSE değerine sahip model, hata (bias) değeri en küçük olan modelin CNRM-CM küresel modelinin çıktılarını girdi olarak kullanan RCA4 bölgesel modeli ve gözlem verileri ile korelasyonu en yüksek olan modelin ise MPI-ESM-LR küresel modelinin çıktılarını girdi olarak kullanan CCLM4-8-17 bölgesel modeli olduğu gözlenmektedir. Dursunbey istasyonunda olduğu gibi Tavşanlı istasyonu günlük yağış verilerini de bütün istatistiksel metrikler bakımından en iyi şekilde yansıtan tek bir model bulunmamaktadır.

Tablo 4.10. Mustafakemalpaşa istasyonu 1990-2005 periyodu günlük yağış verilerinin model değerlendirme metrikleri.

GCM	RCM	RMSE	BIAS	Korelasyon (r)
CNRM-CERFACS-CNRM-CM	CCML4-8-17	7.712	0.394	0.024
	RCA4	7.068	-0.260	0.047
ICHEC-EC-EARTH	CCML4-8-17	7.500	-0.056	0.020
	HIRHAM5	7.980	0.040	0.066
	RACMO22E	7.952	0.350	0.021
	RCA4	6.968	-0.445	0.025
MPI-M-MPI-ESM-LR	CCLM4-8-17	8.343	0.455	0.034
	RCA4	7.230	-0.389	0.040
	REMO2009	9.501	0.920	0.030

Tablo 4.10 incelendiğinde Mustafakemalpaşa istasyonunda EC-EARTH küresel modelinin çıktılarını girdi olarak kullanan RCA4 bölgesel modelinin en düşük RMSE değerine sahip bölgesel model, en küçük hata değerine sahip ve gözlem verileri ile korelasyonu en yüksek olan modelin ise aynı küresel modelin çıktılarını girdi olarak kullanan HIRHAM5 bölgesel modeli olduğu gözlenmektedir. Tüm modeller Mustafakemalpaşa istasyonu bazında karşılaştırıldığında EC-EARTH küresel modelini girdi olarak kullanan bölgesel modellerin diğer modellere kıyasla gözlem verilerini daha iyi yansıttığı söylenebilir.

1990-2005 periyodunda, tüm istasyonlar genelinde CORDEX iklim modellerinin günlük yağış verileriyle gözlem verileri arasındaki korelasyonlarının çok düşük olduğu görülmektedir. Bu iklim modellerinin yağış verilerini yansıtmada çok da başarılı olmadığı sonucuna varılabilir.

Çalışma alanında bulunan istasyonların günlük maksimum ve minimum sıcaklık verilerinin model değerlendirme metrikleri Tablo 4.11, Tablo 4.12, Tablo 4.13 ve Tablo 4.14'te gösterilmiştir.

Tablo 4.11. Dursunbey istasyonu 1990-2005 periyodu günlük maksimum ve minimum sıcaklık verilerinin model değerlendirme metrikleri.

GCM	RCM	RMSE		BIAS		Korelasyon (r)	
		Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
CNRM-CERFACS-CNRM-CM	CCML4-8-17	7.513	5.091	-3.731	-0.703	0.748	0.729
	RCA4	6.381	5.473	-1.900	-1.920	0.788	0.699
ICHEC-EC-EARTH	CCML4-8-17	7.477	5.174	-3.665	-1.235	0.752	0.721
	HIRHAM5	6.513	4.940	-1.946	0.508	0.760	0.735
	RACMO22E	7.599	6.514	-3.927	-4.082	0.759	0.752
	RCA4	6.553	5.871	-2.182	-2.840	0.777	0.684
MPI-M-MPI-ESM-LR	CCLM4-8-17	6.968	5.074	-2.502	0.051	0.751	0.709
	RCA4	6.154	5.118	-0.767	-1.551	0.791	0.724
	REMO2009	6.827	4.925	1.813	0.578	0.748	0.714

Tablo 4.11 incelendiğinde Dursunbey istasyonu maksimum sıcaklık verilerini en düşük RMSE ve hata değeriyle ve aynı zamanda gözlem verileriyle en yüksek korelasyona sahip şekilde yansıtan modelin MPI-ESM-LR küresel modelinin çıktıları girdi olarak kullanan RCA4 bölgesel modeli olduğu gözlemlenirken, Dursunbey istasyonu minimum sıcaklık verilerini en düşük RMSE değerine sahip olarak yansıtan modelin aynı küresel modeli girdi olarak kullanan REMO2009 bölgesel modeli, en düşük hataya sahip şekilde yansıtan modelin yine aynı küresel modeli girdi olarak kullanan CCLM4-8-17 bölgesel modeli olduğu ve gözlem verileriyle en yüksek korelasyona sahip modelin ise EC-EARTH küresel modelini girdi olarak kullanan RACMO22E bölgesel modeli olduğu gözlemlenmiştir. Dursunbey istasyonu sıcaklık verilerinin yansıtılmasında göreceli olarak MPI-ESM-LR küresel modelinin çıktıları girdi olarak kullanan bölgesel modellerin diğer küresel modellerin çıktıları girdi olarak kullanan bölgesel modellere kıyasla daha başarılı olduğu çıkarımı yapılabilir.

Tablo 4.12. Keles istasyonu 1990-2005 periyodu günlük maksimum ve minimum sıcaklık verilerinin model değerlendirme metrikleri.

GCM	RCM	RMSE		BIAS		Korelasyon (r)	
		Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
CNRM-CERFACS-CNRM-CM	CCML4-8-17	7.457	5.273	-3.676	0.151	0.741	0.718
	RCA4	7.012	6.046	-3.155	-1.985	0.776	0.696
ICHEC-EC-EARTH	CCML4-8-17	7.489	5.213	-3.521	-0.107	0.735	0.713
	HIRHAM5	6.990	4.961	-3.286	-0.329	0.748	0.731
	RACMO22E	7.920	5.893	-4.706	-2.976	0.769	0.744
	RCA4	7.194	6.214	-3.442	-2.337	0.766	0.688
MPI-M-MPI-ESM-LR	CCLM4-8-17	6.961	5.373	-2.372	0.956	0.741	0.697
	RCA4	6.594	5.674	-1.823	-1.080	0.773	0.706
	REMO2009	6.580	5.316	-1.318	0.074	0.750	0.700

Tablo 4.12 incelendiğinde Keles istasyonu maksimum sıcaklık verilerini en düşük RMSE ve hata değerine sahip şekilde yansıtan modelin MPI-ESM-LR küresel modelinin çıktıları girdi olarak kullanan REMO2009 bölgesel modeli olduğu gözlemlenirken gözlem verileriyle en yüksek korelasyona sahip modelin CNRM-CM küresel modelinin çıktıları girdi olarak kullanan RCA4 bölgesel modeli olduğu gözlemlenmiştir. Keles istasyonu minimum sıcaklık verilerini en düşük RMSE değerine sahip şekilde yansıtan model EC-EARTH küresel modelinin çıktıları girdi olarak kullanan HIRHAM5 bölgesel modeli olduğu gözlemlenirken, en düşük hataya sahip olarak yansıtan modelin MPI-ESM-LR küresel modelinin çıktıları girdi olarak kullanan REMO2009 bölgesel modeli olduğu ve gözlem verileriyle en yüksek korelasyona sahip modelin ise EC-EARTH küresel modelinin çıktıları girdi olarak kullanan RACMO22E bölgesel modeli olduğu gözlemlenmiştir. Keles istasyonu günlük sıcaklık verilerini bütün istatistiksel metrikler bakımından en iyi şekilde yansıtan tek bir model bulunmamaktadır.

Tablo 4.13. Tavşanlı istasyonu 1990-2005 periyodu günlük maksimum ve minimum sıcaklık verilerinin model değerlendirme metrikleri.

GCM	RCM	RMSE		BIAS		Korelasyon (r)	
		Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
CNRM-CERFACS-CNRM-CM	CCML4-8-17	8.946	5.255	-5.792	0.403	0.758	0.711
	RCA4	7.886	5.230	-4.519	-0.715	0.786	0.691
ICHEC-EC-EARTH	CCML4-8-17	8.835	5.123	-5.577	-0.054	0.758	0.715
	HIRHAM5	8.156	5.166	-4.729	1.188	0.765	0.730
	RACMO22E	9.018	6.307	-5.780	-2.991	0.773	0.729
	RCA4	8.171	5.406	-4.876	-1.290	0.778	0.677
MPI-M-MPI-ESM-LR	CCLM4-8-17	8.058	5.328	-4.320	1.228	0.762	0.702
	RCA4	7.199	5.057	-3.277	-0.035	0.792	0.703
	REMO2009	6.979	5.839	-0.683	2.580	0.750	0.687

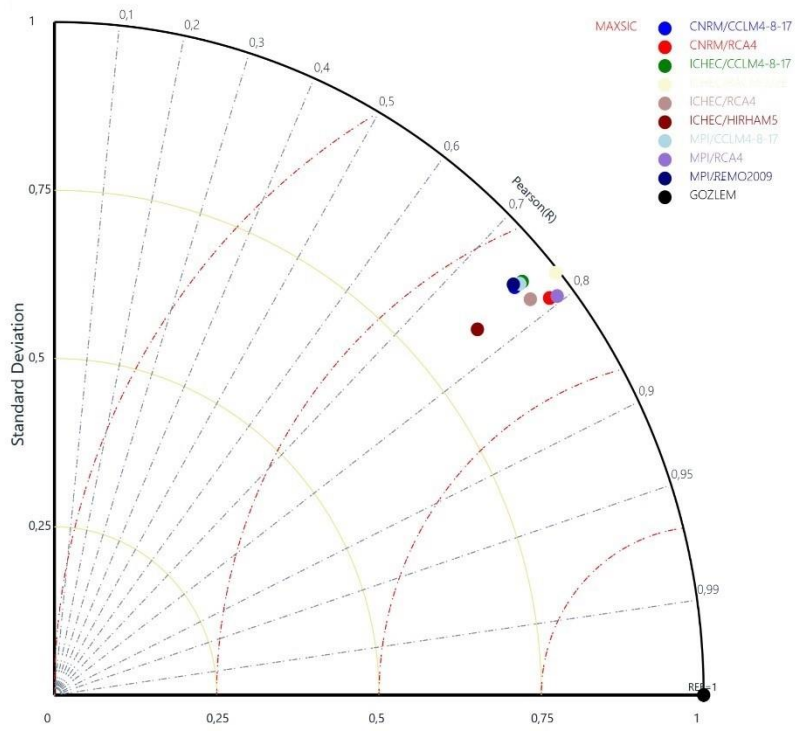
Tablo 4.13 incelendiğinde Tavşanlı istasyonu maksimum sıcaklık verilerini en düşük RMSE ve hata değerine sahip şekilde yansıtan modelin MPI-ESM-LR küresel modelinin çıktıları girdi olarak kullanan REMO2009 bölgesel modeli olduğu gözlemlenirken gözlem verileriyle en yüksek korelasyona sahip modelin aynı küresel modelin çıktıları girdi olarak kullanan RCA4 bölgesel modeli olduğu gözlemlenmiştir. Tavşanlı istasyonu minimum sıcaklık verilerini en düşük RMSE ve hata değerine sahip şekilde yansıtan model MPI-ESM-LR küresel modelinin çıktıları girdi olarak kullanan RCA4 bölgesel modeli olduğu gözlemlenirken gözlem verileriyle en yüksek korelasyona sahip modelin EC-EARTH küresel modelinin çıktıları girdi olarak kullanan HIRHAM5 bölgesel modeli olduğu gözlemlenmiştir. Tavşanlı istasyonu sıcaklık verilerinin yansıtılmasında göreceli olarak MPI-ESM-LR küresel modelinin çıktıları girdi olarak kullanan bölgesel modellerin diğer küresel modellerin çıktıları girdi olarak kullanan bölgesel modellere kıyasla daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.14. Mustafakemalpaşa istasyonu 1990-2005 periyodu günlük maksimum ve minimum sıcaklık verilerinin model değerlendirme metrikleri.

GCM	RCM	RMSE		BIAS		Korelasyon (r)	
		Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
CNRM-CERFACS-CNRM-CM	CCML4-8-17	7.782	5.811	-0.428	1.560	0.654	0.664
	RCA4	7.516	5.614	0.679	0.192	0.676	0.630
ICHEC-EC-EARTH	CCML4-8-17	7.663	5.501	-0.618	0.858	0.664	0.661
	HIRHAM5	7.334	5.588	-0.353	1.550	0.667	0.652
	RACMO22E	7.760	6.083	-1.017	-2.545	0.643	0.667
	RCA4	7.594	5.800	0.029	-1.055	0.652	0.589
MPI-M-MPI-ESM-LR	CCLM4-8-17	7.798	5.989	0.413	2.139	0.645	0.637
	RCA4	7.606	5.493	1.381	0.358	0.674	0.639
	REMO2009	8.482	6.329	3.380	3.196	0.634	0.621

Tablo 4.14 incelendiğinde Mustafakemalpaşa istasyonu maksimum sıcaklık verilerini en düşük RMSE değerine sahip şekilde yansıtan modelin EC-EARTH küresel modelinin çıktıları girdi olarak kullanan HIRHAM5 bölgesel modeli olduğu, en düşük hata değerine sahip şekilde yansıtan modelin aynı küresel modelin çıktıları girdi olarak kullanan RCA4 bölgesel modeli olduğu gözlemlenirken gözlem verileriyle en yüksek korelasyona sahip modelin CNRM-CM küresel modelinin çıktıları girdi olarak kullanan RCA4 bölgesel modeli olduğu gözlemlenmiştir. Mustafakemalpaşa istasyonu minimum sıcaklık verilerini en düşük RMSE değerine sahip şekilde yansıtan modelin MPI-ESM-LR küresel modelinin çıktıları girdi olarak kullanan RCA4 bölgesel modeli olduğu, en düşük hata değerine sahip şekilde yansıtan modelin CNRM-CM küresel modelinin çıktıları girdi olarak kullanan RCA4 bölgesel modeli olduğu gözlemlenirken gözlem verileriyle en yüksek korelasyona sahip modelin EC-EARTH küresel modelinin çıktıları girdi olarak kullanan RACMO22E bölgesel modeli olduğu gözlemlenmiştir. Mustafakemalpaşa istasyonu günlük sıcaklık verilerini bütün istatistiksel metrikler bakımından en iyi şekilde yansıtan tek bir model bulunmamaktadır.

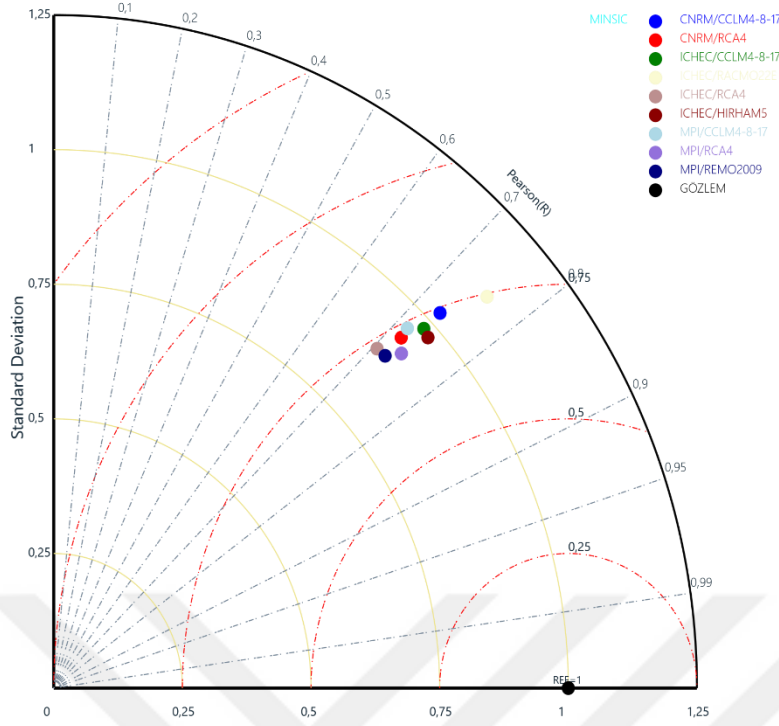
1990-2005 periyodunda, tüm istasyonlar genelinde CORDEX iklim modellerinin günlük maksimum/minimum sıcaklık verileriyle gözlem verileri arasındaki



Şekil 4.7. Çalışma havzası genelinde 1990-2005 periyodu günlük gözlem ve model maksimum sıcaklık verileriyle oluşturulmuş Taylor diyagramı.

Şekil 4.7’deki taylor diyagramı incelendiğinde yüksek korelasyonlu, gözlem verisinin standart sapmasına yakın standart sapmaya ve en düşük RMSE değerine sahip olan iklim modelinin MPI-ESM-LR küresel modelinin çıktılarını girdi olarak kullanan RCA4 bölgesel modeli olduğu gözlenmektedir. Bu modelden daha yüksek korelasyona sahip modeller (ICHEC/RACMO22E) bulunmaktadır ancak MPI-ESM-LR/RCA4 modelinin RMSE değeri diğer modellerin RMSE değerlerine göre daha düşük olduğundan gözlem maksimum sıcaklık verilerini 1990-2005 periyodunda en iyi temsil eden model MPI-ESM-LR/RCA4 modelidir denilebilir.

1990-2005 periyodunda Thiessen polygonu kullanılarak havza genelinde elde edilen gözlem günlük minimum sıcaklık verileri ve iklim modelleri minimum sıcaklık verileriyle oluşturulan Taylor diyagramı Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Çalışma havzası genelinde 1990-2005 periyodu günlük gözlem ve model minimum sıcaklık verileriyle oluşturulmuş Taylor diyagramı.

Şekil 4.8’deki taylor diyagramı incelendiğinde yüksek korelasyonlu, gözlem verisinin standart sapmasına yakın standart sapmaya ve nispeten düşük RMSE değerine sahip olan iklim modelinin EC-EARTH küresel modelinin çıktılarını girdi olarak kullanan HIRHAM5 bölgesel modeli olduğu gözlenmektedir. Ancak MPI-ESM-LR/RCA4 modelinin RMSE değeri tüm modeller arasındaki en düşük değere sahip RMSE değeridir ve korelasyon bakımından da nispeten yüksek korelasyona sahip bir modeldir.

4.3. İklim Modeli Projeksiyon Sonuçları

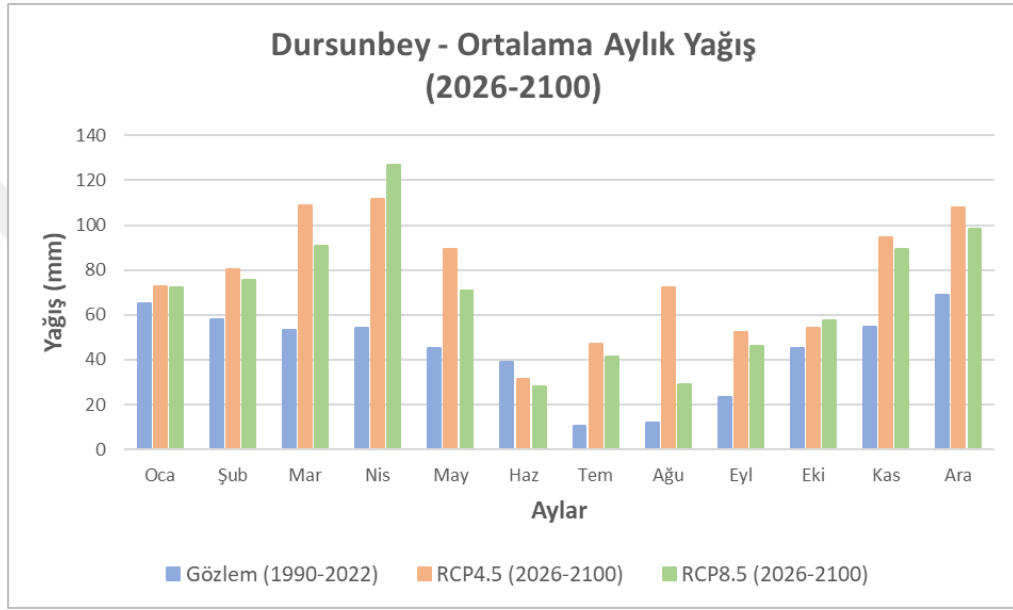
4.3.1. Mpi-esm-lr/rca4 iklim modeli meteorolojik sonuçlar

Bu çalışmada yağış, maksimum ve minimum sıcaklık verileri gibi iklim verilerinin yansıtılması konusunda en başarılı bulunan iklim modeli MPI-ESM-LR küresel modelinin çıktılarını girdi olarak kullanan RCA4 bölgesel modeli olarak bulunmuştur ve bias düzeltilmesi yapılmış MPI-ESM-LR/RCA4 iklim modelinin 2026-2100 periyodundaki RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında simüle edilmiş günlük yağış, maksimum ve minimum sıcaklık verileri çalışmanın ilerleyen aşamalarında kullanılmıştır. Aylık veriler 2026-2100 periyoduna, mevsimsel ve yıllık veriler ise

2026-2050, 2051-2075 ve 2075-2100 periyotlarına göre analiz edilmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla çalışma alanında bulunan meteoroloji gözlem istasyonlarının 1990-2022 periyodu gözlem verileri de grafiklere eklenmiştir.

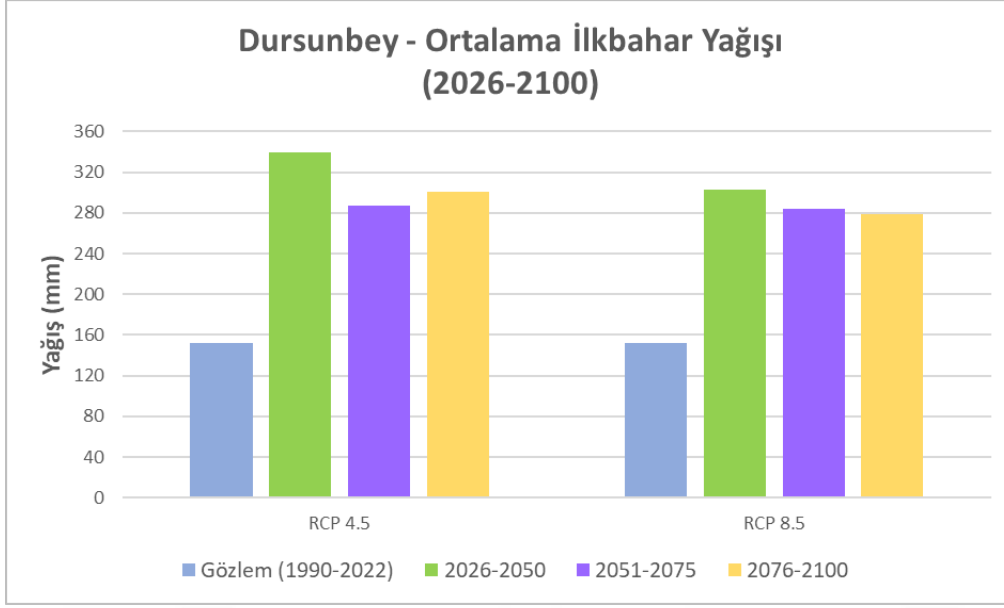
4.3.1.1. Dursunbey istasyonu sonuçları

Dursunbey istasyonu için; 2026-2100 periyodundaki ortalama aylık yağışlar Şekil 4.9'da, mevsimsel ortalama yağışlar Şekil 4.10-Şekil 4.13'te, ortalama yıllık toplam yağışlar Şekil 4.14'te gösterilmektedir.

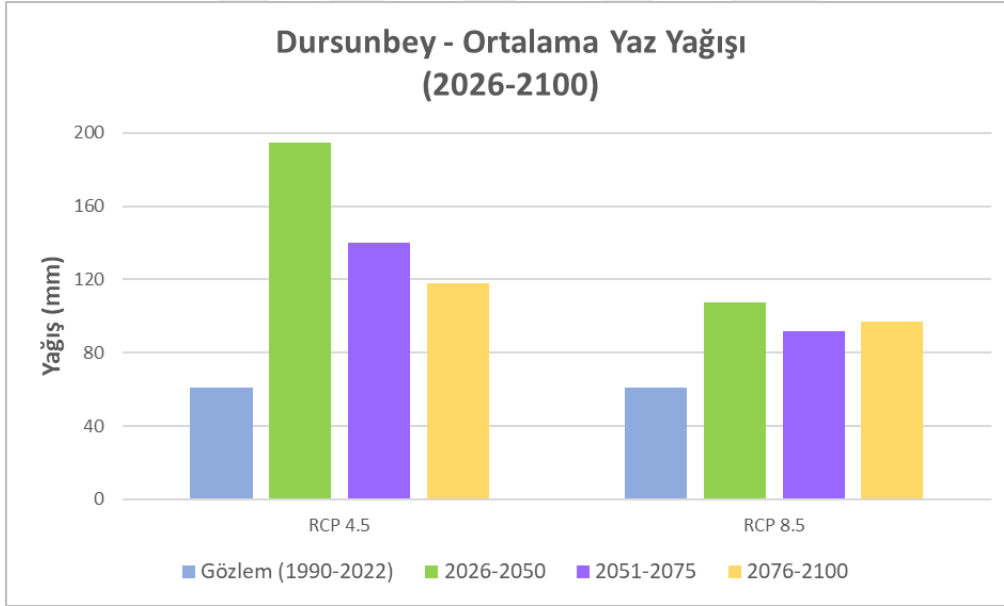


Şekil 4.9. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık toplam yağış grafiği.

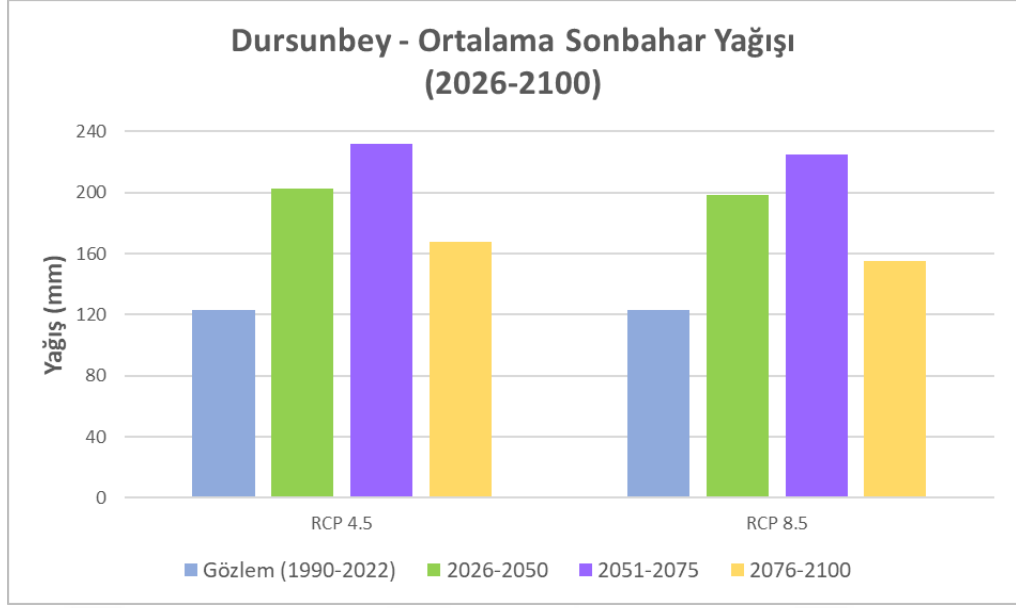
Şekil 4.9 incelendiğinde haziran ayı hariç yılın geri kalan aylarında her iki gelecek iklim senaryosuna göre ortalama aylık toplam yağışlarda artış gözlemlenmiştir. RCP8.5 senaryosuna göre nisan ve ekim aylarında yağıştaki artış, diğer aylarda gözlenenenden farklı olarak RCP4.5 senaryosundaki artıştan daha fazla olacaktır. Ayrıca her iki senaryoya göre de yağışlı geçen ayların yağış miktarının artacağı, özellikle mart, nisan, mayıs, kasım ve aralık aylarındaki yağış miktarında göreceli olarak daha fazla artış olacağı gözlemlenmiştir. Kurak yaz ayları olan temmuz ve ağustos aylarında dahi her iki senaryoya göre yağışta artış olacağı gözlemlenmiştir.



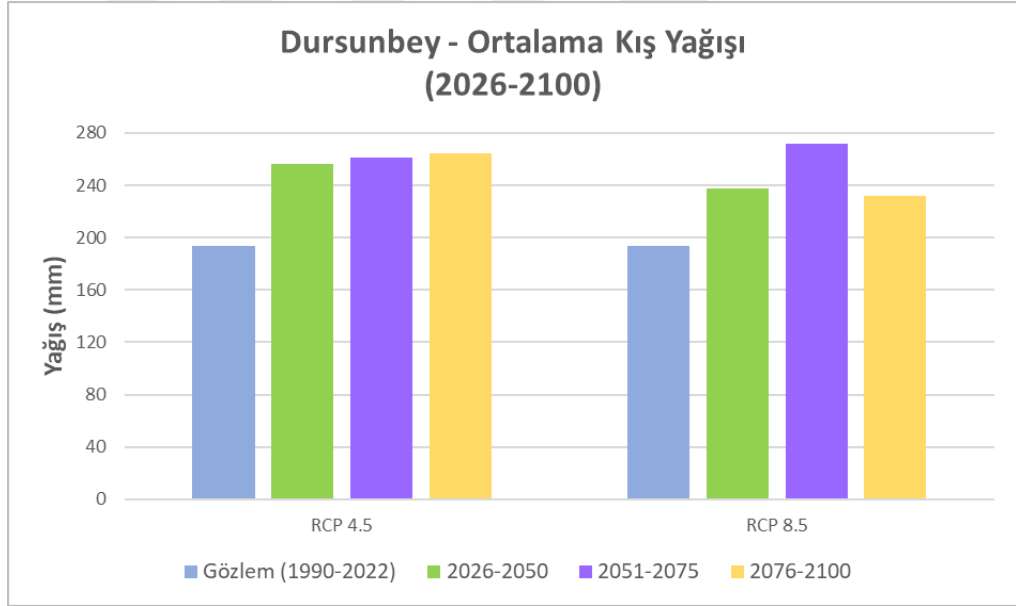
Şekil 4.10. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar yağış grafiği.



Şekil 4.11. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz yağış grafiği.



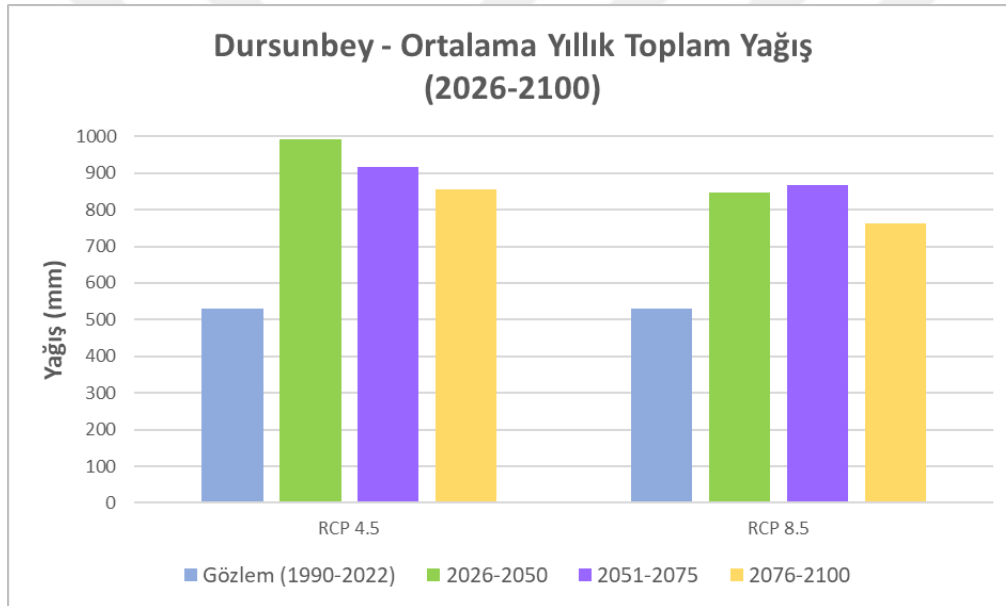
Şekil 4.12. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar yağış grafiği.



Şekil 4.13. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış yağış grafiği.

