İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TRAKYA'DA SU AYAK İZİNİN TARIMSAL EKOSİSTEMDE BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ

DOKTORA TEZİ

Serhan YEŞİLKÖY

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

TEMMUZ 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TRAKYA'DA SU AYAK İZİNİN TARIMSAL EKOSİSTEMDE BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ

DOKTORA TEZİ

Serhan YEŞİLKÖY
(511142005)

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Levent ŞAYLAN

TEMMUZ 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511142005 numaralı Doktora Öğrencisi Serhan YEŞİLKÖY, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "TRAKYA'DA SU AYAK İZİNİN TARIMSAL EKOSİSTEMDE BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Levent ŞAYLAN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Zafer ASLAN** İstanbul Aydın Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Barış ÇALDAĞ İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Doğanay TOLUNAY İstanbul Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Barış ÖNOL İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 6 Haziran 2020
Savunma Tarihi : 14 Temmuz 2020

Değerli Eşim Özlem

ve

Canım Oğlum Ediz Evren için,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, son yıllarda önemi daha da çok anlaşılan su ayak izi kavramının, ülkemizin en önemli tarımsal üretim alanlarından Trakya'da geniş alanlarda yetiştiriciliği yapılan ve ülkemizde de önemli üretim payına sahip ayçiçeği ve kışlık buğday bitkileri için analizi yapılmıştır. Ayrıca, yaygın olarak kullanılan üç farklı bitki gelişimi simülasyon modeli ile günümüz ve gelecek bitki verim ve su ayak izi miktarı ve değişimleri iklim değişikliği kapsamında ortaya konmuştur. Bitkilerin verim ve su ayak izi miktarından farklı olarak, Trakya'da meydana gelebilecek ileriye yönelik meteorolojik ve tarımsal kuraklık koşulları, iyimser ve kötümser senaryolara hesaplanmıştır.

Tez çalışmasının her aşamasında yanımda olan Prof. Dr. Levent Şaylan'a çok teşekkür ederim. Değerli bilgilerini çekinmeden paylaşan Doç. Dr. Barış Çaldağ'a, ailecek desteğini sürekli hissettiğimiz Prof. Dr. Zafer Aslan ve değerli katkılarından dolayı Doç. Dr. Barış Önol'a ayrıca teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine vermiş olduğu destekten dolayı teşekkür ederim (Proje No: MDK-2018-41436).

Yüksek Lisans ve Doktora eğitimim boyunca çalışmış olduğum Kırklareli'de bulunan Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ndeki Müdür Dr. Fatih Bakanoğulları ve Müdür Yardımcısı Dr. Mehmet Ali Gürbüz'e teşekkür ederim. Yaşam sevinci ve azminden her zaman ilham aldığım ve geçtiğimiz günlerde kaybettiğimiz sevgili babaannem Keziban Yeşilköy'e, hayatımın dönüm noktası olan değerli hayat arkadaşım Dr. Özlem Baydaroğlu Yeşilköy'e ve yaşam sevincimiz Ediz Evren Yeşilköy'e minnettarım.

Temmuz 2020

Serhan Yeşilköy
(Meteoroloji Yük. Müh.)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
SEMBOLLER ..... **xv**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xvii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xxi**
ÖZET ..... **xxxiii**
SUMMARY ..... **xxxv**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 2
1.2 Literatür Araştırması 2
1.2.1 Su ayak izi çalışmaları 2
1.2.1.1 Türkiye'de SAİ değerlendirildiği çalışmalar 3
1.2.1.2 Dünya'daki SAİ değerlendirme çalışmaları 6
1.2.2 Kuraklık indeksleriyle ilgili çalışmalar 24
1.2.2.1 Türkiye'deki kuraklık indeksi çalışmaları 24
1.2.2.2 Dünya'daki kuraklık indeksi çalışmaları 28
2. MATERYAL VE METOT **37**
2.1 Çalışma Alanı 37
2.2 Veri. 40
2.2.1 Meteorolojik veriler 40
2.2.2 Arazi verileri 44
2.2.3 Bitki verileri 45
2.2.4 Projeksiyon verileri 49
2.2.4.1 Basit mevsimsel yanlılık (bias) düzeltmesi 51
2.2.4.2 Kantil haritalama yanlılık düzeltmesi 55
2.3 Bitki Gelişimi Simülasyonu Modelleri 68
2.3.1 AquaCrop modeli 69
2.3.2 DSSAT modeli 74
2.3.2.1 Nwheat altmodeli 78
2.3.2.2 CROPGRO altmodeli 78
2.3.3 WOFOST modeli 79
2.4 Su Ayak İzi Hesaplamaları 81
2.5 Kuraklık İndeksleri 82
2.5.1 Standart yağış evapotranspirasyon indeksi 83
2.5.2 Palmer kuraklık şiddeti indeksi 85
2.5.3 Kendinden kalibre Palmer kuraklık şiddeti indeksi 85
3. BULGULAR **87**
3.1 Bitki İklim Modelleri Bulguları 87

3.1.1 Model kalibrasyonu 87
3.1.2 Hassasiyet analizleri 90
3.1.2.1 AquaCrop modeli hassasiyet analizi 90
3.1.2.2 DSSAT modeli hassasiyet analizi 93
3.1.2.3 WOFOST modeli hassasiyet analizi 96
3.1.2.4 Modellerin hassasiyet analizlerinin değerlendirilmesi 100
3.2 İklim Projeksiyon Bulguları 103
3.2.1 Ayçiçeği gelişme dönemi 110
3.2.2 Buğday gelişme dönemi 123
3.3 Su Ayak İzi Bulguları 137
3.3.1 AquaCrop sonuçları 137
3.3.1.1 Ayçiçeği bitkisi sonuçları 137
3.3.1.2 Kışlık buğday bitkisi sonuçları 142
3.3.2 DSSAT sonuçları 146
3.3.2.1 Ayçiçeği bitkisi sonuçları 146
3.3.2.2 Kışlık buğday bitkisi sonuçları 150
3.3.3 WOFOST sonuçları 155
3.3.3.1 Ayçiçeği bitkisi sonuçları 155
3.3.3.2 Kışlık buğday bitkisi sonuçları 159
3.4 Kuraklık İndeks Sonuçları 163
3.4.1 SPEI indeksi sonuçları 163
3.4.1.1 Ayçiçeği bitkisi gelişme dönemi 164
3.4.1.2 Kışlık buğday bitkisi gelişme dönemi 168
3.4.2 PDSI ve sc-PDSI sonuçları 172
3.4.2.1 Ayçiçeği bitkisi gelişme dönemi 172
3.4.2.2 Kışlık buğday bitkisi gelişme dönemi 174
4. SONUÇLAR 177
KAYNAKLAR 185
EKLER 200
ÖZGEÇMİŞ 265

KISALTMALAR

ACCESS : Australian Community Climate and Earth System Simulator (İklim ve Dünya Sistemi Simülatörü Avustralya Topluluğu)
AEZ : Agro-Ecological Zoning (Agro-Ekolojik Alan)
ANFIS : Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (Uyarlanabilir Sinir Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi)
APSIM : Agricultural Production Systems Simulator (Tarımsal Üretim Sistem Simülatörü)
AR5 : 5^{th} Assessment Report (5. Değerlendirme Raporu)
ATSTMAEM: Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Arş. Enstitüsü Müd.
BRIC : Brazil, Russia, India, China (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin)
CCAM : Conformal Cubic Atmospheric Model (Konformal Kübik Atmosfer Modeli)
CERES : Crop Estimation through Resource and Environment Synthesis
CMP5 : 5^{th} Coupled Model Intercomparison Project
CM5 : Climate Model version 5 (İklim Modeli versiyon 5)
CNRM : Centre National de Recherches Météorologiques (Fransız Ulusal Meteoroloji Araştırma Merkezi)
CORDEX : Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment
CORINE : Coordination of Information on the Environment
CRU : Climatic Research Unit (İklim Araştırma Birimi)
CS : CropSyst
CSIRO : Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (Milletler Topluluğu Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Örgütü)
CWT : Continuous Wavelet Transform (Sürekli Dalgacık Dönüşümü)
CWU : Crop Water Use (Bitki Su Kullanımı)
CWRD : California Water Resources Department (Kaliforniya Su Kaynakları Departmanı)
CZI : China-Z Index **(**Çin-Z Endeksi)
DHI : Drought Hazard Index (Etkin Kuraklık İndeksi)
DRI : Drought Risk Index (Kuraklık Risk İndeksi)
DSSAT : Decision Support System for Agrotechnology Transfer
DVI : Drought Vulnerability Index (Kuraklık Hassasiyet İndeksi)
EC : Eddy Covariance (Eddy Kovaryans)
EDI : Effective Drought Index (Etkin Kuraklık İndeksi)
EOF : Emprical Orthogonal Function (Ampirik Ortogonal Fonksiyon)
ET : Evapotranspirasyon
ET_0 : Referans Evapotranspirasyon
FAO : Food and Agricultural Organization (Dünya Gıda ve Tarım Örgütü)
FFT : Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
FPCA : Functional Principal Component Analysis (Fonksiyonel Temel Bileşen Analizi)
GIS : Geographical Information Systems (Coğrafi Bilgi Sistemleri)

GSYİH : Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
GCM : General Circulation Model (Genel Sirkülasyon Modeli)
GLUE : Generalized Likelihood Uncertainty Estimation
GPCC : Global Precipitation Climatology Centre (Küresel Yağış ve İklim Merkezi)
HEFA : Harmonized Ester and Fatty Acid (İşlenmiş Ester ve Yağ Asidi)
HI : Harvest Index (Hasat İndeksi)
IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
I-O : Input-Output (Girdi-Çıktı)
KAİ : Karbon Ayak İzi
LAİ : Leaf Area Index (Yaprak Alan İndeksi)
LCA : Life Cycle Assessment (Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi)
LCM : Land Surface Model (Yer Yüzey Modeli)
MINT : Mexico, Indonesia, Nigeria, Turkey (Meksika, Endonezya, Nijerya, Türkiye)
MCM : Million Cubic Meter (Milyon Kübik Metre)
MGM : Meteoroloji Genel Müdürlüğü
M-K : Mann-Kendall
MPDSI : Modified Palmer Drought Severity Index (Modifiye Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi)
MPI : Max-Planck Institute (Max-Planck Enstitüsü)
NVWI : Net Virtual Water Import (Net Sanal Su İthalatı)
ORNL : Oak Ridge Natioanal Laboratory (Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı)
PC : PolyCrop
PCA : Principal Component Analysis (Temel Bileşenler Analizi)
PDO : Pacific Decadal Oscillation (Pasifik On Yıllık Salınımının)
PET : Potansiyel Evapotranspirasyon
PDSI : Palmer Drought Severity Index (Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi)
PHDI : Palmer Hydrological Severity Index (Palmer Hidrolojik Kuraklık İndeksi)
P-M : Penman-Monteith
PNI : Percent of Normal Index (Normalin Yüzdesi İndeksi)
QM : Quantile Mapping (Kantil Haritalama)
RDDI : Racial Disparities and Disproportionality Index (Ondalık Tabanlı Yağış Kuraklık İndeksi)
RCM : Regional Climate Model (Bölgesel İklim Modeli)
RCP : Representative Concentration Pathway (Temsilci Konsantrasyon Yolu)
RMSE : Root Mean Square Error (Ortalama Karesel Hata)
sc-PDSI : Self-Calibrated Palmer Drought Severity Index (Kendinden Kalibre Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi)
SAİ : Su Ayak İzi
SAİA : Su Ayak İzi Ağı
SMCI : Soil Moisture Condition Index (Toprak Nemi Kondisyon İndeksi)
SPEI : Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index (Standart Yağış-Evapotranspirasyon İndeksi)
SPI : Standardised Precipitation Index (Standart Yağış İndeksi)
STIRPAT : Stokastik Etki Modeli

SWAT **:** Soil and Water Assessment Tool (Toprak ve Su Değerlendirme Aracı)
TDR **:** Time Domain Reflectometry
TH **:** Thornthwaite
TSAİ **:** Toplam Su Ayak İzi
TÜİK **:** Türkiye İstatistik Kurumu
USDA **:** United States Department of Agriculture (Birleşik Devletler Tarım Departmanı)
VCI **:** Vegetation Condition Index (Vejetasyon Kondisyon İndeksi)
WFA **:** Water Footprint Assessment (Su Ayak İzi Değerlendirmesi)
WMO **:** World Meteorological Organization (Dünya Meteoroloji Örgütü)
WUE **:** Water Usage Efficiency (Su Kullanım Verimliliği)
WWF **:** World Wildlife Fund (Dünya Doğayı Koruma Vakfı)
WOFOST **:** World FOod Studies
WPDSI **:** Weighted Palmer Drought Severity Index (Ağırlıklı Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi)
YSA **:** Yapay Sinir Ağları

SEMBOLLER

$\boldsymbol{B}$	: Biyokütle
CC	: Yeşil Bitki Örtüsünün Kapladığı Alan
$\mathbf{CC_o}$	: Yeşil Bitki Örtüsünün Başlangıçtaki Kapladığı Alan
$\mathbf{CC_x}$	: Yeşil Bitki Örtüsünün Maksimum Kapladığı Alan
CDC	: Bitki Zayıflama Katsayısı
CGC	: Bitki Gelişim Katsayısı
$\boldsymbol{CR_i}$	: Kapiler Yükselme
$\boldsymbol{D_{i,j}^k}$	: i Yılındaki k. Ay Zaman Aralığındaki Toplam Fark
$\boldsymbol{D_j}$	: Aylık Fark Miktarı
da	: Dekar
$\boldsymbol{DP_i}$	: Derine Sızma
$\boldsymbol{D_{r,i}}$	**:** Belli Bir Zamandaki Drenaj Miktarı
$\boldsymbol{D_{r,i-1}}$	: Bir Zaman Aralığı Önceki Drenaj Miktarı
$\mathbf{e_a}$	: Gerçek Buhar Basıncı
$\mathbf{e_s}$	: Doymuş Buhar Basıncı
$\boldsymbol{F_0^{-1}}$	: Ölçüm Değerlerinin Kümülatif Dağılım Fonksiyonu
$\boldsymbol{F_s}$	: Model Tarafından Üretilmiş Ham Projeksiyon Verilerininin Kümülatif Dağılım Fonksiyonu
G	: Toprak Isı Akısı
$\mathbf{Gm^3}$	: Giga Metre Küp
ha	: Hektar
$\boldsymbol{HI}$	: Hasat İndeksi
$\boldsymbol{I_i}$	: Sulama Miktarı
$\boldsymbol{K}$	: Bir Bölgedeki İklim Karakteristiği Katsayısı
L	: Litre
$\boldsymbol{\bar{L}}$	: Topraktan Çıkan Ortalama Nem
$\boldsymbol{\overline{PE}}$	: Ortalama Potansiyel Evapotranspirasyon
$\boldsymbol{P_{eff}}$	: Günlük Efektif Yağış Miktarı
$\boldsymbol{P_j}$	: Aylık Toplam Yağış Miktarı
$\boldsymbol{P_{total}}$	: Günlük Toplam Yağış Miktarı
ppm	: Percentage Per Million
$\boldsymbol{\bar{R}}$	: Toprağın Ortalama Su Miktarı İhtiyacı
RP	: Referans Periyot
$\boldsymbol{\overline{RO}}$	: Ortalama Yüzey Akışı
$\mathbf{R_g}$	: Gelen Kısa Dalga Boylu Güneş Radyasyonu
$\mathbf{R_n}$	: Net Güneş Radyasyonu
$\boldsymbol{Q_m(t)}$	: Düzeltilmiş Veri
$\boldsymbol{Q_s(t)}$	: Model Tarafından Üretilmiş Referans Yıllardaki Ham Veri
t	: Ton
T	: Ortalama Sıcaklık
$\boldsymbol{T_{düzeltilmiş}}$	: Düzeltilmiş Sıcaklık Verisi

T_i : Günlük Projeksiyon Sıcaklık Değerini

$\overline{T}_{i,\text{ölçüm}}$: Referans Yıllardaki Aylık Ortalama Sıcaklık Verisi

$\overline{T}_{i,model}$: Projeksiyon Verisinin Bulunduğu Ayın Referans Yıllardaki Aylık Ortalama Sıcaklık Verisi

T_{max} : Maksimum Hava Sıcaklığı

T_{min} : Minimum Hava Sıcaklığı

u_2 : 2 m Yükseklikteki Ortalama Rüzgar Şiddeti

W : Watt

X_i : i. Aydaki PDSI

Y : Hasat Miktarı

Z_i : i. Aydaki Nem Anomali İndeksi

Δ : Buhar Basıncı Eğrisinin Eğimi

ΔSW : Ölçüm Zaman Aralığındaki Toprak Su İçeriği Değişimi

$\Delta T_{gelecek}$: Projeksiyon Verilerindeki Günlük Sıcaklık Değişimi

β : Ölçek Parametresi

α : Şekil Parametresi

φ : Orijin Parametresi

γ : Psikrometrik Katsayı

λ : Suyun Buharlaşma Gizli Isısı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Trakya'daki İl Merkezlerinin Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yıllık Toplam Yağış İstatistiği. 40
Çizelge 2.2 : İstasyon Bilgileri. 40
Çizelge 2.3 : Toprakların Bazı Fiziksel Özellikleri.....45
Çizelge 2.4 : Ayçiçeği Fenolojik Dönemler. 46
Çizelge 2.5 : Kışlık Buğday Fenolojik Dönemler. 46
Çizelge 2.6 : Ayçiçeği ve Buğday Bitkileri Ekim Bilgileri. 46
Çizelge 2.7 : IPCC Tarafından Üretilen RCP Senaryoları. 49
Çizelge 2.8 : Modellerin Bitki Büyümesi ve Gelişiminde Kullandıkları Yöntemler.81
Çizelge 2.9 : SPEI Kategorizasyonu. 83
Çizelge 2.10 : PDSI ve sc-PDSI Kategorizasyonu.....86
Çizelge 3.1 : Gerçek Verim ve Model Verimlerinin Karşılaştırılması.....88
Çizelge 3.2 : Ayçiçeği Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre Verim Değişimi. 141
Çizelge 3.3 : Ayçiçeği Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre SAİ Değişimi. 141
Çizelge 3.4 : Buğday Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre Verim Değişimi. 145
Çizelge 3.5 : Buğday Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre SAİ Değişimi. 146
Çizelge 3.6 : Ayçiçeği Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre Verim Değişimi. 150
Çizelge 3.7 : Ayçiçeği Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre SAİ Değişimi. 150
Çizelge 3.8 : Buğday Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre Verim Değişimi. 154
Çizelge 3.9 : Buğday Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre SAİ Değişimi.154
Çizelge 3.10 : Ayçiçeği Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre Verim Değişimi. 159