Mevsimsel yağışlar incelendiğinde, tüm mevsim yağışlarında her iki gelecek senaryosuna göre 2026-2100 periyodunda artış gözlemlenmiştir. RCP4.5 senaryosuna göre ilkbahar ve yaz yağışlarında 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en çok artış 2026-2050 periyodunda yani 21. yüzyılın ikinci çeyreğinde gözlenirken sonbahar yağışlarında 2051-2075 periyodunda (üçüncü çeyrekte), kış yağışlarında ise 2076-

2100 periyodunda gözlemlenmiştir. RCP4.5 senaryosuna göre 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en az artış ise yaz ve sonbahar yağışlarında 2076-2100 periyodunda gözlemlenirken, kış yağışlarında 2026-2050 periyodunda, ilkbahar yağışlarında ise 2051-2075 periyodunda gözlemlenmiştir. RCP8.5 senaryosuna göre, 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en çok artış ilkbahar ve yaz yağışlarında 2026-2050 periyodunda gözlenirken, sonbahar ve kış yağışlarında 2051-2075 periyodunda gözlemlenmiştir. RCP8.5 senaryosuna göre 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en az artış ise ilkbahar, sonbahar ve kış yağışlarında 2076-2100 periyodunda gözlemlenirken, yaz yağışlarında 2051-2075 periyodunda gözlemlenmiştir. Ayrıca neredeyse tüm mevsim yağışlarında RCP8.5 senaryosuna kıyasla RCP4.5 senaryosunda daha fazla artış dikkat çekmektedir.

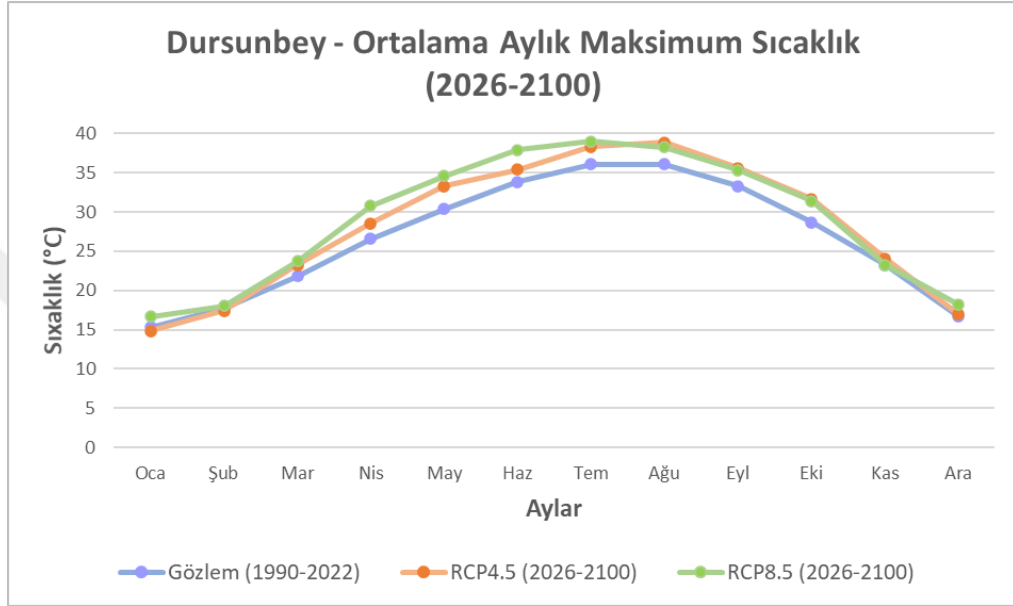


Şekil 4.14. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık toplam yağış grafiği.

Şekil 4.14 incelendiğinde her iki gelecek iklim senaryosuna göre de yıllık toplam yağışlarda artış olduğu gözlenmekte ve tüm periyotlar için RCP4.5 senaryosundaki artışın RCP8.5 senaryosundaki artıştan daha fazla olduğu dikkat çekmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre, 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla yıllık toplam yağışta en fazla artış yaklaşık 463 mm’lik fark ile 2026-2050 periyodunda gözlemlenirken en az artış ise yaklaşık 327 mm’lik fark ile yüz yılın son çeyreği olan 2076-2100 periyodunda gözlenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre, 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla yıllık toplam yağışta en fazla artış yaklaşık 340 mm’lik fark ile 2051-2075

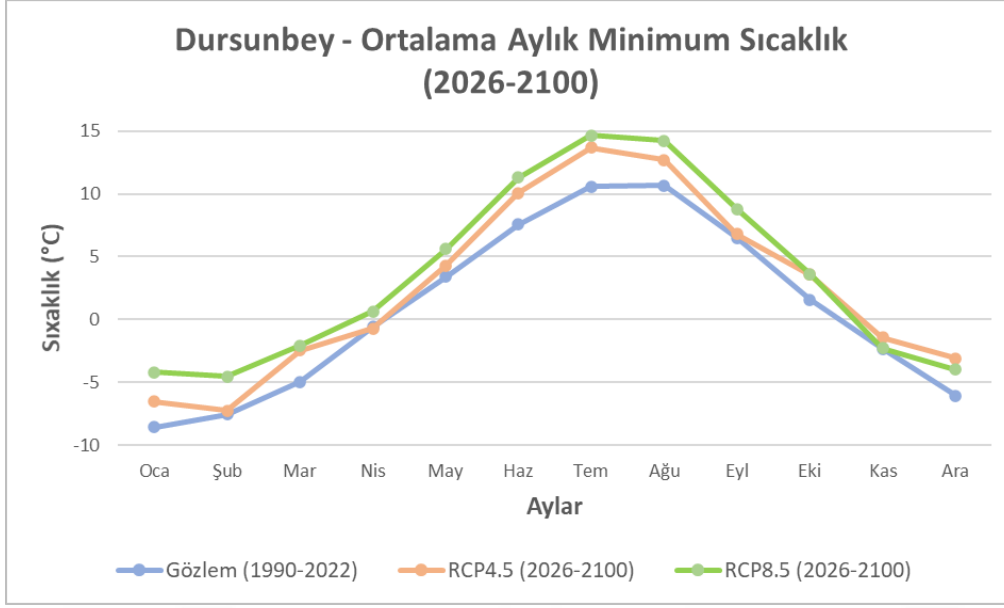
periyodunda gözlemlenirken en az artış ise yaklaşık 235 mm'lik fark ile 2076-2100 periyodunda gözlenmektedir.

Dursunbey istasyonu için; ortalama aylık maksimum ve minimum sıcaklıklar Şekil 4.15-Şekil 4.16'da, mevsimsel maksimum ve minimum sıcaklıklar Şekil 4.17-Şekil 4.24'te, ortalama yıllık maksimum ve minimum sıcaklıklar ise Şekil 4.25-Şekil 4.26'da gösterilmektedir.



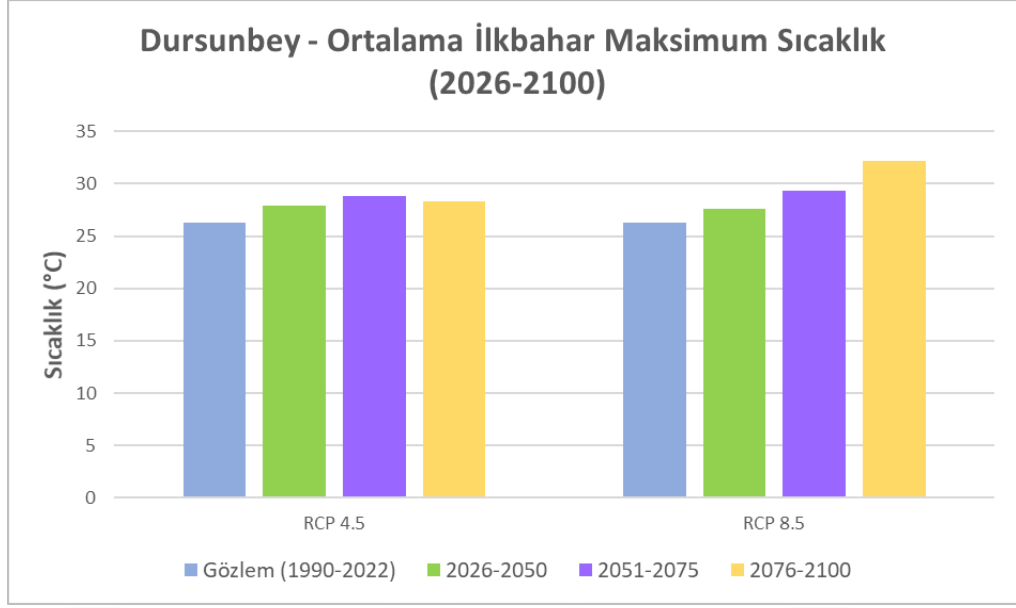
Şekil 4.15. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (226-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık maksimum sıcaklık grafiği.

Şekil 4.15 incelendiğinde Dursunbey istasyonu için RCP4.5 senaryosuna göre ortalama aylık maksimum sıcaklık değerlerinde ocak ve şubat ayları dışında yılın geriye kalan tüm ayların ortalama aylık maksimum sıcaklık verilerinde ortalama 1.92 °C artış gözlemlenirken RCP8.5 senaryosuna göre yılın tüm aylarının ortalama aylık maksimum sıcaklık değerlerinde ortalama 2.29 °C artış gözlemlenmiştir. RCP4.5 senaryosuna göre öngörülen ağustos, eylül, ekim ve kasım aylarındaki sıcaklık artışları RCP8.5 senaryosuna göre öngörülen sıcaklık artışlarından daha fazlayken bu aylar dışında kalan aylar için RCP8.5 senaryosuna göre öngörülen sıcaklık artışı RCP4.5 senaryosuna göre öngörülen sıcaklık artışından daha fazladır.

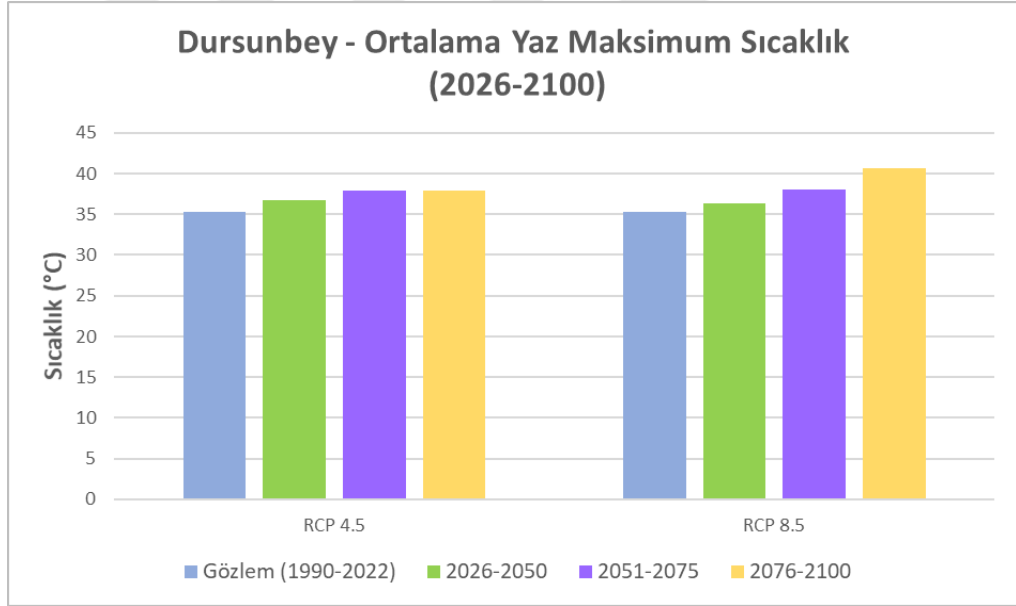


Şekil 4.16. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (226-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık minimum sıcaklık grafiği.

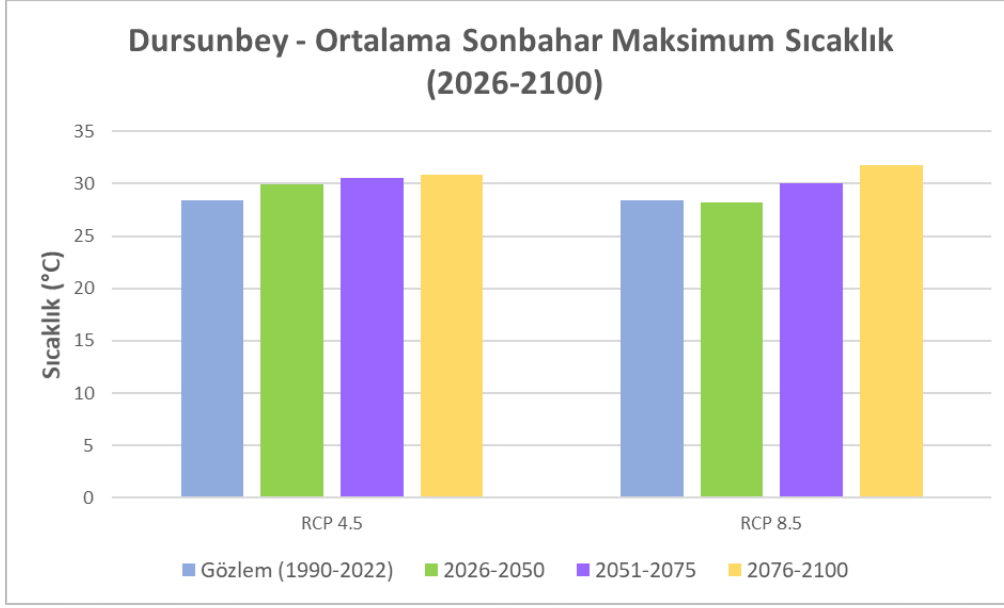
Şekil 4.16 incelendiğinde Dursunbey istasyonu için RCP4.5 senaryosuna göre ortalama aylık minimum sıcaklık değerlerinde nisan ayı dışında geriye kalan tüm ayların ortalama aylık minimum sıcaklık değerlerinde ortalama 1.78 °C artış gözlemlenirken RCP8.5 senaryosuna göre yılın tüm aylarının ortalama aylık minimum sıcaklık değerlerinde ortalama 2.62 °C artış gözlemlenmiştir. Ayrıca RCP4.5 senaryosuna göre öngörülen kasım ve aralık aylarındaki sıcaklık artışları RCP8.5 senaryosuna göre öngörülen sıcaklık artışlarından daha fazlayken bu aylar dışında kalan aylar için RCP8.5 senaryosuna göre öngörülen sıcaklık artışı RCP4.5 senaryosuna göre öngörülen sıcaklık artışından daha fazladır.



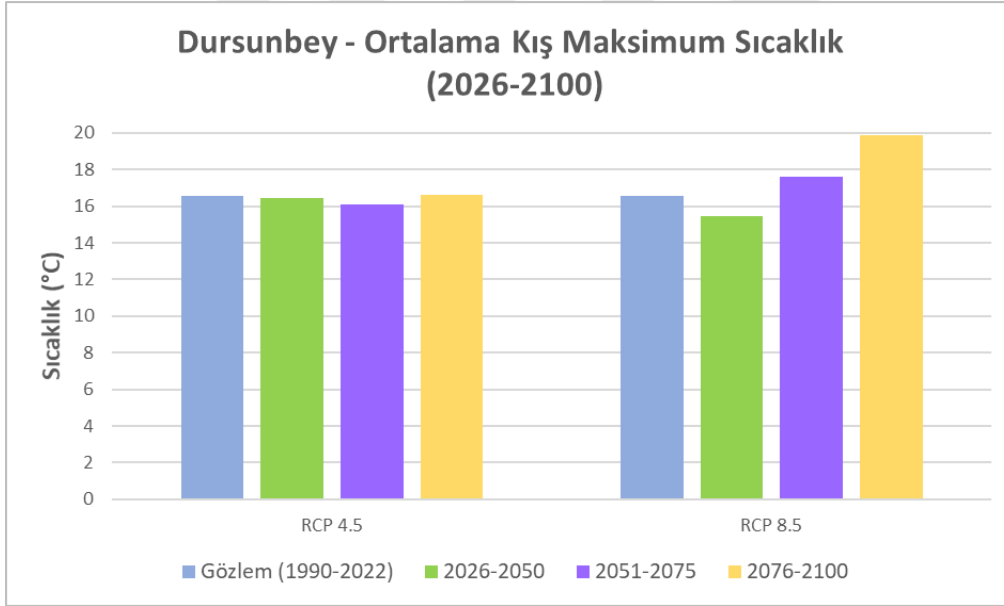
Şekil 4.17. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar maksimum sıcaklık grafiği.



Şekil 4.18. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz maksimum sıcaklık grafiği.



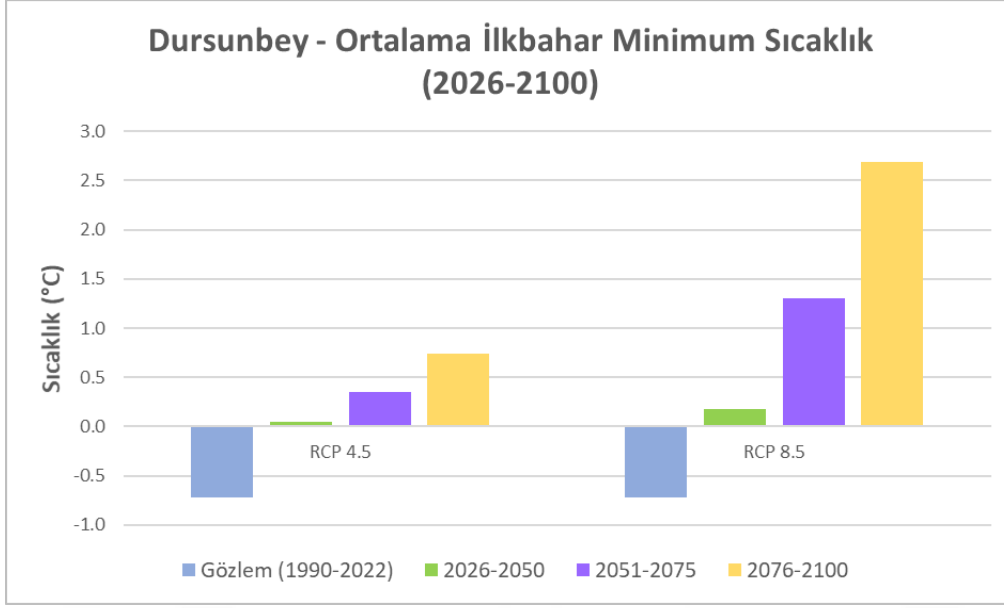
Şekil 4.19. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar maksimum sıcaklık grafiği.



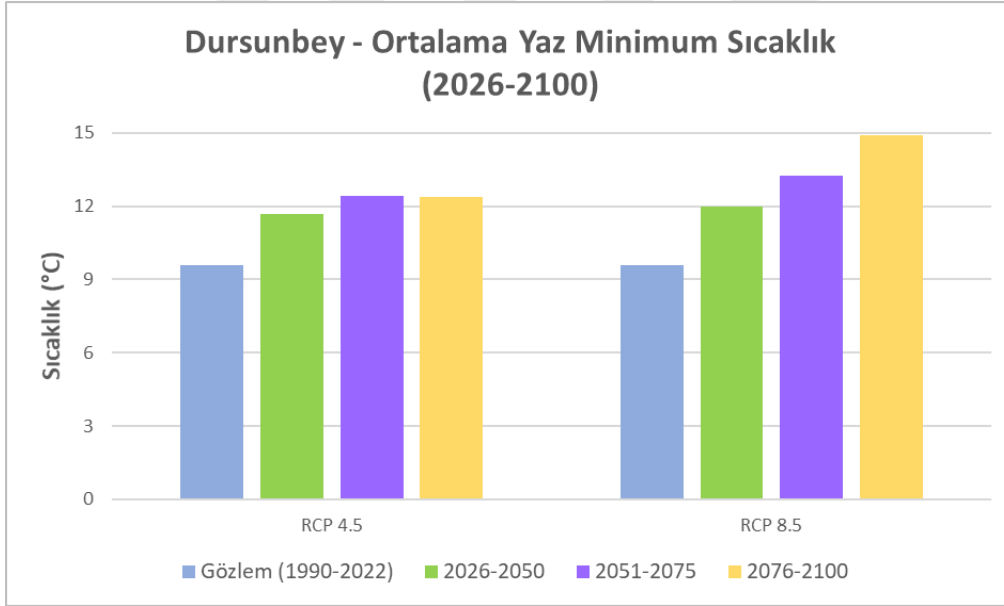
Şekil 4.20. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış maksimum sıcaklık grafiği.

Şekil 4.17 incelendiğinde Dursunbey istasyonu için ilkbahar ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre ilkbahar ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyodu için sırasıyla 1.66 °C, 2.56 °C ve 2.01 °C artması beklenirken, RCP8.5

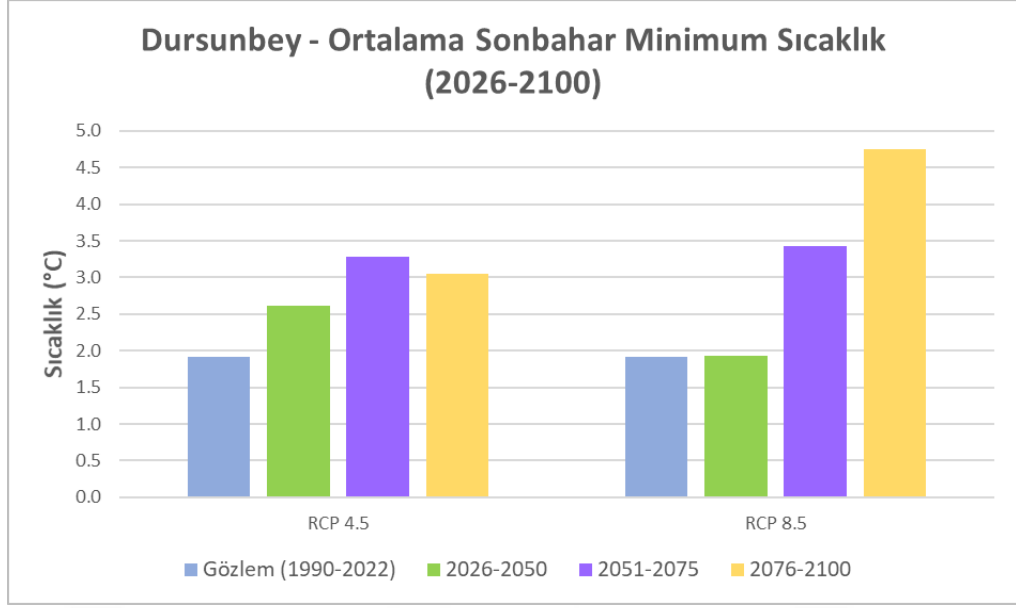
senaryosuna göre ilkbahar ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.30 °C, 3.07 °C ve 5.90 °C artması beklenmektedir. 2026-2050 periyodunda ilkbahar ortalama maksimum sıcaklık değerlerindeki beklenen artış RCP4.5 senaryosuna göre RCP8.5 senaryosundan fazlayken, diğer periyotlarda tersi durum söz konusudur. Şekil 4.18 incelendiğinde Dursunbey istasyonu için yaz ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre yaz ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.43 °C, 2.58 °C ve 2.59 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre yaz ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.08 °C, 2.79 °C ve 5.39 °C artması beklenmektedir. 2026-2050 periyodunda yaz ortalama maksimum sıcaklık değerlerindeki beklenen artış RCP4.5 senaryosuna göre RCP8.5 senaryosundan fazlayken, diğer periyotlarda tersi durum söz konusudur. Şekil 4.19 incelendiğinde Dursunbey istasyonu ortalama sonbahar maksimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 senaryosuna göre gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.57 °C, 2.10 °C ve 2.42 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre sonbahar ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.20 °C azalması, 1.66 °C artması ve 3.33 °C artması beklenmektedir. Şekil 4.20 incelendiğinde Dursunbey istasyonu ortalama kış maksimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 senaryosuna göre gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.12 °C azalması, 0.45 °C azalması ve 0.06 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre kış ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.1 °C azalması, 1.02 °C artması ve 3.32 °C artması beklenmektedir.



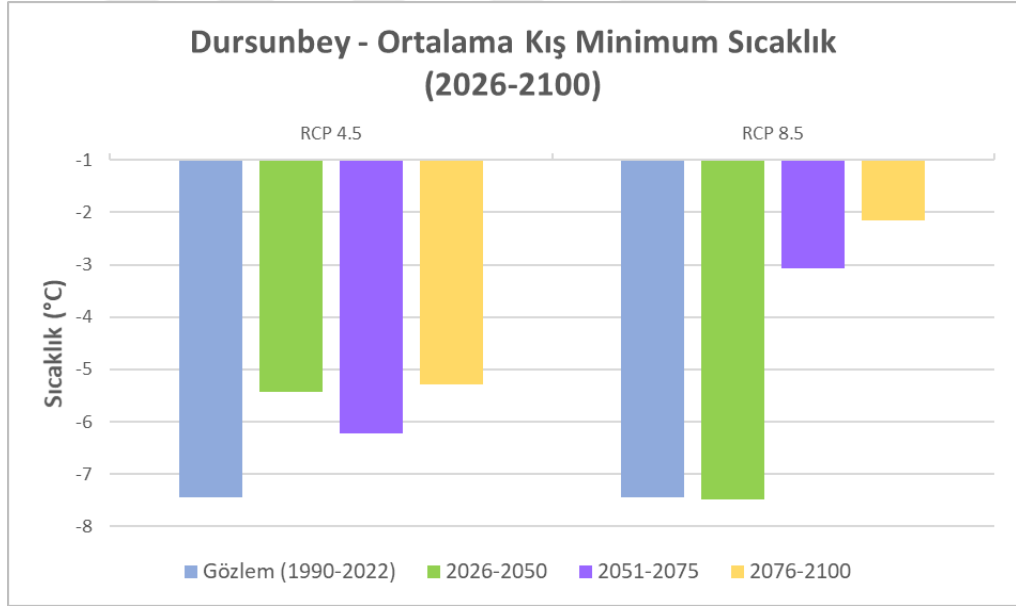
Şekil 4.21. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar minimum sıcaklık grafiği.



Şekil 4.22. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz minimum sıcaklık grafiği.



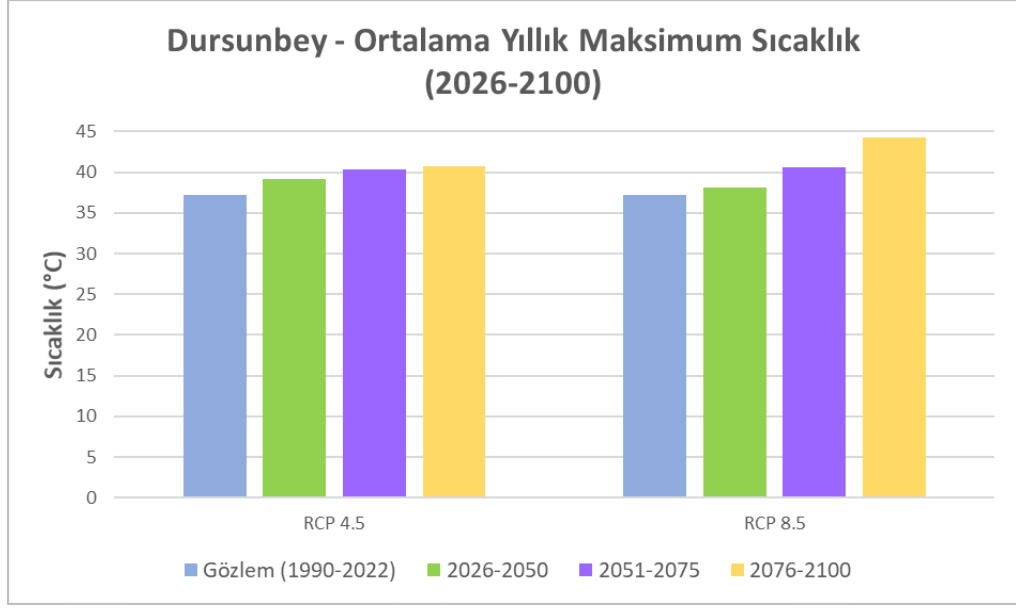
Şekil 4.23. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar minimum sıcaklık grafiği.



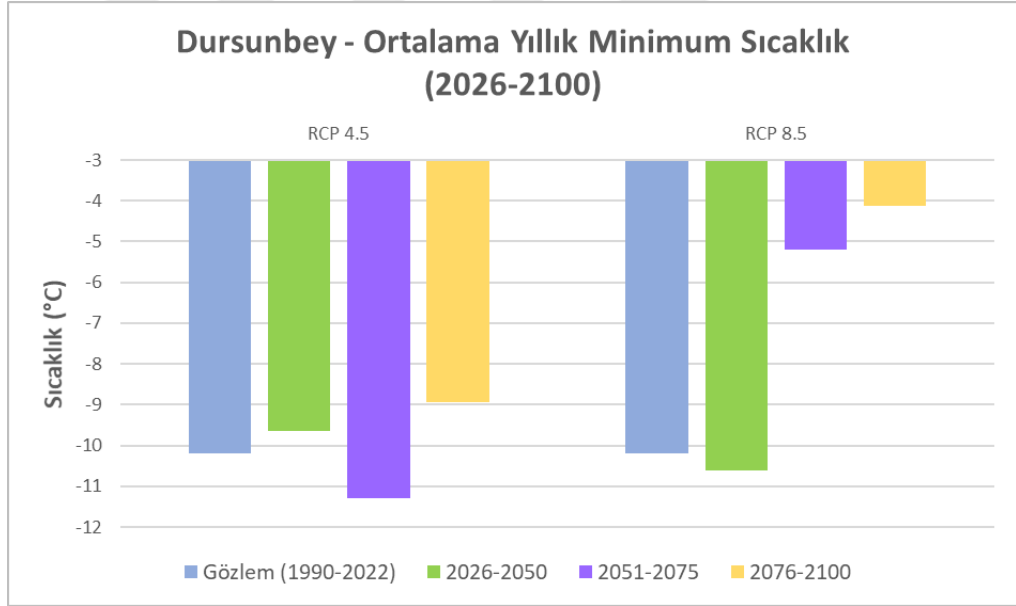
Şekil 4.24. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış minimum sıcaklık grafiği.

Şekil 4.21 incelendiğinde Dursunbey istasyonu için ilkbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre ilkbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.77 °C, 1.06 °C ve 1.46 °C artması beklenirken, RCP8.5

senaryosuna göre ilkbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.89 °C, 2.02 °C ve 3.40 °C artması beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ortalama ilkbahar minimum sıcaklık değerlerinde beklenen artış her periyot için RCP4.5 senaryosuna göre beklenen artıştan daha fazladır. Şekil 4.22 incelendiğinde Dursunbey istasyonu için yaz ortalama minimum sıcaklık verilerinin iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre yaz ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 2.06 °C, 2.82 °C ve 2.78 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre yaz ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 2.38 °C, 3.64 °C ve 5.32 °C artması beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ortalama yaz minimum sıcaklık değerlerinde beklenen artış her periyot için RCP4.5 senaryosuna göre beklenen artıştan daha fazladır. Şekil 4.23 incelendiğinde Dursunbey istasyonu için sonbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre sonbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.70 °C, 1.37 °C ve 1.13 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre sonbahar ortalama minimum sıcaklık verilerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.02 °C, 1.51 °C ve 2.84 °C artması beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ortalama sonbahar minimum sıcaklık değerlerinde beklenen artış 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için RCP4.5 senaryosuna göre beklenen artıştan daha fazlayken 2026-2050 periyodu için RCP4.5 senaryosuna göre beklenen artıştan daha azdır. Şekil 4.24 incelendiğinde Dursunbey istasyonu kış ortalama minimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 senaryosuna göre gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 2.01 °C, 1.20 °C ve 2.15 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre kış ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.04 °C azalması, 4.37 °C artması ve 5.28 °C artması beklenmektedir.



Şekil 4.25. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık maksimum sıcaklık grafiği.



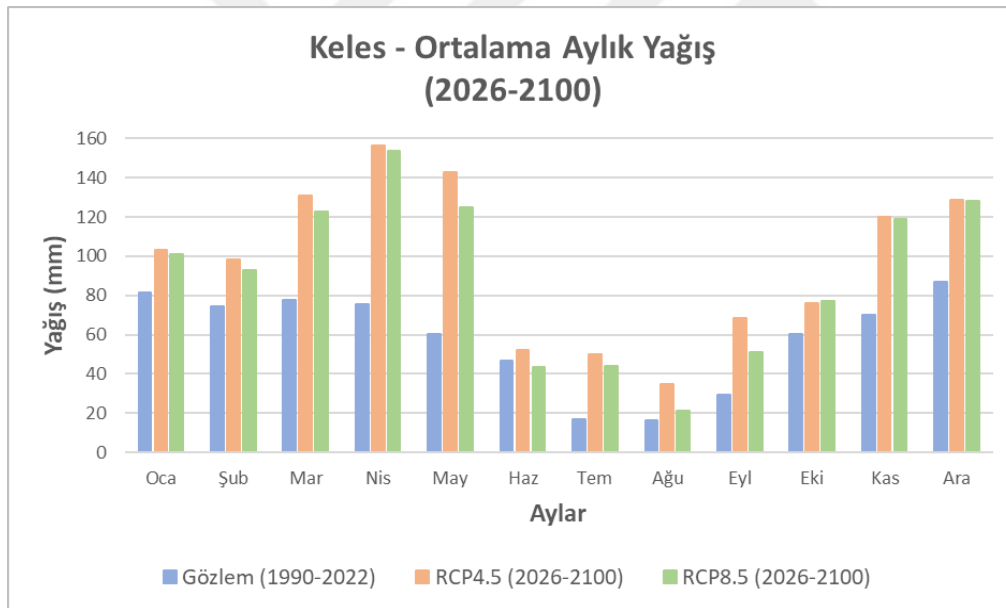
Şekil 4.26. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Dursunbey istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık minimum sıcaklık grafiği.