Çizelge 3.11 : Ayçiçeği Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre SAİ Değişimi. 159
Çizelge 3.12 : Buğday Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre Verim Değişimi. 163
Çizelge 3.13 : Buğday Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre SAİ Değişimi. 163
Çizelge 4.1 : İklim Projeksiyonu Senaryolarına Göre Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki Meteorolojik Faktörlerdeki Değişim Miktarları. 179
Çizelge 4.2 : İklim Projeksiyonu Senaryolarına Göre Buğday Gelişme Dönemindeki Meteorolojik Faktörlerdeki Değişim Miktarları. 180
Çizelge A.1 : AquaCrop Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 201
Çizelge A.2 : AquaCrop Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 202
Çizelge A.3 : AquaCrop Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 203
Çizelge A.4 : AquaCrop Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 204
Çizelge A.5 : AquaCrop Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 205
Çizelge A.6 : AquaCrop Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 206
Çizelge A.7 : AquaCrop Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 207
Çizelge A.8 : AquaCrop Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 208
Çizelge A.9 : AquaCrop Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 209
Çizelge A.10 : AquaCrop Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 210
Çizelge A.11 : AquaCrop Modeli ileTekirdağ'da Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 211
Çizelge A.12 : AquaCrop Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 212
Çizelge A.13 : DSSAT Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 213
Çizelge A.14 : DSSAT Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 214
Çizelge A.15 : DSSAT Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 215
Çizelge A.16 : DSSAT Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 216
Çizelge A.17 : DSSAT Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 217
Çizelge A.18 : DSSAT Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 218

Çizelge A.19 : DSSAT Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 219
Çizelge A.20 : DSSAT Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 220
Çizelge A.21 : DSSAT Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 221
Çizelge A.22 : DSSAT Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 222
Çizelge A.23 : DSSAT Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 223
Çizelge A.24 : DSSAT Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 224
Çizelge A.25 : WOFOST Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 225
Çizelge A.26 : WOFOST Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 226
Çizelge A.27 : WOFOST Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 227
Çizelge A.28 : WOFOST Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 228
Çizelge A.29 : WOFOST Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 229
Çizelge A.30 : WOFOST Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 230
Çizelge A.31 : WOFOST Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 231
Çizelge A.32 : WOFOST Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 232
Çizelge A.33 : WOFOST Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 233
Çizelge A.34 : WOFOST Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 234
Çizelge A.35 : WOFOST Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi. 235
Çizelge A.36 : WOFOST Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi. 236

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : 2014 Yılı Belediye SAİ Miktarının Alansal Dağılımı 5
Şekil 1.2 : Bölgesel istatistiklere dayanarak, 2012 yılı için Avrupa'da ekilebilir başlıca bitkiler için verim (t/ha) miktarı 6
Şekil 1.3 : 1992-2012 dönemi için, Avrupa bölgelerinin sulanan ekilebilir bitkilerin modellenmiş verimleri için yeşil SAİ miktarları 6
Şekil 2.1 : Tezdeki Süreçlere Ait Akış Diyagramı. 37
Şekil 2.2 : Trakya Sayısal Yükseklik Modeli Haritası. 38
Şekil 2.3 : Arazi Kullanım (CORINE) 2018 Haritası.....39
Şekil 2.4 : Edirne'deki Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsüne ait Tarımsal Meteoroloji İstasyonu.....41
Şekil 2.5 : Kırklareli'ndeki İstanbul Teknik Üniversitesi'ne ait Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsündeki Tarımsal Meteoroloji İstasyonu. 41
Şekil 2.6 : MGM İstasyonlarına Ait Referans Dönemdeki (1971-2000) Aylık Ortalama Sıcaklık ve Yağış Grafikleri. 42
Şekil 2.7 : Trakya Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yıllık Toplam Yağış Haritaları. 43
Şekil 2.8 : Trakya Ayçiçeği Gelişme Dönemi Ortalama Sıcaklık ve Toplam Yağış Haritaları. 43
Şekil 2.9 : Trakya Kışlık Buğday Gelişme Dönemi Ortalama Sıcaklık ve Toplam Yağış Haritaları. 44
Şekil 2.10 : Toprak Örneklerinin Alınması. 44
Şekil 2.11 : Ayçiçeği Fenolojik Dönemlerine Ait Fotoğraflar. 47
Şekil 2.12 : Kışlık Buğday Fenolojik Dönemlerine Ait Fotoğraflar. 48
Şekil 2.13 : Atmosferik CO_2 Konsantrasyon Zaman Serisi. 50
Şekil 2.14 : HadGEM2-ES Küresel İklim Modeli Çalışma Şeması.....50
Şekil 2.15 : Edirne ili Ham ve Düzeltilmiş Ortalama Sıcaklık Verisi. 51
Şekil 2.16 : Edirne ili Ham ve Düzeltilmiş Maksimum Sıcaklık Verisi. 52
Şekil 2.17 : Edirne ili Ham ve Düzeltilmiş Minimum Sıcaklık Verisi. 52
Şekil 2.18 : Kırklareli ili Ham ve Düzeltilmiş Ortalama Sıcaklık Verisi. 53
Şekil 2.19 : Kırklareli ili Ham ve Düzeltilmiş Maksimum Sıcaklık Verisi. 53
Şekil 2.20 : Kırklareli ili Düzeltilmiş ve Ham Minimum Sıcaklık Verisi. 54
Şekil 2.21 : Tekirdağ ili Düzeltilmiş ve Ham Ortalama Sıcaklık Verisi. 54
Şekil 2.22 : Tekirdağ ili Düzeltilmiş ve Ham Maksimum Sıcaklık Verisi. 54
Şekil 2.23 : Tekirdağ ili Düzeltilmiş ve Ham Minimum Sıcaklık Verisi. 55
Şekil 2.24 : Edirne ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Yağış Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu. 56
Şekil 2.25 : Edirne ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Toplam Yağış Verileri ile Aylık Toplam Ham Yağış Verileri. 57
Şekil 2.26 : Kırklareli ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Yağış Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu. 57

Şekil 2.27 : Kırklareli ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Toplam Yağış Verileri ile Aylık Toplam Ham Yağış Verileri. 58
Şekil 2.28 : Tekirdağ ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Yağış Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu. 58
Şekil 2.29 : Tekirdağ ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Toplam Yağış Verileri ile Aylık Toplam Ham Yağış Verileri. 59
Şekil 2.30 : Edirne ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Global Radyasyon Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu. .. 60
Şekil 2.31 : Edirne ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Global Radyasyon Verileri ile Aylık Ortalama Global Radyasyon Verileri. 60
Şekil 2.32 : Kırklareli ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Global Radyasyon Verileri Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu. .. 60
Şekil 2.33 : Kırklareli ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Global Radyasyon Verileri ile Aylık Ortalama Global Radyasyon Verileri. 61
Şekil 2.34 : Tekirdağ ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Global Radyasyon Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu. .. 61
Şekil 2.35 : Tekirdağ ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Global Radyasyon Verileri ile Aylık Ortalama Global Radyasyon Verileri. 62
Şekil 2.36 : Edirne ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Bağıl Nem Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu. 63
Şekil 2.37 : Edirne ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Bağıl Nem Verileri ile Aylık Ortalama Bağıl Nem Verileri. 63
Şekil 2.38 : Kırklareli ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Bağıl Nem Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu. 63
Şekil 2.39 : Kırklareli ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Bağıl Nem Verileri ile Aylık Ortalama Bağıl Nem Verileri. 64
Şekil 2.40 : Tekirdağ ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Bağıl Nem Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu. 64
Şekil 2.41 : Tekirdağ ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Bağıl Nem Verileri ile Aylık Ortalama Bağıl Nem Verileri. 65
Şekil 2.42 : Edirne ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Rüzgar Şiddeti Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Emprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu. ... 66
Şekil 2.43 : Edirne ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Rüzgar Şiddeti Verileri ile Aylık Ortalama Rüzgar Şiddeti Verileri. 66
Şekil 2.44 : Kırklareli ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Rüzgar Şiddeti Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Emprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu. ... 67
Şekil 2.45 : Kırklareli ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Rüzgar Şiddeti Verileri ile Aylık Ortalama Rüzgar Şiddeti Verileri. 67
Şekil 2.46 : Tekirdağ ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Rüzgar Şiddeti Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Emprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu. ... 68
Şekil 2.47 : Tekirdağ ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Rüzgar Şiddeti Verileri ile Aylık Ortalama Rüzgar Şiddeti Verileri. 68
Şekil 2.48 : AquaCrop Modeli Akış Şeması 70
Şekil 2.49 : Bitki Örtüsünün Kapladığı Alanın Zamana Göre Değişimi. 71
Şekil 2.50 : AquaCrop Aylık Yağış ve ET_0 Grafiği Örnek Ekran Görüntüleri. 72
Şekil 2.51 : AquaCrop Modeli Fenolojik Kayıtlar Örnek Ekran Görüntüsü. 73
Şekil 2.52 : AquaCrop Modeli Toprak Bölümü Örnek Ekran Görüntüleri. 73
Şekil 2.53 : AquaCrop Modeli Toprak Bölümü Örnek Ekran Görüntüsü. 73
Şekil 2.54 : DSSAT Modeli Akış Diyagramı. 74
Şekil 2.55 : Weatherman - Ekran Görüntüsü. 75

Şekil 2.56 : Weatherman - İstasyon Aylık Ekran Görüntüsü.....75
Şekil 2.57 : Weatherman - İstasyon Bilgileri Ekran Görüntüsü. 76
Şekil 2.58 : Weatherman - Zaman Serileri Ekran Görüntüsü. 76
Şekil 2.59 : DSSAT Menüleri Ekran Görüntüleri. 77
Şekil 2.60 : GLUE Programı Ekran Görüntüsü. 77
Şekil 2.61 : WOFOST Akış Şeması 79
Şekil 2.62 : WOFOST Meteoroloji Veri Formatı. 80
Şekil 2.63 : WOFOST Bitki ve Toprak Veri Formatı. 80
Şekil 3.1 : Ayçiçeği Bitkisinin Farklı Yaklaşımlarla Elde Edilen SAİ Miktarlarının Karşılaştırması.....89
Şekil 3.2 : Kışlık Buğday Bitkisinin Farklı Yaklaşımlarla Elde Edilen SAİ Miktarlarının Karşılaştırması. 90
Şekil 3.3 : Ayçiçeği Bitkisinin Sıcaklık ve Yağış Değişimlerine Göre Verim Değişimi.....101
Şekil 3.4 : Buğday Bitkisinin Sıcaklık ve Yağış Değişimlerine Göre Verim Değişimi. 101
Şekil 3.5 : Ayçiçeği Bitkisinin Sıcaklık ve Yağış Değişimlerine Göre SAİ Değişimi. 102
Şekil 3.6 : Buğday Bitkisinin Sıcaklık ve Yağış Değişimlerine Göre SAİ Değişimi. 102
Şekil 3.7 : Edirne İlinin HadGEM2-ES Modeli Tarafından RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilen Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yıllık Toplam Yağış Zaman Serileri. 104
Şekil 3.8 : Edirne İlinin HadGEM2-ES Modeli Tarafından RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilen Yıllık Maksimum ve Minimum Sıcaklık Zaman Serileri.....105
Şekil 3.9 : Kırklareli İlinin HadGEM2-ES Modeli Tarafından RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilen Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Toplam Yağış Zaman Serileri.....106
Şekil 3.10 : Kırklareli İlinin HadGEM2-ES Modeli Tarafından RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilen Yıllık Ortalama Maksimum ve Minimum Sıcaklık Zaman Serileri.....107
Şekil 3.11 : Tekirdağ İlinin HadGEM2-ES Modeli Tarafından RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilen Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Toplam Yağış Zaman Serileri. 108
Şekil 3.12 : Tekirdağ İlinin HadGEM2-ES Modeli Tarafından RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilen Yıllık Ortalama Maksimum ve Minimum Sıcaklık Zaman Serileri.....108
Şekil 3.13 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Haritaları.....110
Şekil 3.14 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Değişim Haritaları.....110
Şekil 3.15 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Haritaları.....111
Şekil 3.16 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Değişim Haritaları.....111

Şekil 3.17 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Haritaları. 112
Şekil 3.18 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Değişim Haritaları. 113
Şekil 3.19 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Haritaları. 113
Şekil 3.20 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Değişim Haritaları. 113
Şekil 3.21 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Haritaları. 114
Şekil 3.22 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Değişim Haritaları. 114
Şekil 3.23 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Haritaları. 115
Şekil 3.24 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Değişim Haritaları. 115
Şekil 3.25 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Haritaları. 115
Şekil 3.26 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Değişim Haritaları. 116
Şekil 3.27 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Haritaları. 116
Şekil 3.28 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Değişim Haritaları. 117
Şekil 3.29 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Haritaları. 117
Şekil 3.30 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Değişim Haritaları. 117
Şekil 3.31 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Haritaları. 118
Şekil 3.32 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Değişim Haritaları. 118

Şekil 3.33 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Haritaları. 119
Şekil 3.34 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Değişim Haritaları. 119
Şekil 3.35 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Haritaları. 120
Şekil 3.36 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Değişim Haritaları. 120
Şekil 3.37 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Haritaları. 121
Şekil 3.38 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Değişim Haritaları. 121
Şekil 3.39 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Haritaları. 122
Şekil 3.40 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Değişim Haritaları. 122
Şekil 3.41 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Haritaları. 123
Şekil 3.42 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Değişim Haritaları. 123
Şekil 3.43 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Haritaları. 124
Şekil 3.44 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Değişim Haritaları. 124
Şekil 3.45 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Haritaları. 125
Şekil 3.46 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Değişim Haritaları. 125
Şekil 3.47 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Haritaları. 126
Şekil 3.48 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Değişim Haritaları. 126

Şekil 3.49 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Haritaları. 127
Şekil 3.50 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Değişim Haritaları. 127
Şekil 3.51 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Haritaları. 127
Şekil 3.52 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Değişim Haritaları. 128
Şekil 3.53 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Haritaları. 128
Şekil 3.54 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Değişim Haritaları. 129
Şekil 3.55 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Haritaları. 129
Şekil 3.56 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Değişim Haritaları. 130
Şekil 3.57 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Haritaları. 130
Şekil 3.58 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Değişim Haritaları. 130
Şekil 3.59 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Haritaları. 131
Şekil 3.60 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Değişim Haritaları. 131
Şekil 3.61 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Toplam Yağış Haritaları. 132
Şekil 3.62 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Değişim Haritaları. 132
Şekil 3.63 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Toplam Yağış Haritaları. 133
Şekil 3.64 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Değişim Haritaları. 133

Şekil 3.65 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Toplam Yağış Haritaları. 134
Şekil 3.66 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Değişim Haritaları. 134
Şekil 3.67 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Haritaları. 135
Şekil 3.68 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Değişim Haritaları. 135
Şekil 3.69 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Haritaları. 135
Şekil 3.70 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Değişim Haritaları. 136
Şekil 3.71 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Haritaları. 136
Şekil 3.72 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Değişim Haritaları. 136
Şekil 3.73 : Edirne İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Verim Sonuçları Zaman Serileri. 138
Şekil 3.74 : Edirne İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop SAİ Sonuçları Zaman Serileri. 138
Şekil 3.75 : Kırklareli İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Verim Sonuçları Zaman Serileri. 139
Şekil 3.76 : Kırklareli İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop SAİ Sonuçları Zaman Serileri. 139
Şekil 3.77 : Tekirdağ İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Verim Sonuçları Zaman Serileri. 140
Şekil 3.78 : Tekirdağ İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop SAİ Sonuçları Zaman Serileri. 140
Şekil 3.79 : Edirne İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Verim Sonuçları Zaman Serileri. 142
Şekil 3.80 : Edirne İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop SAİ Sonuçları Zaman Serileri. 143
Şekil 3.81 : Kırklareli İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Verim Sonuçları Zaman Serileri. 143
Şekil 3.82 : Kırklareli İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop SAİ Sonuçları Zaman Serileri. 144
Şekil 3.83 : Tekirdağ İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Verim Sonuçları Zaman Serileri. 144
Şekil 3.84 : Tekirdağ İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop SAİ Sonuçları Zaman Serileri. 145
Şekil 3.85 : Edirne İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Verim Sonuçları Zaman Serileri. 147

Şekil 3.86 : Edirne İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT SAİ Sonuçları Zaman Serileri. 147
Şekil 3.87 : Kırklareli İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Verim Sonuçları Zaman Serileri. 148
Şekil 3.88 : Kırklareli İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT SAİ Sonuçları Zaman Serileri. 148
Şekil 3.89 : Tekirdağ İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Verim Sonuçları Zaman Serileri. 149
Şekil 3.90 : Tekirdağ İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT SAİ Sonuçları Zaman Serileri. 149
Şekil 3.91 : Edirne İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Verim Sonuçları Zaman Serileri. 151
Şekil 3.92 : Edirne İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT SAİ Sonuçları Zaman Serileri. 151
Şekil 3.93 : Kırklareli İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Verim Sonuçları Zaman Serileri. 152
Şekil 3.94 : Kırklareli İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT SAİ Sonuçları Zaman Serileri. 152
Şekil 3.95 : Tekirdağ İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Verim Sonuçları Zaman Serileri. 153
Şekil 3.96 : Tekirdağ İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT SAİ Sonuçları Zaman Serileri. 154
Şekil 3.97 : Edirne İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Verim Sonuçları Zaman Serileri. 155
Şekil 3.98 : Edirne İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST SAİ Sonuçları Zaman Serileri. 156
Şekil 3.99 : Kırklareli İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Verim Sonuçları Zaman Serileri. 156
Şekil 3.100 : Tekirdağ İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST SAİ Sonuçları Zaman Serileri. 157
Şekil 3.101 : Tekirdağ İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Verim Sonuçları Zaman Serileri. 158
Şekil 3.102 : Tekirdağ İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST SAİ Sonuçları Zaman Serileri. 158
Şekil 3.103 : Edirne İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Verim Sonuçları Zaman Serileri. 160
Şekil 3.104 : Edirne İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST SAİ Sonuçları Zaman Serileri. 160
Şekil 3.105 : Kırklareli İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Verim Sonuçları Zaman Serileri. 161
Şekil 3.106 : Kırklareli İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST SAİ Sonuçları Zaman Serileri. 161
Şekil 3.107 : Tekirdağ İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Verim Sonuçları Zaman Serileri. 162
Şekil 3.108 : Tekirdağ İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Verim Sonuçları Zaman Serileri. 162
Şekil 3.109 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 Senaryosu 2020-2040 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları. 164

Şekil 3.110 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 Senaryosu 2020-2040 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları. 165
Şekil 3.111 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 Senaryosu 2041-2070 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları. 166
Şekil 3.112 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 Senaryosu 2041-2070 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları. 166
Şekil 3.113 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 Senaryosu 2071-2099 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları. 167
Şekil 3.114 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 Senaryosu 2071-2099 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları. 167
Şekil 3.115 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 Senaryosu 2020-2040 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları. 168
Şekil 3.116 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 Senaryosu 2020-2040 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları. 169
Şekil 3.117 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 Senaryosu 2041-2070 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları. 170
Şekil 3.118 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 Senaryosu 2041-2070 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları. 170
Şekil 3.119 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 Senaryosu 2071-2099 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları. 171
Şekil 3.120 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 Senaryosu 2071-2099 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları. 171
Şekil 3.121 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryoları 2020-2040 Dönemi Sonuçları sc-PDSI Haritaları. 172
Şekil 3.122 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryoları 2041-2070 Dönemi Sonuçları sc-PDSI Haritaları. 173
Şekil 3.123 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryoları 2071-2099 Dönemi Sonuçları sc-PDSI Haritaları. 173
Şekil 3.124 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryoları 2020-2040 Dönemi Sonuçları sc-PDSI Haritaları. 175
Şekil 3.125 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryoları 2041-2070 Dönemi Sonuçları sc-PDSI Haritaları. 175

Şekil 3.126 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryoları 2071-2099 Dönemi Sonuçları sc-PDSI Haritaları. 175
Şekil B.1 : Çorlu'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri. 237
Şekil B.2 : Çorlu'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri. 237
Şekil B.3 : Çorlu'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri. 238
Şekil B.4 : Çorlu'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri. 238
Şekil B.5 : Edirne'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri. 239
Şekil B.6 : Edirne'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri. 239
Şekil B.7 : Edirne'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri. 240
Şekil B.8 : Edirne'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri. 240
Şekil B.9 : İpsala'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri. 241
Şekil B.10 : İpsala'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri. 241
Şekil B.11 : İpsala'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri. 242
Şekil B.12 : İpsala'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri. 242
Şekil B.13 : Kırklareli'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri. 243
Şekil B.14 : Kırklareli'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri. 243
Şekil B.15 : Kırklareli'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri. 244
Şekil B.16 : Kırklareli'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri. 244
Şekil B.17 : Lüleburgaz'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri. 245
Şekil B.18 : Lüleburgaz'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri. 245
Şekil B.19 : Lüleburgaz'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri. 246
Şekil B.20 : Lüleburgaz'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri. 246
Şekil B.21 : Malkara'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri. 247
Şekil B.22 : Malkara'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri. 247
Şekil B.23 : Malkara'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri. 248

Şekil B.24 : Malkara'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri.....248
Şekil B.25 : Pınarhisar'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri.....249
Şekil B.26 : Pınarhisar'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri.....249
Şekil B.27 : Pınarhisar'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri.....250
Şekil B.28 : Pınarhisar'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri.....250
Şekil B.29 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri.....251
Şekil B.30 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri.....251
Şekil B.31 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri.....252
Şekil B.32 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri.....252
Şekil B.33 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri.....253
Şekil B.34 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri.....253
Şekil B.35 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri.....254
Şekil B.36 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri.....254
Şekil C.1 : Çorlu'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.....237
Şekil C.2 : Edirne'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.....237
Şekil C.3 : İpsala'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.....238
Şekil C.4 : Kırklareli'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.....238
Şekil C.5 : Lüleburgaz'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.....239
Şekil C.6 : Malkara'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.....239
Şekil C.7 : Pınarhisar'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.....240
Şekil C.8 : Uzunkoprü'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.....240
Şekil C.9 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.....241
Şekil C.10 : Çorlu'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri. 241
Şekil C.11 : Edirne'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri.....241
Şekil C.12 : İpsala'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri.....242

Şekil C.13 : Kırklareli'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri. 242
Şekil C.14 : Lüleburgaz'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri. 243
Şekil C.15 : Malkara'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri. 243
Şekil C.16 : Pınarhisar'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri. 244
Şekil C.17 : Uzunkoprü'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri. 244
Şekil C.18 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri. 244

TRAKYA'DA SU AYAK İZİNİN TARIMSAL EKOSİSTEMDE BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ

ÖZET

Günümüzün en önemli çevresel problemi olan iklim değişikliği ile mücadelede mevcut durumun belirlenmesi üzerine birçok farklı alanda çalışmalar sürdürülmektedir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) oluşturulmasıyla ve iklim değişikliği ile mücadele kapsamında 7'şer yıllık dönemlerde değerlendirme raporları yayınlanmaktadır. 2013 yılında yayınlanan sonuncu 5. Değerlendirme Raporunda (AR5) belirtildiği üzere ilerleyen dönemlerde deniz seviyesinin yükselmesi, hava sıcaklıklarının artması, yağış miktarının düzensizleşmesi, kuraklığın şiddetlenmesi ve ekstrem hava olaylarında artış beklenmektedir. Ülkemizin de bulunduğu Akdeniz Havzasında ise iklim değişikliği etkilerinin önemli miktarda gıda, hayvancılık, turizm, sigortacılık vb. birçok farklı sektör üzerinde baskı oluşturacağı belirtilmektedir.

Son yıllarda tarım sektörünün iklim değişikliğine uyum araştırmaları ile ilgili önemli çalışmalar yapılmıştır. Su ayak izi (SAİ) kavramı, 2002 yılında ortaya konulan bir göstergedir. Günümüze kadar farklı sektörlerde farklı yaklaşımlarla SAİ belirlenmesi ile ilgili oldukça fazla çalışma bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında da Türkiye'deki tarım sektörünün önemli alanlardan Trakya'da yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin SAİ miktarları 2014-2018 yılları arasındaki arazi ölçümlerinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Bitkiler için SAİ miktarı hesaplanırken uluslararası kabul görmüş AquaCrop, DSSAT ve WOFOST bitki gelişimi simülasyonu modelleri ve arazi ölçümlerinin kullanıldığı toprak su dengesi yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan bu üç model, 2014-2018 yılları arasında ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin gelişim gösterdiği yıllardaki meteorolojik, bitki ve toprak verileri kullanılarak bitki verimlerine göre kalibre edilmiştir. Kalibrasyon işlemi tamamlandıktan sonra bitki SAİ miktarlarının hesaplanması için modellerin kabullerine göre hesaplanan gerçek evapotranspirasyon (ET) değerleri ve efektif yağış (P_{eff}) miktarı arasındaki bağıntılar ve verim değerleri kullanılarak kuru koşullarda yetiştirilen ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin SAİ değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca meteorolojik ve toprak su içeriği verileri toprak su dengesi yöntemi kullanılarak gerçek ET hesaplanmış olup SAİ değerleri arazi ölçümleri ile hesaplanmıştır ve modeller ile karşılaştırılmıştır. Modellerin kalibrasyon işlemlerinin tamamlanmasıyla birlikte bu modellerin meteorolojik faktörlerdeki değişimlerin bitki verim ve SAİ miktarları üzerindeki değişimlerinin belirlenmesi için hassasiyet analizi yapılmıştır.

Trakya'da iklim değişikliğinin etkilerinin tarımsal ekosistemde belirlenebilmesi için öncelikle 2099 yılına kadar HadGEM2-ES modeli tarafından üretilmiş ve HIRHAM5 bölgesel iklim modeli ile istatistiksel olarak altölçeklendirilmiş 0.11° (~12.5 km) yatay çözünürlüğüne sahip EURO-CORDEX verileri iyimser (RCP 4.5) ve kötümser (RCP 8.5) senaryolar için edilmiştir. Modeller tarafından 1971-2099 yılları arası için günlük olarak üretilen bu verilerin bölgenin durumunu temsil edebilmesi için yanlılık (bias) düzeltmesi uygulanması gerekmektedir. Bunun için 1971-2000 yılları arasındaki

model ve ölçüm verileri karşılaştırılıp elde edilen farklılıkların ilerideki verilere uygulanması esasına dayanmaktadır. Model verilerinin düzeltilmesi için birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık verilerinin düzeltilmesi mevsimsel ortalama yanlılık düzeltmesi; yağış, bağıl nem, rüzgar şiddeti, global radyasyon değişkenleri için kantil haritalama yöntemi kullanılmıştır. Trakya'da uzun dönem ölçüm yapan 9 farklı istasyon tarafından ölçülen günlük veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilerek CORDEX verilerinin düzeltilmesinde kullanılmıştır. Düzeltilmiş veriler ile bölgenin sıcaklık, yağış vb. meteorolojik değişkenlerin ileriye yönelik durumları ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin gelişme dönemleri için belirlenmiştir. Ayçiçeği bitkisinin gelişim gösterdiği aylarda bölge genelindeki ortalama sıcaklık değişimi RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla 4.1°C ve 6.9°C miktarında artmıştır. Yağış miktarındaki değişim ise RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla %19.9 ve %53.1 oranında azalacağı hesaplanmıştır. Kışlık buğday bitkisinin gelişim gösterdiği aylardaki bölgedeki ortalama sıcaklık değişimi RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla 3.3°C ve 6.2°C miktarında artmıştır. Yağış miktarındaki değişimi ise RCP 4.5 senaryosunda %15.1 artış; RCP 8.5 senaryosunda %16.7 azaldığı hesaplanmıştır.

Model kalibrasyonunun yapıldığı Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerindeki RCP 4.5 ve 8.5 senaryoların için elde edilen zaman serileri AquaCrop, DSSAT ve WOFOST modellerinde ayçiçeği ve kışlık buğday bitkileri için simülasyonlar yapılmıştır. Ayrıca, bu simülasyonlar yapılırken her yıldaki RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için belirlenmiş CO_2 konsantrasyon miktarları modellere girilmiştir. Ayçiçeği bitkisi için RCP 4.5 senaryosuna göre çalıştırılan modellerin sonuçlarına göre 2099 yılına kadar verim ve SAİ miktarındaki değişim AquaCrop modelinde %14.3 ve %26.6; DSSAT'ta %15.6 ve %30.8 azaldığı; WOFOST'ta ise %25.9 azaldığı ve %7.6 oranında arttığı tahmin edilmiştir. RCP 8.5 senaryosundaki verim miktarı ise AquaCrop, DSSAT ve WOFOST modellerinde sırasıyla %10.1, %18.6 ve %35.6 oranında azaldığı; SAİ miktarı ise %61.2, %62.1 ve %38.5 oranında azaldığı belirlenmiştir. Buğday bitkisinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları verim miktarındaki değişim AquaCrop'ta %18.3 ve %27.7 arttığı; DSSAT'ta %17.3 ve %20.6 azaldığı; WOFOST'ta %9.4 arttığı ve %2.0 azaldığı hesaplanmıştır. SAİ değişimi ise AquaCrop'ta %63.4 ve %75.7 azaldığı; DSSAT'ta %26.8 arttığı ve %25.9 azaldığı; WOFOST'ta %24.5 ve %50.1 azaldığı hesaplanmıştır.

Bu simülasyonların yanında Trakya'daki kuraklık durumunun belirlenebilmesi için yaygın olarak kullanılan SPEI, PDSI ve sc-PDSI indeksleri ile 2020 yılından 2099 yılına kadar ayçiçeği ve buğday bitkilerinin gelişim gösterdiği dönemlerdeki değerleri hesaplanmıştır. SPEI indekslerinin ileriye yönelik durumu ayçiçeği bitkisinin gelişim gösterdiği aylarda RCP 4.5 senaryosuna göre 3, 6, 9 ve 12 aylık hesaplamalarındaki kuraklık durumu normal civarı olarak belirlenmiştir. Bu durum RCP 8.5 senaryosunda da normal civarı olarak hesaplanmıştır. SPEI indeksinin buğday bitkisinin gelişim gösterdiği aylarda RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için 3, 6, 9 ve 12 aylık hesaplamalarındaki kuraklık durumu normal civarı olarak değerlendirilmektedir. Sc-PDSI indeksinin ileriye yönelik durumu ayçiçeği bitkisinin gelişim gösterdiği aylarda RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için normal civarı ve biraz kurak olarak hesaplanmıştır. Buğday bitkisinin gelişim gösterdiği aylarda RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için dönemsel ortalamalarında normal civarı olarak belirlenmiştir.

DETERMINATION AND MODELLING WATER FOOTPRINT IN AGRICULTURAL ECOSYSTEM IN THRACE REGION

SUMMARY

Nowadays, studies on determining the current situation in combating climate change, which is the most important environmental problem, have been continued in many different areas. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has been published Assessment Reports every 7 years within the scope of creating the and combating climate change. The last 5th Assessment Report (AR5) published in 2013, it is expected that the sea level will rise in the following periods, the air temperatures will increase, the frequency and amount of precipitation will be changed, the duration of drought will become severe and the extreme weather events will increase. In the Mediterranean Basin, where our country is located, significant effects of climate change on food, livestock, tourism, insurance, etc. It is stated that it will create enormous effects on different sectors.

In recent years, important studies have been carried out in the adaptation process to climate change by understanding the agriculture sector, which has become more important. The concept of water footprint (WF) is an indicator, which is introduced in 2002. The WF represents the volume of freshwater used to the production process and it is measured on all levels of the supply chain. Showing water consumption and polluted water volumes by source and type of pollution, WF comprises of components like blue, green, and grey WFs. Blue WF is estimated in crop production with irrigated agriculture while green WF is determined in rainfed agriculture conditions. Grey WF involves the information about groundwater pollution because of fertilization. To date, there were a lot of studies on the determination of WF in different sectors with different approaches. This thesis research area, Thrace Part of Turkey, which is one of the most important agricultural areas in our country, as is commonly grown sunflower and winter wheat cultivation. The purpose of this study is to determine the actual crop WF and yield with field measurements and model and future potential WF and yield of these crops with well-accepted crop growth simulation models. It is also aimed to determine the meteorological and agricultural drought conditions using different indices.

Crop growth simulation models have been experimented at many different locations and the development processes have been continued. AquaCrop, DSSAT, and WOFOST (hereafter models were given in the same orders) models have been developed by the Food and Agriculture Organization (FAO), The International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer (IBSNAT), Wageningen University, respectively. In this thesis, these models were calibrated based on crop yields between the years of 2014-2018. In this period, the average yields of sunflower and wheat in Thrace were 2.21 and 4.46 t/ha, respectively. According to AquaCrop, DSSAT, and WOFOST results, sunflower yields were modelled and relative errors

(RE) were calculated as 4.7, -0.3, and 7.2%; normalized root mean square errors (NRMSE) as 5.5, 5.3, and 7.3%; mean absolute percentage errors (MAPE) as 4.7, 4.7, and 7.2%, respectively. Besides, wheat yields were modelled and REs were calculated as 0.5, -4.8, and 3.3%; NRMSEs as 3.3, 7.3, and 5.7%; MAPEs as 3.2, 6.3, and 5.6%, respectively. After the calibration, the WF values of sunflower and winter wheat crops, which were grown in dry conditions, were calculated using the formula related to conditions between the evapotranspiration (ET) values and the effective precipitation (P_{eff}). In order to calculate P_{eff}, there are two different equations (in the USDA method) depending on whether the total daily precipitation is less than 8.3 mm. The cumulated values of these variables were calculated during the growing periods of crops and the total ET_{green} value was obtained. The amount of green WF was calculated when the total ET value divided by the yield. In the soil water balance (SWB) method, capillary rise, drainage, and surface runoff were neglected to calculate ET. ET was calculated by using SWB method with the help of temporal changes in soil water content measurements and precipitation. The crop WF values were calculated according to this method and compared with AquaCrop, DSSAT, and WOFOST models. In the Thrace region of Turkey, the WFs of sunflower and wheat were calculated as 377.0 and 452.7 m^3/t with SWB method, respectively. Additionally, WF results for sunflower modelled by AquaCrop, DSSAT, and WOFOST models were estimated as 388.6, 444.9, and 453.1 m^3/t, respectively. In the same order of results of winter wheat's WF were calculated as 359.0, 218.3, and 291.7 m^3/t. Upon completion of the calibration procedures of the models, 93 different scenarios were created to determine the temperature, precipitation, and global solar radiation changes on crop yield and WF amounts, and sensitivity analyses were performed.