Şekil 4.25 incelendiğinde Dursunbey istasyonu için ortalama yıllık maksimum sıcaklık değerlerinin iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre ortalama yıllık maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.94 °C, 3.19 °C ve 3.58 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre ortalama yıllık

maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.93 °C, 3.46 °C ve 7.12 °C artması beklenmektedir. Şekil 4.26 incelendiğinde Dursunbey istasyonu ortalama yıllık minimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 senaryosuna göre 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.54 °C artması, 1.11 °C azalması ve 1.23 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre ortalama yıllık minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.44 °C azalması, 4.99 °C artması ve 6.06 °C artması beklenmektedir.

4.3.1.2. Keles istasyonu sonuçları

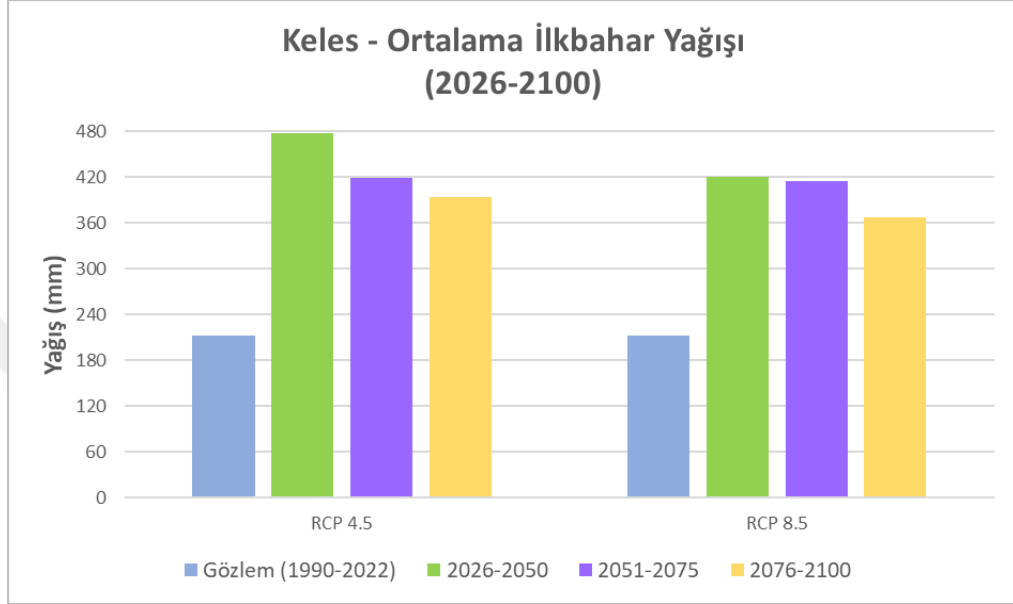
Keles istasyonu için; 2026-2100 periyodundaki ortalama aylık yağışlar Şekil 4.27’de, mevsimsel ortalama yağışlar Şekil 4.28-Şekil 4.31’de, ortalama yıllık toplam yağışlar Şekil 4.32’de gösterilmektedir.



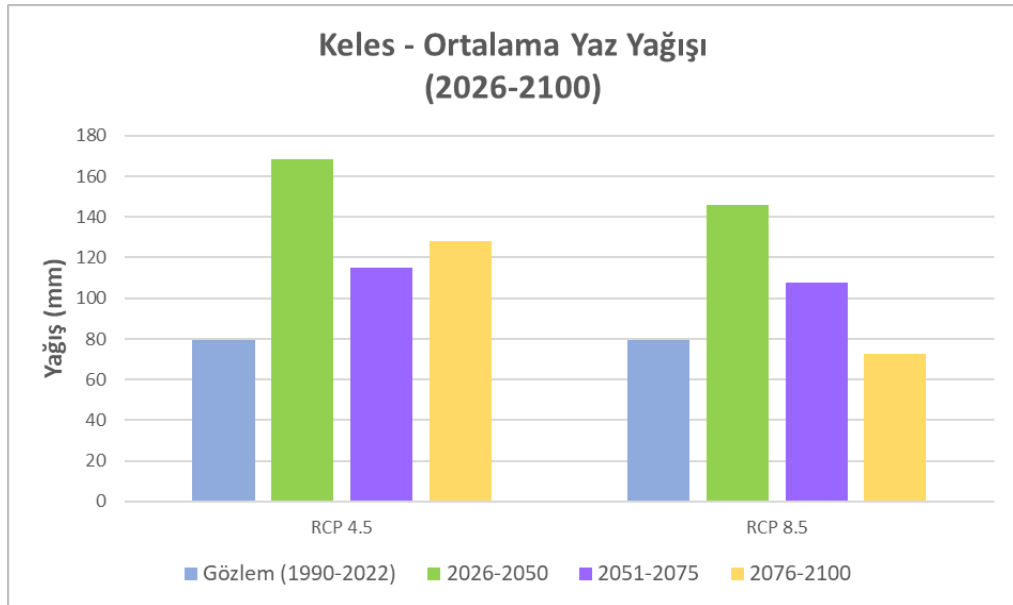
Şekil 4.27. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık toplam yağış grafiği.

Şekil 4.27 incelendiğinde haziran ayı hariç yılın geri kalan tüm aylarında her iki gelecek iklim senaryosuna göre ortalama aylık toplam yağışlarda artış gözlemlenmiştir. RCP8.5 iklim senaryosuna göre haziran ayı ortalama aylık yağış miktarında azalma beklenirken RCP4.5 iklim senaryosuna göre haziran ayı ortalama aylık yağış miktarında artış beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ekim ayında yağıştaki artış, diğer aylarda gözlenenenden farklı olarak RCP4.5 senaryosundaki

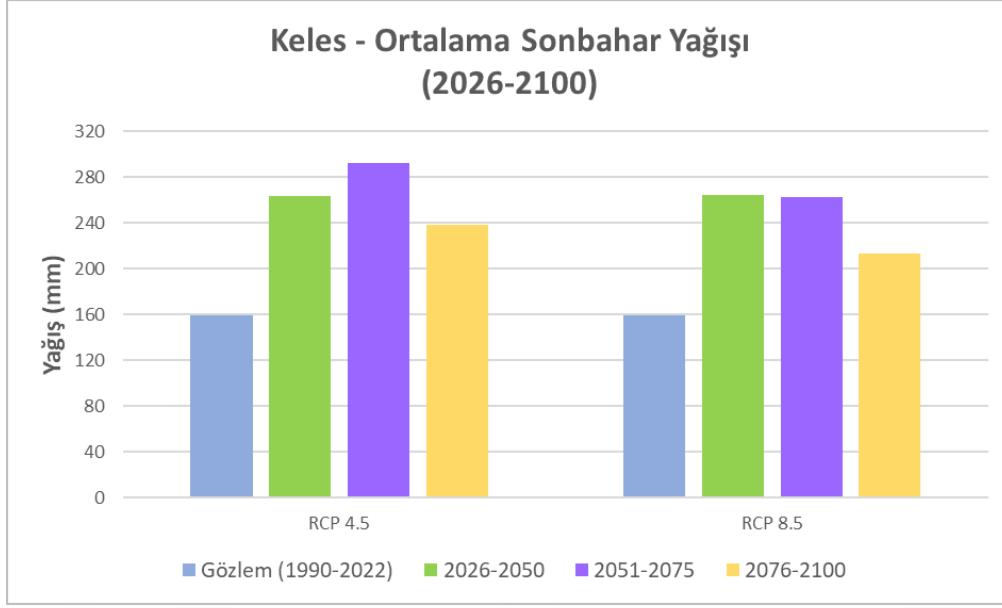
artıştan daha fazla olacaktır. Ayrıca her iki senaryoya göre de yağışlı geçen ayların yağış miktarının artacağı, özellikle mart, nisan, mayıs, kasım ve aralık aylarındaki yağış miktarında göreceli olarak daha fazla artış olacağı gözlemlenmiştir. Kurak yaz ayları olan temmuz ve ağustos aylarında dahi her iki senaryoya göre yağışta artış olacağı gözlemlenmiştir.



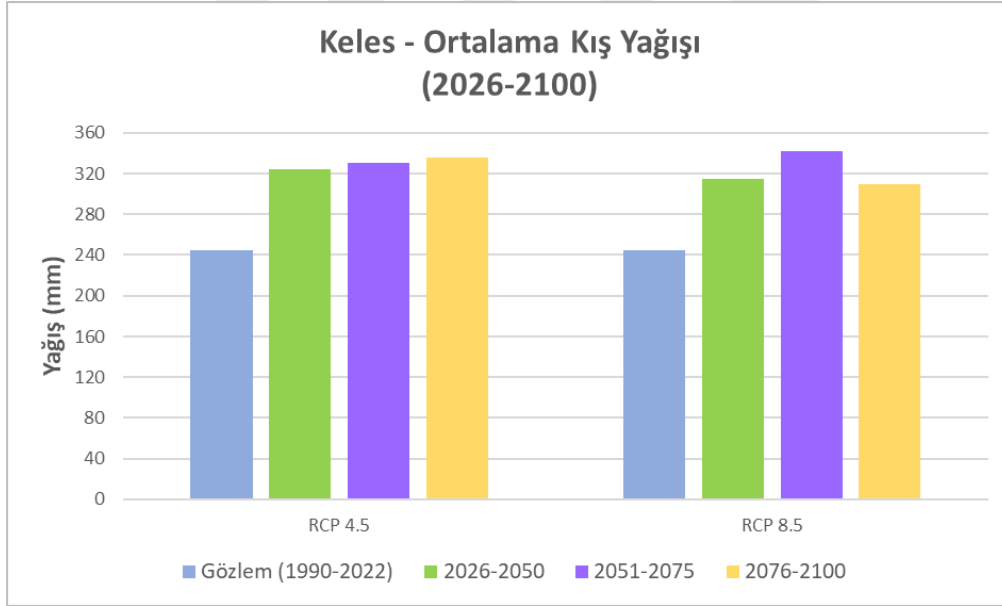
Şekil 4.28. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar yağış grafiği.



Şekil 4.29. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz yağış grafiği.



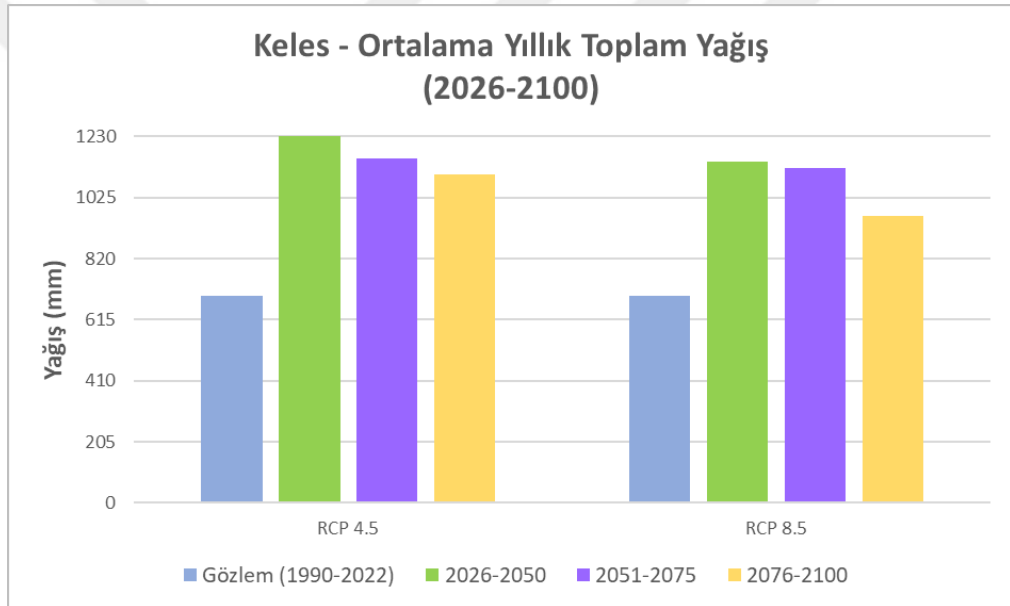
Şekil 4.30. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar yağış grafiği.



Şekil 4.31. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış yağış grafiği.

Mevsimsel yağışlar incelendiğinde, yaz mevsimi dışında kalan mevsim yağışlarında her iki gelecek senaryosuna göre 2026-2100 periyodunda artış gözlemlenmiştir. RCP4.5 senaryosuna göre ilkbahar ve yaz yağışlarında 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en çok artış 2026-2050 periyodunda yani 21. yüzyılın ikinci çeyreğinde gözlenirken sonbahar yağışlarında 2051-2075 periyodunda (üçüncü çeyrekte), kış

yağışlarında ise 2076-2100 periyodunda gözlemlenmiştir. RCP4.5 senaryosuna göre 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en az artış ise ilkbahar ve sonbahar yağışlarında 2076-2100 periyodunda gözlemlenirken, kış yağışlarında 2026-2050 periyodunda, yaz yağışlarında ise 2051-2075 periyodunda gözlemlenmiştir. RCP8.5 senaryosuna göre, 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en çok artış ilkbahar, yaz ve sonbahar yağışlarında 2026-2050 periyodunda gözlenirken, kış yağışlarında 2051-2075 periyodunda gözlemlenmiştir. RCP8.5 senaryosuna göre 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en az artış ise ilkbahar, sonbahar ve kış yağışlarında 2076-2100 periyodunda gözlemlenirken, yaz yağışlarında ise aynı periyotta azalış gözlemlenmiştir. Ayrıca neredeyse tüm mevsim yağışlarında RCP8.5 senaryosuna kıyasla RCP4.5 senaryosunda daha fazla artış dikkat çekmektedir.

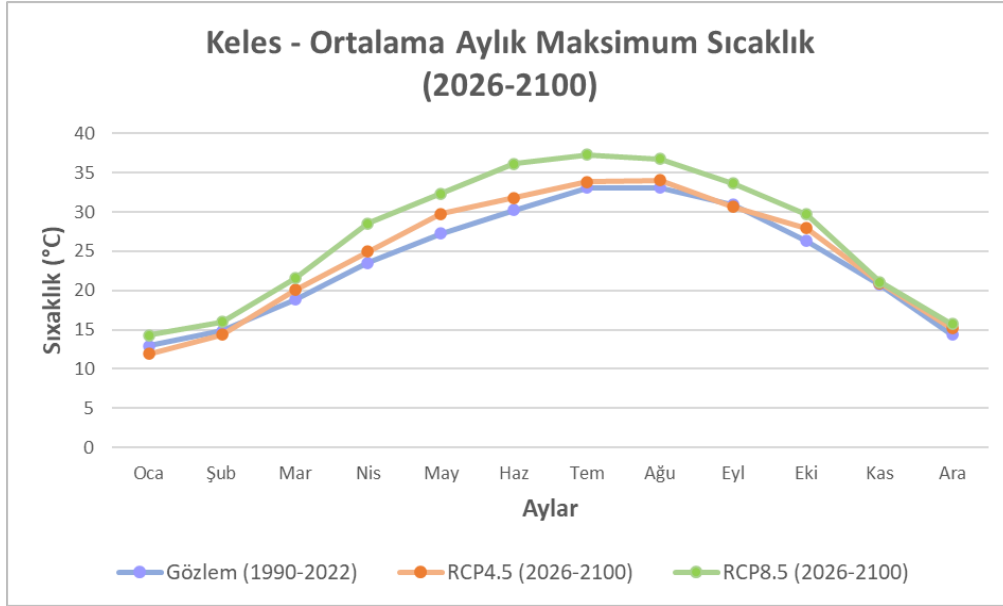


Şekil 4.32. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) periyodu yıllık toplam yağış grafiği.

Şekil 4.32 incelendiğinde her iki gelecek iklim senaryosuna göre de yıllık toplam yağışlarda artış olduğu gözlenmekte ve tüm periyotlar için RCP4.5 senaryosundaki artışın RCP8.5 senaryosundaki artıştan daha fazla olduğu dikkat çekmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre, 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla yıllık toplam yağışta en fazla artış yaklaşık 535 mm’lik fark ile 2026-2050 periyodunda gözlemlenirken en az artış ise yaklaşık 406 mm’lik fark ile yüzyılın son çeyreği olan 2076-2100 periyodunda gözlenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre, 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla yıllık toplam yağışta en fazla artış yaklaşık 137 mm’lik fark ile 2076-2100

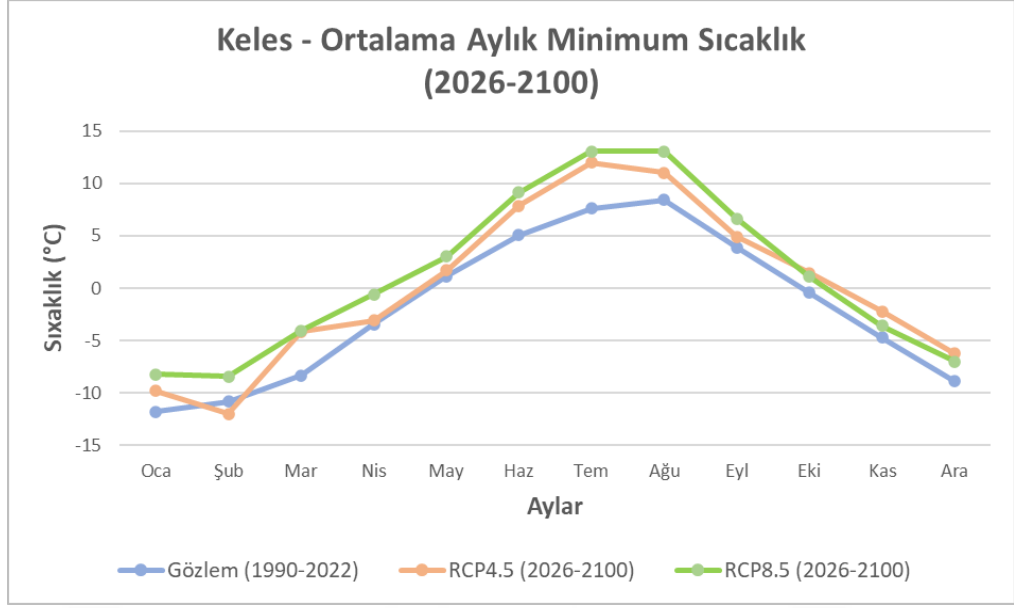
periyodunda gözlemlenirken en az artış ise yaklaşık 31 mm’lik bir fark ile 2051-2075 periyodunda gözlenmektedir.

Keles istasyonu için; ortalama aylık maksimum ve minimum sıcaklıklar Şekil 4.33-Şekil 4.34’te, mevsimsel maksimum ve minimum sıcaklıklar Şekil 4.35-Şekil 4.42’de ortalama yıllık maksimum ve minimum sıcaklıklar ise Şekil 4.43-Şekil 4.44’te gösterilmektedir.



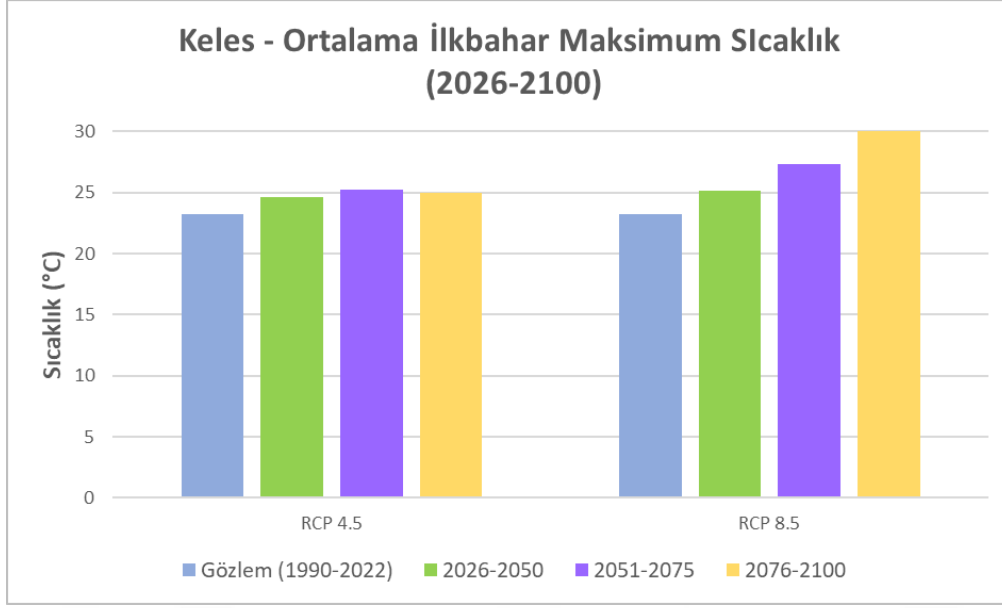
Şekil 4.33. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (226-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık maksimum sıcaklık grafiği.

Şekil 4.33 incelendiğinde Keles istasyonu için RCP4.5 senaryosuna göre ortalama aylık maksimum sıcaklık değerlerinde ocak, şubat ve eylül ayları dışında yılın geriye kalan tüm ayların ortalama aylık maksimum sıcaklık değerlerinde ortalama 1.24 °C artış gözlemlenirken RCP8.5 senaryosuna göre yılın tüm aylarının ortalama aylık maksimum sıcaklık değerlerinde ortalama 3.08 °C artış gözlemlenmiştir. 2026-2100 periyodunda RCP4.5 senaryosuna göre gözlem periyoduna kıyasla tüm aylardaki öngörülen sıcaklık artışları RCP8.5 senaryosuna göre öngörülen sıcaklık artışlarından daha azdır.

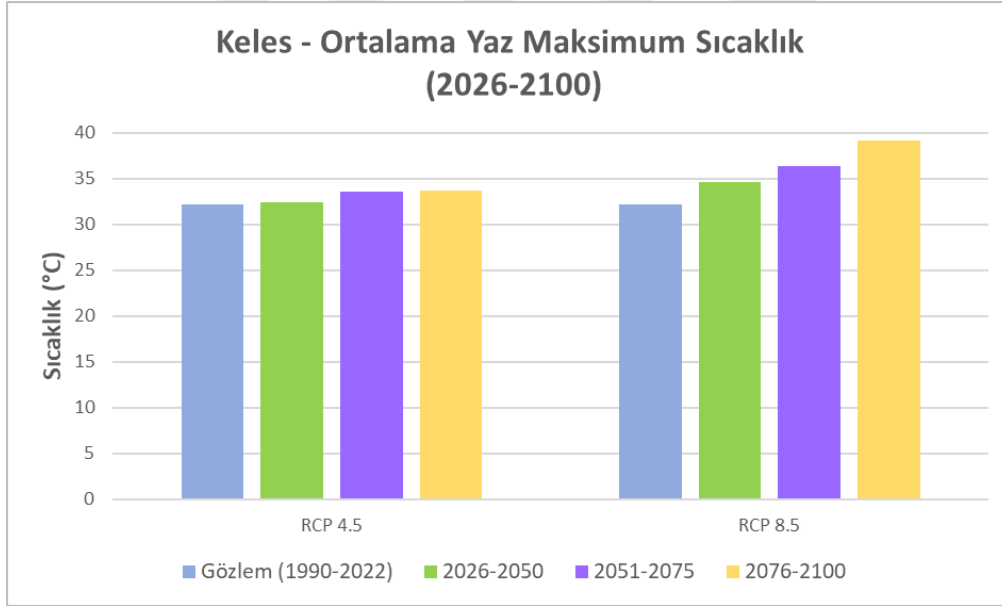


Şekil 4.34. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (226-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık minimum sıcaklık grafiği.

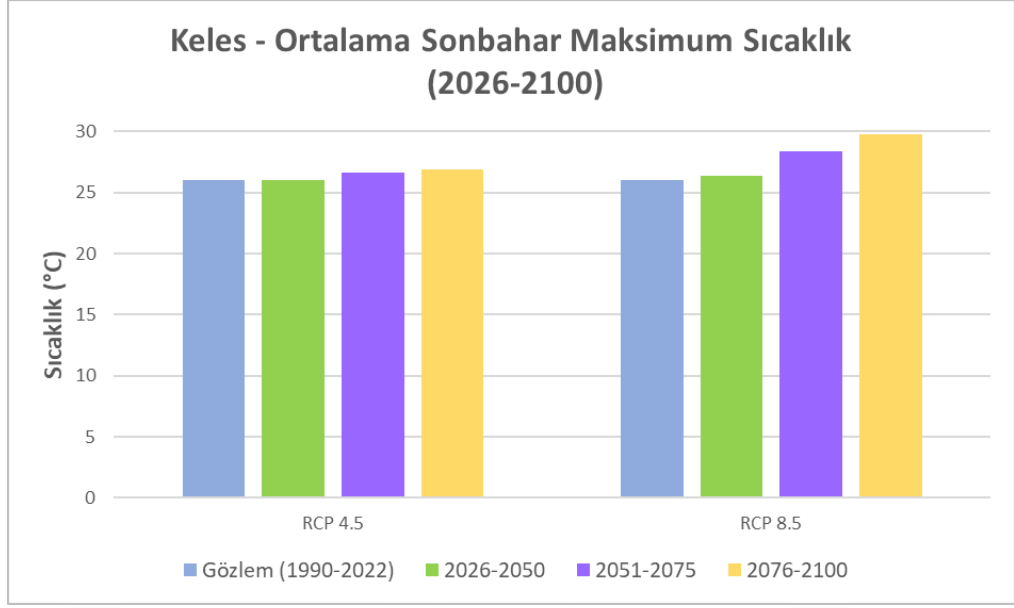
Şekil 4.34 incelendiğinde Keles istasyonu için RCP4.5 senaryosuna göre ortalama aylık minimum sıcaklık değerlerinde şubat ayı dışında geriye kalan tüm ayların ortalama aylık minimum sıcaklık değerlerinde ortalama 2.26 °C artış gözlemlenirken RCP8.5 senaryosuna göre yılın tüm aylarının ortalama aylık minimum sıcaklık değerlerinde ortalama 3.03 °C artış gözlemlenmiştir. Ayrıca RCP4.5 senaryosuna göre öngörülen ekim, kasım ve aralık aylarındaki sıcaklık artışları RCP8.5 senaryosuna göre öngörülen sıcaklık artışlarından daha fazlayken bu aylar dışında kalan aylar için RCP8.5 senaryosuna göre öngörülen sıcaklık artışı RCP4.5 senaryosuna göre öngörülen sıcaklık artışından daha fazladır.



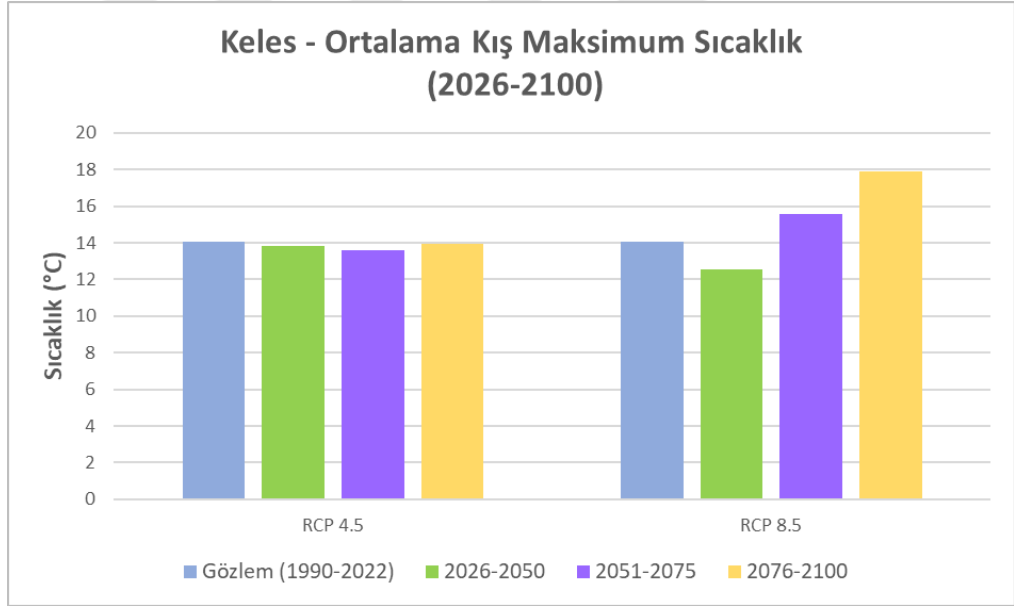
Şekil 4.35. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar maksimum sıcaklık grafiği.



Şekil 4.36. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz maksimum sıcaklık grafiği.



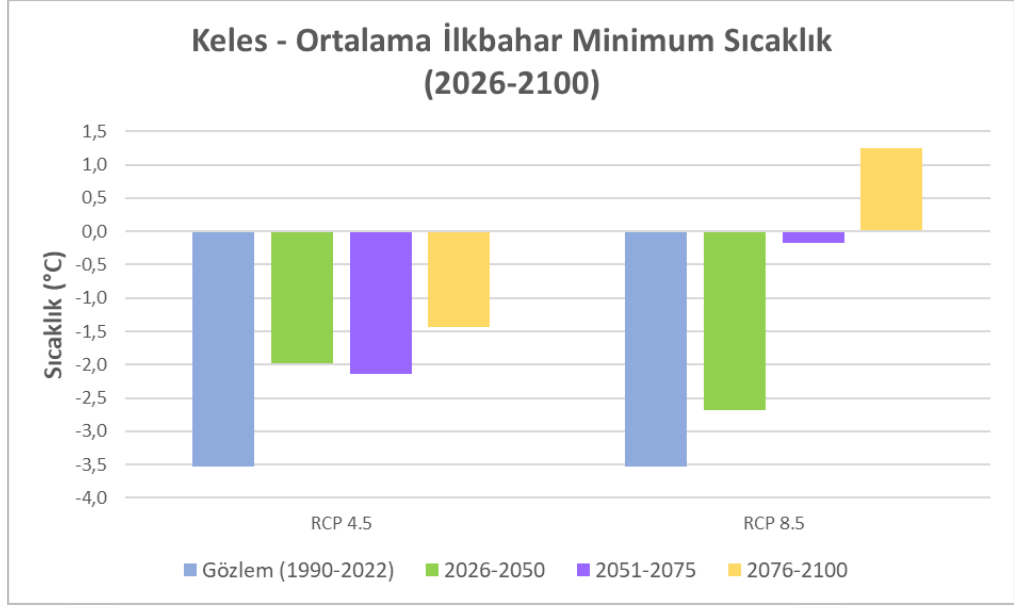
Şekil 4.37. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar maksimum sıcaklık grafiği.



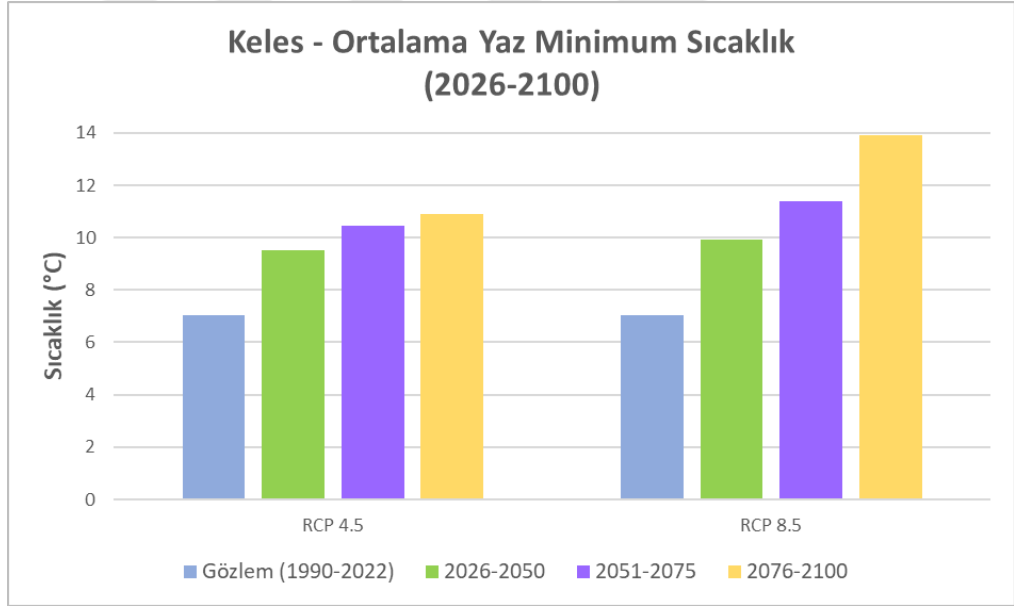
Şekil 4.38. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış maksimum sıcaklık grafiği.

Şekil 4.35 incelendiğinde Keles istasyonu için ilkbahar ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre ilkbahar ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.43 °C, 1.99 °C ve 1.76 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre ilkbahar

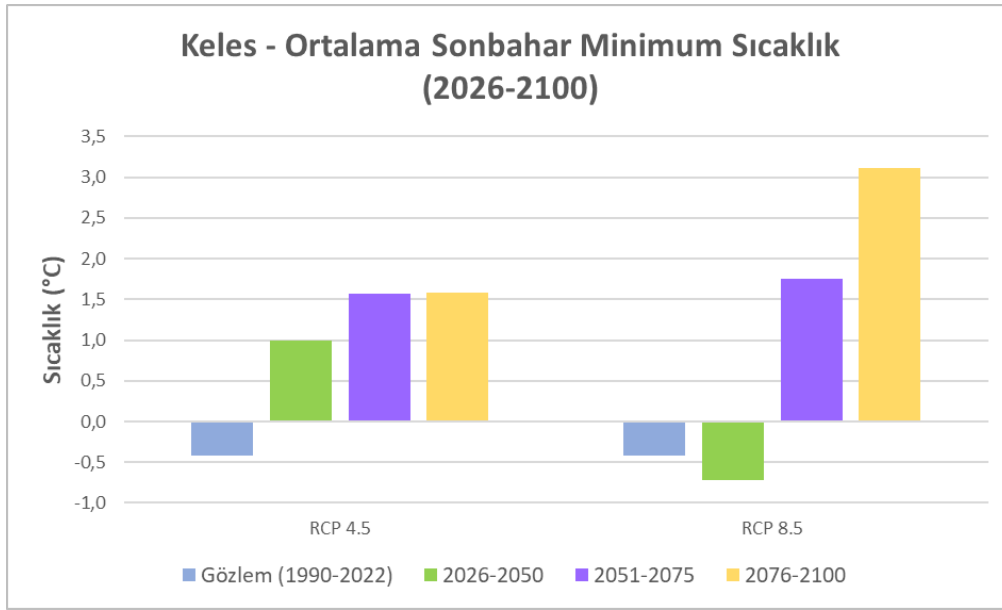
ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.91 °C, 4.11 °C ve 6.78 °C artması beklenmektedir. Tüm periyotlarda ilkbahar ortalama maksimum sıcaklık değerlerindeki beklenen artış RCP4.5 senaryosuna göre RCP8.5 senaryosundan azdır. Şekil 4.36 incelendiğinde Keles istasyonu için yaz ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre yaz ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.33 °C, 1.43 °C ve 1.52 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre yaz ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 2.51 °C, 4.21 °C ve 7.08 °C artması beklenmektedir. Tüm periyotlarda yaz ortalama maksimum sıcaklık değerlerindeki beklenen artış RCP8.5 senaryosuna göre RCP4.5 senaryosundan fazladır. Şekil 4.37 incelendiğinde Keles istasyonu ortalama sonbahar maksimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 senaryosuna göre gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.03 °C, 0.65 °C ve 0.90 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre sonbahar ortalama maksimum sıcaklık verilerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.32 °C, 2.37 °C ve 3.79 °C artması beklenmektedir. Şekil 4.38 incelendiğinde Keles istasyonu ortalama kış maksimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 senaryosuna göre gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.20 °C, 0.47 °C ve 0.08 °C azalması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre kış ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla -1.49 °C azalması, 1.52 °C artması ve 3.85 °C artması beklenmektedir.



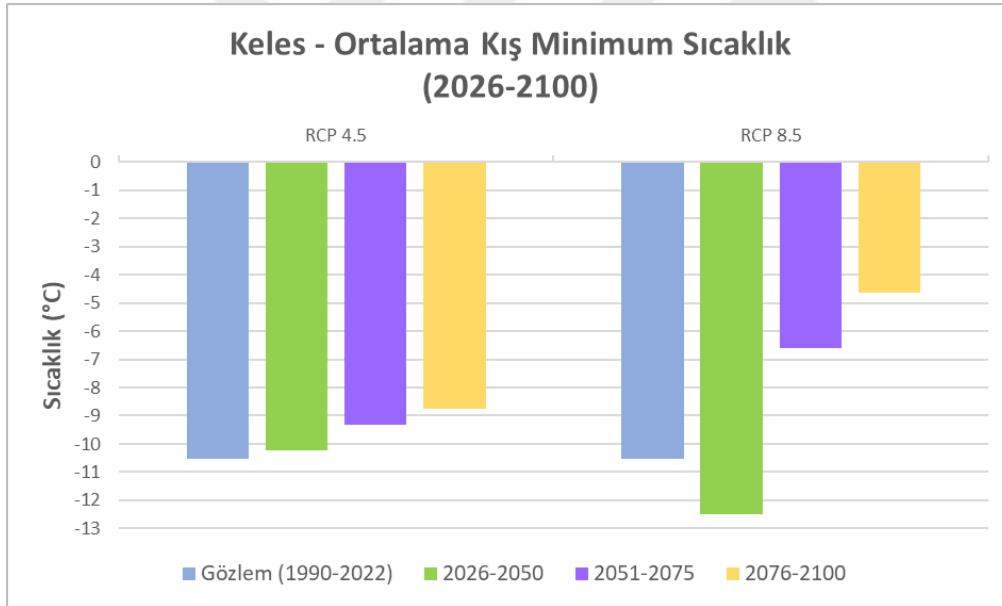
Şekil 4.39. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar minimum sıcaklık grafiği.



Şekil 4.40. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz minimum sıcaklık grafiği.



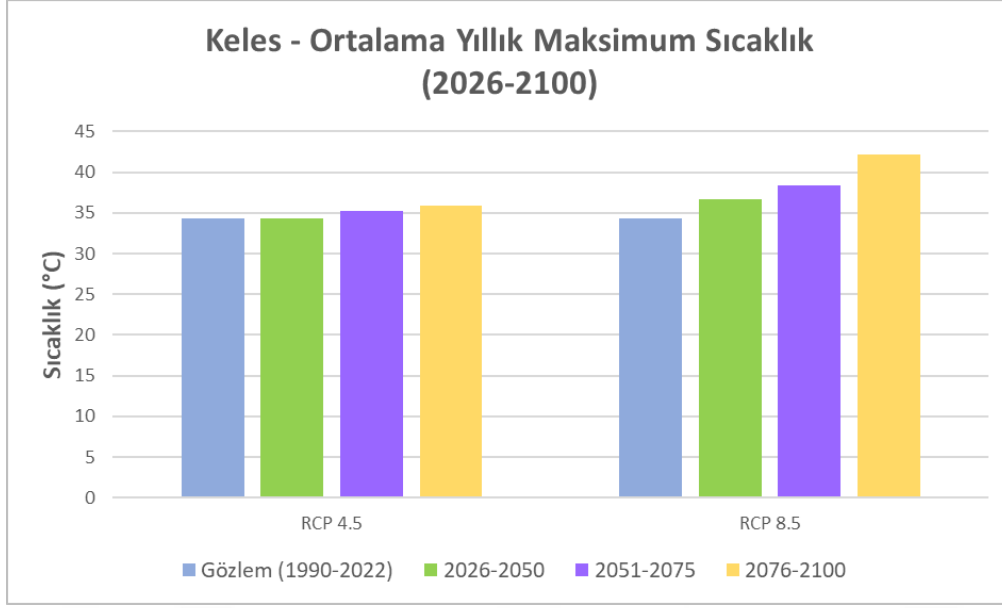
Şekil 4.41. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar minimum sıcaklık grafiği.



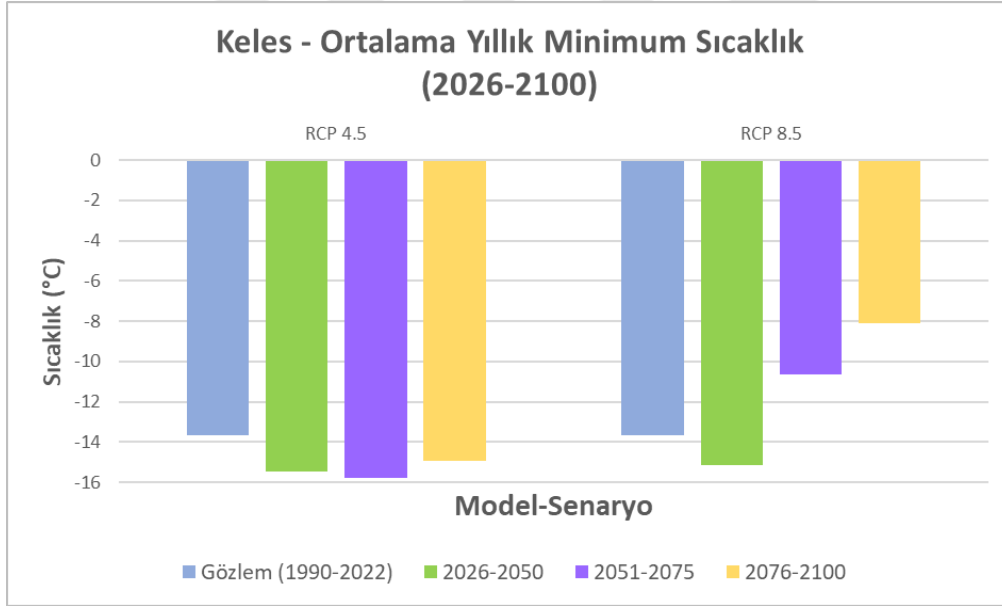
Şekil 4.42. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış minimum sıcaklık grafiği.

Şekil 4.39 incelendiğinde Keles istasyonu için ilkbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre ilkbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.56 °C, 1.40 °C ve 2.11 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre ilkbahar

ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.85 °C, 3.37 °C ve 4.78 °C artması beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ortalama ilkbahar minimum sıcaklık değerlerinde beklenen artış 2026-2050 periyodu hariç her periyot için RCP4.5 senaryosuna göre beklenen artıştan daha fazladır. Şekil 4.40 incelendiğinde Keles istasyonu için yaz ortalama minimum sıcaklık değerlerinin iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre yaz ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 2.50 °C, 3.42 °C ve 3.87 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre yaz ortalama minimum sıcaklık verilerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 2.91 °C, 4.37 °C ve 6.89 °C artması beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ortalama yaz minimum sıcaklık değerlerinde beklenen artış her periyot için RCP4.5 senaryosuna göre beklenen artıştan daha fazladır. Şekil 4.41 incelendiğinde Keles istasyonu için 2026-2050 periyodu hariç sonbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre sonbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.41 °C, 1.99 °C ve 1.99 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre sonbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.30 °C azalması, 2.17 °C ve 3.53 °C artması beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ortalama sonbahar minimum sıcaklık değerlerinde beklenen artış 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için RCP4.5 senaryosuna göre beklenen artıştan daha fazladır. Şekil 4.42 incelendiğinde Keles istasyonu kış ortalama minimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 senaryosuna göre gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.33 °C, 1.23 °C ve 1.80 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre kış ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.94 °C azalması, 3.96 °C artması ve 5.90 °C artması beklenmektedir.



Şekil 4.43. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık maksimum sıcaklık grafiği.



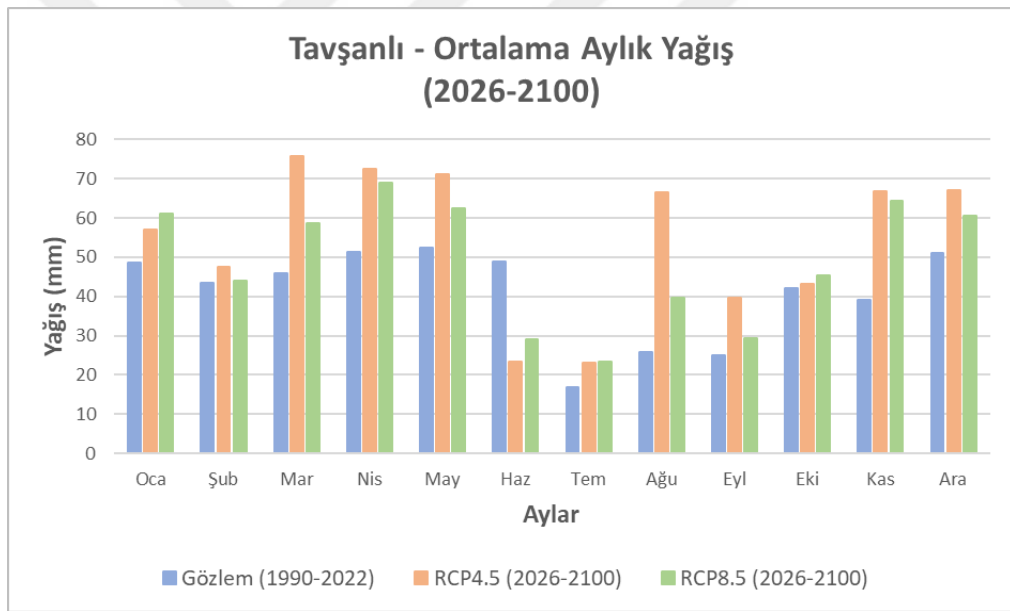
Şekil 4.44. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Keles istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık minimum sıcaklık grafiği.

Şekil 4.43 incelendiğinde Keles istasyonu için ortalama yıllık maksimum sıcaklık değerlerinin iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre ortalama yıllık maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.05 °C, 0.95 °C ve 1.64 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre ortalama yıllık

maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 2.32 °C, 4.12 °C ve 7.84 °C artması beklenmektedir. Şekil 4.44 incelendiğinde Keles istasyonu ortalama yıllık minimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 senaryosuna göre 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.84 °C, 2.16 °C ve 1.29 °C azalması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre ortalama yıllık minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.50 °C azalması, 3.02 °C artması ve 5.55 °C artması beklenmektedir.

4.3.1.3. Tavşanlı istasyonu sonuçları

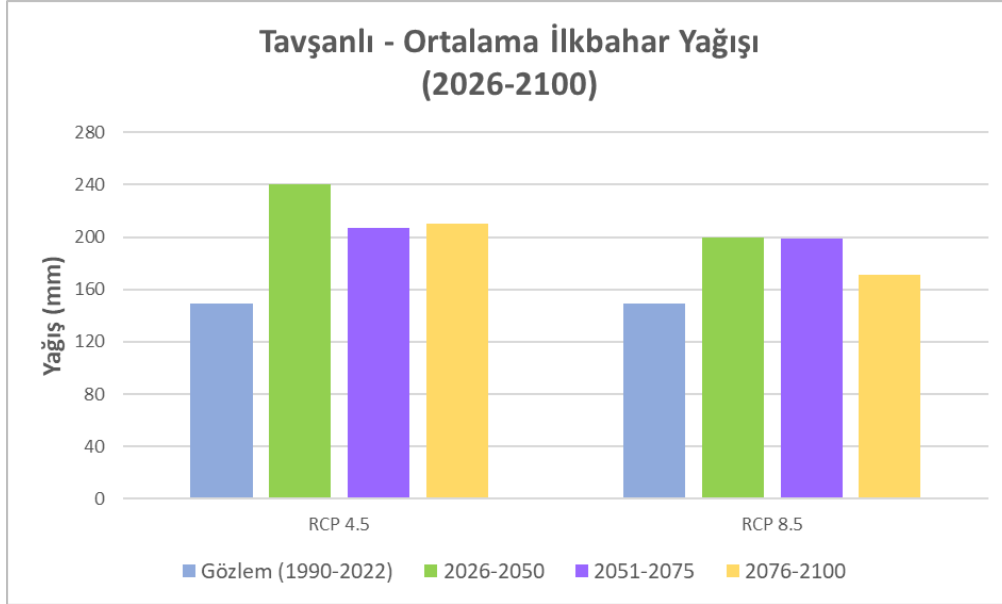
Tavşanlı istasyonu için; 2026-2100 periyodundaki ortalama aylık yağışlar Şekil 4.45'te, mevsimsel ortalama yağışlar Şekil 4.46-Şekil 4.49'da, ortalama yıllık toplam yağışlar Şekil 4.50'de gösterilmektedir.



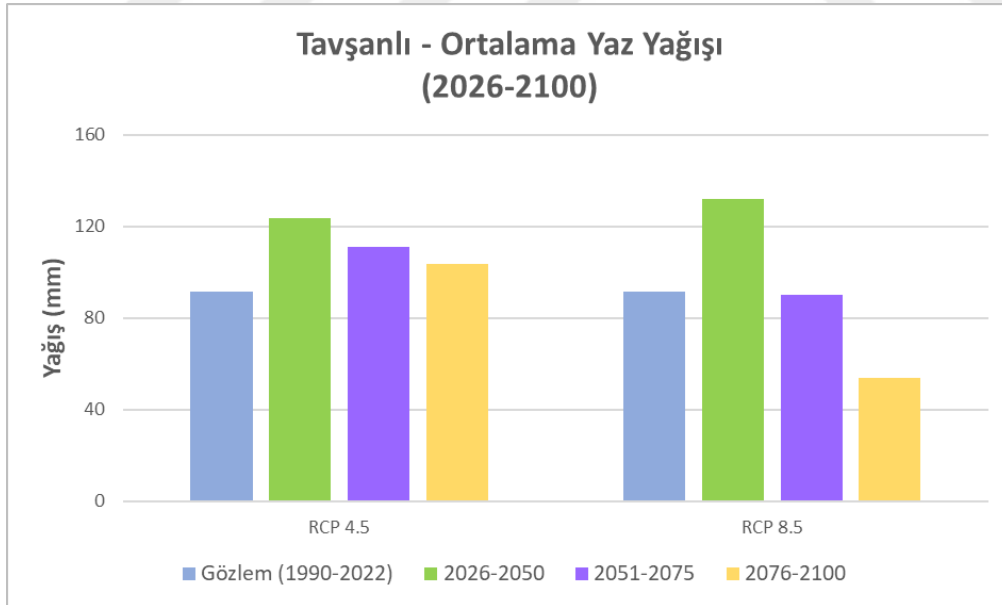
Şekil 4.45. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık toplam yağış grafiği.

Şekil 4.45 incelendiğinde haziran ayı hariç yılın geri kalan tüm aylarında her iki gelecek iklim senaryosuna göre ortalama aylık toplam yağışlarda artış gözlemlenmiştir. Haziran ayı ortalama aylık yağış miktarında ise her iki gelecek iklim senaryosuna göre azalış beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ocak, temmuz ve ekim aylarında yağıştaki artış, diğer aylarda gözlenenenden farklı olarak RCP4.5 senaryosundaki artıştan daha fazla olacaktır. Ayrıca her iki senaryoya göre de yağışlı geçen ayların yağış miktarının artacağı, özellikle mart, nisan, mayıs, kasım ve aralık

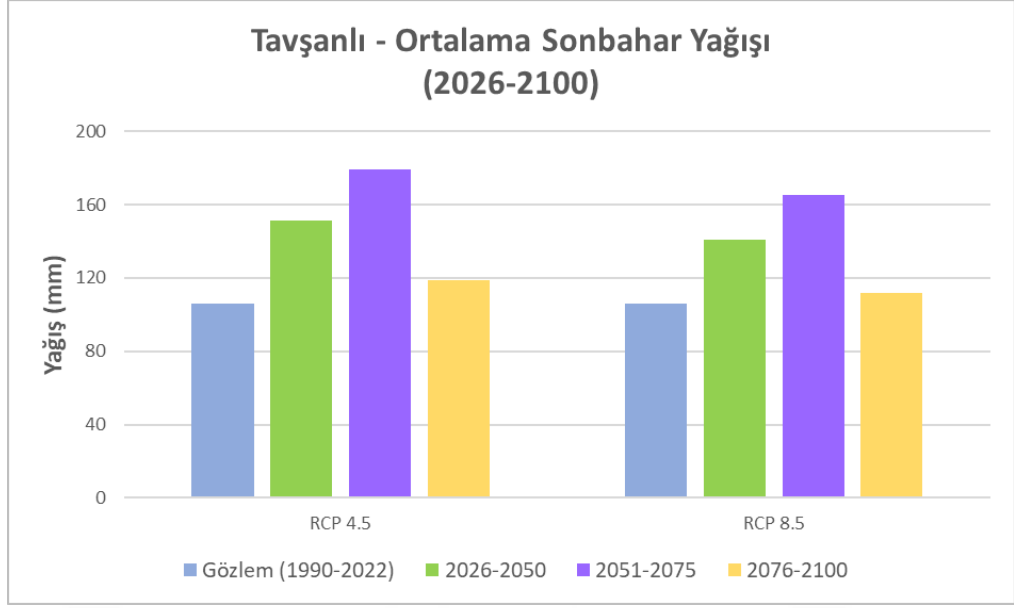
aylarındaki yağış miktarında göreceli olarak daha fazla artış olacağı gözlemlenmiştir. Kurak yaz ayları olan temmuz ve ağustos aylarında dahi her iki senaryoya göre yağışta artış olacağı gözlemlenmiştir.



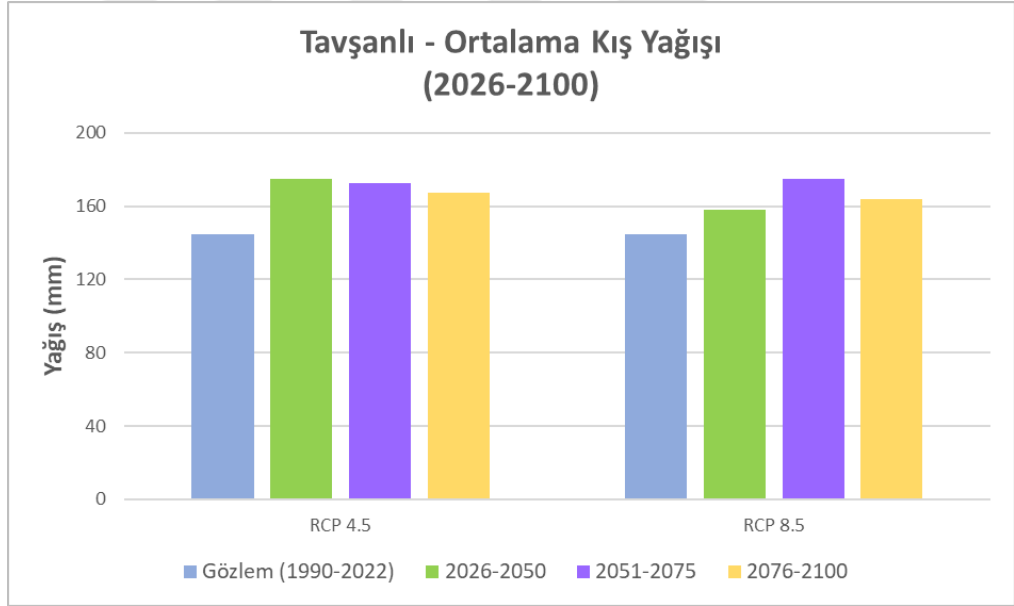
Şekil 4.46. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar yağış grafiği.



Şekil 4.47. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz yağış grafiği.



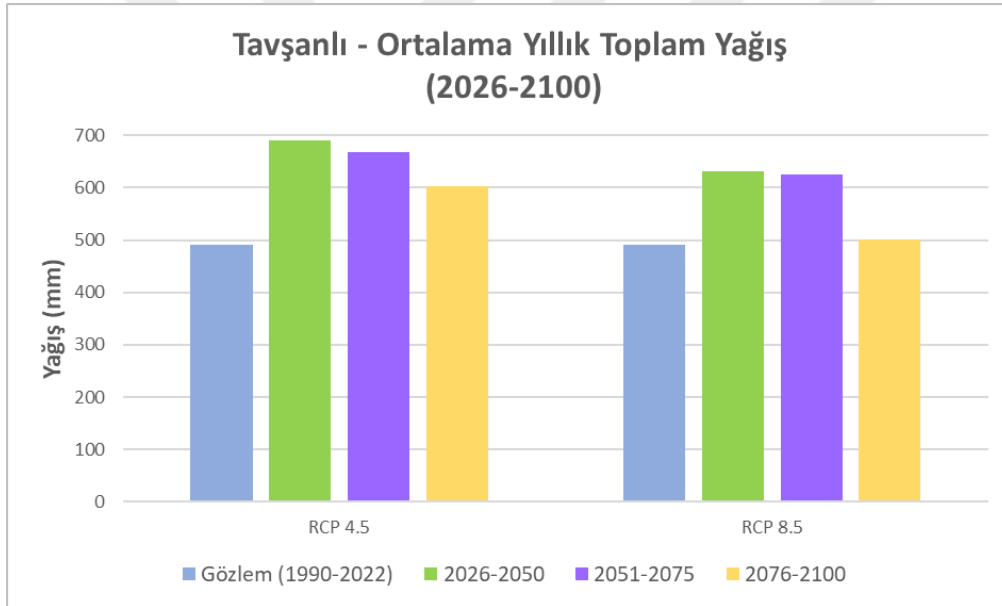
Şekil 4.48. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar yağış grafiği.



Şekil 4.49. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış yağış grafiği.

Mevsimsel yağışlar incelendiğinde, yaz mevsimi dışında kalan mevsim yağışlarında her iki gelecek senaryosuna göre 2026-2100 periyodunda artış gözlemlenmiştir. RCP4.5 senaryosuna göre ilkbahar, yaz ve kış yağışlarında 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en çok artış 2026-2050 periyodunda yani 21. yüzyılın ikinci çeyreğinde gözlenirken sonbahar yağışlarında 2051-2075 periyodunda (üçüncü

çeyrekte) gözlemlenmiştir. RCP4.5 senaryosuna göre 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en az artış ise ilkbahar yağışlarında 2051-2075 periyodunda gözlemlenirken, yaz, sonbahar ve kış yağışlarında 2076-2100 periyodunda gözlemlenmiştir. RCP8.5 senaryosuna göre, 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en çok artış ilkbahar ve yaz yağışlarında 2026-2050 periyodunda gözlenirken, sonbahar ve kış yağışlarında 2051-2075 periyodunda gözlemlenmiştir. RCP8.5 senaryosuna göre 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en az artış ise ilkbahar ve sonbahar yağışlarında 2076-2100 periyodunda gözlemlenirken, kış yağışlarında 2026-2050 periyodunda gözlemlenmiştir. Yaz yağışlarında ise 2051-2075 ve 2076-2100 periyotlarında gözlem periyoduna kıyasla azalış gözlemlenmiştir. Ayrıca neredeyse tüm mevsim yağışlarında RCP8.5 senaryosuna kıyasla RCP4.5 senaryosunda daha fazla artış dikkat çekmektedir.

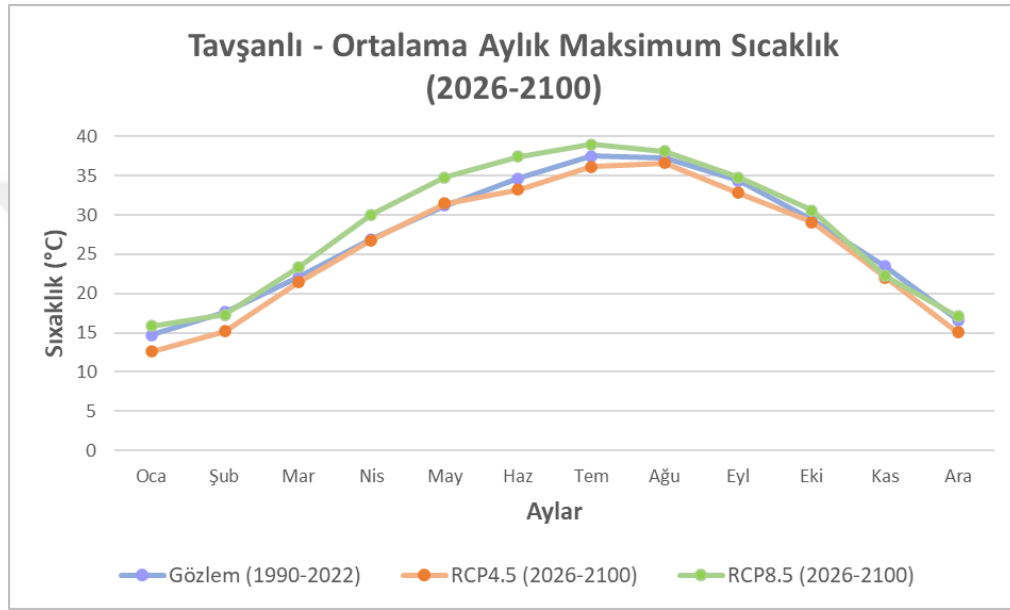


Şekil 4.50. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) yıllık toplam yağış grafiği.

Şekil 4.50 incelendiğinde her iki gelecek iklim senaryosuna göre de yıllık toplam yağışlarda artış olduğu gözlenmekte ve tüm periyotlar için RCP4.5 senaryosundaki artışın RCP8.5 senaryosundaki artıştan daha fazla olduğu dikkat çekmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre, 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla yıllık toplam yağışta en fazla artış yaklaşık 199 mm’lik fark ile 2026-2050 periyodunda gözlemlenirken en az artış ise yaklaşık 113 mm’lik fark ile yüzyılın son çeyreği olan 2076-2100 periyodunda gözlenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre, 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla

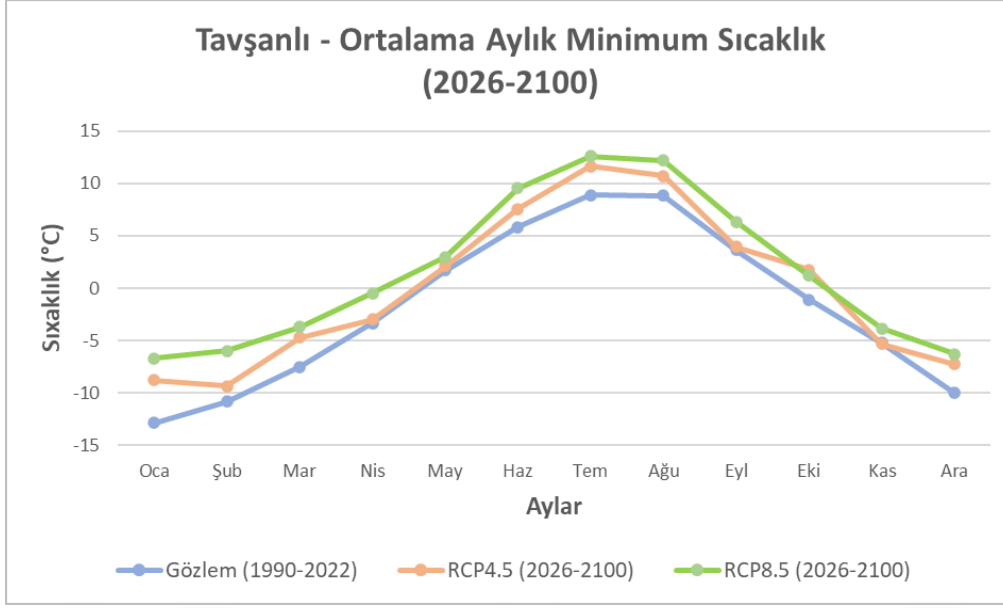
yıllık toplam yağışta en fazla artış yaklaşık 141 mm'lik fark ile 2026-2050 periyodunda gözlemlenirken en az artış ise yaklaşık 12 mm'lik bir fark ile 2076-2100 periyodunda gözlenmektedir.

Tavşanlı istasyonu için; ortalama aylık maksimum ve minimum sıcaklıklar Şekil 4.51-Şekil 4.52'de mevsimsel maksimum ve minimum sıcaklıklar Şekil 4.53-Şekil 4.60'da, ortalama yıllık maksimum ve minimum sıcaklıklar ise Şekil 4.61-Şekil 4.62'de gösterilmektedir.