In order to determine the effects of climate change in the agricultural ecosystem in Thrace, the EURO-CORDEX (hereafter CORDEX) data were produced by the HadGEM2-ES global circulation model. Then these data were statistically downscaled with the HIRHAM5 regional climate model (Resolution of 0.11° (~12.5 km)) using two different scenarios (Representative Concentration Pathway (RCP) 4.5 (optimistic) and RCP 8.5 (pessimistic)) until 2099. Bias correction must be applied to CORDEX data to represent the status of the region, which was produced daily by the models from 1971 to 2099. After this stage, the modeled and actual (measurement) data between reference years (1971-2000) were compared and using thes differences bias were corrected for the future data. There are many different methods for correcting the raw model data. The methods commonly used in recent years have been used. In this study, bias correction of maximum, minimum, and average temperature were done using simple mean seasonal bias correction. Moreover, quantile mapping (QM) method was applied to the for bias corection of precipitation, relative humidity, wind intensity, and global radiation values. The reason for applying different bias correction methods was because of different distributions of data due to their nature. The daily data measured by 9 different stations making long-term measurements in Thrace were obtained from the Turkish State Meteorology Service (TSMS) and used to correct CORDEX data. By obtaining corrected data, the region's future temperature, precipitation etc. the prospective conditions of meteorological variables were determined in three different time intervals (P1: 2020-2040; P2: 2041-2070; P3: 2071-2099) for the growing periods of sunflower and wheat. Changes of meteorological variables were calculated according to the TSMS measurements between 1971-2019 years. Average temperature change across the region during the months when the sunflower may increase as 3.7°C for P1, 4.1°C for P2 and 4.3°C for P3 in RCP 4.5 ; as 6.1°C for P1, 6.8°C for P2 and 7.8°C for P3 in in the RCP 8.5 scenario. While

changes (decrease) in precipitation amount were found as 22.8, 20.0 and 16.9% in RCP 4.5 scenario P1, P2, and P3 periods, they were calculated in RCP 8.5 scenario as 50.8, 54.4 and 54.2%, respectively. Average temperature change in the region during the months when the wheat grows in RCP 4.5 scenario during periods P1, P2 and P3 3.1°C, 3.3°C, 3.4°C; in RCP 8.5 scenario changes in periods 5.6°C, 6.1°C, 7.0°C, respectively. Differences in precipitation amount was calculated as 15.0%, 12.0%, and 18.4% in RCP 4.5 scenario P1, P2, and P3 periods; RCP 8.5 scenario was calculated to decrease by 15.6%, 17.1% and 17.4% in P1, P2 and P3 periods.

Crop yields and WFs values were simulated for RCP 4.5 and 8.5 scenarios in Edirne, Kırklareli, and Tekirdağ provinces where models calibration were performed. Besides, the atmospheric CO_2 concentration amount, which were determined for the RCP 4.5 and 8.5 scenarios per year by IPCC, was also entered into the models as an input data. According to the results of models, changes in sunflower yield and WF until 2099 were -14.3 and -26.6% in AquaCrop; -15.6 and -30.8% in DSSAT; -25.9 and +7.6% WOFOST, in RCP 4.5 scenario. The yield changes in the RCP 8.5 scenario may be decreased by 10.1, 18.6 and 35.6% respectively. It was also determined that changes in sunflower WF decreased by 61.2, 62.1, and 38.5% in RCP 8.5, respectively. According to wheat simulations, the changes in yields in RCP 4.5 and 8.5 scenarios was found as +18.3 and +27.7% in AquaCrop; -17.3 and -20.6% in DSSAT; +9.4 and -2.0% in WOFOST. The changes in the same order of WFs was calculated as -63.4 and -75.7%; +26.8 and -25.9%; -24.5 and -50.1%, respectively.

In addition to these simulations, Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), Palmer Drought Severity Index (PDSI), and self-calibrated PDSI (sc-PDSI) indexes, which were used to determine the drought situation in Thrace, and their values in the periods when sunflower and wheat growing periods from 2020 to 2099 were calculated. While calculating these indices, the potential evapotranspiration (PET) value was calculated according to the Penman Monteith method and monthly maximum-minimum temperature, wind speed in 2 meters, global solar radiation, latitude, altitude are required. In addition to the PET data, monthly total precipitation and soil available water capacity (AWC) values are required to calculate PDSI indexes. The SPEI and sc-PDSI indices could be comparable results when examining drought conditions in different stations and regions in the same period. SPEI index refers to meteorological drought in 3-month period calculations, agricultural drought in 6 and 9-month calculations, and hydrological drought in 12-month calculations. Sc-PDSI index is used to determine meteorological and agricultural drought. In the sunflower growing season, the drought situation in the calculations of 3, 6, 9, and 12 months was determined as normal condition in the RCP 4.5 scenario. This situation was calculated as normal condition in the RCP 8.5 scenario as well. In the wheat growing seasons, SPEI index of different time scales, the drought situation was calculated as normal in optimistic and pessimistic scenarios. Sc-PDSI index of sunflower growing season in RCP 4.5 and 8.5, was evaluated near normal in P1; incipient drought in the P2 period; near normal and incipient drought in P3, respectively. For the RCP 4.5 and 8.5 scenarios during the wheat growing seasons, it may be calculated as near normal in the P1, P2, P3 periods, respectively.

1. GİRİŞ

İklim değişikliği, hızlı nüfus artışı ve kentleşme etkileri ile suyun doğru ve etkin şekilde kullanılması, ülkelerin geleceğe yönelik su yönetimi planlarında önemli bir rol oynamaktadır. Tüketilen ve üretilen ürünlerin ve bu ürünlerin tüketici ile buluşmasına kadar geçen süreçte kullanılan suyun miktarı ve kalitesinin doğru bir şekilde belirlenmesi her geçen gün önemini arttırmıştır.

Bu amaçla, Arjen Hoekstra tarafından 2002 yılında ortaya atılan su ayak izi (SAİ) kavramı; ürünün sanal su veya gömülü su içeriğini ifade etmektedir. Başka bir deyişle, ürünün üretilmesinden tüketiciye ulaşana kadar geçen süreç için kullanılan suyun, buharlaşma dahil, miktarını ifade etmektedir. Her yetiştirilen/üretilen ürün için SAİ değerleri farklılık gösterir. Hatta ürünün satışa hazır hale getirilmesine kadar geçtiği aşamalar, ürünün yetiştirildiği bölge, iklim ve coğrafi koşullar da SAİ miktarında ciddi oranda değişikliğe sebep olmaktadır.

Su ayak izi, yeraltı ve yerüstü tatlı su kaynakları olarak tanımlanan mavi su, bitki üretimi boyunca gerçekleşen yağış olarak yeşil su; gübreleme veya kullanılan kimyasalların yeraltı suyunu ne kadar kirlettiğini ifade eden su ise gri su olarak üç ayrı şekilde tanımlanır.

Dünya çapında birçok araştırmacı tarım sektörünün iklim değişikliğine olan uyumuna katkı sağlaması amacıyla yetiştirilen bitkilerin gelişim dinamiklerini belirlemek amacıyla önemli miktarda çalışma yapmaktadırlar. Bu çalışmalar, arazi ölçeğinde olduğu gibi bölgesel ve küresel ölçekte de yapılmaktadır. Özellikle bitki modeli çalışmaları, küçük bir alanda yapıldıktan sonra bölgesel olarak uygulandığı örnekler bulunmaktadır. Bu model çalışmalarında bitkinin sadece fizyolojik gelişimi değil verim ve SAİ miktarlarının da belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında iklim değişikliği ile gıda arzında meydana gelebilecek olası durumların önceden belirlenebilmesi hayati önem taşımaktadır. Tüm bu süreçler bir bölgenin geleceğe yönelik meteorolojik değişkenlerinin belirlenmesi ve farklı modellerin geliştirilmesi için bilim insanlarını teşvik etmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada, Türkiye'nin en önemli tarım alanlarından olan Trakya'da yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan ve önemli tarımsal ürünlerden ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin mevcut SAİ miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun yanında, üç farklı bitki gelişimi simülasyonu modelleri (AquaCrop, DSSAT ve WOFOST) tarafından mevcut verim ve SAİ miktarları da tahmin edilmiştir. Bitkiler için belirlenen verim ve SAİ miktarlarındaki değişim oranları, iklim değişikliğine olan hassasiyetinin belirlenmesi amacıyla hava sıcaklığı, yağış ve global solar radyasyon miktarlarında değişimler yapılarak hesaplanmıştır. IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nda (AR5) ilk defa ortaya konulan RCP 4.5 (iyimser) ve RCP 8.5 (kötümser) senaryolarına göre simülasyon yapılarak ayçiçeği ve kışlık buğday bitkisinin günümüzden 2020 yılından 2099 yılına kadar olan verim ve SAİ miktarları ve değişimi ortaya koyulması amaçlanmıştır. Ayrıca, Trakya'daki kuraklığın ileriye yönelik tahmin edilmesi için meteorolojik değişkenler vasıtasıyla hesaplamaları yapılan kuraklık indeksleri (SPEI, PDSI ve sc-PDSI) RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin gelişme dönemleri için hesaplanması amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Tez çalışmasında, Trakya Bölgesi'nde yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin SAİ miktarının hesaplanması ve kuraklık indekslerinin (PDSI, sc-PDSI ve SPEI) belirlenmesi amaçlanmıştır. Tezin literatür araştırması bölümünde, ilk olarak Türkiye ve Dünya'da yapılan SAİ çalışmaları incelenmiştir. İkinci kısımda ise; Türkiye ve Dünya'daki kuraklık indeksiyle ilgili çalışmalar incelenmiştir.

1.2.1 Su ayak izi çalışmaları

Literatürde, SAİ hesabı, analizi ve azaltılması ile ilgili çalışmalar tarım, gıda, hayvancılık, turizm (Hadjikakou ve diğ., 2013) gibi birçok farklı alanda çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, SAİ değerlendirme yönteminden ve/veya modellerden faydalanılmıştır.

1.2.1.1 Türkiye'de SAİ değerlendirildiği çalışmalar

Türkiye için yapılan SAİ çalışmaları oldukça kısıtlı sayıdadır. Literatür incelemesinde, Türkiye için, tezde kullanılan bitki gelişim simülasyonu modelleri (WOFOST, AquaCrop, DSSAT) kullanılarak yapılan bir SAİ çalışmasına rastlanmamıştır. Türkiye için SAİ hesabı yapan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Dünya Doğayı Koruma Vakfı (WWF) tarafından 2014 yılında Türkiye SAİ Projesi, tamamlanmıştır. Bu rapora göre, 2013 yılı için, toplam sanal SAİ miktarı $163x10^9$ m^3/yıl olarak hesaplanmıştır.

Santos ve diğ. (2017), Türkiye için, besin zinciri boyunca su olgusunu detaylı inceledikleri bir teknik rapor hazırlamışlardır. Türkiye'de su tüketen ilk 20 ürün arasında bulunan kışlık buğday SAİ miktarının dünya ortalaması 342 m^3/t iken Türkiye ortalaması 130 m^3/t; ayçiçeği SAİ miktarı dünya ortalaması 148 m^3/t iken Türkiye ortalaması 260 m^3/t olarak belirlenmiştir.

Muratoğlu (2019), Yukarı Dicle Nehri Havzası'nda, 2010-2018 yılları arasında, mavi ve yeşil SAİ miktarı CROPWAT mododeli ile belirleyip analiz etmiştir. Çalışmada, tarımsal üretim, hayvancılık, evsel ve endüstriyel SAİ'ler ayrı ayrı belirlenmiştir. Ayrıca, bölgede hasat edilen başlıca bitkilerin toplam mavi ve yeşil SAİ'si, kişi başına SAİ ve sanal su içeriği hesaplanmış ve çevre ülkelerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, yıllık SAİ; 7.2 Gm^3/yıl olarak hesaplanmıştır. Bitkisel üretim, toplam SAİ'nin %79'u ile en büyük paya sahiptir. Buğday, bölgede yetiştirilen birincil üründür ve tüm bitkilerin su ihtiyacının %45'inden sorumludur. Hayvancılık SAİ'si; tüm havzanın SAİ'sinin %16'sıyken, evsel ve endüstriyel SAİ değeri; tüm havzanın SAİ'sinin %5'i olarak belirlenmiştir.

Scherer ve diğ. (2019), BRIC (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin) ve MINT (Meksika, Endonezya, Nijerya, Türkiye) ülkelerinin tüketim desenleri azalırken çevresel etkilerinin artışını analiz etmişlerdir. 2010 yılına kıyasla, 2050'de, ekonomisinin gelişeceği düşünülen dört gelir grubunun, karbon, toprak ve su ayak izlerinin değerlendirilmesinde, çevresel olarak genişletilmiş, çok bölgeli girdi-çıktı veritabanı EXIOBASE kullanılmıştır. Tüketimdeki değişimlerin, çevresel etkileri 1.6 kattan (Rusya'nın SAİ) 7 kata (Nijerya'nın KAİ) kadar artırdığı hesaplanmıştır. Bu artışın, çoğunlukla gayri safi yurt içi hasılanın (GSYİH) büyümesinden ve eş zamanlı olarak nüfus artışından kaynaklandığı ileri sürülmüştür.

Chapagain ve Hoekstra (2010), güncel sulama ile ilgili daha yüksek bir alansal çözünürlük ve yerel veriler kullanarak, su tüketimi yüksek olan pirinç bitkisinin yeşil, mavi ve gri SAİ'si hakkında küresel bir değerlendirme yapmışlardır. Pirinç üretimi ve tüketiminin ulusal SAİ'si, uluslararası ticaret ve yerli üretim verileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Pirinç üretiminin küresel SAİ'si; 784 km^3/yıl, ortalama SAİ'si; 1325 m^3/t olup, bunun %48'i yeşil, %44'ü mavi ve %8'i gri SAİ'dir. Ülkesel olarak pirinç tüketiminin SAİ değerleri incelendiğinde ise yeşil, mavi ve gri SAİ miktarları, sırasıyla, 416, 488 ve 84 Mm^3/yıl olmak üzere toplam 988 Mm^3/yıl olarak Türkiye alt sıralarda yer almıştır. Pirinç tüketiminin en yüksek olduğu Tayland'da ise 250305 Mm^3/yıl olarak ilk sırada bulunmaktadır.

Cakar ve diğ. (2019), gıda atıklarının Türkiye'deki çevresel etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada, Türkiye'deki gıda atıklarını analiz etmek için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment, LCA) kullanılmıştır. Gıda atıklarının, iklim, su ve enerji kaynakları üzerindeki çevresel etkisini değerlendirmek amacıyla, Türkiye'deki gıda tedarik zincirindeki gömülü karbon, su ve enerji ayak izleri hesaplanmıştır. Buna göre tarım sektörünün mavi SAİ miktarı $15x10^9$ m^3 iken gıda atıklarının mavi SAİ miktarı ise yaklaşık $6x10^9$ m^3 olarak belirlenmiştir.

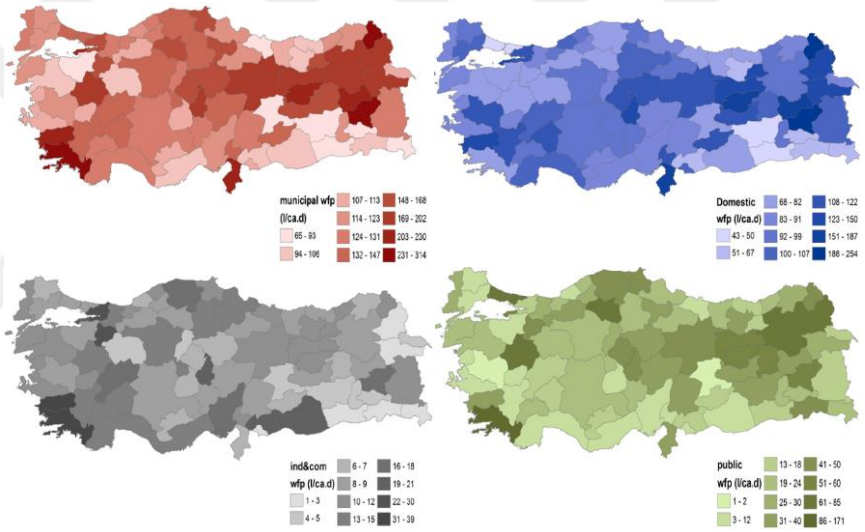
Dolganova ve diğ. (2019), Avrupa Birliği'nin (AB-28) tarımsal ithalatından kaynaklanan SAİ'sini araştırma amacıyla bir çalışma yapmışlardır. İthalat ticaret istatistikleri derlenmiş, bitki ve ülkeye özgü su tüketimi verileri ve su kıtlığı faktörleri ile ilişkilendirilmiştir. Çalışma kapsamında, 2015 yılı için 104 tarımsal ürünün sanal su ithalatı değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, Avrupa, yıllık 100 milyon ton tarımsal ürün ve bununla ilgili olarak 11 km^3 sanal sulama suyu ithal etmiştir. Su tüketiminin en yüksek etkileri, ya yüksek ithalat miktarlarından ya da su kıtlığı yaşanan ülkelerde üretilen, yoğun sulama gerektiren ürünlerden kaynaklanmaktadır. En büyük harici EU-28 SAİ'si; pamuk, fındık ve pirinç ürün kategorilerinden oluşmuştur.

Boyacıoğlu (2018), 2014 yılında, Türkiye'deki belediyelerin mavi SAİ miktarını araştırmak için ortak bir yaklaşım geliştirme amacıyla bir çalışma yapmıştır. Analiz çerçevesi; su çıkarma profili ile su dağıtım ve kullanım profili olmak üzere 2 fazdan oluşmaktadır. Önerilen yaklaşımda, belediye SAİ'si ($WF_{municipal}$) üç bileşenden oluşmaktadır: Evsel SAİ ($WF_{domestic}$), endüstriyel/ticari SAİ ($WF_{industrial/commercial}$) ve kamusal SAİ ($WF_{public}$). Çalışmadaki temel amaç; model bileşenleri ile ilgili su tüketim profilini belirlemek ve ülke ölçeğinde alansal ve zamansal dağılımları

değerlendirmektir. Bu kapsamda, 81 il için her bir bileşen belirlenmiştir. Çalışmada, belediyelerin tüketim (mavi) SAİ miktarı denklem 1.1 ile hesaplanmıştır:

$$SAİ_{belediye} = \sum SAİ_{evsel} + \sum SAİ_{endüstriyel/ticari} + \sum SAİ_{kamusal} \quad (1.1)$$

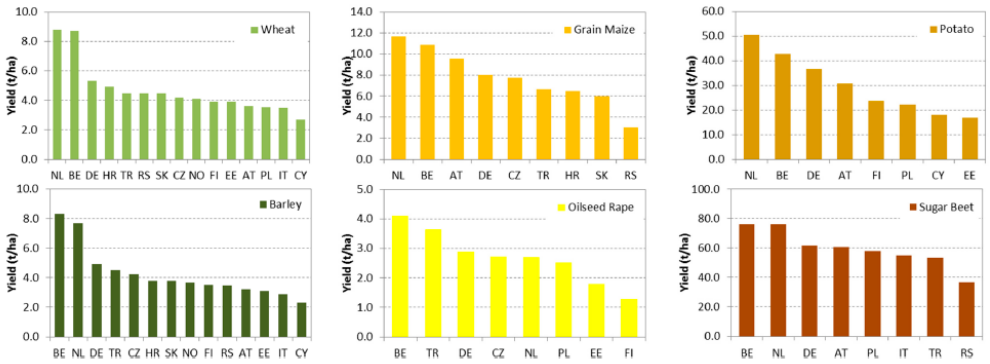
Sonuçlar, $SAİ_{belediye}$'nin ortalama 140 l/ca.gün olduğunu ve bazı şehirlerde de 300 l/ ca.gün'e ulaştığını göstermiştir. $SAİ_{evsel}$ yaklaşık olarak 100 l/ca.gün olarak hesaplanmış ve daha düşük değerlere sahip şehirlerin çoğunlukla ülkenin kuzeybatısı ile güneydoğusunda olduğu görülmüştür. Şekil 1.1'de belediye, evsel, endüstriyel ve kamusal alandaki SAİ miktarlarının alansal dağılımı verilmiştir. Endüstriyel/ticari SAİ'de için yüksek değerlere (10 l/ca.gün ortalama) sahip birkaç nokta ile ve güneydoğuda düşük değerler görülmüştür. Kamusal SAİ, 30 l/ca.gün ortalama değerinde hesaplanmış ve ülkenin doğusunda uç değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.



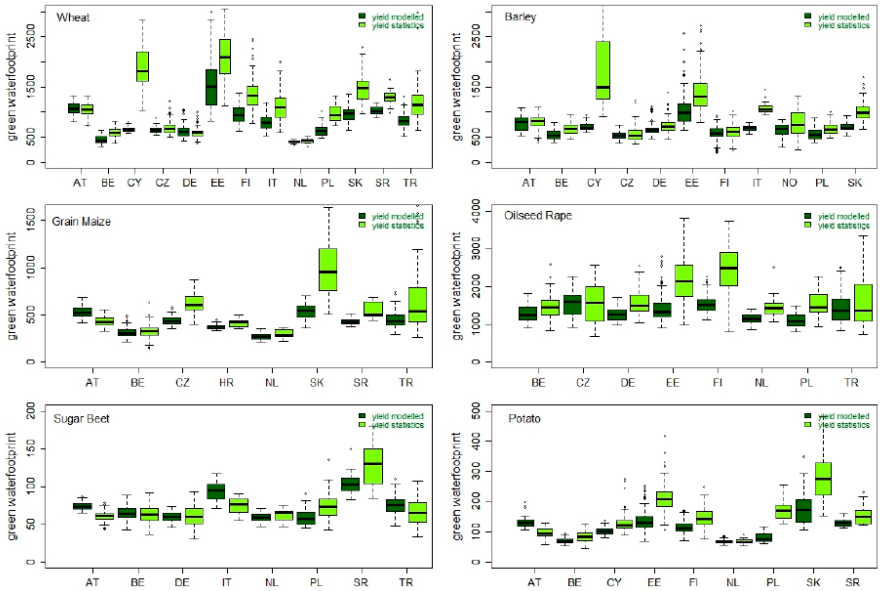
Şekil 1.1 : 2014 Yılı Belediye SAİ Miktarının Alansal Dağılımı (Boyacıoğlu, 2018).

Gobin ve diğ. (2017), Türkiye'nin de içinde olduğu ve Avrupa'nın çeşitli bölgelerindeki tarla bitkileri üretim SAİ miktarlarındaki değişkenliğini araştırmışlardır. Çalışmada, AquaCrop modeli için bitki verimi kalibrasyonu yapılmıştır. 1992-2012 dönemi için, 45 lokasyonda, hava, toprak ve bitki girdileri toplanmıştır. Buğday, arpa, tane mısır, kolza tohumu, patates ve şeker pancarı için kalibre edilmiş model çalışmaları yapılmıştır. Tahılların SAİ'si, yumru ve kök bitkilerinin SAİ'sinden 20 kat daha büyük olarak belirlenmiştir ve en büyük pay; yeşil SAİ'ye aittir. Avrupa'nın farklı bölgelerindeki ekilebilir ürünlerin SAİ'sindeki değişkenliğin, esas olarak, ürün verimindeki değişkenliğe (varyasyon katsayısı= %45) ve daha az ölçüde, bitki suyu kullanımındaki değişkenliğe (varyasyon katsayısı= %21) bağlı olduğu tespit edilmiştir. Ülkeler arasındaki SAİ değişkenliği (varyasyon

katsayısı=%14), mevsimler (varyasyon katsayısı=%22) ile bitkiler arasındaki (varyasyon katsayısı=%46) değişkenlikten daha düşüktür. Modellenen verimler, yağmurlama sulama altında %50'ye kadar artmış olsa da, SAİ %1 ile %25 arasında artmıştır. Sonuçlar, SAİ'nin, Avrupa Su Teşkilatı'nı destekleyebilecek, ölçülebilir bir gösterge sağladığını ortaya koymuştur. Şekil 1.2'de, bölgesel istatistiklere dayanarak, 2012 yılı için Avrupa bölgelerinde ekilebilir başlıca bitkiler için verim (t/ha) gösterilmektedir. İki harfli kod, bölgenin ait olduğu ülkeyi ifade etmektedir. Türkiye, TR ile ifade edilmiştir. Şekil 1.3, 1992-2012 dönemi için, Avrupa bölgelerinin yeşil SAİ miktarlarını (m^3/t) göstermektedir.



Şekil 1.2 : Bölgesel istatistiklere dayanarak, 2012 yılı için Avrupa'da ekilebilir başlıca bitkiler için verim (t/ha) miktarı (Gobin ve diğ., 2017).



Şekil 1.3 : 1992-2012 dönemi için, Avrupa bölgelerinin sulanan ekilebilir bitkilerin modellenmiş verimleri için yeşil SAİ miktarları (Gobin ve diğ., 2017).

1.2.1.2 Dünya'daki SAİ değerlendirme çalışmaları

SAİ hesabı, genel olarak, iki şekilde yapılmaktadır:

a) Metodoloji kullanılarak yapılan SAİ hesabı: Hoekstra ve diğ. (2011) tarafından hazırlanan Su Ayak İzi Değerlendirme El Kitabı (Water Footprint Assessment Manual) kullanılarak SAİ hesaplanabilmektedir.
b) Çeşitli bitki-iklim modellerinin ayrı ayrı veya birlikte kullanılmasıyla SAİ hesabı yapılabilmektedir.

Metodoloji kullanılarak yapılan çalışmalar

Lamastra ve diğ. (2014), SAİ'yi hesaplamakta yeni bir metodolojiyi, İtalyan Çevre Bakanlığı'nın bağcılık sektörünün sürdürülebilirliği ile ilgili olan bir proje çerçevesinde geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu metodoloji, Hoekstra ve diğ. (2011) tarafından önerilen Aşama (Tier) III yaklaşımı takip edilerek gerçekleştirilmiş ve aynı imalathaneden farklı şarapların kıyaslanmasına olanak sağlanmıştır. Üzüm-şarap üretimi yaşam döngüsü boyunca su kullanımının etkisi, hem yeni geliştirilen metodoloji (V.I.V.A) hem de SAİ Ağı (SAİA) tarafından önerilmiş olan klasik metodoloji kullanılarak, Sicilya'daki aynı imalathaneden 6 farklı üretim için hesaplanmıştır. Tüm durumlarda, yeşil su, SAİ'nin en geniş katkı vereni olmuştur. Ancak yeni metodoloji ile aynı imalathaneden gelen ürünlerde farklılıklar belirlenmiştir. Ayrıca, SAİ metodolojisi sadece gübrelemeyi hesaba katarken, V.I.V.A metodolojisi, pestisit uygulamasıyla su yapısındaki kirliliğin de değerlendirmesini yapmaktadır. Bu olgu, SAİA metodolojisiyle hesaplanan SAİ ile kıyaslandığında, V.I.V.A ile hesaplanan 4. üzüm bağında en yüksek SAİ değeriyle sonuçlanmıştır. Çalışmada, yeşil, mavi ve gri SAİ ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu çalışmayla, önceki çalışmalar bir adım ileri taşınmış, lokal iklimsel bilgi, senaryoya özel özellikler ve yönetim seçenekleri, metodu lokal koşullara karşı daha hassas hale getirmiştir. Sonuçlar, yeni metodolojinin kullanımıyla elde edilen SAİ değerlerinin, çiftlik koşullarıyla yakından ilişkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca, şarap SAİ'sinin temel bileşeninin yeşil SAİ olduğu görülmektedir. Bu yüzden, hidrolojik etkilerin azaltılmasının çok önemli olduğu vurgulanmıştır.

Xinchun ve diğ. (2018), Çin'in doğusunda sulu olarak yetiştiriciliği yapılan çeltik bitkisinin SAİ miktarının hesaplanmasıyla ilgili çalışma yapmışlardır. Çalışmanın amacı; alan ölçümlerine bağlı olarak, mahsül üretiminin yeşil, mavi ve gri SAİ'sinin ölçüm fizibilitesinin araştırılmasıdır. Çalışmada, farklı üç sulama bölgesi, 2011-2014 arası için incelenmiştir. Pirincin bitki su ihtiyacı; 667.1 mm/yıl olarak ölçülmüştür. Çeltik pirincin ortalama yıllık SAİ'si; 1.76 m^3/t (%33.3 yeşil, %25.8 mavi, %40.9 gri)

bulunmuştur. Farklı yıllarda ve sulama bölgelerinde, mavi su oranı ve SAİ'nin seviyesi az oranda değişirken, yeşil ve gri SAİ oranı, yağış varyansına uymaktadır. Yeşil su oranı; %25.1, 34.2 ve 44.2 iken, sırasıyla 400, 600 ve 800 mm/yıl'lık yağış seviyeleri altında, %48, 40.2 ve 31'dir. Sonuçlar, yağış ile en büyük korelasyona sahip SAİ'nin mavi SAİ olduğunu, onu yeşil ve en son olarak da gri SAİ'nin takip ettiğini göstermektedir. Ayrıca, yağış ve sulama suyu, gri SAİ'yle doğrusal ilişki göstermektedir. İki değişken için de korelasyon katsayıları; yaklaşık 0.56 civarındadır. İstatistiksel ilişkiden, yağıştaki bir artışın gri SAİ'yi azaltabileceği, sulamadaki bir artışın ise tersi durumla sonuçlandığı çıkmaktadır.

Vasilaki ve diğ. (2016), İspanya için, seçilmiş süt ürünlerinin SAİ ve KAİ ile ilgili çalışma yapmışlardır. Çalışmada, çeşitli türdeki yoğurtlar, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) temelli SAİ ve KAİ açısından değerlendirilmiştir. Bölgede, 1 kg yoğurt üretimi için su tüketim ve sera gazı emisyonu miktarı; sırasıyla, 204 l H_2O ve 1.94 kgCO_2eq'dir. Sonuçlar, çiğ süt ve süt bazlı besinlerin CO_2eq'e katkılarının, %80'den %96'ya değiştiğini göstermektedir.

Casolani ve diğ. (2016), durum (makarnalık) buğdayının 2011'den 2015'e kadar üretimini hesaba katarak, İtalyan durum buğdayı üretiminde SAİ ve KAİ konusunda çalışma yapmışlardır. Sonuçlar, tüm ülkede, çok yüksek bir değişiklik göstermektedir. Su tüketimi 5000 m^3/ha'nın altında olan bölgeler, ülkenin güneyindeyken, en yüksek değerler merkezde ve kuzeyde belirlenmiştir. Yer üstü suyu tüketim değerleriyle ilgili olarak, bu durum oldukça terstir: Bunlar, SAİ ile toplam tarımsal alan arasındaki oranın yüksek olduğu, özellikle güney ve Adriyatik bölgelerdir. KAİ, benzer bir eğilim göstermiştir: En büyük değer, İtalya'nın kuzeyinde (2462 kgCO_2/ha) bulunmuştur ve kuzeyle merkez-kuzey arasındaki oran 1.3'tür. Çalışma, SAİ ve KAİ integrasyonunun, bazı faydalı göstergelerin sağlanması açısından, ülkenin üretiminin analizi için oldukça kullanışlı bir araç olduğunu ispatlamıştır.

Ababaei ve Etedali (2017), İran için, temel tahılların (buğday, arpa, mısır) SAİ'nin belirlenmesi için çalışma yapmışlardır. Kurak ve yarı kurak bölgede bulunan İran ülkesi için, bölgesel ölçekte SAİ'nin belirlendiği ilk çalışmadır. Temel tahılların, her SAİ bileşeninin (yeşil, mavi ve gri) ağırlıklı ortalaması ve ulusal toplam SAİ (TSAİ) hesaplanmıştır. 2006-2012 periyodu için, yıllık, buğday, arpa ve mısır TSAİ değerleri; 36.777, 7975 ve 3744 MCM (milyon kübik metre) olarak bulunmuştur. Sırasıyla, buğday, arpa ve mısır için, toplam yeşil SAİ'nin TSAİ'ye oranı; %43, yeşil SAİ'nin

TSAİ'ye oranı; %47, %42 ve %2'dir. Bu sonuçlar, buğday ve arpa üretiminin, yeşil su kaynaklarının (etkili yağış) oldukça büyük tüketicisi olduğunu göstermektedir. Ayrıca, özellikle buğday ve arpanın yağmur suyuyla beslendiği bölgelerde mahsülü artırarak yeşil su verimliliğinin geliştirilmesi için çok fazla imkanın olduğu ortaya koyulmaktadır. Ortalama yeşil+mavi SAİ'ler; buğday, arpa ve mısır için, sırasıyla, yıllık 24.628, 5.123 ve 1.604 MCM ve tümü için 31.356 MCM'dir.

Cha ve diğ. (2017), Kore'de yetişen uzun beyaz turp için bir örnek çalışma yaparak, SAİ hesaplamasında yeni bir metot önermişlerdir. Bu metodoloji, ISO 14040 ve ISO 14046 standartları ile uyumlu olarak geliştirilmiştir. Bu çalışma, uzun beyaz turpun su tüketimi ve ötrofikasyon sonuçlarını, SAİ sonuçları olarak önermektedir. Sonuçlara göre; su tüketimi bağlamında, bahar mevsimi, uzun beyaz turp en uygun alternatiftir çünkü bu mevsimde su tüketimi, diğerlerinden daha azdır. Bu da, uzun beyaz turpun daha az su ihtiyacına, daha yüksek verime ve en düşük referans evapotranspirasyona sahip olmasındandır.

Zhuo ve diğ. (2016a), Çin'in ikinci büyük nehir havzası olan Yellow Nehri Havza'sında, yıllar içinde (1961-2009) SAİ'nin değişimi ve mavi su azlığı ile ilgili çalışma yapmışlardır. Sonuçlar, ürünlerin, ortalama toplam yeşil (yağıştan) ve mavi (sulamadan) SAİ'leri, 2001-2009 arasında, 1961-1970 periyodundan sırasıyla %14 ve %37 daha büyük bulunmuştur. Bir ton ürün başına yeşil-mavi SAİ, tarımsal üretimin gelişmesiyle azalırken, gri SAİ, gübrelemenin artmasıyla artar. Mavi SAİ'nin yeşil SAİ'ye oranı, sulama tarımındaki artış nedeniyle artmıştır. 1978-2009 periyodunda, tarımla, endüstriyle ve meskenlerle ilişkili yıllık toplam mavi SAİ, havzanın doğal akışının %19'u ile %52'si arasında değişmektedir.

Ayala ve diğ. (2016), Brezilya'da yayın olarak yetiştirilen (sulama + gübre) soya fasulyesinin, farklı iklim senaryoları için SAİ çalışması yapmışlardır. Tropik bölgelerde öngörülen iklim değişikliliği ile daha da önemli hale gelmesi beklenmektedir. SAİ hesabının, su ve gübre kullanımının etkilerinin belirlenmesi için bir araç olacağı düşünülmüştür. Çalışmada, Tapajós nehir havzasında, SAİ'nin sürdürülebilirliğini anlamak için soya fasulyesi üretimi ile ilgili SAİ hesaplanmıştır. Tapajós Nehir Havzası için yapılan çalışma sonuçları, yeşil ve gri SAİ'de, 2050 projeksiyonunda, ortalama bir artış göstermektedir. Bu artış, tüm alana eşit şekilde yayılmamıştır. Korunaklı bölge içerisindeki soya fasülyesinin düşük gelişimi sebebiyle, SAİ değerlerindeki artış, Flona bölgesinin dışında belirgin olarak yüksektir.