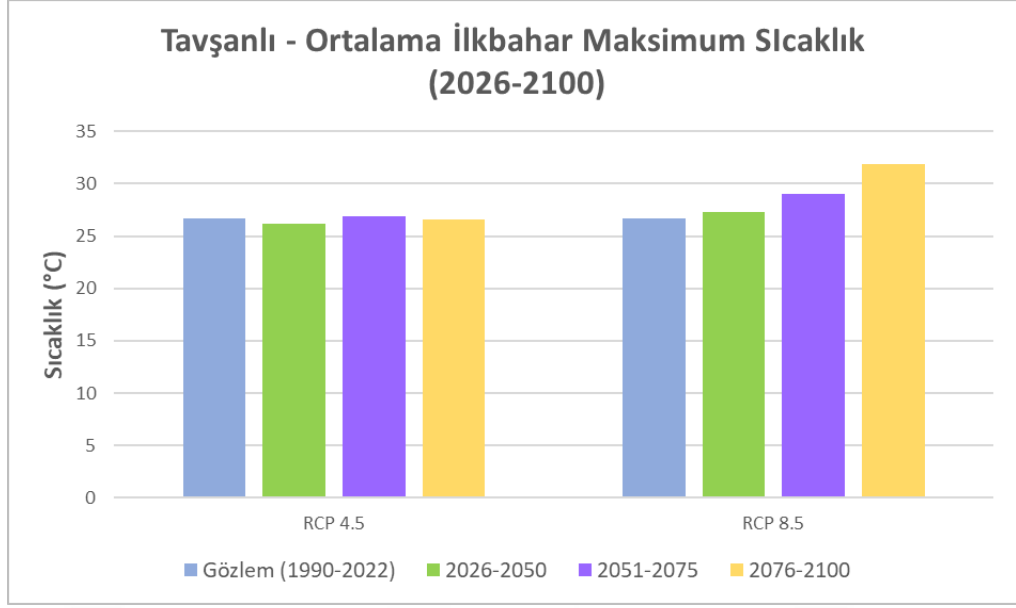
Şekil 4.51. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (226-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık maksimum sıcaklık grafiği.

Şekil 4.51 incelendiğinde Tavşanlı istasyonu için RCP4.5 senaryosuna göre mayıs ayı dışında yılın geriye kalan tüm ayların ortalama aylık maksimum sıcaklık değerlerinde ortalama 1.24 °C azalış gözlemlenirken RCP8.5 senaryosuna göre şubat ve kasım ayları hariç tüm ayların ortalama aylık maksimum sıcaklık değerlerinde ortalama 1.63 °C artış gözlemlenmiştir. RCP4.5 senaryosuna göre 2026-2100 periyodunda mayıs ayı ortalama aylık maksimum sıcaklık değerinin 0.33 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre 2026-2100 periyodunda şubat ve kasım aylarının ortalama aylık maksimum sıcaklık değerlerinin sırasıyla 0.38 °C ve 1.19 °C azalması beklenmektedir.

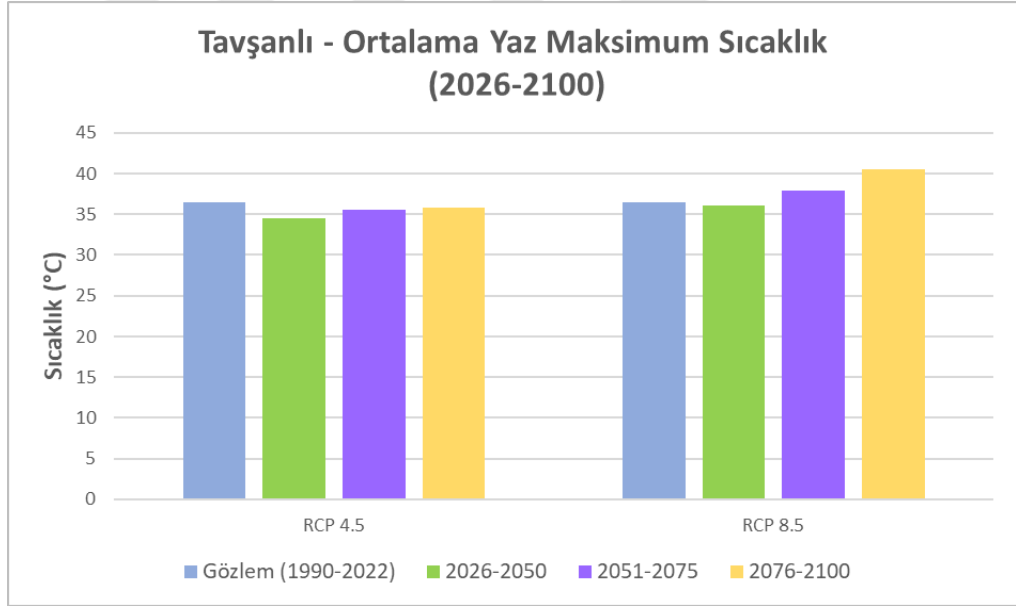


Şekil 4.52. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (226-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık minimum sıcaklık grafiği.

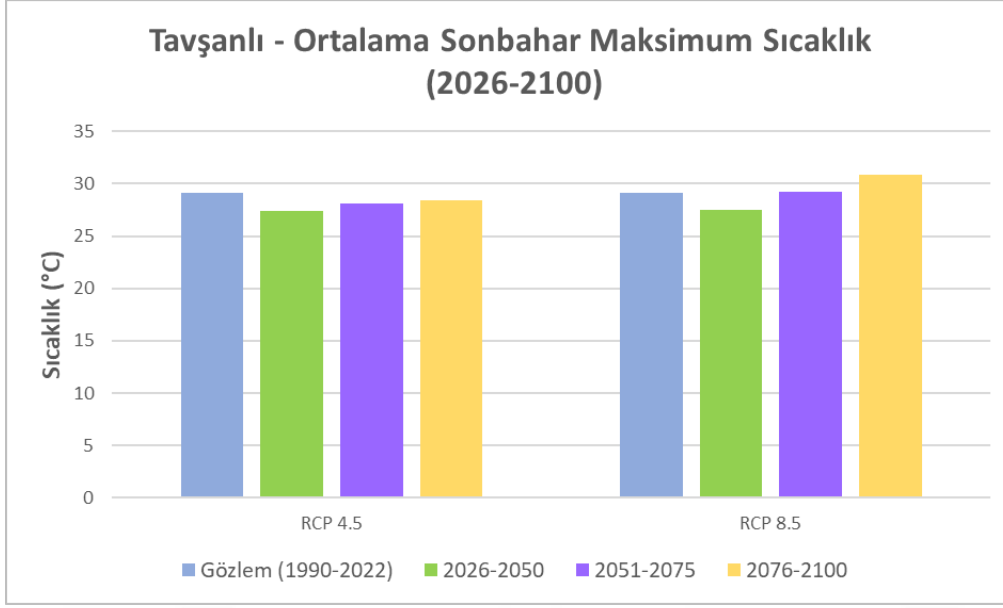
Şekil 4.52 incelendiğinde Tavşanlı istasyonu için RCP4.5 senaryosuna göre ortalama aylık minimum sıcaklık değerlerinde kasım ayı dışında geriye kalan tüm ayların ortalama aylık minimum sıcaklık değerlerinde ortalama 1.94 °C artış gözlemlenirken RCP8.5 senaryosuna göre yılın tüm aylarının ortalama aylık minimum sıcaklık değerlerinde ortalama 3.31 °C artış gözlemlenmiştir. Ayrıca RCP4.5 senaryosuna göre öngörülen ekim ayındaki sıcaklık artışı RCP8.5 senaryosuna göre öngörülen sıcaklık artışından daha fazlayken bu ay dışında kalan aylar için RCP8.5 senaryosuna göre öngörülen sıcaklık artışı RCP4.5 senaryosuna göre öngörülen sıcaklık artışından daha fazladır.



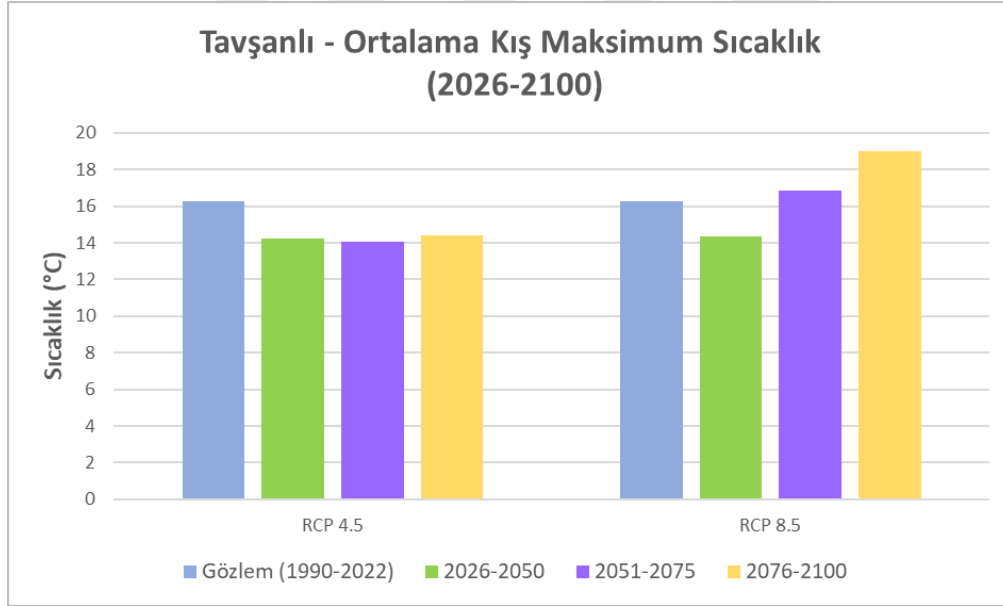
Şekil 4.53. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar maksimum sıcaklık grafiği.



Şekil 4.54. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz maksimum sıcaklık grafiği.



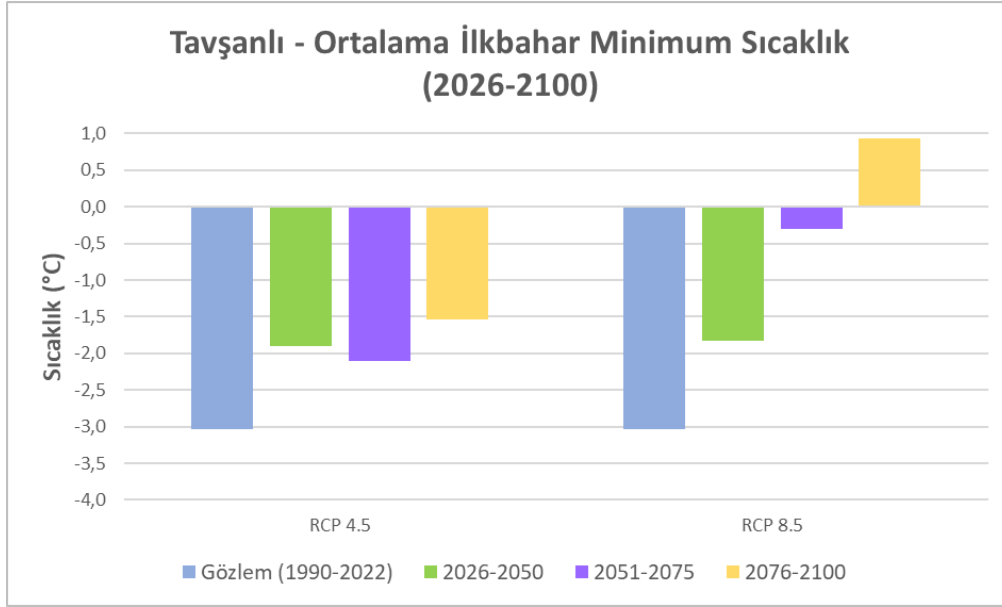
Şekil 4.55. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar maksimum sıcaklık grafiği.



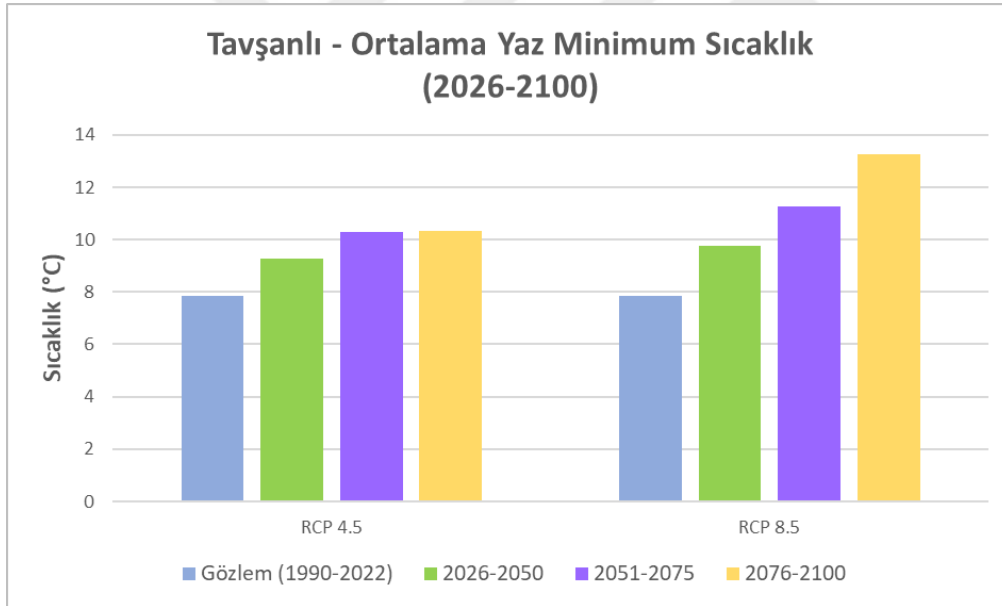
Şekil 4.56. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış maksimum sıcaklık grafiği.

Şekil 4.53 incelendiğinde Tavşanlı istasyonu için ilkbahar ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 gelecek iklim senaryosuna göre azalacağı gözlemlenmekteyken, RCP8.5 gelecek iklim senaryosuna göre artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre ilkbahar ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100

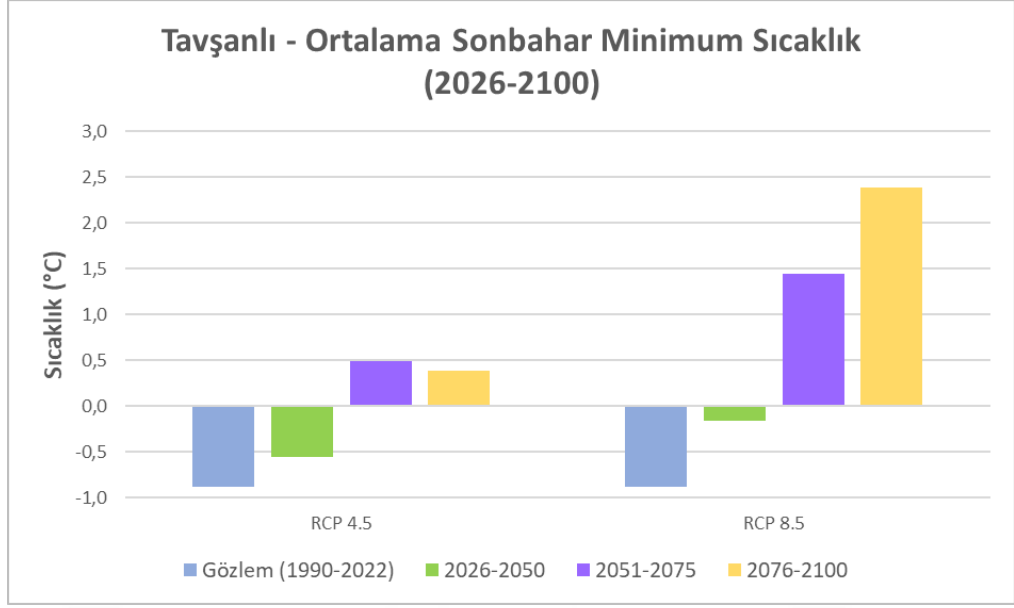
periyotları için sırasıyla 0.56 °C azalması, 0.22 °C artması ve 0.11 °C azalması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre ilkbahar ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.57°C, 2.27 °C ve 5.16 °C artması beklenmektedir. Şekil 4.54 incelendiğinde Tavşanlı istasyonu için yaz ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 gelecek iklim senaryosuna göre azalacağı gözlemlenmekteyken, RCP8.5 gelecek iklim senaryosuna göre artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre yaz ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.93 °C, 0.85 °C ve 0.61 °C azalması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre yaz ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.32 °C azalması, 1.40 °C artması ve 4.07 °C artması beklenmektedir. Şekil 4.55 incelendiğinde Tavşanlı istasyonu ortalama sonbahar maksimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 senaryosuna göre gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.68 °C, 0.98 °C ve 0.63 °C azalması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre sonbahar ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.62 °C azalması, 0.14 °C artması ve 1.81 °C artması beklenmektedir. Şekil 4.56 incelendiğinde Tavşanlı istasyonu ortalama kış maksimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 senaryosuna göre gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 2.05 °C, 2.19 °C ve 1.87 °C azalması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre kış ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.93 °C azalması, 0.55 °C artması ve 2.73 °C artması beklenmektedir.



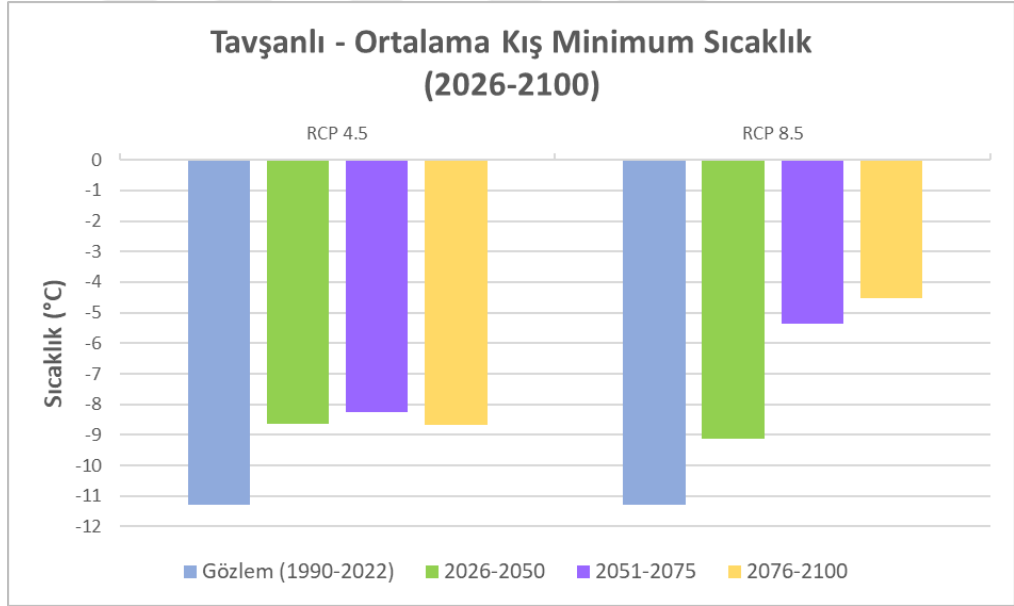
Şekil 4.57. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar minimum sıcaklık grafiği.



Şekil 4.58. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz minimum sıcaklık grafiği.



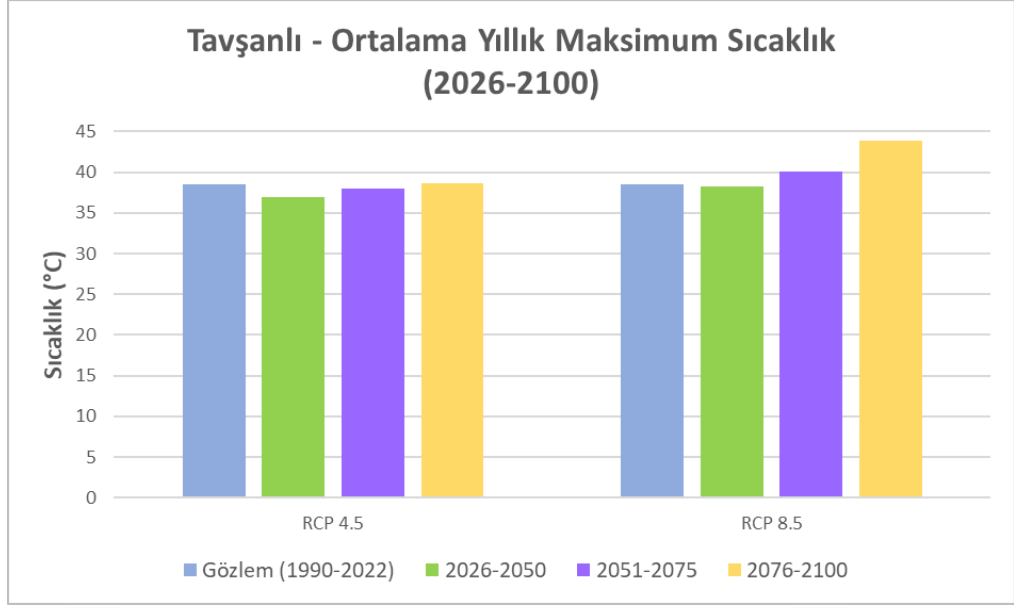
Şekil 4.59. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar minimum sıcaklık grafiği.



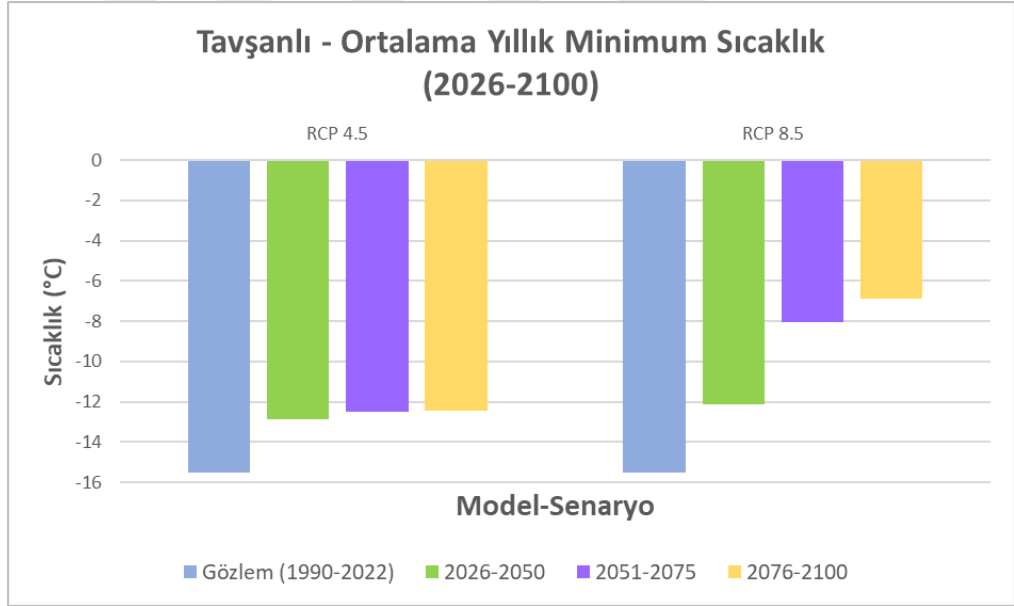
Şekil 4.60. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış minimum sıcaklık grafiği.

Şekil 4.57 incelendiğinde Tavşanlı istasyonu için ilkbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre ilkbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.14 °C, 0.94 °C ve 1.50 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre ilkbahar

ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.22 °C, 2.74 °C ve 3.98 °C artması beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ortalama ilkbahar minimum sıcaklık değerlerinde beklenen artış her periyot için RCP4.5 senaryosuna göre beklenen artıştan daha fazladır. Şekil 4.58 incelendiğinde Tavşanlı istasyonu için yaz ortalama minimum sıcaklık değerlerinin iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre yaz ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.44 °C, 2.44 °C ve 2.48 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre yaz ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.93 °C, 3.41 °C ve 5.44 °C artması beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ortalama yaz minimum sıcaklık değerlerinde beklenen artış her periyot için RCP4.5 senaryosuna göre beklenen artıştan daha fazladır. Şekil 4.59 incelendiğinde Tavşanlı istasyonu için sonbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre sonbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.33 °C, 1.38 °C ve 1.27 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre sonbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.72 °C, 2.33 °C ve 3.27 °C artması beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ortalama sonbahar minimum sıcaklık değerlerinde beklenen artış tüm periyotlar için RCP4.5 senaryosuna göre beklenen artıştan daha fazladır. Şekil 4.60 incelendiğinde Tavşanlı istasyonu kış ortalama minimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 senaryosuna göre gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 2.63 °C, 3.04 °C ve 2.62 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre kış ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 2.17 °C, 5.94 °C ve 6.78 °C artması beklenmektedir.



Şekil 4.61. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık maksimum sıcaklık grafiği.



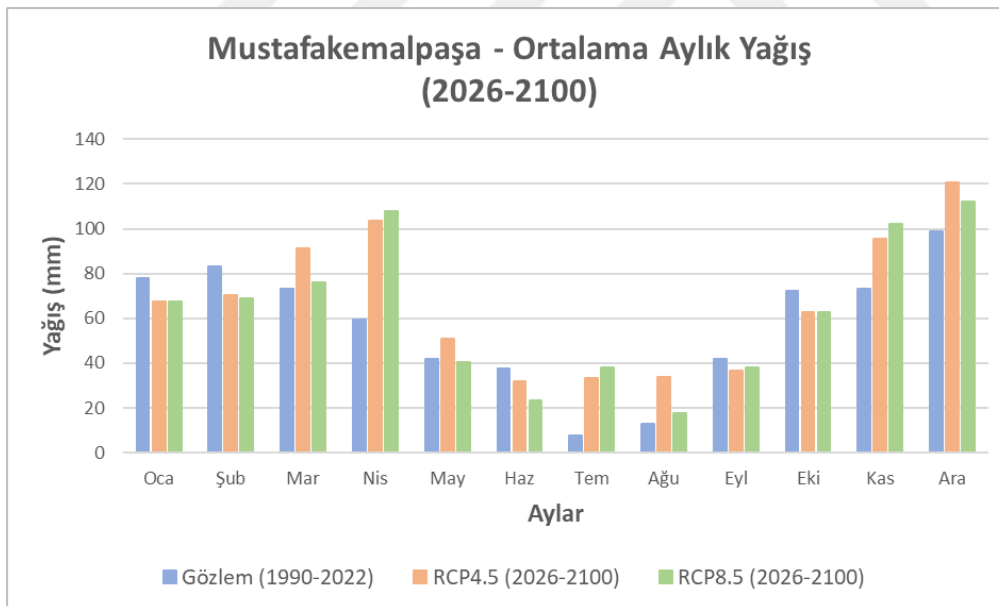
Şekil 4.62. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Tavşanlı istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık minimum sıcaklık grafiği.

Şekil 4.61 incelendiğinde Tavşanlı istasyonu için ortalama yıllık maksimum sıcaklık değerlerinin 2026-2050 periyodunda iki gelecek iklim senaryosuna göre de azalacağı, 2051-2075 periyodunda RCP4.5 gelecek iklim senaryosuna göre azalırken RCP8.5 gelecek iklim senaryosuna göre artacağı ve 2076-2100 periyodunda ise iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre

ortalama yıllık maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.62 °C azalması, 0.52 °C azalması ve 0.07 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre ortalama yıllık maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.25 °C azalması, 1.61 °C ve 5.33 °C artması beklenmektedir. Şekil 4.62 incelendiğinde Tavşanlı istasyonu ortalama yıllık minimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 senaryosuna göre 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 2.67 °C, 3.01 °C ve 3.08 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre ortalama yıllık minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 3.38 °C, 7.50 °C ve 8.65 °C artması beklenmektedir.

4.3.1.4. Mustafakemalpaşa istasyonu sonuçları

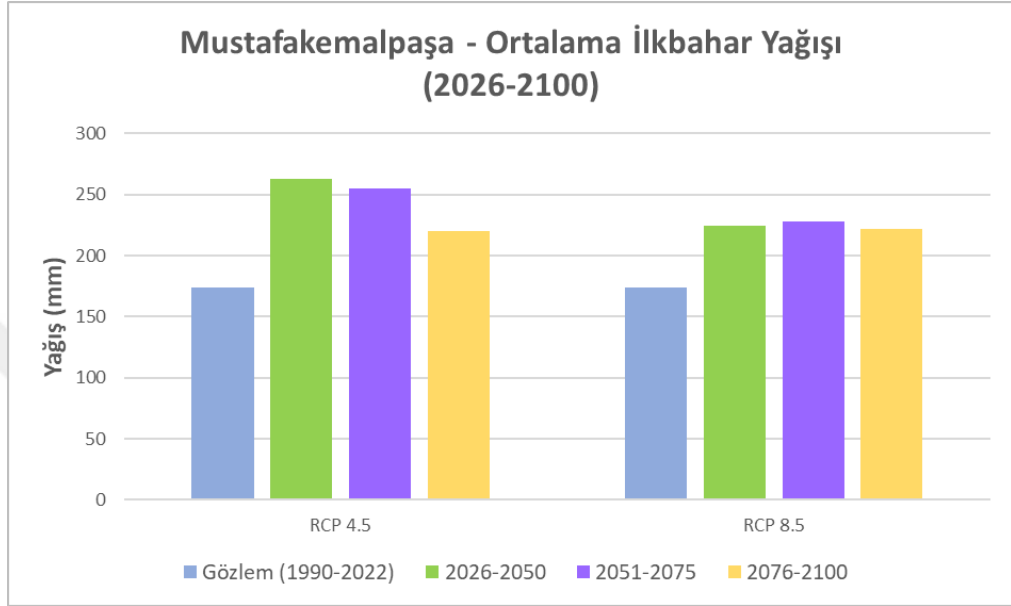
Mustafakemalpaşa istasyonu için; 2026-2100 periyodundaki ortalama aylık yağışlar Şekil 4.63'te, mevsimsel ortalama yağışlar Şekil 4.64-Şekil 4.67'de, ortalama yıllık toplam yağışlar Şekil 4.68'de gösterilmektedir.



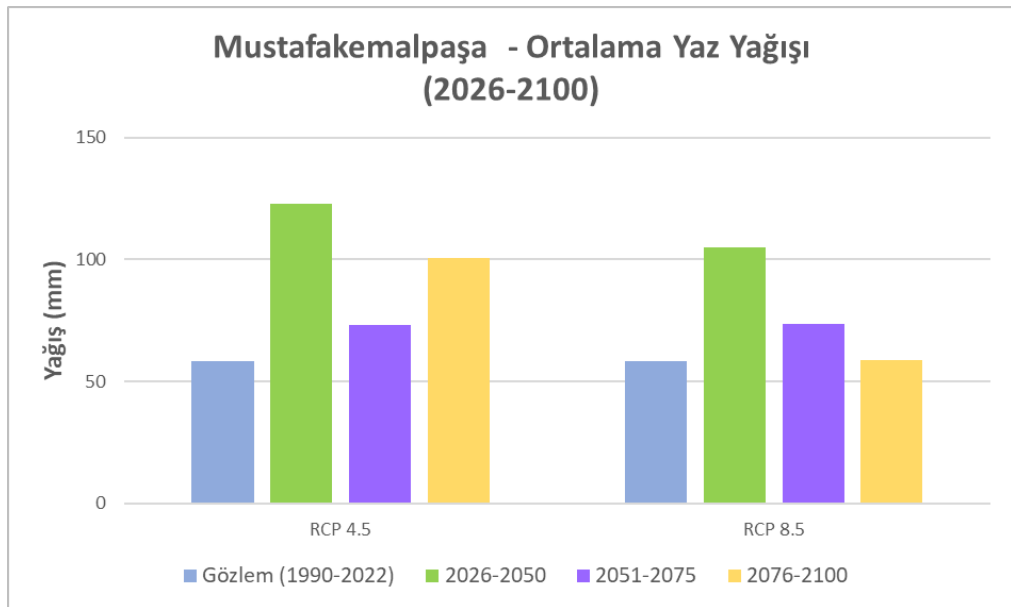
Şekil 4.63. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık toplam yağış grafiği.