Hem yeşil SAİ hem de gri SAİ 2050 projeksiyonları, tarımsal alanın ve yolların keşiştiği, havzanın kuzey doğusunda daha yüksek değerler göstermektedir. Flona'daki SAİ sonuçları, 2050 senaryosundaki orta düzeydeki ormansızlaştırma hesaba katılarak, büyük bir artış göstermektedir. Bu durum, SAİ'nin, korunaklı bölgedeki ormansızlaştırma ve tarımsal kullanımdaki artışın, oldukça hassas bir göstergesi olduğunu göstermektedir. Çalışmanın sonuçları, mevcut soya fasulyesi üretim sistemlerinin yoğunluğunun, özellikle su kirliliği (gri SAİ ve su kirliliği seviyeleri) ve su kullanımı (yeşil su kıtlığı) ile ilgili olarak, gelecekte koruma sınırlarının ötesinde kayda değer bir etkiye sahip olmaya eğilimli olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, mevcut durumda (soya fasulyesi gelişimi) arazi kullanımında küçük değişikliklerin, gelecekte su kirliliği ve su kullanımı açısından önemli etkiler doğurabileceğini göstermektedir.

Barbosa ve diğ. (2017), Güneydoğu Brezilya'da, yüzey altı damla sulama altında, tatlı su ve arıtılmış kanalizasyon suyu ile sulanan şeker pancarı için SAİ hesaplamışlardır. Arıtılmış evsel kanalizasyonun yüzey altı damla sulama ile uygulanması, SAİ'yi su kirliliği ile ilgili bileşen griye indirgemiştir. Gri SAİ değerleri, şeker pancarının sulandığı durumda, 2.4 ile 2.7 m^3/t arasındayken, sulama olmaması ve gübreleme söz konusu olduğunda, yaklaşık 7.3 m^3/t ölçülmüştür. Yeraltı damla sulama kullanımı, sulama için kullanılan suyun kalitesinden bağımsız olarak, yeşil SAİ'yi azaltmıştır, sulama durumunda 21 ila 26 m^3/t arasındaki değerler, sulama olmaması durumunda ortalama 52 m^3/t bulunmuştur.

Rodriguez ve diğ. (2014), Buenos Aires için, patates üretiminin SAİ'sini analiz etmişlerdir. Seçilen bölgede, patatesler yeraltı suyuyla sulanırken, aynı zamanda gübreleme ve zirai ilaç uygulaması da yapılmıştır. Patates üretiminin sanal su içeriğini değerlendirmek için, SAİ'nin yeşil, mavi ve gri bileşenleri, bitki üretimindeki, buharlaşma, yağış, sulama ve gübre kirliliğinden kaynaklanan farklı su hacimleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada, azotlu gübreleme, gri SAİ'yi değerlendirmede bir gösterge olarak kabul edilmiştir. Bu bölgede patatesin SAİ'si; 324.0 m^3/t bulunmuş, bunun buharlaşan su kullanımına ait olan kısmı (yeşil ve mavi SAİ); %56.4 olarak tespit edilmiştir. Global çalışmalarla kıyaslandığında, mavi SAİ'nin, %24.2 ile, patatesin sulanmasındaki en önemli rolü üstlendiği görülmüştür. En büyük değer gri SAİ'de (%43.6) çıkmıştır ve azotlu gübrenin önemini ve bunun sonucunda da yeraltı suyu kirliği riskini göstermektedir.

Hogeboom ve diğ. (2018), küresel olarak hidroelektrik, sulama, konut ve endüstriyel su temini, taşkın koruması, balıkçılık ve rekreasyon için dünyanın yapay rezervuarlarının mavi SAİ'si konulu bir çalışma yapmışlardır. Barajlar ve rezervuarlarının faydaları bilinse de buharlaşmayla büyük ölçüde su kaybına neden oldukları da bir gerçektir. Çalışmada, bu bakış açısından hareketle, dünyanın yapay rezervuarlarının mavi SAİ'si hesaplanmıştır. Bu SAİ'nin en büyük payını %57 ile su sıkıntısı olmayan havzalar alırken ve suyu az olan havzalarda bu değer sadece %1'dir. Çalışmada, ayrıca, artan tatlı su talebi ve baraj yapımlarının sürmesi nedeniyle, bu yapay rezervuarlarda oluşacak su kaybının önceden belirlenmesinin gerekliliği vurgulanmıştır.

Qian ve diğ. (2018), Çin'in güneybatısında bulunan Yunnan'ı, su sürdürülebilirliği bağlamında sosyo-ekonomik kalkınma potansiyelini araştırmak amacıyla örnek çalışma alanı olarak seçmişlerdir. Sonuçlar, tüm ekonomik sektörlerin sanal su içeriğinin, teknolojik ilerleme nedeniyle azalmasına rağmen, Yunnan'ın toplam SAİ'sinin ekonomik ölçek genişlemesi sonucunda arttığını göstermiştir. Sektörel açıdan bakıldığında, büyük SAİ'lere sahip sektörler; inşaat sektörü, tarım sektörü ve gıda sektörü olarak tespit edilmiştir.

Perea ve diğ. (2016), İspanya'nın kuzeyi için bitki SAİ ve su kullanımı yönetiminde alansal-zamansal ölçeklerin etkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Dünya'da mevcut toplam suyun %70'i tarımsal amaçlı kullanılmaktadır. Sulama yönetimi bilgileri ile birlikte bitki SAİ miktarı her ürünün su kullanım verimliliğinin küresel bir göstergesi olarak kullanılabilir. Çalışmada, bitki olarak şeker pancarı kullanılmıştır. Çalışılan iki mevsim için SAİ, sırasıyla, ortalama 76.0 ve 68.3 m^3/t olarak bulunmuştur. Bu değerler, literatürdeki, şeker pancarı için yapılan diğer çalışmalardan önemli ölçüde farklıdır. Bu farklılığın sebebinin, farklı uzay/zamansal ölçeklerin kullanılması olduğu düşünülmüştür. SAİ ve sulama yönetimi göstergelerinin ortak kullanımı, sulama sürecindeki verimsizliklerin saptanmasına ve en iyi yerel uygulamalara olanak tanımaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, çiftçilerin genellikle sulama suyunu iyi kullandıklarını göstermiştir. Daha iyi bir sulama programı uygulanan suyun önemli ölçüde azalmasına ve dolayısıyla sulama suyunun kullanımında maliyet düşürmesine ve verimliliğin artmasına neden olabilir.

Luo ve diğ. (2018), Chongming'in uluslararası bir eko-adaya dönüşmesinde SAİ hesabı ve senaryo analizi yapmışlardır. Chongming, Yangtze Nehri havzasında

bulunan, bol su kaynağına sahip olan ve coğrafik konumu sebebiyle Şangay'a ürün tedarikini garantileyen bir bölgedir. Bu çalışmada, 2011'den 2014'e kadar Chongming Adası'ndaki SAİ hesaplanmış ve su kıtlığı, sanal su kullanılarak, bir kriter olarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, tarımsal SAİ'nin Chongming Adası'ndaki toplam SAİ'nin büyük bir bölümünü oluşturduğunu göstermektedir. Chongming Adası'nda, Şanghay yakınlarındaki diğer şehirlerden daha yüksek bir su kıtlığı olduğu tespit edilmiştir. Tarımsal SAİ, Chongming'in tarımındaki su kullanım yapısını değerlendirmek için kategorize edilmiş ve 2005'ten 2014'e kadar olan verilere dayanarak, SAİ'yi 2040'a kadar tahmin etmek için dört farklı senaryo analiz edilmiştir. Senaryolardan hareketle, tarımsal yapı değiştirildiğinde, su tüketiminin %11.5 oranında azaltılabileceği belirtilmiştir.

Sutterlüty ve diğ. (2016), biyolojik bazlı lif kaynaklarının SAİ'siyle ilgili çalışma yapmışlardır. Ağaç ve pamuk ekimi, büyük miktarda su kullanabilen, tüketebilen ve kirletebilen iki önemli biyo-bazlı lif kaynağıdır. Uluslararası uzmanlar ile üç adımlı argüman Delphi yaklaşımı (Linstone ve Turoff, 1975) kullanarak, SAİ üzerine çalışılmıştır. Çalışmada, nemli bir bölgedeki yarı-doğal ormanlardan sulanan ekili tarlalara kadar farklı ortamlar karşılaştırılmıştır. Delphi'den, yeşil su bileşenini ölçmek için verilen envanter yaklaşımlarının, bu bölgelerdeki kaynaklarla karşılaştırılması için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Denis ve diğ. (2016), verimdeki ve su kullanımındaki heterojenliği anlamak için buğday SAİ'sinin yüksek çözünürlükle bir değerlendirmesini yapmışlardır. Allahabad'daki Samrakalwana köyünde yapılan bu araştırma, su kullanımında %36.1'lik heterojenliğin buğday veriminde %44.0'lük heterojenliğine yol açtığını ortaya koymaktadır. Buğday için elde edilen SAİ'lerin 9844-2951 l/kg arasında değiştiği bulunmuştur. Su verimliliği ise; 3.88-1.01 t/m^3 arasında değişmektedir. Bu büyük farklılık, ayrıca Samrakalwana köyünde mevcut suyun kaynak olarak kullanılmasında büyük bir heterojenliğin bulunduğunu da açıklamaktadır.

Bonamente ve diğ. (2017), İtalya'daki su kullanımını izlemek ve ekonomik sektörlerin bölgesel sınırları aşan su akışlarını değerlendirmek için ulusal SAİ'yi hesaplayan bir çalışma yapmışlardır. Mavi ve gri bileşenler için SAİ göstergeleri oluşturulurken, yeşil bileşenin sürdürülebilirliği önceden arazi kullanımından değerlendirilir. Coğrafi referanslı haritalar, yeşil, mavi ve gri su bileşenlerine göre orta nokta etki göstergelerini hesaplamak için kullanılmıştır. Analiz, üç bölgesel toplama ölçeği (idari

sınırlar, nehir havzaları ve hidrojeolojik kompleksler) dikkate alınarak yapılmıştır. Gri SAİ sınırlarının asla aşılmadığı, ortalama olarak mavi su tüketiminin sürdürülebilirlik seviyelerinin altında olduğu bulunmuştur. Mavi su kıtlığını değerlendirmek için maksimum mavi su mevcudiyeti (coğrafi bölgedeki akışın %20'si) ile karşılaştırılmıştır. Yeşil bileşene benzer şekilde, mavi su kıtlığı, analizin alansal çözünürlüğünden büyük ölçüde etkilenmektedir: Ulusal bölgenin %10'u daha büyük ölçeklerde,%38'i daha küçük ölçeklerde sürdürülebilirdir. Su talep eden sıcak noktalar kritik değerin çok üzerindedir. Sonuçlar, SAİ analizinin, nehir havzaları gibi yerel ölçekte yapılması gerektiğini doğrulamıştır.

Duarte ve diğ. (2014), İspanya'nın tarım sektörü için SAİ hesabı yapmışlardır. Çalışmada, artan tarımsal üretimin bir sonucu olarak, evsel su tüketiminin durumunun ve artan su ihtiyacının, sulama altyapısı inşası üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. 1860-2010 yılları arasında, tarımsal üretimin de artmasıyla, su tüketiminin iki kattan fazla arttığı görülmüştür. Günümüzde, İspanya, dünya çapında çevresel olarak daha fazla su kütlesine sahip olan ve dünyanın en büyük SAİ'lerinden birine sahip olan ve ayrıca sulanan en büyük alana sahip ülkeler arasındadır. Rezervuar kapasitesi de ciddi oranda artmıştır. İspanya'da, genel olarak, üretim ölçeğinin su tüketimini yönlendiren ana faktör olduğu belirtilmiştir. Arazi kullanımındaki değişikliklerin yanı sıra ürün ve hayvancılık verimi de arttıkça tarımsal üretimde gömülü suyun daha fazla artması önlenmiştir. Mavi suyun tarım sektörünün gelişimi için hayati olduğu belirtilerek, sulanan alanın ve bununla birlikte mavi su tüketiminin bu yıllarda yavaş yavaş arttığı ortaya koyulmuştur.

Ahams ve diğ. (2017), Amerika'nın 65 şehri için, üretim ve tüketimdeki SAİ'yi değerlendirmek amacıyla, sanal ve dolaylı su kullanımını da dahil ederek, SAİ kavramını ve metodolojisini kullanmışlardır. Kentsel SAİ'leri tahmin etmek için, emtia akışı (tarım, hayvancılık ve endüstriyel ürünler), su kullanımı ve sosyo-ekonomik veriler dahil olmak üzere büyük ve farklı veri kümeleri entegre edilmiştir. Hesaplanan SAİ değerleri analiz edilerek, tüketimin SAİ'sinin ortalama %66'sı için dolaylı su kullanımı hesaplanmıştır. SAİ paternlerinin, ABD'de büyük farklılıklar gösterdiğini ve ayrıca bölgesel paternlerin de olduğunu tespit etmişlerdir. Amerika'nın kuzeydoğusundaki yoğun şehirlerde, diğer şehirlere göre kişi başına SAİ önemli ölçüde düşükken, Körfez kıyı bölgesindeki şehirlerde, üretim ve tüketimde çok daha yüksek bir endüstriyel SAİ olduğu belirlenmiştir.

Model kullanılarak yapılan çalışmalar

Shrestha ve diğ. (2017), Tayland'ın kuzeydoğusundaki kaliteli pirinç üretim alanlarındaki verim ve SAİ'ye iklim değişiminin etkisi ile ilgili bir araştırma yapmışlardır. Bu bölgede yaygın olarak yetiştirilen pirinç bitkisinin büyük kısmı, yağışın zamansal dağılımına bağlı olarak üretilirken, pirinç üreticilerine sulama suyu, kurak sezonda sağlanmaktadır. Çalışmada, Tayland'ın kuzeyi için DSSAT modelinin CERES-Rice (**C**rop **E**stimation through **R**esource and **E**nvironment **S**ynthesis) bitki gelişim simülasyon altmodeli kullanılmıştır. Bitki fenolojik verileri, gözlemlerden elde edilmiş ve modelin kurulumunda, validasyonunda kullanılmıştır. Pirincin bugünkü ve gelecekteki (2020, 2050, 2080) SAİ'si, şimdiki ve gelecekteki iklim koşulları altında hesaplanmıştır. Üç farklı bölgesel iklim modelin (ACCESS (Australian Community Climate and Earth System Simulator)-CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation)-CCAM (Conformal Cubic Atmospheric Model), CNRM (Centre National de Recherches Météorologiques)-CM5 (Climate Model version 5)-CSIRO-CCAM ve MPI (Max-Planck Institut-ESM (Earth System Modelling)-LR (Low Resolution Grid)-CSIRO-CCAM) RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre çıktıları, kantil haritalama metoduyla ölçeği küçültülmüştür. Simülasyon sonuçları; gelecek periyodu için, RCP 4.5 altında, %56.5'tan %92.2'ye ve 27.5'tan 29.7'ye değişen KDML-105 ve RD-6'nın (nemli sezon pirinçleri) RCP 8.5 senaryosunda, %71.4'ten %76.5'e ve 27.9'dan 37.6'ya SAİ'de büyük oranda yükselmiştir. Diğer taraftan; ChaiNat-1 kültür tipi, RCP 4.5 altında, %42.1'den %39.4'e ve RCP 8.5 altında, %38.5'ten %31.7'ye düşüş göstermiştir. Sonuçlar, bitkinin buharlaşma ihtiyacını karşılamak için, sulama suyu gereksiniminde büyük bir artışa neden neden olacak olan gelecekteki mavi SAİ'sinde çok büyük bir artışa işaret etmektedir. Aynı zamanda, gelecekteki SAİ miktarının oldukça yüksek olacağı öngörülmektedir. Yüksek evapotranspirasyon ve önemli oranda bitki rekoltesindeki azalma, bunun temel faktörleri olarak görülmektedir. Sonuç olarak, pirinç verim miktarı, düzenli olarak yetiştirilen çeşitler (KDML105, RD6) için, kuraklığa dirençli çeşit (ChaiNat-1) hariç, gelecek iklim senaryoları altında azalacağı öngörülmektedir.

Masud ve diğ. (2018), Alberta, Kanada için, arpa üretiminin SAİ'sini modellemişlerdir. Kanada'nın bu bölgesinin arpa üretimi büyük oranda iklimle ve su kaynaklarıyla ilişkilidir. Çalışmada, gelecekteki tarımsal üretimin ve harcanan su kullanımı (CWU) simülasyonuyla, arpanın SAİ'sini hesaplamak için agro-hidrolojik

modeller geliştirilmiştir. Geniş çaplı kalibrasyon, validasyon, hassassiyet ve belirsizlik analizinden geçirilerek, sulanmayan ve sulanan arpa simülasyonlarını gerçekleştirmek için Toprak ve Su Değerleme Aracı'nı (SWAT) kullanmışlardır. 2040-2064 periyodu için, RCP 2.6 ve 8.5 altında, dokuz genel sirkülasyon modelinden (GCMs), on sekiz küçük ölçekli iklim projeksiyonu, kalibre edilen SWAT modeline dahil edilmiştir. Toplu (ensemble) genel sirkülasyon modelinin temelinde, yağışa bağlı olarak yetiştirildiğinde verim artacağı öngörülürken, sulanan arpanın aynı kaldığı gözlenmiştir. Sonuçlar, SAİ'de, 2064'e kadar, ciddi oranda bir azalmayı (maksimum %60) ortaya çıkarmıştır.