Şekil 4.63 incelendiğinde mart, nisan, temmuz, ağustos, kasım ve aralık aylarında her iki gelecek iklim senaryosuna göre ortalama aylık toplam yağışlarda artış gözlemlenmiştir. Ocak, şubat, haziran, eylül ve ekim ayları ortalama aylık yağış

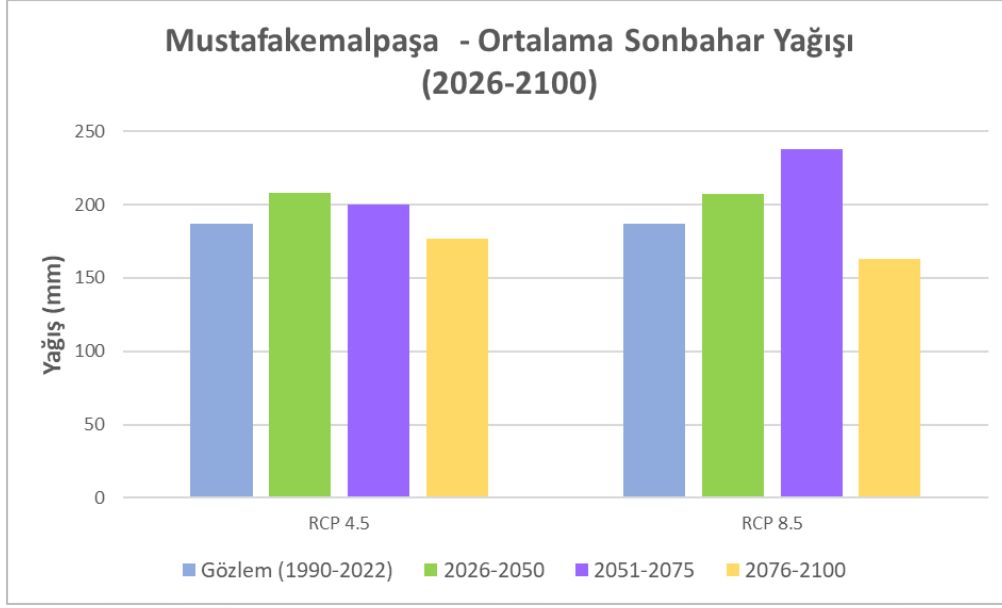
miktarlarında ise her iki gelecek iklim senaryosuna göre azalış beklenmektedir. Mayıs ayı ortalama aylık yağış miktarında RCP4.5 gelecek iklim senaryosuna göre artış beklenirken RCP8.5 gelecek iklim senaryosuna göre azalış beklenmektedir. Kurak yaz ayları olan temmuz ve ağustos aylarında her iki senaryoya göre yağışta artış olacağı gözlemlenmiştir.



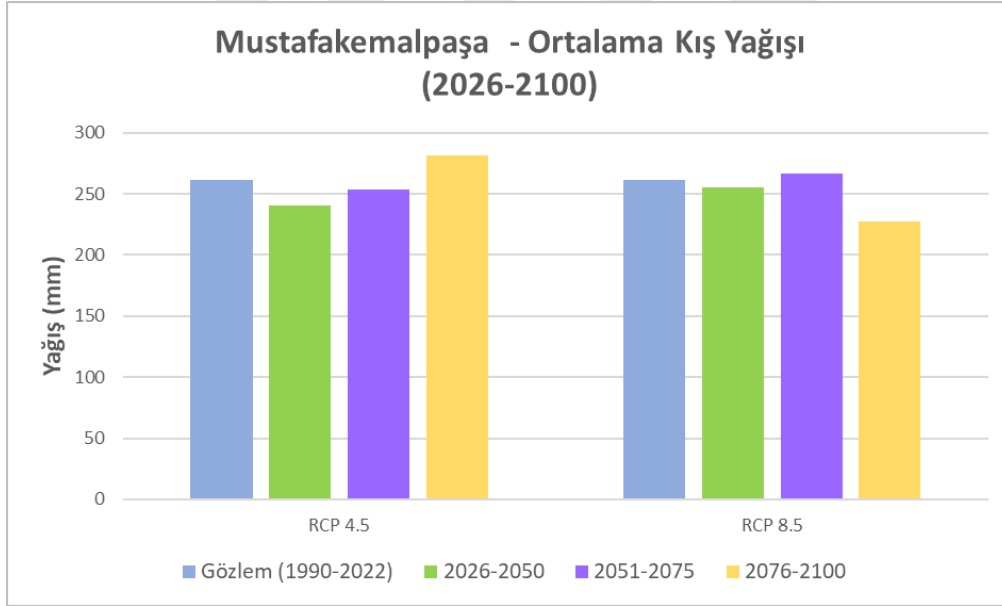
Şekil 4.64. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar yağış grafiği.



Şekil 4.65. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz yağış grafiği.



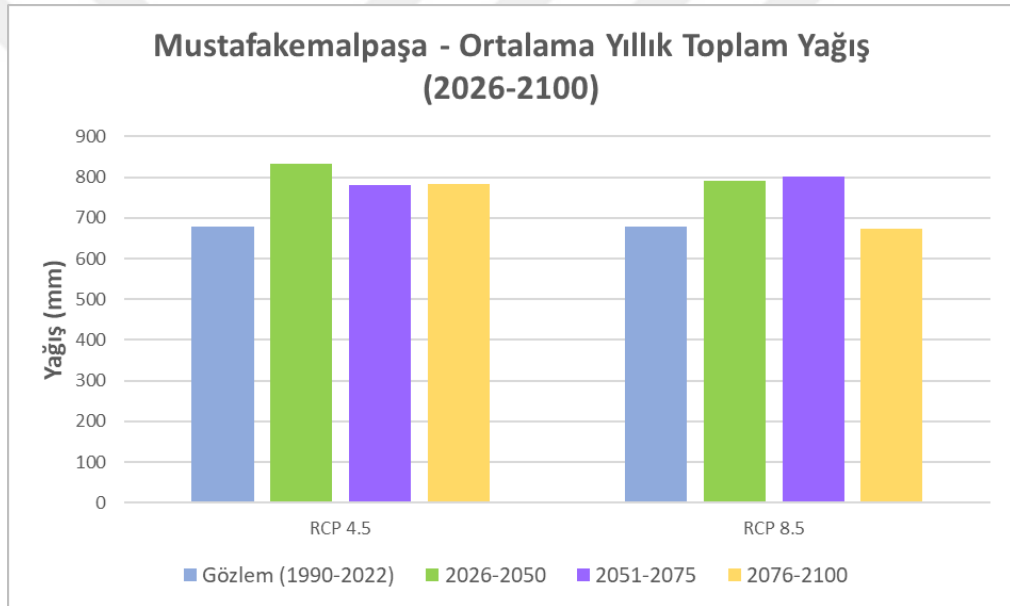
Şekil 4.66. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar yağış grafiği.



Şekil 4.67. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış yağış grafiği.

Mevsimsel yağışlar incelendiğinde, RCP4.5 senaryosuna göre ilkbahar, yaz ve sonbahar yağışlarında 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en çok artış 2026-2050 periyodunda yani 21. yüzyılın ikinci çeyreğinde gözlenirken kış yağışlarında 2076-2100 periyodunda (son çeyrekte) gözlemlenmiştir. RCP4.5 senaryosuna göre 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en az artış ise ilkbahar yağışlarında 2076-2100

periyodunda gözlemlenirken, yaz ve sonbahar yağışlarında 2051-2075 periyodunda gözlemlenmiştir. Ayrıca bu gelecek iklim senaryosuna göre 2026-2050 periyodunda kış yağışlarının, 2076-2100 periyodunda ise sonbahar ve kış yağışlarının azaldığı gözlemlenmiştir. RCP8.5 senaryosuna göre, 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en çok artış ilkbahar, sonbahar ve kış yağışlarında 2051-2075 periyodunda gözlenirken, yaz yağışlarında 2026-2050 periyodunda gözlemlenmiştir. RCP8.5 senaryosuna göre 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en az artış ise ilkbahar ve yaz yağışlarında 2076-2100 periyodunda gözlemlenirken, sonbahar yağışlarında 2026-2050 periyodunda gözlemlenmiştir. Sonbahar yağışlarında 2076-2100 periyodunda gözlem periyoduna kıyasla azalış gözlenirken, kış yağışlarında 2026-2050 ve 2076-2100 periyotlarında gözlem periyoduna kıyasla azalış gözlemlenmiştir.

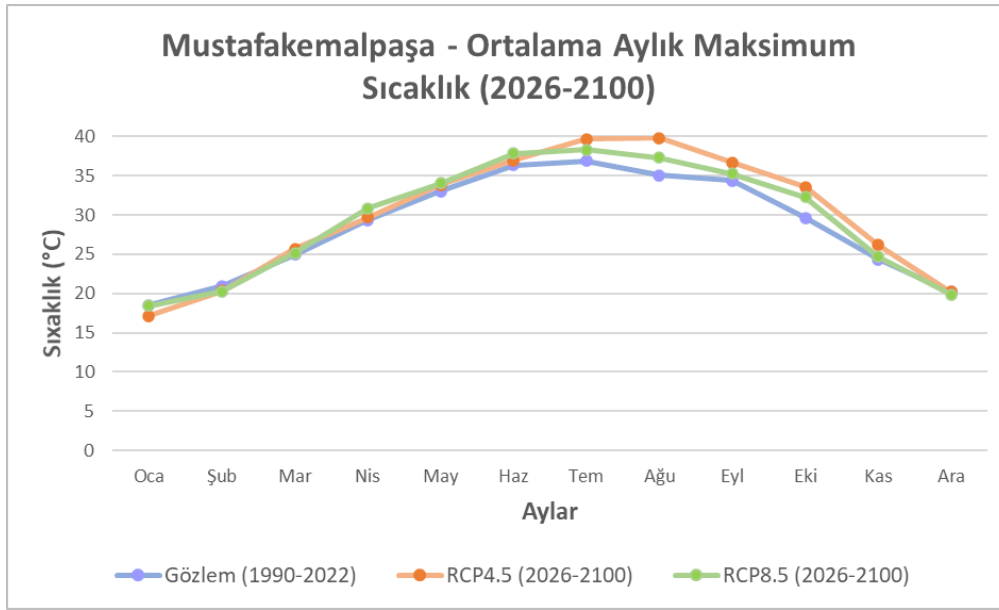


Şekil 4.68. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) yıllık toplam yağış grafiği.

Şekil 4.68 incelendiğinde her iki gelecek iklim senaryosuna göre de 2026-2050 ve 2051-2075 periyotları yıllık toplam yağışlarında artış olduğu gözlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre, 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla yıllık toplam yağışta en fazla artış yaklaşık 153 mm'lik fark ile 2026-2050 periyodunda gözlemlenirken en az artış ise yaklaşık 100 mm'lik fark ile yüzyılın üçüncü çeyreği olan 2051-2075 periyodunda gözlenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre, 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla yıllık toplam yağışta en fazla artış yaklaşık 121 mm'lik fark ile 2051-2075 periyodunda gözlemlenirken en az artış ise yaklaşık 112 mm'lik fark ile 2026-2050

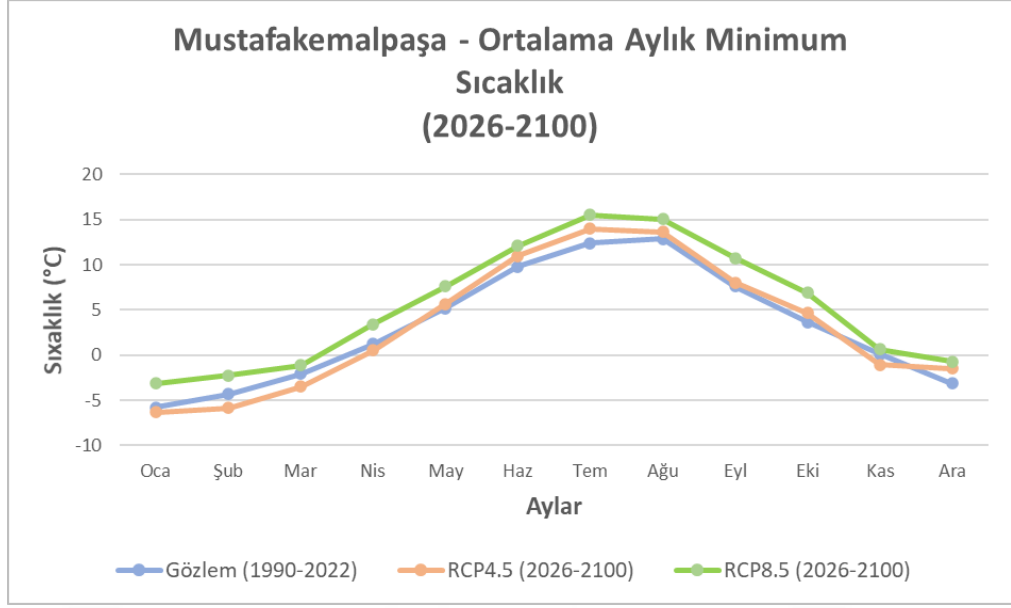
periyodunda gözlenmektedir. Ayrıca yine bu senaryoya göre 2076-2100 periyodunda 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla yıllık toplam yağışta 6.94 mm’lik bir azalma beklenmektedir.

Mustafakemalpaşa istasyonu için; ortalama aylık maksimum ve minimum sıcaklıklar Şekil 4.69-Şekil 4.70’te, mevsimsel maksimum ve minimum sıcaklıklar Şekil 4.71-Şekil 4.78’de, ortalama yıllık maksimum ve minimum sıcaklıklar ise Şekil 4.79-Şekil 4.80’de gösterilmektedir.



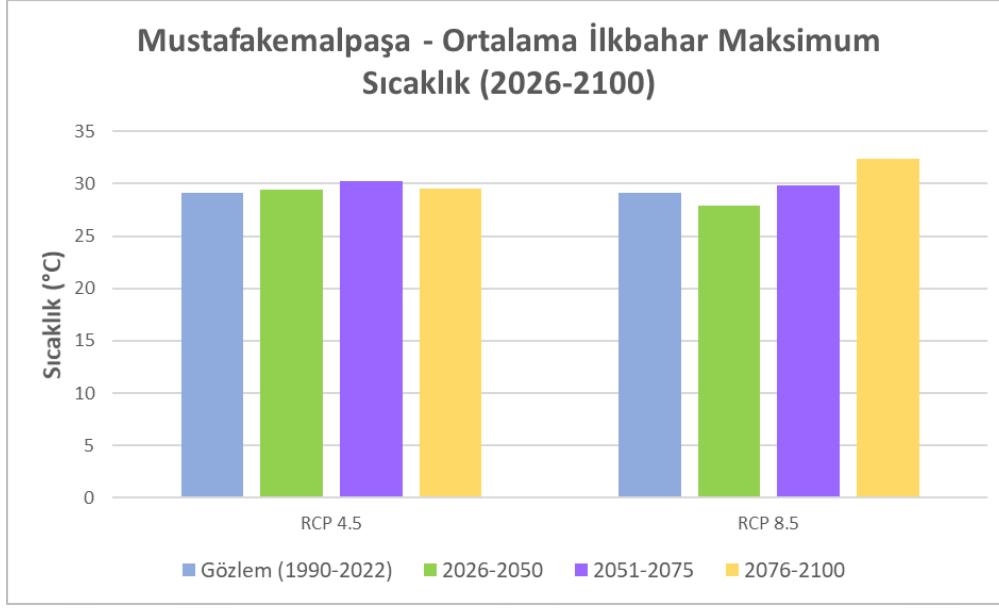
Şekil 4.69. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (226-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık maksimum sıcaklık grafiği.

Şekil 4.69 incelendiğinde Mustafakemalpaşa istasyonu için, RCP4.5 senaryosuna göre ocak şubat ve aralık ayları dışında yılın geriye kalan tüm aylarının ortalama aylık maksimum sıcaklık değerlerinde ortalama 2.02 °C artış gözlemlenirken RCP8.5 senaryosuna göre ocak, şubat ve aralık hariç tüm ayların ortalama aylık maksimum sıcaklık değerlerinde ortalama 1.31 °C artış gözlemlenmiştir. RCP4.5 senaryosuna göre 2026-2100 periyodunda ocak ve şubat ayları ortalama aylık maksimum sıcaklıklarının sırasıyla 1.33 °C ve 0.63 °C azalması beklenirken aralık ayı ortalama aylık maksimum sıcaklık değerinde herhangi bir değişme beklenmemektedir. RCP8.5 senaryosuna göre 2026-2100 periyodunda ocak, şubat ve aralık aylarının ortalama aylık maksimum sıcaklık değerlerinin sırasıyla 0.03 °C, 0.71 °C ve 0.38 °C azalması beklenmektedir.

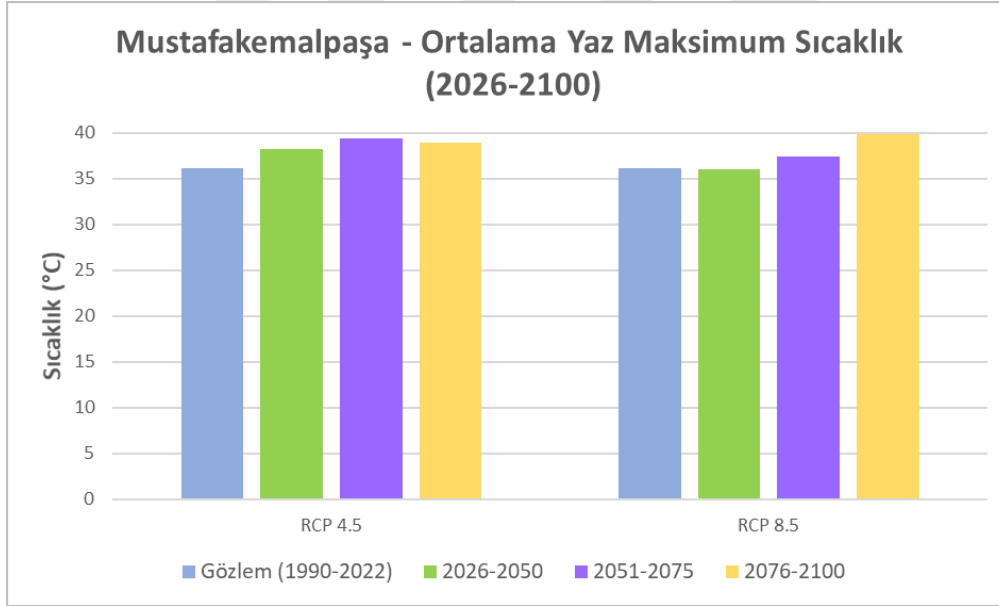


Şekil 4.70. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (226-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık minimum sıcaklık grafiği.

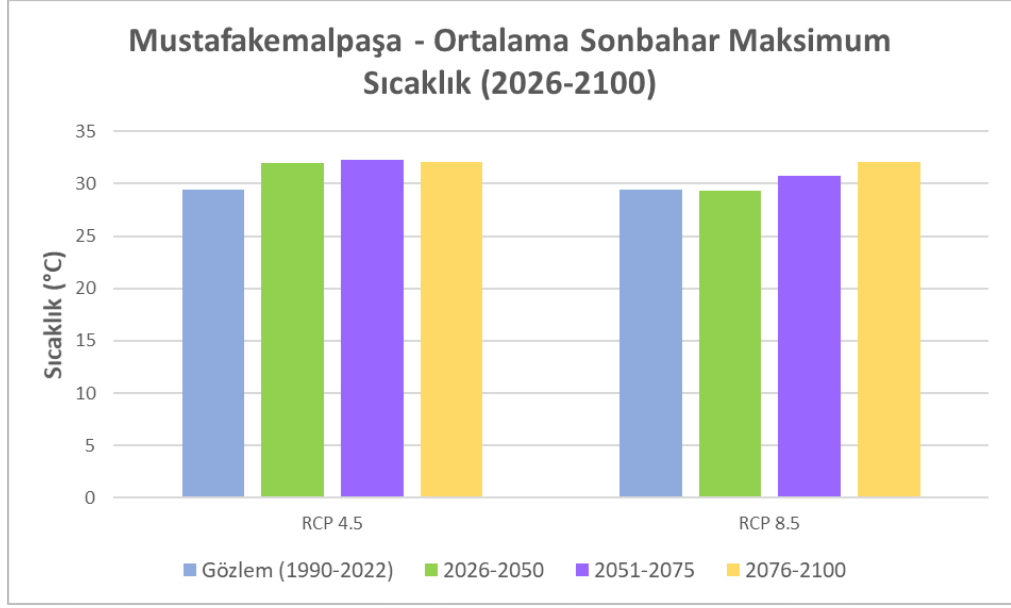
Şekil 4.70 incelendiğinde Mustafakemalpaşa istasyonu için RCP4.5 senaryosuna göre ortalama aylık minimum sıcaklık değerlerinde ocak, şubat, mart, nisan ve kasım ayları dışında geriye kalan tüm ayların ortalama aylık minimum sıcaklık değerlerinde ortalama 1.00 °C artış gözlemlenirken RCP8.5 senaryosuna göre yılın tüm aylarının ortalama aylık minimum sıcaklık değerlerinde ortalama 2.26 °C artış gözlemlenmiştir. Ayrıca mayıs, haziran, temmuz, ağustos, eylül, ekim ve aralık ayları için RCP8.5 senaryosuna göre öngörülen sıcaklık artışı RCP4.5 senaryosuna göre öngörülen sıcaklık artışından daha fazladır.



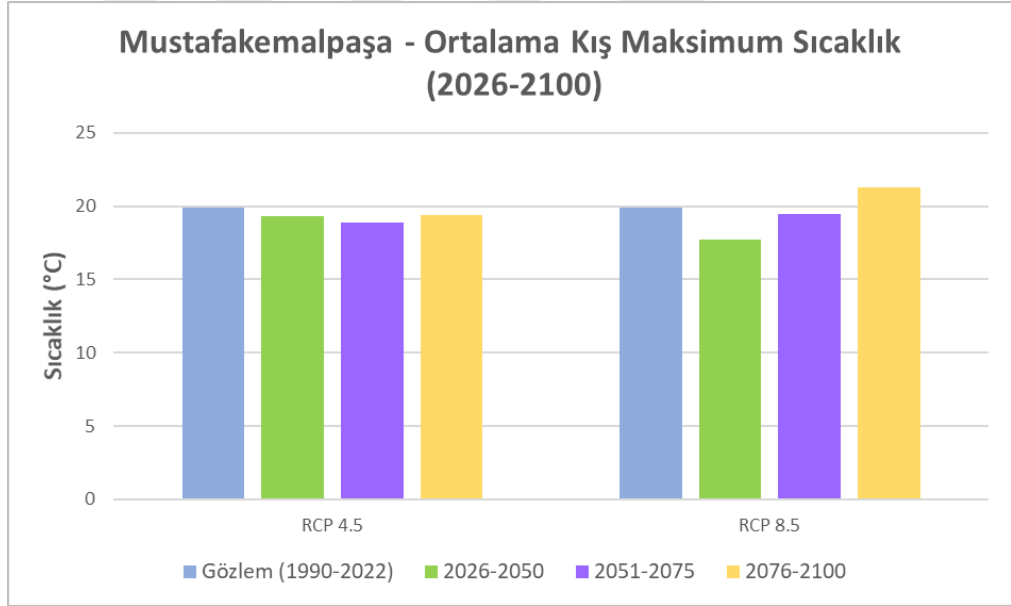
Şekil 4.71. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar maksimum sıcaklık grafiği.



Şekil 4.72. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz maksimum sıcaklık grafiği.



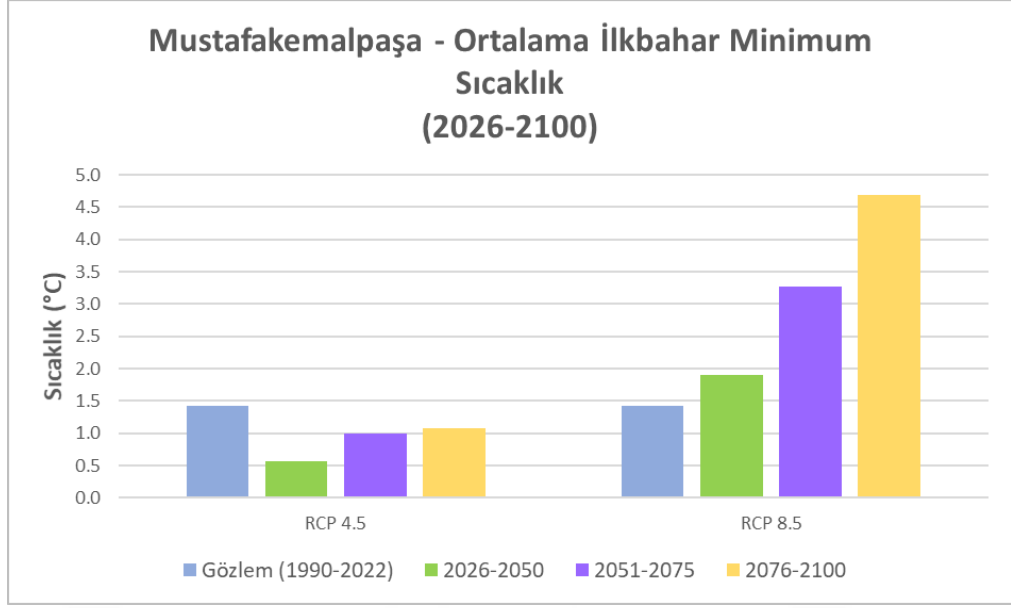
Şekil 4.73. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar maksimum sıcaklık grafiği.



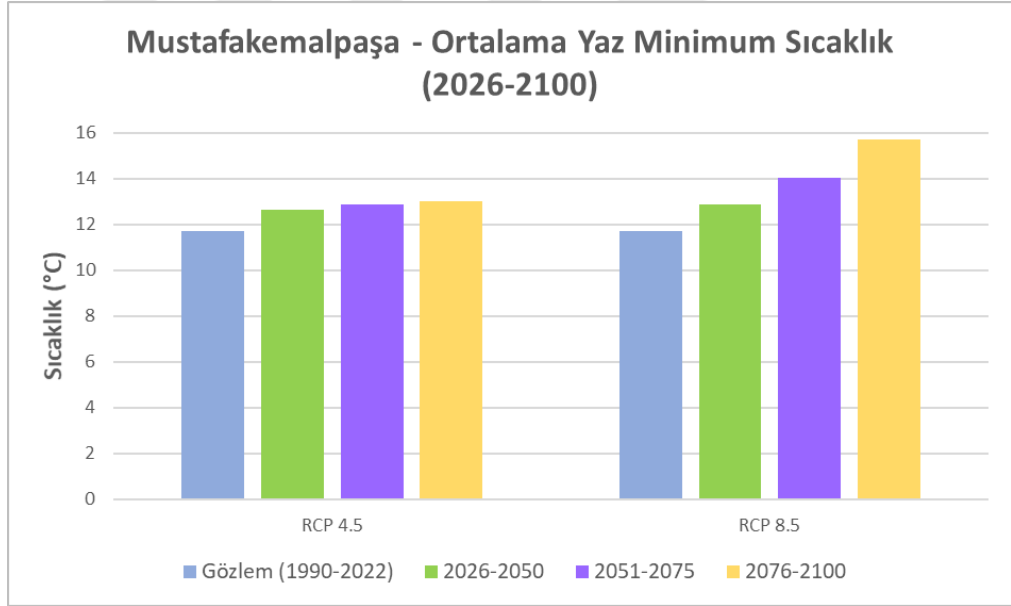
Şekil 4.74. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış maksimum sıcaklık grafiği.

Şekil 4.71 incelendiğinde Mustafakemalpaşa istasyonu için, RCP4.5 senaryosuna göre ilkbahar ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.37 °C, 1.15 °C ve 0.48 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre ilkbahar ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100

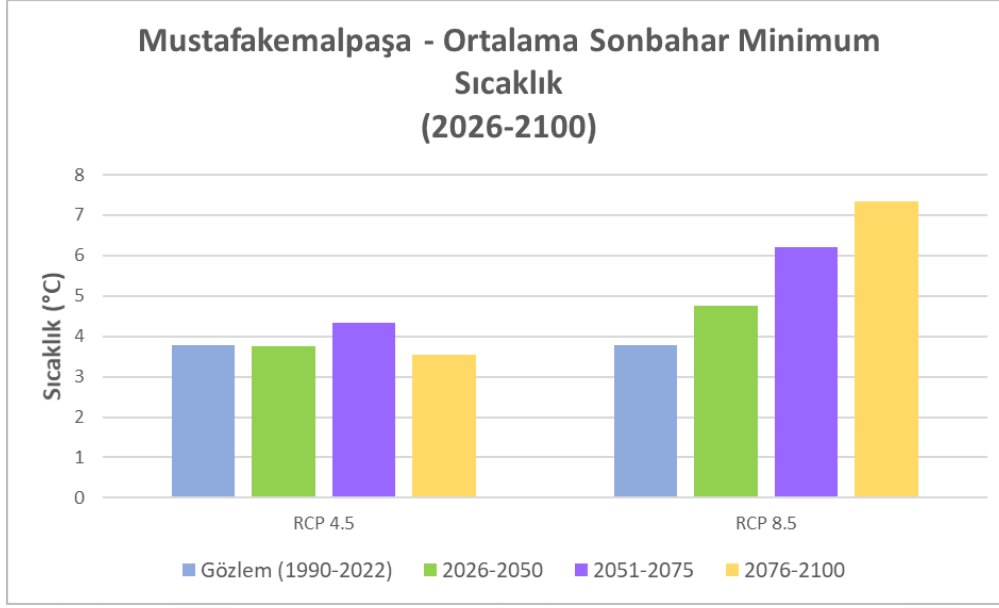
periyotları için sırasıyla 1.16 °C azalması, 0.71 °C artması ve 3.28 °C artması beklenmektedir. Şekil 4.72 incelendiğinde Mustafakemalpaşa istasyonu için, RCP4.5 senaryosuna göre yaz ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 2.10 °C, 3.25 °C ve 2.78 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre yaz ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.01 °C azalması, 1.37 °C artması ve 3.75 °C artması beklenmektedir. Şekil 4.73 incelendiğinde Mustafakemalpaşa istasyonu ortalama sonbahar maksimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 senaryosuna göre gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 2.57 °C, 2.83 °C ve 2.64 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre sonbahar ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.07 °C azalması, 1.36 °C artması ve 2.59 °C artması beklenmektedir. Şekil 4.74 incelendiğinde Mustafakemalpaşa istasyonu ortalama kış maksimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 senaryosuna göre gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.52 °C, 0.98 °C ve 0.46 °C azalması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre kış ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 2.16 °C azalması, 0.40 °C azalması ve 1.41 °C artması beklenmektedir.



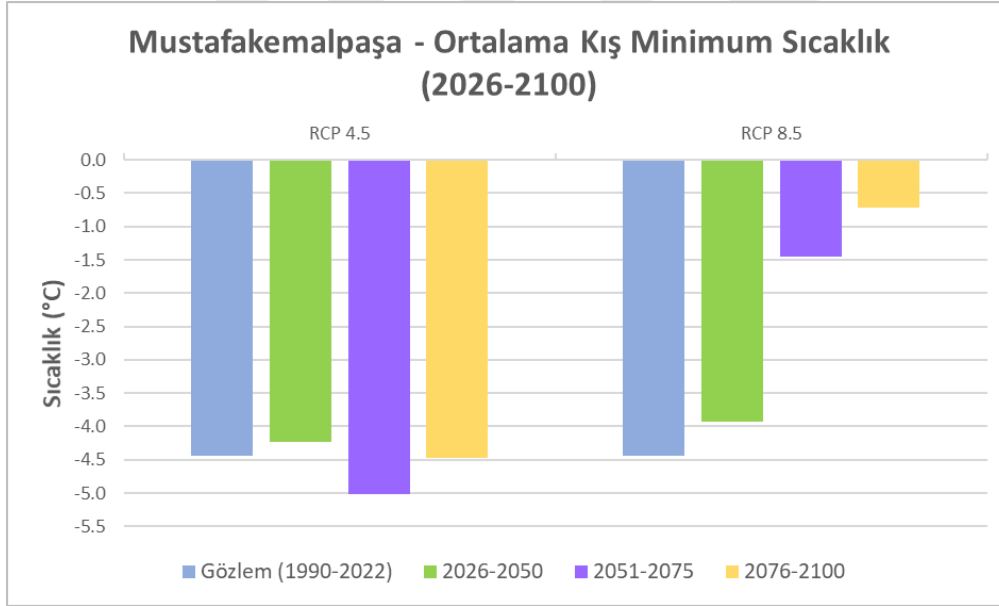
Şekil 4.75. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar minimum sıcaklık grafiği.



Şekil 4.76. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz minimum sıcaklık grafiği.