Feng ve diğ. (2017), Markov zinciriyle bir sistem dinamiği modeli geliştirilerek ekonomik gelişim, tarımsal su tüketimi, nüfus ve tarımsal ekosistem göz önünde bulundurularak toplam SAİ (TSAİ) ile birlikte tatlı su ekosistemi üzerinde etkisi tahmin etmek için birleştirmişlerdir. Buğday, patates, yonca, sebzeler ve keten bitkilerin TSAİ için seçilmişlerdir. Çalışmada, simülasyon zaman adımı bir yıl olarak alınmış ve sonra 1991'den 2009'a kalibre edilmiştir. Çin'deki Heihe Nehri Havzası için, 2010-2030 süresince gerçekleştirilen örnek çalışma, sırasıyla, temel, ortalama risk, yüksek risk ve sürdürebilir senaryolar altında, $9.67x10^8$ m^3, $1.02x10^9$ m^3, $1.05x10^9$ m^3 ve $9.27x10^8$ m^3'lik TSAİ değerleri göstermiştir. Sonuç olarak, tarımsal suyun korunması, sulama kanallarının yapımı, yatırımların ve finansmanın sürdürülmesi, tarımsal planlamanın düzenlenmesi ve güncel sulama stratejileriyle, tarımsal su verimliliğinde gelişimin TSAİ'yi azaltacağı belirtilmiştir.

Nana ve diğ. (2014), İtalya'nın kuzeyinde yer alan Po vadisindeki mısır verim ve SAİ için bir model önermişlerdir. Bu çalışmada, Politecnico di Milano tarafından geliştirilen ve kullanılan basit, hidrolik temelli, çok-yıllık günlük ürün modeli olan PolyCrop (PC), Po vadisindeki iki örnek çalışma içerisinde hem mısır gelişimini tahmin etme hem de SAİ göstergelerinin belirlenmesi için test edilmiştir. Aynı zamanda toprak su bütçesini, ürün gelişimini ve üretimini simüle etmek için, toprak neminin, evapotranspirasyonun, yaprak alan indeksinin (LAI) ve biyokütlenin günlük hesaplarını sağlamak için, sıcaklık, yağış ve solar radyasyonla ilgili günlük meteorolojik verileri kullanır. Çalışmada, ilk bölge için PC kullanılarak, mısır gelişimi, literatürdeki Cropsyst (CS) referans modeli simüle edilmiş ve 2001-2010 için, ürün verimliliğine karşı bu simülasyonlar doğrulanmıştır. Sonrasında, ikinci bölge için, üç yıl periyodunda (2010-2012), mısır gelişimi simüle edilmiş ve bir eddy

kovaryans (EC) kulesinden ve TDR (Time Domain Reflectometry) toprak su içeriği algılayıcısından alınan günlük ölçümlerle gerçek evapotranspirasyon ve toprak nemi, CS ile simülasyonlardan gelen sonuçlara karşı biyokütle ve 8-gün frekanslı 1 km çözünürlüklü MODIS uydu görüntülerinden gelen hesaplamalara karşı LAI değerleri karşılaştırılmıştır. Mısır SAİ miktarları hesaplanmış ve güncel sulama programı altında PC ve CS modelleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Mısır gelişimi, toprak nemi, LAI ve SAİ'nin günlük dinamiğinin belirlenmesinde, PC modelinin karşılaştırmalı olarak daha iyi olduğu ve bu yüzden bu programın ürün gelişim simülasyonunda, küresel iklim modelleri ve diğer iklim modellerinden gelen veriler kullarak, ürün verimliliğinin değerlendirilmesinde, sürdürülebilir bir sulama yönetimi için toprak nemi ve ürün miktarının kısa vadeliden orta vadeliye tahmininde, ürün yetiştirme sisteminin su kullanımının değerlendirilmesinde ve ileriye dönük iklim değişimi koşulları altında verim ve SAİ belirlenmesinde kullanışlı bir model olduğu görülmüştür.

Marano ve Filippi (2015), Arjantin'deki iki önemli pirinç üretim bölgesindeki (merkez-doğu Entre Rios ve Santa Fe) SAİ belirlemek için çalışma yapmışlardır. Bu hesaplamada, SAİ Değerlendirme Kılavuzu'unda (The Water Footprint Assessment Manual) önerilen, CWU (ET ihtiyacını karşılayan su) ile alan verimliliği arasındaki ilişkiyi temsil eden metodolojiyi kullanılmıştır. SAİ, üç bileşenden oluşmuştur: Ürün ($CWU_{yeşil}$) tarafından kullanılan yağışla ilişkilendirilen yeşil SAİ ($SAİ_{yeşil}$), evapotranspirasyon ihtiyacını karşılayan yer altı veya yer üstü suyuyla ilişkili olan mavi SAİ ($SAİ_{mavi}$), mahsülün üretimi sonucu oluşan kirleticilerin kalıntılarını seyreltmek için gerekli suyun hacmi ile ilişkilendirilen gri SAİ ($SAİ_{gri}$). CWU_{mavi} ve $CWU_{yeşil}$'i hesaplamak için, özellikle kesintisiz taşkın sulama için geliştirilen bir pirinç su denge modeli (RWM) uygulanmıştır. Günlük yağış, evapotranspirasyon miktarı ve toprak değişkenleri verisi temelinde, toprak su dengesi yöntemi hesabına olanak sağlamaktadır. Entre Rios'da, SAİ; 987 m^3/t (%44 $SAİ_{yeşil}$ ve %56 $SAİ_{mavi}$), Santa Fe'de, SAİ; 846 m^3/t (%36 $SAİ_{yeşil}$ ve %64 $SAİ_{mavi}$) olarak bulunmuştur.

Wang ve diğ. (2015a), AEZ (Agro-ecological zoning) modelinin Çin versiyonu olan bir model ile ekili alandaki değişimin kışlık buğdaya etkisini incelemek için SAİ'yi bir gösterge olarak kullanmışlardır. Sonuçlar; Kuzey Çin Ovası'nın kuzeyinden daha çok güneyinde, kışlık buğday üretiminde, yeşil suyun önemli bir rol oynağını, kışlık buğday için su ihtiyacının yaklaşık yarısının güneyden karşılanırken, yaklaşık 1/3'inin

de kuzey kesimden karşılandığını, 1998-2011 periyodu arasında, kış buğdayı ekili alandaki kuzey-güney kayması sonucunda, kışlık buğday için SAİ, yeşil SAİ ve yüzey mavi SAİ'leri, sırasıyla %0.9, %4.2 ve %0.5 artarken, yeraltı mavi SAİ'nin %3.4 oranında azaldığını göstermiştir. Yeşil suyun katkısı da, kışlık buğday ekili alanlardaki değişikliklerle eş zamanlı olarak, 1998'de %46.3'ten 2011'de %47.8'e çıkmıştır.

Kersebaum ve diğ. (2016), kışlık buğday için yedi farklı bitki gelişim modeli kullanarak, SAİ'lerdeki belirsizlikleri analiz etmişlerdir. Belirli bir ürünün SAİ'sini belirlemek için, verim ve su tüketimi en temel parametrelerdir. Mevcut iklim koşullarında hesaplanan buharlaşma, SAİ'yi hesaplamada ürün verimiyle ilgilidir. SAİ'nin gelecekteki iklim koşulları altında değerlendirilmesi, daha fazla bir belirsizlikle ürün veriminin simülasyonunu gerektirir. SAİ'nin model bazlı belirsizliğini değerlendirmek için, Avrupa'daki beş farklı ölçüm kampanyasından elde edilen verilere birçok modelden oluşan bir ensemble bitki modeli uygulanmıştır. Modeller arasında simüle edilen güncel buharlaşma için varyasyon katsayısının, %13 ile %19 arasında değiştiği bulunmuştur. Simüle edilen verimlerin, modeller arasında %17-39 aralığında olduğu yani daha yüksek bir değişkenlik gösterdiği görülmüştür.

Bocchiola ve diğ. (2013), İtalya'nın Po vadisinde üretilen mısır bitkisinin verimi ve SAİ üzerindeki iklim değişimi senaryolarının etkisini incelemişlerdir. Mısır üretimini simüle etmek için, 2001-2010 yılları arasında CropSyst (CS) modeli kullanılarak bitki verimi verileriyle validasyonu yapılmıştır. Sulamanın olmadığı belirli tarihlerde elle sulamanın olduğu ve istenildiğinde otomatik sulamanın yapıldığı üç ayrı sulama senaryosu altında, gelişme dönemi boyunca SAİ (yeşil ve mavi SAİ) miktarı hesaplanmıştır. Ayrıca, muhtemel iklim değişikliğinin yüzyıl ortalarına kadar (2045-2054) mısır üretimi üzerindeki etkileri ve SAİ miktarı belirlenmiştir. Özellikle, sıcaklık, yağış ve karbondioksit odaklı iklim değişiklikleri dikkate alınmıştır. İlk olarak, meteorolojik değişkenlerdeki potansiyel değişikliklere karşı mısır verimi ve SAİ hassasiyeti değerlendirilmiştir. Mısır verimi modelini, IPCC'nin içinde yer alan genel sirkülasyon modellerinden (GCM) ölçeklendirilmiş 1975-2010 arasında yerel iklim eğilimlerini yansıtarak elde edilen iklim projeksiyonları ve yerel bir senaryo ile beslenmiştir. Gelecekteki artan sıcaklık ve yağış miktarının düşmesi gibi en kötü ve daha muhtemel senaryolar altında, artan ET, sulama talebindeki artış ve nihai verimdeki düşüş nedeniyle ürün verimi azalmış ve özellikle mavi SAİ olmak üzere SAİ değerleri artmıştır. CO_2'deki artış SAİ'yi etkilememiştir. Gelecekteki yağışlardaki

belirsizliğin, mısır verimi ve SAİ'yi yansıtan senaryolarda en büyük etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Luan ve diğ. (2018), Çin'in Hetao sulama bölgesinde (HID) SWAT modeli kullanılarak, buğday, mısır ve ayçiçeğinin alan ölçekli SAİ'leri hesaplanmıştır. SAİ hesaplama yöntemlerinin yetersizliği ve hesaplama modüllerinin hataları nedeniyle, çalışmada, bir yöntem oluşturmak amaçlanmıştır. Sonuçlar, buğday, mısır ve ayçiçeğinin ortalama toplam SAİ miktarları; sırasıyla, 1036, 774 ve 1510 m^3/t olduğunu göstermiştir. Buğday, mısır ve ayçiçeğindeki yeşil SAİ oranları ise; sırasıyla, %22.3, %26.1 ve %29.4 olarak bulunmuştur.

Chouchane ve diğ. (2018), Tunus'un sanal su ticaretindeki GSYİH, sulanan arazi, yağış, nüfus ve su kıtlığı gibi çevresel ve sosyo-ekonomik faktörler ile ilgili dinamikleri analiz etmeyi amaçlamışlardır. Bitkisel üretimin SAİ'si, 1981-2010 dönemi boyunca, altı ürün (buğday, arpa, patates, hurma, zeytin, domates) için AquaCrop modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. Net sanal su ithalatı (NVWI) yıllık olarak hesaplanmıştır. Seçilen faktörlere göre, NVWI'daki dinamikleri araştırmak için regresyon modelleri kullanılmıştır. Sonuçlar, seçilen ürünler için, çalışma süresi boyunca, NVWI'nın mavi su azlığından etkilenmediğini göstermektedir. NVWI, Model 1'de, nüfus ve yağışla, Model 2'de, GSYİH ve sulanan alanla ilişkilidir. Modeller, temel ürünlerin (buğday, arpa, patates) NVWI'sını açıklamakta, nakit ürünlerden (hurma, zeytin, domates) daha iyi çıkmıştır. Model 1 kullanılarak, yağmurla beslenen ürünlerin hem eğilimleri hem de yıl içi değişkenliği açıklanabilmiştir. Model 2, sulanan ürünler için daha iyi performans göstermiştir ve eğilimleri önemli ölçüde açıklayabilmiştir. Ancak, yıllar arası değişkenliği temsil ettiği varsayılan değişkenlerle anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

Van der Laan ve diğ. (2019), Güney Afrika'da arazi çalışmasında mısırın bitkisinin SAİ miktarını araştırmışlardır. SAİ hesabında, ET, toprak su dengesi, uydu görüntüleri ile uzaktan algılama (SEBAL modeli), Eddy Kovaryans ölçümleri ve üç bitki modeli (SWB, CROPWAT, SAPWAT) kullanılmıştır. Mevsimsel ET'nin tahminleri %15'e kadar değişirken, verim %42'ye kadar değişmiştir. En yüksek ve en düşük ET tahmin değerleri ve verim tahminindeki %5 ve %95 persantil değerleri kombinasyonu kullanarak SAİ değerleri 338-680 m^3/t arasında hesaplanmıştır.

Alvarez ve diğ. (2016), Arjantin'in orta ve kuzeydoğu illerinde, mısır için, yağışa dayalı, sulanan ve optimum sulama ve toprak verimliliği koşullarında, yeşil ve mavi SAİ'leri analiz etmişlerdir. Evapotranspirasyon ve ürün verimini simüle etmek için uluslararası kabul görmüş metodoloji ve AquaCrop modeli kullanılmıştır. Sulamayla ve gübrelemenin arttırılmasıyla SAİ'nin azaldığı, bunun da verim artışından kaynaklandığı gözlemlenmiştir. Yeşil SAİ, toplam SAİ'nin (yeşil+mavi SAİ) %92'sini temsil etmektedir. Hesaplanan ortalama SAİ (yeşil+mavi); kuru tarım için 803 l/kg, sulu tarım için 602 l/kg ve optimum sulama ve toprak verimliliği şartlarında üretim için 488 l/kg olarak hesaplanmıştır.

Zhuo ve Hoekstra (2017), Kuzey Çin'de kışlık buğday üzerinde sulama verimliliği, bitki suyu kullanım verimliliği (WUE), yeşil ve mavi SAİ gibi farklı su verimliliği göstergeleri üzerinde farklı tarımsal uygulamaların etkisini incelemişlerdir. Çalışmada, dört sulama tekniği, iki sulama stratejisi ve üç farklı malçlama yönteminin tüm olası kombinasyonları için AquaCrop modeliyle, 24 modelleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, eksik sulamanın, sulama verimliliğini %5 artırarak ve mavi SAİ'yi %38 azaltarak, mavi su kullanımını en etkili şekilde iyileştirdiğini ancak bitki veriminde ortalama %9 azalmaya neden olduğunu göstermektedir.

Shi ve diğ. (2017), Kuzey Dakota'da, jet yakıtı üretiminde kullanılan kanola bitkisi için yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) ile SAİ analizi gerçekleştirmişlerdir. Kanola, enerji güvenliğini ve iklim değişikliğini azaltmanın bir yolu olarak işlenmiş ester ve yağ asidi (HEFA) jet yakıtı üretimi için bir kaynak olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, büyük ölçekli biyoyakıt üretimi, tatlı su kaynakları ve su kalitesi üzerinde negatif etki oluşturabilmektedir. Çalışmada, SAİ analizinin, su odaklı LCA ile birleştirildiğinde, su sürdürülebilirliği için etkili bir, sistem analiz aracı olabileceği düşünülmüştür. Biyojeokimyasal tabanlı EPIC modeli, hidrolojik döngüyü etkileyen ürün gelişimini simüle etmek için çalışmaya dahil edilmiştir. Sonuçlar, kanola türevi HEFA jet yakıtının, tüm yeşil, mavi ve gri SAİ bileşenleri de dahil olmak üzere, 470-600 dolarlık kanola fiyat aralığında, GJ yakıt başına 131-143 m^3'lük bir SAİ'ye sahip olduğunu göstermiştir.

De Miguel ve diğ. (2015), İspanya'daki Duero nehir havzasındaki bitkilerin yeşil, mavi ve gri SAİ'sini hesaplamak için bir model (CWUModel) geliştirmişlerdir. CWUModel, bitkiler tarafından tüketilen yeşil ve mavi suyu ve gübre uygulamasından kaynaklanan azot infiltrasyonunun asimile etmek için gerekli suyu tahmin edebilen bir

modeldir. Bu havzadaki toplam bitki SAİ değeri; 9473 Mm^3/yıl (%59 yeşil, %20 mavi ve %21 gri) olarak simüle edilmiştir. Kuru koşullardaki bitki üretimi, SAİ'nin 5548 Mm^3/yıl kadarından (%86 yeşil ve %14 gri) sorumluyken, sulu tarımın SAİ'si; 3924 Mm^3/yıl (%20 yeşil, %47 mavi ve %33 gri) olarak tespit edilmiştir. Arpa, en yüksek mavi SAİ'ye (%37) sahip üründür; arpayı buğday %17 ile takip etmektedir. Mısır, havzanın toplam SAİ'sinin %16'sını oluşturmasına rağmen, mavi ve gri SAİ'ler, havzadaki toplam mavi ve gri SAİ miktarının %36'sını oluşturmaktadır.

Zhuo ve diğ. (2016b), Çin'deki Sarı Nehir Havzasında yetiştirilen 17 farklı bitkinin SAİ'leri için karşılaştırma seviyelerini belirlemek ve hangi çevresel faktörlerin daha etkin olduğunu araştırmak amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, 1961-2008 döneminde, dört farklı toprak sınıfı ve iki farklı iklim bölgesi için, kışlık buğday üretiminin SAİ'sinin hesabında, kurum tarım yapılan alanlar ile sulu tarım yapılan alanlar, yağışlı yıllarla kurak yıllar, sıcak yıllarla soğuk yıllar arasındaki karşılaştırma seviyeleri belirlenmiştir. Kışlık buğday üretiminin SAİ'si için, yalnızca su stresi hesaba katılarak, AquaCrop ile simülasyon yapılmıştır. Sonuçlar, belirlenen kıyaslama seviyelerinin, 1961-2008 arasındaki uzun yıllar ortalama seviyelerinin %20 aralığında kaldığını, sulanan kışlık buğdayın için SAİ'sinin kuru tarım yapılan kışlık buğdaydan %8-10 daha büyük olduğunu, yağışlı yıllar için SAİ kriterlerinin kurak yıllara göre %1-3 daha küçük olduğunu, sıcak yıllar için SAİ kriterlerinin soğuk yıllara göre %7-8 daha küçük olduğunu, SAİ kriterlerinin, farklı toprak sınıflarında yaklaşık %10-12 oranında farklılık gösterdiğini ve nemli bölgelerin SAİ kriterlerinin, kurak bölgeye göre %26-31 daha küçük olduğunu göstermiştir.