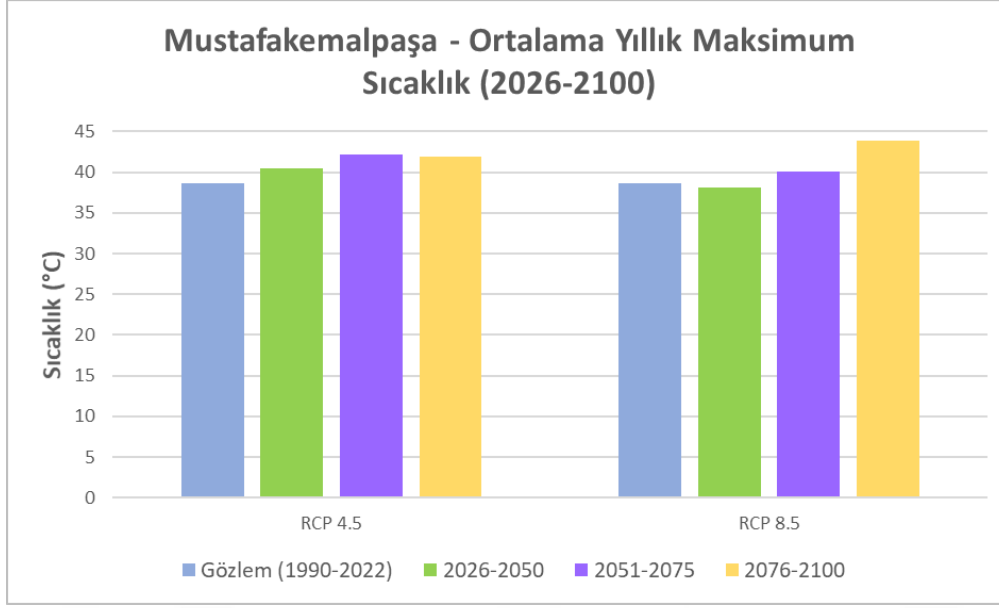
Şekil 4.77. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar minimum sıcaklık grafiği.



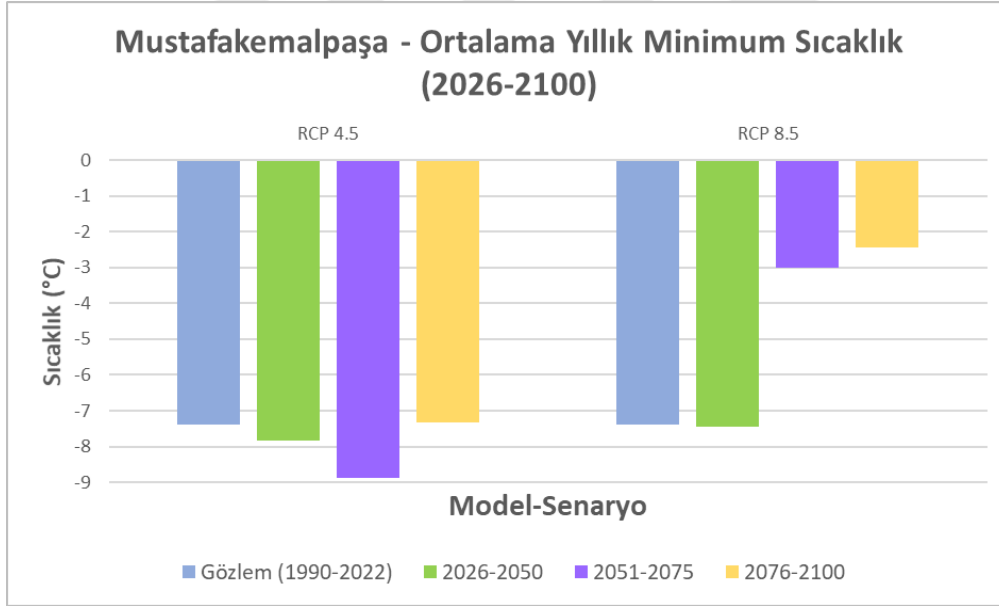
Şekil 4.78. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış minimum sıcaklık grafiği.

Şekil 4.75 incelendiğinde Mustafakemalpaşa istasyonu için ilkbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 gelecek iklim senaryosuna göre azalacağı gözlemlenirken RCP8.5 gelecek iklim senaryosuna göre artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre ilkbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.86

°C, 0.43 °C ve 0.35 °C azalması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre ilkbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.47 °C, 1.83 °C ve 3.25 °C artması beklenmektedir. Şekil 4.76 incelendiğinde Mustafakemalpaşa istasyonu için yaz ortalama minimum sıcaklık değerlerinin iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre yaz ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.96 °C, 1.18 °C ve 1.32 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre yaz ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.18 °C, 2.36 °C ve 4.00 °C artması beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ortalama yaz minimum sıcaklık değerlerinde beklenen artış her periyot için RCP4.5 senaryosuna göre beklenen artıştan daha fazladır. Şekil 4.77 incelendiğinde Mustafakemalpaşa istasyonu için, RCP4.5 senaryosuna göre sonbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.01 °C azalması, 0.57 °C artması ve 0.24 °C azalması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre sonbahar ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.99 °C, 2.43 °C ve 3.57 °C artması beklenmektedir. Şekil 4.78 incelendiğinde Mustafakemalpaşa istasyonu kış ortalama minimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 senaryosuna göre gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.21 °C artması, 0.57 °C azalması ve 0.02 °C azalması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre kış ortalama minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.51 °C, 2.99 °C ve 3.72 °C artması beklenmektedir.



Şekil 4.79. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık maksimum sıcaklık grafiği.



Şekil 4.80. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Mustafakemalpaşa istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık minimum sıcaklık grafiği.

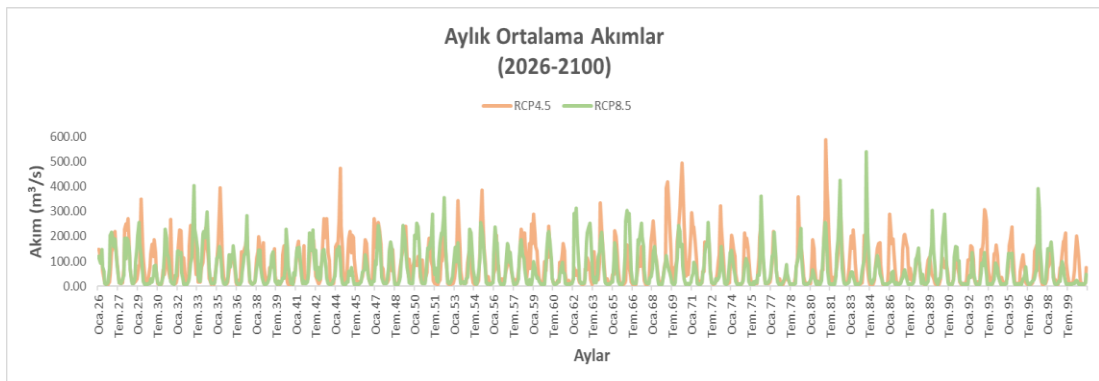
Şekil 4.79 incelendiğinde Mustafakemalpaşa istasyonu için ortalama yıllık maksimum sıcaklık değerlerinin 2026-2050 periyodunda RCP4.5 gelecek iklim senaryosuna göre artarken RCP8.5 gelecek iklim senaryosuna göre azalacağı, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotlarında ise iki gelecek iklim senaryosuna göre de artacağı gözlemlenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre ortalama yıllık maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem

periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 1.80 °C, 3.45 °C ve 3.22 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre ortalama yıllık maksimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.52 °C azalması, 1.44 °C ve 5.15 °C artması beklenmektedir. Şekil 4.80 incelendiğinde Mustafakemalpaşa istasyonu ortalama yıllık minimum sıcaklık değerlerinin RCP4.5 senaryosuna göre 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.46 °C azalması, 1.49 °C azalması ve 0.05 °C artması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre ortalama yıllık minimum sıcaklık değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 0.06 °C azalması, 4.36 °C ve 4.93 °C artması beklenmektedir.

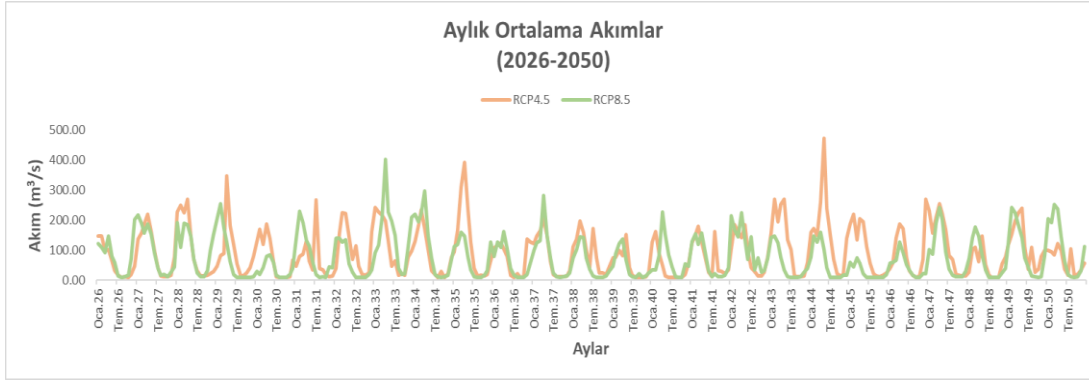
4.3.2. Mpi-esm-lr/rca4 iklim modeli hidrolojik sonuçlar

Yanlılık (bias) düzeltmesi yapılmış MPI-ESM-LR/RCA4 iklim modelinin 2026-2100 periyodunda RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında simüle edilmiş günlük yağış, maksimum ve minimum sıcaklık verileri, kalibrasyon ve validasyonu yapılmış SWAT hidrolojik modeline iklim girdisi olarak kullanılmış ve hidrolojik model 2023-2025 yılları ısınma süresi olmak üzere 2023-2100 periyodu için çalıştırılmıştır. Sonuç olarak RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre havzada bulunan Döllük akım gözlem istasyonunun bulunduğu nokta için akım sonuçları elde edilmiştir.

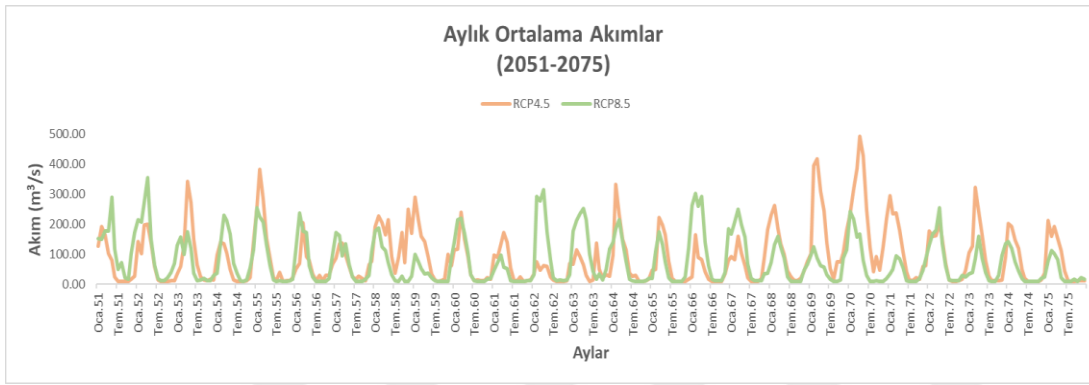
Döllük akım gözlem istasyonu için RCP4.5 ve RCP8.5 gelecek iklim senaryolarına göre 2026-2100 periyodunda ortalama aylık akımları Şekil 4.81’de, 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotlarında ortalama aylık akımlar ise sırasıyla Şekil 4.82, Şekil 4.83 ve Şekil 4.84’te gösterilmiştir.



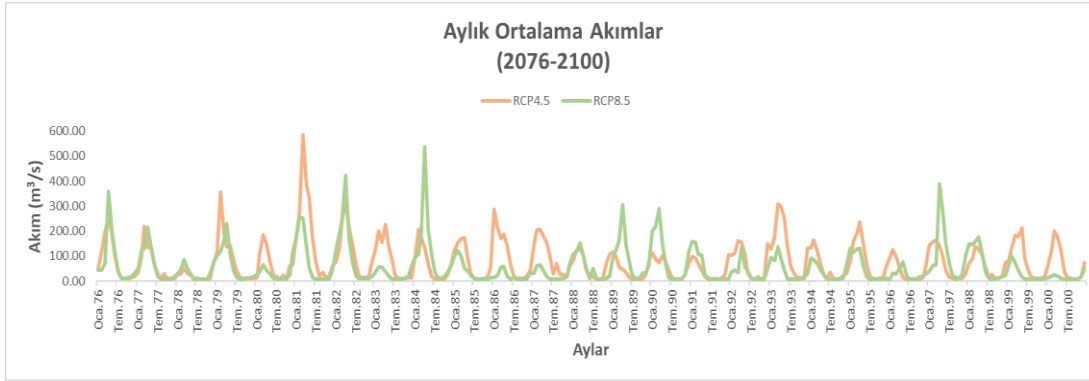
Şekil 4.81. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları 2026-2100 ortalama aylık akım grafiği.



Şekil 4.82. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları 2026-2050 ortalama aylık akım grafiği.



Şekil 4.83. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları 2051-2075 ortalama aylık akım grafiği.



Şekil 4.84. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları 2076-2100 ortalama aylık akım grafiği.

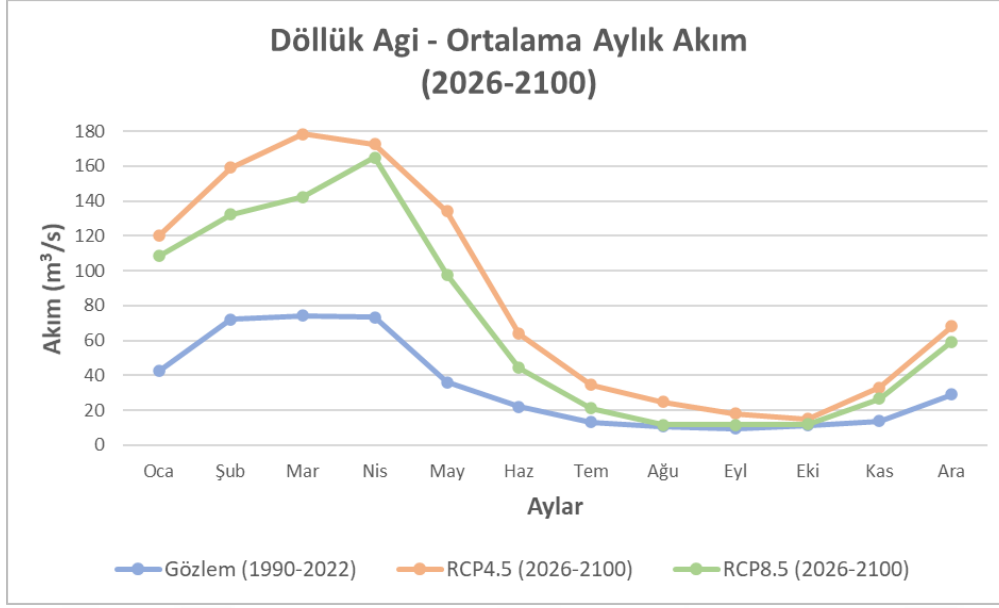
Şekil 4.81 incelendiğinde 2026-2100 periyodunda RCP4.5 senaryosuna göre minimum $8.11 \text{ m}^3/\text{s}$ ve maksimum $586.70 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik bir akım meydana gelirken, RCP8.5 senaryosuna göre minimum $8.11 \text{ m}^3/\text{s}$ ve maksimum $537.60 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik bir akım meydana gelmektedir. Ayrıca RCP4.5 senaryosuna göre 2026-2100 periyodunda ortalama aylık ortalama akım değeri $85.15 \text{ m}^3/\text{s}$ iken RCP8.5 senaryosuna göre 2026-2100 periyodunda ortalama aylık ortalama akım değeri $69.38 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir.

Şekil 4.82 incelendiğinde 2026-2050 periyodunda RCP4.5 senaryosuna göre minimum 8.11 m³/s ve maksimum 473.10 m³/s’lik bir akım meydana gelirken, RCP8.5 senaryosuna göre minimum 8.14 m³/s ve maksimum 402.60 m³/s’lik bir akım meydana gelmektedir. Ayrıca RCP4.5 senaryosuna göre 2026-2050 periyodunda ortalama aylık ortalama akım değeri 90.67 m³/s iken RCP8.5 senaryosuna göre 2026-2050 periyodunda ortalama aylık ortalama akım değeri 75.31 m³/s’dir.

Şekil 4.83 incelendiğinde 2051-2075 periyodunda RCP4.5 senaryosuna göre minimum 8.18 m³/s ve maksimum 493.60 m³/s’lik bir akım meydana gelirken, RCP8.5 senaryosuna göre minimum 8.12 m³/s ve maksimum 354.40 m³/s’lik bir akım meydana gelmektedir. Ayrıca RCP4.5 senaryosuna göre 2051-2075 periyodunda ortalama aylık ortalama akım değeri 88.40 m³/s iken RCP8.5 senaryosuna göre 2051-2075 periyodunda ortalama aylık ortalama akım değeri 76.18 m³/s’dir.

Şekil 4.84 incelendiğinde 2076-2100 periyodunda RCP4.5 senaryosuna göre minimum 8.11 m³/s ve maksimum 586.70 m³/s’lik bir akım meydana gelirken, RCP8.5 senaryosuna göre minimum 8.11 m³/s ve maksimum 537.60 m³/s’lik bir akım meydana gelmektedir. Ayrıca RCP4.5 senaryosuna göre 2076-2100 periyodunda ortalama aylık ortalama akım değeri 76.38 m³/s iken RCP8.5 senaryosuna göre 2076-2100 periyodunda ortalama aylık ortalama akım değeri 56.66 m³/s’dir.

Elde edilen aylık akım verileri 2026-2100 periyoduna, mevsimsel ve yıllık akım verileri ise 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotlarına göre analiz edilmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla çalışma alanında bulunan akım gözlem istasyonunun 1990-2022 periyodu gözlem verileri de grafiklere eklenmiştir. Döllük akım gözlem istasyonu için ortalama aylık akımları Şekil 4.85’te, ortalama aylık akımlarda gözlem periyoduna kıyasla RCP4.5 ve RCP8.5 gelecek iklim senaryoları için yaşanan değişimler Tablo 4.15’te gösterilmektedir. Mevsimsel ortalama akımlar Şekil 4.86-Şekil 4.89’da gösterilirken yıllık ortalama akımlar Şekil 4.90’da gösterilmiştir.



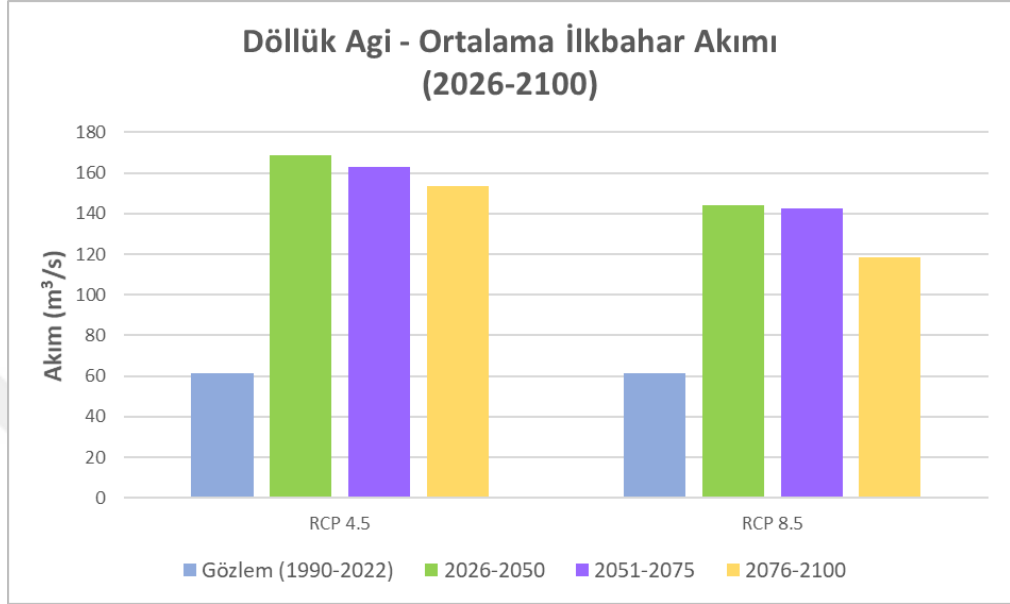
Şekil 4.85. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama aylık akım grafiği.

Tablo 4.15. Döllük akım gözlem istasyonu ortalama aylık akımları ve değişimleri.

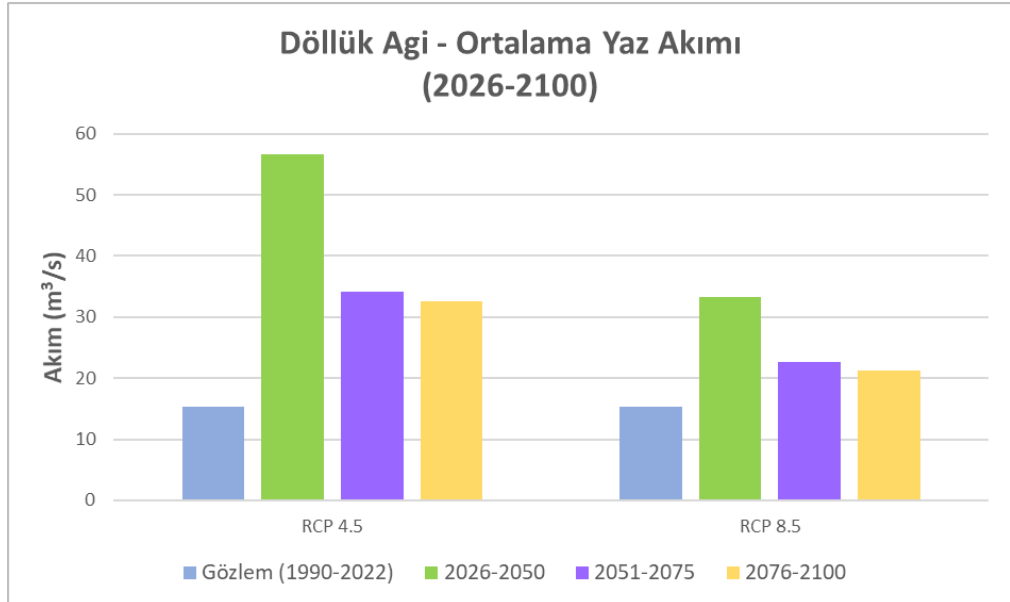
Aylar	Gözlem (1990-2022) (m³/s)	RCP4.5 (2026-2100) (m³/s)	RCP8.5 (2026-2100) (m³/s)	Değişim Oranı (RCP4.5)	Değişim Oranı (RCP8.5)
Ocak	42.41	119.93	108.47	%182.8	%155.8
Şubat	71.99	159.08	132.13	%121.0	%83.6
Mart	74.23	178.29	142.32	%140.2	%91.7
Nisan	73.48	172.65	164.91	%135.0	%124.4
Mayıs	36.20	134.09	97.80	%270.4	%170.2
Haziran	21.92	63.82	44.47	%191.2	%102.9
Temmuz	13.07	34.72	21.09	%165.6	%61.4
Ağustos	10.87	24.89	11.59	%129.0	%6.7
Eylül	9.48	18.13	11.64	%91.2	%22.8
Ekim	11.24	15.08	11.98	%34.1	%6.6
Kasım	13.95	32.94	26.78	%136.1	%91.9
Aralık	29.04	68.19	59.42	%134.8	%104.6

Ortalama aylık akımlar incelendiğinde Döllük akım gözlem istasyonu için RCP4.5 senaryosunda akım değerlerinde en fazla değişimin görüldüğü ayın %270.4'lük bir oranla Mayıs ayı olduğu, akım değerlerinde en az değişimin görüldüğü ayın ise %34.1'lik bir oranla Ekim ayı olduğu görülmektedir. Yaz ayları akım değerlerindeki ciddi artış oranı dikkat çekmektedir. Döllük akım gözlem istasyonu için RCP8.5 senaryosunda akım değerlerinde en fazla değişimin görüldüğü ayın %170.2'lik bir oranla Mayıs ayı olduğu, akım değerlerinde en az değişimin görüldüğü ayın ise

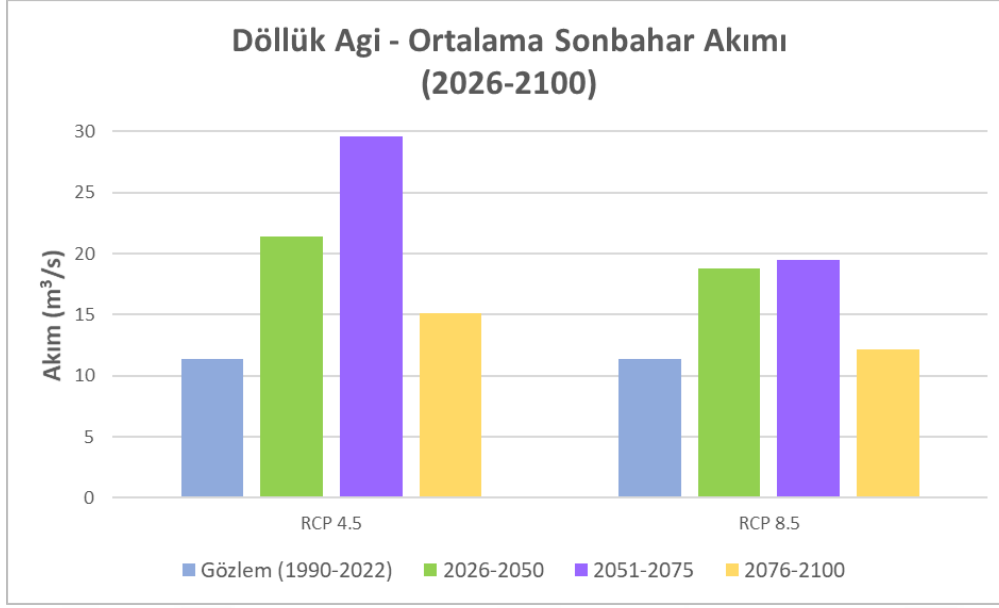
%6.6'lık bir oranla ekim ayları olduğu görülmektedir. RCP4.5 gelecek iklim senaryosuna göre ortalama aylık akımlarda beklenen artış RCP8.5 gelecek iklim senaryosuna göre beklenen artıştan fazladır. Her iki senaryoya göre de 2026-2100 periyodunda Döllük akım gözlem istasyonu değerlerinde azalma beklenmemektedir.



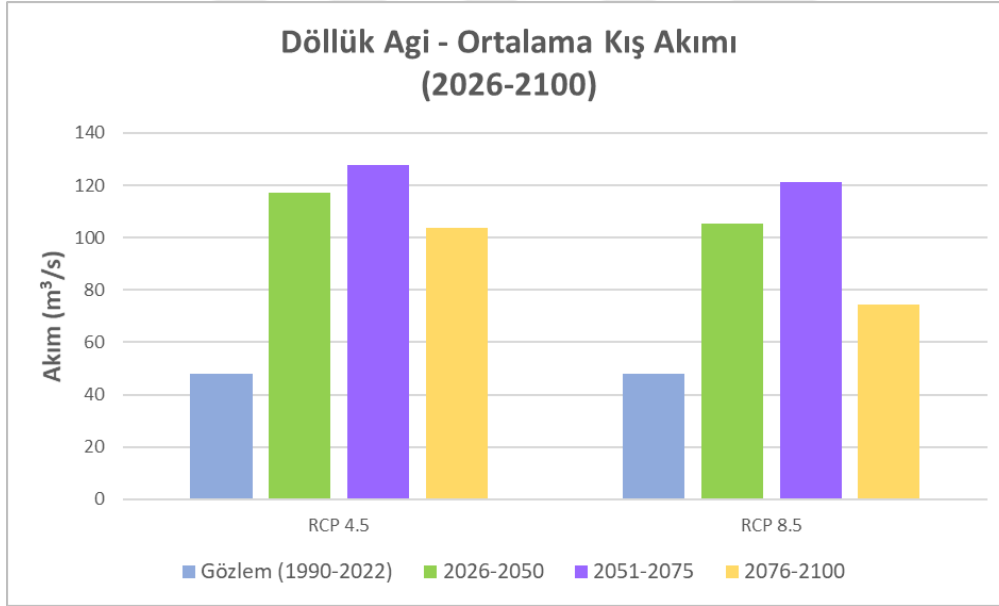
Şekil 4.86. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama ilkbahar akım grafiği.



Şekil 4.87. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yaz akım grafiği.



Şekil 4.88. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama sonbahar akım grafiği.

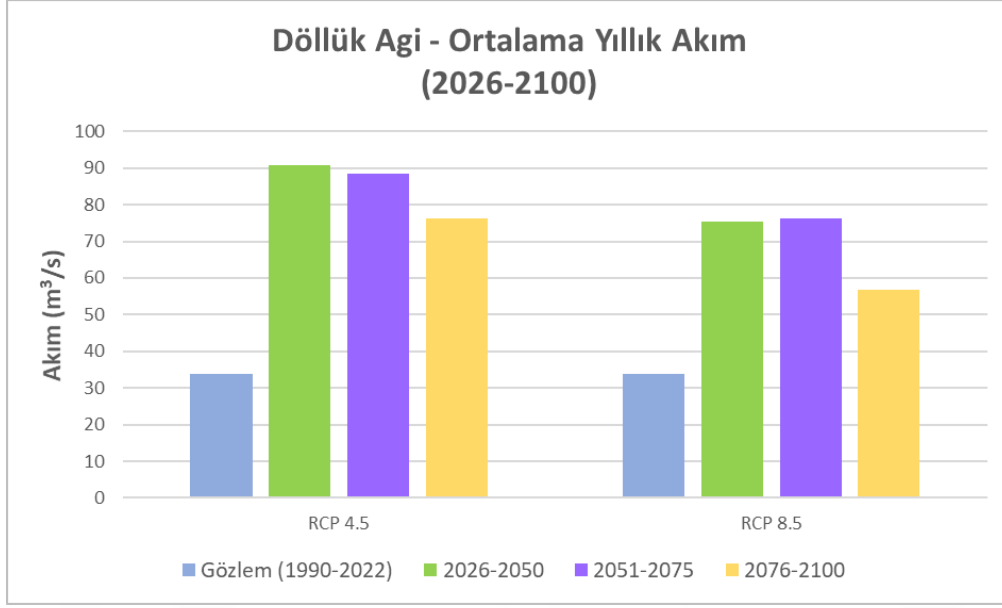


Şekil 4.89. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama kış akım grafiği.

Mevsimsel akımlar incelendiğinde, RCP4.5 senaryosuna göre ortalama ilkbahar akım değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 107.46 m³/s, 101.60 m³/s ve 92.06 m³/s, ortalama yaz akım değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 41.40 m³/s, 18.90 m³/s ve 17.28 m³/s, ortalama sonbahar akım

değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 10.00 m³/s, 18.27 m³/s ve 3.79 m³/s artması beklenirken; ortalama kış akım değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 69.01 m³/s, 79.45 m³/s ve 55.51 m³/s artması beklenmektedir. Ayrıca, RCP4.5 senaryosuna göre ilkbahar ve yaz akımlarında 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en çok artış 2026-2050 periyodunda yani 21. yüzyılın ikinci çeyreğinde gözlenirken sonbahar ve kış akımlarında 2051-2075 periyodunda gözlemlenmiştir. RCP4.5 senaryosuna göre 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en az artış ise tüm mevsim akımlarında 2076-2100 periyodunda gözlemlenmiştir. RCP8.5 senaryosuna göre ortalama ilkbahar akım değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 82.66 m³/s, 81.29 m³/s ve 57.16 m³/s, ortalama yaz akım değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 17.95 m³/s, 7.44 m³/s ve 5.90 m³/s, ortalama sonbahar akım değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 7.43 m³/s, 8.13 m³/s ve 0.75 m³/s artması beklenirken; ortalama kış akım değerlerinin gözlem periyoduna kıyasla 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotları için sırasıyla 57.24 m³/s, 73.11 m³/s ve 26.36 m³/s artması beklenmektedir. Ayrıca, RCP8.5 senaryosuna göre, 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en çok artış ilkbahar ve yaz akımlarında 2026-2050 periyodunda gözlenirken, sonbahar ve kış akımlarında 2051-2075 periyodunda gözlemlenmiştir. RCP8.5 senaryosuna göre de 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla en az artış tüm mevsim akımlarında 2076-2100 periyodunda gözlemlenmiştir.

Şekil 4.90 incelendiğinde her iki gelecek iklim senaryosuna göre de yıllık ortalama akımlarda artış olduğu gözlenmekte ve tüm periyotlar için RCP4.5 senaryosundaki artışın RCP8.5 senaryosundaki artıştan daha fazla olduğu dikkat çekmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre, 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla yıllık ortalama akımda en fazla artış yaklaşık 57 m³/s'lik fark ile 2026-2050 periyodunda gözlemlenirken en az artış ise yaklaşık 43 m³/s'lik fark ile yüzyılın son çeyreği olan 2076-2100 periyodunda gözlenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre, 1990-2022 gözlem periyoduna kıyasla yıllık ortalama akımda en fazla artış yaklaşık 43 m³/s'lik fark ile 2051-2076 periyodunda gözlemlenirken en az artış ise yaklaşık 23 m³/s'lik fark ile 2076-2100 periyodunda gözlenmektedir.



Şekil 4.90. MPI-ESM-LR/RCA4 modeli, Döllük akım gözlem istasyonu RCP4.5 ve RCP8.5 (2026-2050) - (2051-2075) - (2076-2100) ile gözlem (1990-2022) ortalama yıllık akım grafiği.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bursa, Balıkesir ve Kütahya illerinin bir kısmını kaplayan, Susurluk Havzasının alt havzalarından olan Emet, Orhaneli ve Mustafakemalpaşa havzalarının birleşiminden oluşan çalışma alanında sayısal yükseklik verisi, arazi kullanımı ve örtüsü, toprak özellikleri ve eğim haritaları, havzada bulunan 5 adet barajın karakteristik bilgileri ve 4 adet meteoroloji gözlem istasyonunun iklim girdileri kullanılarak SWAT hidrolojik modeli kurulmuştur. Kurulan SWAT hidrolojik modeli ilk 3 yılı ısınma süresi olmak kaydıyla 1990-2022 periyodunda çalıştırılmıştır. Modelin simüle ettiği akım sonuçlarının havzada bulunan Döllük akım gözlem istasyonu ölçümleriyle SWAT-CUP programı aracılığıyla, duyarlılık analizi, kalibrasyonu ve doğrulaması yapılmıştır. Döllük akım gözlem istasyonu için kalibrasyon işlemi sonucu model performans ölçüt ve dereceleri $R^2=0.75$, $RSR=0.51$, $NSE=0.74$ ve “tatmin edici”, “iyi” ve “iyi” olarak elde edilmişken, doğrulama işlemi sonucu model performans ölçüt ve dereceleri $R^2=0.83$, $RSR=0.54$, $NSE=0.70$ ve “iyi”, “iyi” ve “tatmin edici” olarak elde edilmiştir. Ayrıca p-faktörü ve r-faktörü sonuçları kalibrasyon işleminde sırasıyla 0.81 ve 0.98 olarak elde edilmişken, doğrulama işleminde sırasıyla 0.51 ve 1.32 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde çalışma havzası için başarılı olarak nitelendirilebilecek bir SWAT hidrolojik modeli kurulmuştur. İklim değişikliği etkilerinin havzaya uygulanması amacıyla CMIP5 kapsamındaki MPI-ESM-LR küresel iklim modelinin RCA4 bölgesel iklim modeli kullanılarak ölçüğü küçültülmüş ve bias düzeltilmesi yapılmış, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları 2021-2100 periyodu iklim verileri CORDEX programının Avrupa kolundan elde edilerek kullanılmıştır. Erişilen 2026-2100 periyodu gelecek projeksiyonu RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları iklim modeli verileri aylık zaman diliminde aynı periyotta, mevsimsel ve yıllık zaman diliminde ise 2026-2050, 2051-2075 ve 2076-2100 periyotlarında tahlil edilmiştir. Elde edilen bu 2026-2100 periyodu gelecek projeksiyonu RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları iklim modeli verileri, kalibrasyonu ve doğrulaması yapılmış SWAT modeline girdi olarak kullanılarak, model ilk 3 yılı ısınma periyodu olmak kaydıyla 2023-2100 periyodu için çalıştırılmış ve gelecek simülasyonu akım verileri elde edilmiştir.

MPI-ESM-LR/RCA4 iklim modeli 2026-2100 gelecek projeksiyonunda havzadaki istasyonlar meteorolojik açıdan incelendiğinde, Dursunbey istasyonu için her iki senaryoya göre de yağışlı geçen ayların yağış miktarının artacağı gözlemlenirken kurak yaz ayları olan temmuz ve ağustos aylarında dahi her iki senaryoya göre yağışta artış olacağı dikkat çekmiştir. Genel olarak RCP4.5 senaryosundaki artışların RCP8.5 senaryosundaki artışlardan daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Yıllık toplam yağış miktarı olarak RCP4.5 senaryosunda yağış miktarında yaklaşık 393 mm artış görülmüş, RCP8.5 senaryosunda ise yağış miktarı yaklaşık 297 mm artış görülmüştür. RCP8.5 senaryosuna göre Dursunbey istasyonu maksimum ve minimum sıcaklıklarında yılın tümünde düzenli ve belirgin bir artış olmaktadır. RCP4.5 senaryosuna göre ise Dursunbey istasyonu maksimum ve minimum sıcaklık değerlerinde bazı aylarda azalış gözlemlenirken, yılın çoğu aylarında artış gözlemlenmiştir. RCP4.5 senaryosunda ortalama yıllık maksimum sıcaklıkta yaklaşık 2.90 °C, RCP8.5 senaryosunda ise yaklaşık 3.84 °C artış görülmektedir. Yıllık ortalama minimum sıcaklıkta ise RCP4.5 senaryosunda 0.22 °C, RCP8.5 senaryosunda ise yaklaşık 3.54 °C artış görülmektedir. MPI-ESM-LR/RCA4 iklim modeli 2026-2100 gelecek projeksiyonunda havzadaki istasyonlar meteorolojik açıdan incelendiğinde, Keles istasyonu için haziran ayı hariç yılın geri kalan tüm aylarında her iki gelecek iklim senaryosuna göre ortalama aylık toplam yağışlarda artış gözlemlenmiştir. Genel olarak RCP4.5 senaryosundaki artışların RCP8.5 senaryosundaki artışlardan daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Yıllık toplam yağış miktarı olarak RCP4.5 senaryosunda yağış miktarında yaklaşık 467 mm artış görülmüş, RCP8.5 senaryosunda ise yağış miktarı yaklaşık 383 mm artış görülmüştür. RCP8.5 senaryosuna göre Keles istasyonu maksimum ve minimum sıcaklıklarında yılın tümünde düzenli ve belirgin bir artış olmaktadır ancak RCP4.5 senaryosuna göre Keles istasyonu maksimum ve minimum sıcaklıklarında bazı aylarda azalış gözlemlenmiştir. RCP4.5 senaryosunda ortalama yıllık maksimum sıcaklıkta yaklaşık 0.88 °C, RCP8.5 senaryosunda ise yaklaşık 4.76 °C artış görülmektedir. Yıllık ortalama minimum sıcaklıkta ise RCP4.5 senaryosunda 1.76 °C azalış, RCP8.5 senaryosunda ise yaklaşık 2.35 °C artış görülmektedir. MPI-ESM-LR/RCA4 iklim modeli 2026-2100 gelecek projeksiyonunda havzadaki istasyonlar meteorolojik açıdan incelendiğinde Tavşanlı istasyonu için de haziran ayı hariç yılın geri kalan tüm aylarında her iki gelecek iklim senaryosuna göre ortalama aylık toplam yağışlarda artış gözlemlenmiştir. Ayrıca her iki senaryoya göre de yağışlı geçen ayların yağış

miktarının artacağı, buna ek olarak kurak yaz ayları olan temmuz ve ağustos aylarında dahi her iki senaryoya göre yağışta artış olacağı gözlemlenmiştir. Genel olarak RCP4.5 senaryosundaki artışların RCP8.5 senaryosundaki artışlardan daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Yıllık toplam yağış miktarı olarak RCP4.5 senaryosunda yağış miktarında yaklaşık 163 mm artış görülmüş, RCP8.5 senaryosunda ise yağış miktarı yaklaşık 96 mm artış görülmüştür. RCP8.5 senaryosuna göre Tavşanlı istasyonu maksimum ve minimum sıcaklıklarında yılın çoğu ayında bir artış olmaktadır. RCP4.5 senaryosuna göre ise Tavşanlı istasyonu maksimum ve minimum sıcaklıklarında sırasıyla yılın çoğunda azalış ve yılın çoğunda artış gözlemlenmiştir. RCP4.5 senaryosunda ortalama yıllık maksimum sıcaklıkta yaklaşık 0.69 °C azalış, RCP8.5 senaryosunda ise yaklaşık 2.23 °C artış görülmektedir. Yıllık ortalama minimum sıcaklıkta ise RCP4.5 senaryosunda 2.92 °C, RCP8.5 senaryosunda ise yaklaşık 6.51 °C artış görülmektedir. MPI-ESM-LR/RCA4 iklim modeli 2026-2100 gelecek projeksiyonunda havzadaki istasyonlar meteorolojik açıdan incelendiğinde Mustafakemalpaşa istasyonu için mart, nisan, temmuz, ağustos, kasım ve aralık aylarında her iki gelecek iklim senaryosuna göre ortalama aylık toplam yağışlarda artış gözlemlenmiştir. Ocak, şubat, haziran, eylül ve ekim ayları ortalama aylık yağış miktarlarında ise her iki gelecek iklim senaryosuna göre azalış beklenmektedir. Yıllık toplam yağış miktarı olarak RCP4.5 senaryosunda yağış miktarında yaklaşık 118 mm artış görülmüş, RCP8.5 senaryosunda ise yağış miktarında yaklaşık 75 mm artış görülmüştür. RCP4.5 senaryosunda ortalama yıllık maksimum sıcaklıkta yaklaşık 2.82 °C, RCP8.5 senaryosunda ise yaklaşık 2.03 °C artış görülmektedir. Yıllık ortalama minimum sıcaklıkta ise RCP4.5 senaryosunda 0.63 °C azalış, RCP8.5 senaryosunda ise yaklaşık 3.08 °C artış görülmektedir. Bu sonuçlar incelendiğinde, her iki iklim projeksiyonuna göre 2026-2100 periyodunda havzada bulunan dört meteoroloji gözlem istasyonunun yıllık toplam yağış verilerinde artış beklenmektedir. Diğer istasyonlara kıyasla en fazla yağış miktarı artışının yaşanacağı istasyon Keles istasyonu olacaktır. Dursunbey, Keles ve Mustafakemalpaşa istasyonları 2026-2100 yıllık maksimum sıcaklık değerlerinde her iki iklim senaryosuna göre de artış beklenirken; Tavşanlı istasyonu 2026-2100 yıllık maksimum sıcaklık değerlerinde RCP8.5 senaryosuna göre artış beklenirken RCP4.5 senaryosuna göre düşüş beklenmektedir. Diğer istasyonlara kıyasla en fazla ısınmanın yaşanacağı istasyon Dursunbey istasyonu olacaktır. Dursunbey ve Tavşanlı istasyonları 2026-2100 yıllık minimum sıcaklık değerlerinde her iki iklim senaryosuna göre de artış beklenirken; Keles ve Mustafakemalpaşa

istasyonları 2026-2100 yıllık minimum sıcaklık değerlerinde RCP4.5 senaryosuna göre düşüş beklenmektedir.

MPI-ESM-LR/RCA4 iklim modeli 2026-2100 gelecek projeksiyonunda havzadaki Döllük akım gözlem istasyonu hidrolojik açıdan incelendiğinde, Döllük istasyonu aylık akımlarının her iki iklim senaryosuna göre de arttığı gözlemlenmiştir. Döllük istasyonu aralık-mart ayları arası sulak dönemde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre akımların sırasıyla %144.7 (77 m³/s) ve %108.9 (56 m³/s) oranlarında ciddi şekilde arttığı görülmüştür. RCP4.5 gelecek iklim senaryosuna göre ortalama aylık akımlarda beklenen artış RCP8.5 gelecek iklim senaryosuna göre beklenen artıştan fazladır. Her iki senaryoya göre de 2026-2100 periyodunda Döllük akım gözlem istasyonu akım değerlerinde azalma beklenmemektedir.

İklim değişikliği ile artan yağış rejimleri, çalışma alanında taşkın risklerini artırabilir. Bu nedenle, gelecekteki olası yağış değişikliklerine uyumlu stratejiler geliştirmek kritik önem taşımaktadır. Artan yağış rejimleriyle başa çıkabilmek için su yönetimi altyapısını güçlendirmek önemlidir. Bu kapsamda daha büyük depolama kapasitesine sahip barajlar ve göletler inşa edilebilir. Ayrıca, suyun zaman içinde daha etkili bir şekilde depolanması ve kullanılması için su yönetimi stratejileri uygulanabilir. Kentsel alanlarda yağış sularını daha tesirli bir şekilde yönetmek için kentsel drenaj sistemleri güncellenebilir. Bu çerçevede suyun doğal yollarla emilimini artırmak amacıyla yeşil altyapı projeleri ve su geri kazanım sistemleri hayata geçirilebilir. Nehir kıyılarında ve akarsu havzalarında taşkın riskini azaltmak için koruyucu setler, bentler ve akarsu taşkın kontrol yapıları inşa edilebilir. Erken uyarı sistemleri, gelecekteki yağış değişikliklerini tahmin etmek ve halkı zamanında bilgilendirmek için kullanılabilir. Halkın, yerel yönetimlerin ve uzmanların iklim değişikliği ve taşkın riskleri konusunda eğitilmesi ve bilinçlendirilmesi önemlidir. Bu eğitim ve bilinçlendirme çabaları, toplumun iklim değişikliği etkilerine karşı daha hazırlıklı olmasını sağlayabilir. Ayrıca yağışlardaki artış çalışma alanında bulunan ve Ramsar Sözleşmesi ile korunan Uluabat Gölü'nün su seviyelerini yükseltebilir ve bu durum kıyı bölgelerindeki erozyon riskini arttırarak göl kıyısı altyapılarını etkileyebilir. Göl su seviyesinin artması gölün kıyı bölgelerindeki bitki örtüsünü ve su altı habitatlarını etkileyebilir. Bu durum, içerdiği canlı türlerini olumsuz etkileyerek göl ekosisteminin bozulmasına sebep olabilir. Yüksek su seviyeleri, göl sularının normalden fazla bir alana yayılmasına neden olarak kıyı bölgelerinde ve çevre yerleşimlerde su taşkınlarına neden olabilir.

Diğer bir yandan, oluşturulan bu hidrolojik model, havzada bulunan barajların işletme çalışmalarına, havzanın mevcut ve gelecek dönemdeki yönetim stratejilerinin belirlenmesine, ayrıca iklim değişikliğinin etkilerini azaltmaya yönelik kararların alınmasına önemli katkılarda bulunabilir. Bu model, su kaynakları üzerinde etkili bir şekilde planlama yapılabilmesi ve su yönetim stratejilerinin sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi açısından kullanışlı olacaktır.





KAYNAKLAR

- Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, Srinivasan, R., Yang, H., & Kløve, B. (2015). A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of hydrology*, 524, 733-752.
- Abbaspour, K. C., Vaghefi, S. A., & Srinivasan, R. (2017). A guideline for successful calibration and uncertainty analysis for soil and water assessment: a review of papers from the 2016 international SWAT conference. *Water*, 10(1), 6.
- Abbaspour, K.C. (2015). *SWAT-CUP: SWAT calibration and uncertainty programs user manual*. Dübendorf, Zürich: EAWAG.
- Abbaspour, K.C., Johnson, C.A. and van Genuchten, M. T. (2004). Estimating Uncertain Flow and Transport Parameters Using a Sequential Uncertainty Fitting Procedure. *Vadose Zone Journal*, 3(4), 1340 - 1352. doi:10.2136/vzj2004.1340
- Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J. and Srinivasan, R. (2007) Modelling hydrology and water quality in the prealpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, 333(2-4), 413-430. doi:10.1016/j.jhydrol.2006.09.014
- Aibaidula, D., Ates, N., & Dadaser-Celik, F. (2023). Modelling climate change impacts at a drinking water reservoir in Turkey and implications for reservoir management in semi-arid regions. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(5), 13582–13604. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23141-2>.
- Aloui, S., Mazzoni, A., Elomri, A., Aouissi, J., Boufekane, A., & Zghibi, A. (2023). A review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) studies of Mediterranean catchments: Applications, feasibility, and future directions. *Journal of Environmental Management*, 326, 116799.
- Arnold, J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S. and Williams J.R. (1998) Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73-89. doi:10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x
- Baycan, A. (2023). *Mudurnu Çayı Havzasında Swat Modeli Uygulaması ve İklim Değişikliği Etkilerinin Değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi]. Sakarya Üniversitesi.
- Bhatta, B., Shrestha, S., Shrestha, P. K., & Talchabhadel, R. (2019). Evaluation and application of a SWAT model to assess the climate change impact on the hydrology of the Himalayan River Basin. *Catena*, 181(October 2018), 104082. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104082>.
- Bui, M. T., Lu, J. and Nie, L. (2021). Evaluation of the Climate Forecast System Reanalysis weather data for the hydrological model in the Arctic watershed Målselv. *Journal of Water and Climate Change*.

- Chen, M., Janssen, A. B., de Klein, J. J., Du, X., Lei, Q., Li, Y., Zhang, T., Pei, W., Kroeze, C., & Liu, H. (2023). Comparing critical source areas for the sediment and nutrients of calibrated and uncalibrated models in a plateau watershed in southwest China. *Journal of Environmental Management*, 326, 116712.
- Daggupati, P., Srinivasan, R., Dile, Y. T., & Verma, D. (2017). Reconstructing the historical water regime of the contributing basins to the Hawizeh marsh: Implications of water control structures. *Science of the Total Environment*, 580, 832-845.
- Dakhlalla, A. O., & Parajuli, P. B. (2019). Assessing model parameters sensitivity and uncertainty of streamflow, sediment, and nutrient transport using SWAT. *Information processing in agriculture*, 6(1), 61-72.
- Demessie, S. F., Dile, Y. T., Bedadi, B., Gashaw, T., & Tefera, G. W. (2023). Evaluations of regional climate models for simulating precipitation and temperature over the Guder sub-basin of Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1-22.
- Derdour, S., Ghenim, A. N., Megnounif, A., Tangang, F., Chung, J. X., & Ayoub, A. B. (2022). Bias Correction and Evaluation of Precipitation Data from the CORDEX Regional Climate Model for Monitoring Climate Change in the Wadi Chemora Basin (Northeastern Algeria). *Atmosphere*, 13(11), 1876.
- Devia, G. K., Ganasri, B. P., & Dwarakish, G. S. (2015). A review on hydrological models. *Aquatic procedia*, 4, 1001-1007.
- Doğan, F.N. ve Karpuzcu, M.E., (2023), En İyi Yönetim Uygulamalarının Pestisit Kirliliğinin Kontrolünde Kullanımı, *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 24, (1) 25–31.
- Douglas-Mankin, K.R., Srinivasan, R. and Arnold, J.G. (2010) Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model: Current developments and applications. *Transactions of the ASABE*, 53(5), 1423-1431. doi: 10.13031/2013.34915
- Dwivedi, H. K., Maurya, H., Sharma, K. K., Kumar, M., & Suryavanshi, S. (2022). Hydrological Simulation of a Pancheshwer Basin using SWAT CUP Model. *International Journal of Advances in Engineering and Management*, 4, 779-789.
- Ekdal, A., Gürel, M., Guzel, C., Erturk, A., Tanik, A., & Gonenc, I. E. (2011). Application of WASP and SWAT models for a Mediterranean coastal lagoon with limited seawater exchange. *Journal of Coastal Research*, 1023-1027.
- El-Sadek, A., & Irvem, A. (2014). Evaluating the impact of land use uncertainty on the simulated streamflow and sediment yield of the Seyhan River basin using the SWAT model. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(4), 515-530.
- Ertürk, A., Ekdal, A., Gurel, M., Karakaya, N., Cuceloglu, G., & Gönenç, E. (2017). Model-based assessment of groundwater vulnerability for the Dalyan Region of southwestern Mediterranean Turkey. *Regional Environmental Change*, 17, 1193-1203.
- Ertürk, A., Ekdal, A., Gürel, M., Karakaya, N., Guzel, C., & Gönenç, E. (2014). Evaluating the impact of climate change on groundwater resources in a small Mediterranean watershed. *Science of the Total Environment*, 499, 437-447.

- Fontaine, T., Cruickshank, T., Arnold, J. and Hotchkiss, R. (2002) Development of a snowfall - Snowmelt routine for mountainous terrain for the soil water assessment tool (SWAT). *Journal of Hydrology*, 262, 209–223.
- Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H. and Arnold, J.G. (2007) The soil and water assessment tool: Historical development, applications, and future research directions. *Transactions of the ASABE*, 40(4), 1211- 1250. doi:10.13031/2013.23637
- Germeç, E., & Ürker, O. (2023). Investigation of a SWAT Model for Environmental Health Management Based on the Water Quality Parameters of a Stream System in Central Anatolia (Türkiye). *Sustainability*, 15(18), 13850.
- Ghebrehiwot, A. A., & Kozlov, D. V. (2019). Hydrological modelling for ungauged basins of arid and semi-arid regions. *Вестник МГСУ*, 14(8), 1023-1036.
- Güngör, Ö., & Göncü, S. (2013). Application of the soil and water assessment tool model on the Lower Porsuk Stream Watershed. *Hydrological Processes*, 27(3), 453-466.
- Hargreaves, G. L., Hargreaves, G. H., and Riley, J. P. (1985). Irrigation water requirements for Semegal River Basin. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 111 (3), 265-275.
- Hosseini, S. H., & Khaleghi, M. R. (2020). Application of SWAT model and SWAT-CUP software in simulation and analysis of sediment uncertainty in arid and semi-arid watersheds (case study: The Zoshk–Abardeh watershed). *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(4), 2003-2013.
- Houshmand Kouchi, D., Esmaili, K., Faridhosseini, A., Sanaeinejad, S. H., Khalili, D., & Abbaspour, K. C. (2017). Sensitivity of calibrated parameters and water resource estimates on different objective functions and optimization algorithms. *Water*, 9(6), 384.
- IPCC. (2001). *Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Watson, R.T. and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 pp.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.
- IPCC. (2023). *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* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
- Iqbal, M. S., Islam, M., Hassan, M., Bilal, H., Shah, I. A., & Ourania, T. (2022). Modeling the fecal contamination (fecal coliform bacteria) in transboundary waters using the scenario matrix approach: A case study of Sutlej River, Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(52), 79555-79566.
- Janjić, J., & Tadić, L. (2023). Fields of Application of SWAT Hydrological Model-A Review. *Earth*, 4(2), 331-344.
- Jones, C., Sultan, M., Yan, E., Milewski, A., Hussein, M., Al-Dousari, A., Al-Kaisy, S. & Becker, R. (2008). Hydrologic impacts of engineering projects on the Tigris–Euphrates system and its marshlands. *Journal of Hydrology*, 353(1-2), 59-75.
- Kazezyılmaz-Alhan, C. M., Yalçın, İ., Javanshour, K., Aytekin, M., & Gülbaz, S. (2021). A hydrological model for Ayamama watershed in Istanbul, Turkey, using HEC-HMS. *Water Practice & Technology*, 16(1), 154-161.
- Kırtıloğlu, E. (2023). *Başa Gölü İçin Uzaktan Algılama Teknikleri İle Siyanobakterilerin Tespiti, İzlenmesi, Zamansal Analizi Ve Göle Ulaşan Kirlenici Yükleriyle İlişkisinin Değerlendirilmesi* [Doktora tezi]. Konya Teknik Üniversitesi.
- Kim, J. T., Lee, C. H., & Lee, N. (2023). Improvement and Analysis for Accuracy of Baseflow Using SWAT-CUP Premium in the Yongjeon Stream, South Korea. *Pure and Applied Geophysics*, 1-15.
- Krause, P., Boyle, D. P., & Bäse, F. (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in geosciences*, 5, 89-97.
- Levesque, E., Anctil, F., Van Griensven, A. N. N., & Beauchamp, N. (2008). Evaluation of streamflow simulation by SWAT model for two small watersheds under snowmelt and rainfall. *Hydrological sciences journal*, 53(5), 961-976.
- Li, C., & Fang, H. (2021). Assessment of climate change impacts on the streamflow for the Mun River in the Mekong Basin, Southeast Asia: Using SWAT model. *Catena*, 201(January), 105199. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105199>.

- Liang, Y., Cai, Y., Sun, L., Wang, X., Li, C., & Liu, Q. (2021). Sensitivity and uncertainty analysis for streamflow prediction based on multiple optimization algorithms in Yalong River Basin of southwestern China. *Journal of Hydrology*, 601, 126598.
- Marin, M., Clinciu, I., Tudose, N. C., Ungurean, C., Adorjani, A., Mihalache, A. L., Davidescu, A. A., Davidescu, Șerban O., Dinca, L., & Cacovean, H. (2020). Assessing the vulnerability of water resources in the context of climate changes in a small forested watershed using SWAT: A review. *Environmental Research*, 184(February). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109330>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2015). Yeni Senaryolar İle Türkiye İklim Projeksiyonları Ve İklim Değişikliği TR-2015-CC. <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklimdegisikligi.aspx?s=projeksiyonlar>
- Monteith, J.L. (1965) Evaporation and the Environment. *19th Symposia of the Society for Experimental Biology*, 19, 205-234.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- Moriasi, D. N., Gitau, M. W., Daggupati, P., & Pai, N. (2015). Hydrologic and Water Quality Models: Performance Measures and Evaluation Criteria. *American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE)*, 58(6), 1763-1785. <https://doi.org/10.13031/trans.58.10715>
- Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., Elgizouli, I., Emori, S., Erda, L., Hibbard, K., Jones, R., Kainuma, M., Kelleher, J., Lamarque, J.F., Manning, M., Matthews, B., Meehl, J., Meyer, L., Mitchell, J., ... Zurek, M. (2008). Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva, 132 pp.
- Nash, J. E., ve Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models: Part 1. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282-290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R. (2011) *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation*. Temple, Texas 76502: USDA-153 ARS Grassland Soil and Water Research Laboratory, and Texas A&M University, Blackland Research and Extension Center.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Srinivasan, R. and Williams, J.R. (2012) *Soil and Water Assessment Tool Input/Output File Documentation*. Temple, Texas: USDA-ARS: USDA-ARS Grassland, Soil and Water Research Laboratory.
- Ningthoujam, V., Romeji, N., & Singh, K. S. (2022). Performance of SWAT hydrological model of partially-gauged Nambul River urbanized catchment in Manipur IHR, India. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 28(05).
- Niroula, S., Wallington, K., & Cai, X. (2023). Addressing data challenges in riverine nutrient load modeling of an intensively managed agro-industrial watershed. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 59(2), 213-225.

- Peker, I. B., & Sorman, A. A. (2021). Application of SWAT using snow data and detecting climate change impacts in the mountainous eastern regions of Turkey. *Water (Switzerland)*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/w13141982>
- Peker, I.B. ve Cüceloğlu, G., (2022). SWAT (Soil and Water Assessment Tool) Modeline Genel Bir Bakış ve Modelin Türkiye’deki Uygulamaları, *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 1(1) 9–26.
- Prasad, V., Yousuf, A., & Sharma, N. (2020). Hydrological modeling for watershed management. *Journal of Natural Resource Conservation and Management*, 1(1), 29.
- Priestley, C.H.B. and Taylor, R.J. (1972) On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100(2), 81-92. doi: 10.1175/1520- 0493(1972)1002.3.CO;2
- Rouholahnejad, E., Abbaspour, K. C., Vejdani, M., Srinivasan, R., Schulin, R., & Lehmann, A. (2012). A parallelization framework for calibration of hydrological models. *Environmental Modelling & Software*, 31, 28-36.
- Saddiqi, M. and Karpuzcu, M. (2019) Küçük Menderes Alt Havzası’nın SWAT ile Modellenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(4) , 55-70. doi:10.21605/cukurovaummf.702065
- Salathé, E. P., Leung, L. R., Qian, Y., & Zhang, Y. (2010). Regional climate model projections for the State of Washington. *Climatic Change*, 102, 51-75.
- Saltelli, A., Tarantola, S., & Campolongo, F. (2000). Sensitivity analysis as an ingredient of modeling. *Statistical science*, 377-395.
- Sao, D., Kato, T., Tu, L. H., Thouk, P., Fitriyah, A., & Oeurng, C. (2020). Evaluation of different objective functions used in the sufi-2 calibration process of swat-cup on water balance analysis: A case study of the Pursat river basin, Cambodia. *Water*, 12(10), 2901.
- Shivhare, N., Dikshit, P. K. S., & Dwivedi, S. B. (2018). A comparison of SWAT model calibration techniques for hydrological modeling in the Ganga river watershed. *Engineering*, 4(5), 643-652.
- Sohoulande Djebou, C. D., Szogi, A. A., Novak, J. M., Stone, K. C., Martin, J. H., & Watts, D. (2023). Instream constructed wetland capacity at controlling phosphorus outflow under a long-term nutrient loading scenario: approach using SWAT model. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1-14.
- Sorman, A. A., Tas, E., & Dogan, Y. O. (2020) Comparison of hydrological models in upper Aras Basin. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 26(6), 1015-1022. <https://doi.org/10.5505/pajes.2019.98852>.
- Stella, J. M., & Warner, G. S. (2018). Modelling a hydrologic Black-Box. *Tecnología y ciencias del agua*, 9(1), 101-112.
- Swain, S., Mishra, S. K., Pandey, A., Pandey, A. C., Jain, A., Chauhan, S. K., & Badoni, A. K. (2022). Hydrological modelling through SWAT over a Himalayan catchment using high-resolution geospatial inputs. *Environmental Challenges*, 8, 100579.

- Tan, M. L., Gassman, P. W., Yang, X., & Haywood, J. (2020). A review of SWAT applications, performance and future needs for simulation of hydro-climatic extremes. *Advances in Water Resources*, 143, 103662.
- Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of geophysical research: atmospheres*, 106(D7), 7183-7192.
- Tejaswini, V., & Sathian, K. K. (2018). Calibration and validation of swat model for Kunthipuzha basin using SUFI-2 algorithm. *International Journal of Current Microbiology Applied Sciences*, 7(1), 2162-72.
- Tüfekçioğlu, M., Yavuz, M., Zaimes, G. N., Dinç, M., Koutalakis, P., & Tüfekçioğlu, A. (2017). Application of soil water assessment tool (swat) to suppress wildfire at bayam forest, turkey. *Journal of Environmental Biology*. 28(5). 719-726. <https://doi.org/10.22438/jeb/38/5/MRN-331>
- Verma, S., Verma, M. K., Prasad, A. D., Mehta, D. J., & Islam, M. N. (2023). Modeling of uncertainty in the estimation of hydrograph components in conjunction with the SUFI-2 optimization algorithm by using multiple objective functions. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1-19.
- Vrac, M., Stein, M. L., Hayhoe, K., & Liang, X. Z. (2007). A general method for validating statistical downscaling methods under future climate change. *Geophysical Research Letters*, 34(18).
- Wallace, C. W., Flanagan, D. C., & Engel, B. A. (2018). Evaluating the effects of watershed size on SWAT calibration. *Water*, 10(7), 898.
- Xie, H., Nkonya, E., & Wielgosz, B. (2010). Evaluation of the swat model in hydrologic modeling of a large watershed in Nigeria. In *Proceedings of the 3rd IASTED African Conference* (Vol. 686, pp. 055-71).
- Xu, H., Hou, X., Li, D., Zheng, X., & Fan, C. (2022). Projections of coastal flooding under different RCP scenarios over the 21st century: A case study of China's coastal zone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 279, 108155.
- Yalcin, E. (2023). A CMIP6 multi-model ensemble-based analysis of potential climate change impacts on irrigation water demand and supply using SWAT and CROPWAT models: a case study of Akmeşe Dam, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-21.
- 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(2), 1039–1063. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05217-x>
- Zaimes, G. N., Tufekcioglu, M., Tufekcioglu, A., Zibtsev, S., Corobov, R., Emmanouloudis, D. A., Uratu, R., Ghulijanyan, A., Borsuk, A. & Trombitsky, I. (2016). Transboundary collaborations to enhance wildfire suppression in protected areas of the Black Sea Region. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 9(2), 108-114.
- Zhang, P., Liu, R., Bao, Y., Wang, J., Yu, W., & Shen, Z. (2014). Uncertainty of SWAT model at different DEM resolutions in a large mountainous watershed. *Water research*, 53, 132-144.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Gamze Tuncer

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM

- 2021-2022 yılları arasında NDS Mühendislik şirketinde proje mühendisi olarak çalıştı.
- 2022 yılından itibaren Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN ÜRETİLEN ESERLER:

- Tuncer, G., Sönmez, O., Dabanlı, I. 2023. Cross Comparison of Traditional and Innovative Trend Methodologies to Understand Climate Change Process. *Journal of Water and Climate Change*, Under Review.

DİĞER ESERLER:

- Tuncer, G., & Sönmez, O. 2023. Mudurnu Çayı Havzasında Yağış ve Sıcaklık Verilerinin Trend Analizi. *International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences*, 1(1), 653–658.
- Tuncer, G., & Sönmez, O. 2023. Trend analysis of Sapanca Lake water levels using Mann-Kendall and innovative Methods. *3rd International Civil Engineering and Architecture Congress (ICEARC'23)*, 629-636.