Bocchiola (2015), hidrolojik temelli bitki modeli olan PolyCrop'u (PC) kullanarak, İtalya'nın Po vadisinde, sulanan pirinç bitkisinin verim ve SAİ (mavi SAİ ve yeşil SAİ) miktarlarını araştırmıştır. Aynı zamanda gelecekteki iklim değişikliğinin, pirinç üretimi ve su tüketimi üzerindeki potansiyel etkisini araştırmak için, iki global sirkülasyon modeli (CCSM4, ECHAM6) ve üç farklı RCP senaryosundan (RCP 2.6, 4.5 ve 8.5) faydalanılmıştır. 21. yy'ın ilk yarısında, ve yüzyılın sonunda iki referans dönem incelenmiş ve iklim değişkenlerinin potansiyel etkisini vurgulamak için bir korelasyon analizi uygulanmıştır. İlk yarıda, artan CO_2 konsantrasyonunun, artan yağış ve yaz sıcaklığında, artan mavi SAİ ve sulama SAİ maliyetiyle pirinç verimini olumlu etkileyebileceği gösterilmiştir. Çalışmaya göre, ECHAM6 senaryoları altında, pirinç üretimi, ilkbaharda büyük ölçüde artan sıcaklık ve yine büyük ölçüde artan mavi

SAİ ile pratikte ya aynı kalacaktır ya da azalacaktır (RCP 2.6). Yüzyılın sonunda ise, RCP 2.6 ve 4.5 senaryolarında, CCSM4, artan pirinç verimi ile mavi ve sulama SAİ'sine işaret ederken, diğer tüm senaryolar, yaz sıcaklığının artması nedeniyle büyük ölçüde azalan pirinç verimi ve büyük ölçüde artan mavi SAİ'sini göstermektedir. Tüm senaryolarda, yıllık verim değişkenliğinin arttığı görülmektedir ve sulama SAİ'si, mavi SAİ'yi büyük ölçüde aşmaktadır.

Deryng ve diğ. (2016), artan CO_2 konsantrasyonlarının, bitki suyu verimliliği üzerindeki olumlu etkilerindeki bölgesel farklılıkları araştıran bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, saha deneyleri ağı, proses bazlı ensemble bitki modelleri ve global sirkülasyon modelleri kullanılmıştır. Model topluluğu, altı gridli bitki modelini (GGCM) içerir ve 2000 yılı referans alınarak 2080 yılına kadar CO_2 konsantrasyonlarının iki katına çıkmasını sağlayan bir sera gazı emisyonları senaryosunda, beş genel sirkülasyon modelinden (GCM) iklim girdisi verilerini kullanan simülasyonlar kullanılmıştır. 2080'lerde CO_2 artışının küresel tahıl (buğday, mısır, soya fasulyesi ve pirinç) SAİ'sini %10-27 oranında azalttığını belirlemişlerdir.

Karandish ve Hoekstra. (2017), İran'ın gıda üretimi, tüketimi ve ticareti ile ilgili olarak, su tüketiminin gelişimini daha iyi anlamak amacıyla, 1980-2010 dönemi için SAİ çalışması yapmışlardır. AquaCrop modeline dayanarak, İran'ın 30 ilinde, 26 bitkinin hem üretimi hem de tüketimi ile ilgili yeşil ve mavi SAİ'si tahmin edilmiştir. 1980-2010 döneminde, bitkisel üretimin %175, toplam bitkisel üretim SAİ miktarının %122 ve mavi SAİ'nin %20 arttığı tespit edilmiştir. Nüfus %92 artarken kişi başına bitki tüketimi de %20 büyüyerek, toplam gıda tüketiminde %130 artış ve bitki tüketiminin toplam SAİ'sinde %110 artış gerçekleşmiştir. 2010 yılında, yarı kurak bölgedeki toplam su tüketiminin %26'sı İran (çoğunlukla tahıllar) veya yurtdışında (çoğunlukla meyve ve fındık) diğer bölgelere ihraç edilmek üzere bitki üretimine hizmet ettiği belirtilmiştir.

Garofalo ve diğ. (2019), Almanya ve İtalya'da, tahıl verimi ve su tüketiminin gelecekteki eğilimlerini değerlendirmişlerdir. 2050 yılında, iki farklı iklim bölgesi, beş global sirkülasyon modeli ve iki temsili CO_2 konsantrasyon (RCP 4.5 ve 8.5) kombinasyonları altında dört bitki modeli oluşturulmuştur. Verim ve su kullanımı, kuru ve sulu tarım yapılan topraklar için değerlendirilmiş ve SAİ değeri tahmin edilmiştir. Sonuçlar, kuru tarım yapılan topraklarda öngörülen verimlerin, İtalya'yla karşılaştılabilir düzeyde ve hatta Almanya'dan %9 kadar daha iyi olduğunu

göstermiştir. Su arzı, bitki performansını, Almanya'da ortalama %22 ve İtalya'da %19 artırmıştır. Bitkisel su tüketimi (hem yeşil hem de mavi), gelecekteki projeksiyonlarda sabit kalmıştır ancak SAİ, referans değerlerle kıyaslandığında, İtalya'da ortalama %5 ve Almanya'da %23 azalmıştır. Analiz edilen faktörlere ilişkin gelecekteki tahminlerdeki belirsizliğe rağmen, sonuçlar, mevcut buğday üretiminin ve SAİ'nin, iklim değişikliğinden olumlu etkilenebileceğini göstermiştir.

Li ve diğ. (2017), Çin'in Jilin ili için pirinç bitkisi SAİ'sini CROPWAT modeli kullanılarak hesaplamışlardır. Pirinç, su içerisinde yetiştiğinden, pirinçte, diğer bitkilerden daha farklı bir durum söz konusudur. Çalışmada, pirinç üretiminin mavi ve gri SAİ hesaplanma metodolojisi geliştirilmiş ve Jilin'de, farklı yağış yıllarında, pirinç üretimi için SAİ'deki farklılıklar analiz edilmiştir. İlk olarak, büyüme mevsimi boyunca, pirincin su tüketim miktarı, iklim parametreleri ve sulama suyu ile belirlenmiş ve CROPWAT modelinde "bitki suyu gereksinimi seçeneği" kullanılarak hesap yapılmıştır. Kuraklık yılında, üç yıl içersinde, yeşil SAİ en düşük, mavi SAİ ise en yüksek düzeydeyken, yağışlı yılda yeşil SAİ en yüksek değerde çıkmıştır. Ancak mavi SAİ en düşük değeri vermemiştir. Yüksek SAİ'ye sahip alanlar, Jilin'nin doğu ve batı bölgelerinde bulunmuştur.

Liu ve diğ. (2017), EPIC modeli kullanılarak mısır bitkisi için gri SAİ çalışması yapmışlardır. Çalışmada, gri SAİ değerlendirmesi için uygun su kalitesi standartları, çoklu kirleticiler için gri SAİ ve değerlendirmenin alansal çözünürlüğünün gri su stresi düzeyine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, gri SAİ hesaplamasının, uygulanan su standartlarına oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, sadece mısır üretiminin neden olduğu azot ve fosfor kirliliğine ilişkin, gri SAİ'nin, dünyanın birçok yerinde yerel su kullanılabilirliğini aştığını göstermektedir. Bu çalışma, bölgeler arasındaki çeşitli su ekosistemleri ve çevre suyu kalitesi gerekliliklerinin yanı sıra su kütlelerinde çoklu kirleticilerin varlığı göz önünde bulundurularak, tutarlı bir gri SAİ değerlendirmesi için, su kalitesi standartlarının belirlenmesinin standartlaştırılması gereğini vurgulamaktadır.

Marston ve Konar (2017), verimli tarım alanlarından biri olan Kaliforniya Merkez Vadisi için, SAİ ve sanal su transferlerine kuraklığın etkilerini inceleyen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu bölge, 2012'den itibaren, oldukça şiddetli bir kuraklıkla karşı karşıya kalmıştır. Tarımsal üretimin SAİ'sini ve sanal su transferleri üzerindeki kuraklık etkilerini belirlemek için, yüksek çözünürlüklü, alansal-zamansal veri

setlerini ve hesaplamalar için farklı modeller kullanılmıştır. Sonuçlara göre, üretim alanındaki %12'lik bir azalmaya rağmen, bölgedeki tarımsal üretimin SAİ'si %3 artmıştır. Bunun sebebinin, yüksek sıcaklıklarda daha fazla bitki suyu gereksinimi ve daha fazla su gerektiren meyve bahçesi ve asma bitkisine geçişten kaynaklandığı vurgulanmıştır. Bu sebeple yeraltı suyu SAİ'si artmıştır.

Qin ve diğ. (2016), Çin'in yarı kurak bir bölgesi olan Jilin'de, 3 yıllık bir arazi çalışmasıyla, ayçiçeği gelişiminin SAİ'sinin alansal ölçekteki değişimlerini araştırmışlardır. Ayçiçeği bitkisi için mavi ve yeşil SAİ bileşenleri belirlenmiş, farklı sıcaklık ve yağış kombinasyonları altında, SAİ ve toprak su dengesindeki farklılıkları analiz edilmiştir. Yeşil, mavi ve gri SAİ, ayçiçeği SAİ'sinin, sırasıyla, %93.7-94.7, %0.4-0.5 ve %4.9-5.8'ini oluşturmuştur. Büyüme mevsimi boyunca etkili yağış için yeşil SAİ, normal kuraklık yıllarında %58.8, aşırı kuraklık yıllarında ise; % 48.2 olarak bulunmuştur. Büyüme mevsimi boyunca etkili yağış, yeşil su kullanımını karşılayamadığında ise nem açığı ortaya çıkar ve nem açığındaki bu artış, toprak suyu dengesi üzerinde önemli bir etkisi olduğu düşünülmektedir.

Ventrella ve diğ. (2017), İtalya'nın güneyinde yüksek buharlaşma talebi ile karakterize edilen Puglia'da, domates ekimi yapılan bölgede, yeşil ve mavi su tüketiminin bölgesel değerlendirmesini yapmışlardır. Çalışmada, endüstriyel domates yetiştiriciliğini simüle etmek ve yeşil, mavi suyu, mavi su ihtiyacını ve SAİ'sini tahmin etmek için, farklı sulama yaklaşımları kullanılarak DSSAT modelindeki CROPGRO altmodeli kullanılmıştır. Simülasyon, bir referans dönem ve 2 ve 5°C'lık tahmini küresel ortalama sıcaklık artışlarına dayanan iki senaryo içermekte ve 30 yıllık bir dönemi kapsamaktadır. İklim paterni dikkate alındığında, analiz üç alan (kuzey, orta ve güney) için geliştirilmiştir. Gelecek senaryolar, özellikle kuzey bölgesi olmak üzere tüm göstergeleri, yüksek sıcaklık ve yağış farklarıyla karakterize ederek önemli ölçüde etkilemiştir. A5 (+5°C) senaryosunda, referans değerlere kıyasla, bu alanda, mavi SAİ miktarında büyük bir artış (%30) ve verimde azalma (%20) olduğu hesaplanmıştır. Sonuç olarak, mavi su gereksinimi ve mavi SAİ, sırasıyla, %40 ve %65'e kadar artmıştır. Öte yandan, düşük sıcaklık ve yağış değişimleri olan orta ve güney bölgelerinin iklim değişikliğine karşı daha toleranslı olduğu tahmin edilmektedir.

Lalic ve diğ. (2018), Sırbistan ve Avusturya'da, yeşil su bileşenlerinin ve yazlık olarak yetiştirilen mısır, yazlık arpa ve ayçiçeği bitkilerinin veriminin mevsimsel verim ve SAİ tahminini yapmışlardır. Bitkisel su kullanım göstergelerinin (ET, su verimliliği,

yeşil SAİ) ve kuru tarım ile yetiştirilen bu bitkilerin (mısır, yazlık arpa ve ayçiçeği) mevsimsel tahmini, AquaCrop modeli ve grup (ensemble) model kullanılarak gerçekleştirilmiştir. En iyi sonuçlar, verim, evapotranspirasyon, su verimliliği ve yeşil SAİ için ensemble tahmininde, Sırbistan'da ayçiçeği için ve Avusturya'da mısır için elde edilmiştir.

Tsakmakis ve diğ. (2018), Yunanistan'ın kuzeyi için, sulama teknolojilerinin ve stratejilerinin, pamuk SAİ'sine etkisini, AquaCrop ve CROPWAT modellerini kullanarak analiz etmişlerdir. Sonuçlar, yeşil, mavi ve toplam SAİ'lerdeki sulama teknolojisinin ve sulama stratejisinin etkisinin AquaCrop modeli tarafından daha iyi tahmin edildiğini, CROPWAT modelinin ise sadece sulama stratejisindeki değişiklikleri değerlendirebildiğini göstermiştir. Damla sulama teknolojisi, yağmurlama sistemiyle karşılaştırıldığında, toplam SAİ'yi %5 azaltabilirken, tam sulama ile karşılaştırıldığında kısıntılı sulamanın, SAİ'yi yaklaşık %12 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Ek olarak, tüm durumlarda, yeşil SAİ, toplam SAİ'nin yaklaşık %55'i olarak belirlenmiştir.

Nouri ve diğ. (2019), Lübnan'daki Yukarı Litani Havzası'ndaki (ULB) on ana bitkinin, yeşil ve mavi SAİ'sini değerlendirmek için farklı toprak işleme ve farklı sulama yöntemleriyle SAİ'nin azaltılması yoluyla kuraklığın azaltılmasını incelemişlerdir. Çalışma, havza ölçeğinde, alan gözlemlerini ve yersel verileri kullanarak, çeşitli bitkileri, çoklu ekim, ekim paternleri ve iklim, toprak ve alan yönetimi faktörlerindeki alansal farklılıkları dikkate alan ilk çalışmadır. AquaCrop-OS modeli ve global SAİ değerlendirmesi (WFA) standardı, yeşil ve mavi SAİ'sini değerlendirmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, bitki SAİ'sinin, iklime, toprak türüne göre daha duyarlı olduğunu göstermektedir. Yaz mevsiminin yıllık mavi SAİ'si, su mevcudiyeti en düşük olduğunda, en yüksek değerde gerçekleşmiştir. Malçlama, mavi SAİ'yi %3.6 azaltmış, malçlama ve damla sulamanın birlikte yapıldığı durumda SAİ, %4.7 oranında azalmıştır.

1.2.2 Kuraklık indeksleriyle ilgili çalışmalar

1.2.2.1 Türkiye'deki kuraklık indeksi çalışmaları

Keskin ve diğ. (2009), Göller Bölgesi'nin çevresindeki dokuz istasyonda meteorolojik kuraklık analizi için standart yağış indeksi (SPI) hesaplamıştır. Analizler 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman aralıklarında yapılmıştır. SPI kuraklık sınıflaması, zaman serisi

modelleme tekniklerinin çoğunun aksine, model yapısının önceden bilinmesini gerektirmemesi avantajına sahip olan Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık bileşimi tarafından modellenmiştir. En yüksek R^2 değerleri 12 aylık zaman aralığındaki dönem için belirlenmiştir. Bu nedenle test aşaması için de 12 aylık determinasyon katsayıları (R^2) hesaplanmış ve bulanık mantık modeli oluşturulmuştur. ANFIS ve bulanık mantık modellerinin karşılaştırılması, ANFIS model tahminleri ile SPI değerleri arasında bulanık mantık modellerine göre daha iyi bir uyum olduğunu göstermektedir.

Lu ve diğ. (2019), küresel kuraklık eğilimini, dokuz farklı GCM'nin, 3 gelecek iklim senaryosunda (RCP 2.6, 4.5 ve 8.5) Penman-Monteith denklemine dayanan yeniden formüle edilmiş Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ile değerlendirmişlerdir. Mann-Kendall (MK) eğilim testi ve ampirik ortogonal fonksiyon (EOF) analizi, gelecekteki küresel kuraklığın alansal-zamansal dağılımını ve gelişim karakteristiklerini değerlendirmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, gelecekteki sıcaklık, yağış ve diğer meteorolojik faktörlerin değişimlerinin etkisi altında, küresel kuraklığın bölgesel olarak ortaya çıktığını göstermiştir. Üç iklim senaryosunda, Afrika, Kuzey Amerika, Güney Amerika ve Okyanusya'da şiddetli kuraklık eğilimi tespit edilmiştir. SPEI'ın alansal dağılımı sürekli ve tüm senaryolarda otuz yıl boyunca Güney, Kuzey ve Kuzeydoğu Afrika'da yoğun kuraklık tespit edilmiştir. EOF analizine göre, RCP 8.5 senaryosunda, Güney Amerika ve Afrika'nın bazı bölümlerinin, tüm iklim senaryolarında, yoğun kuraklıkla karşılaşacağını göstermiştir. Büyük tahıl üreten ülkelerde, otuz yıllık yıllık ortalama ET_0, RCP 8.5 senaryosunun en belirgin olduğu 1976-2005 aralığına kıyasla yükselecektir. 2080'lerdeki üç senaryoda, Ukrayna, Türkiye, Rusya ve Kanada'da büyük oranda ET_0 artışı yaşanacağı tespit edilmiştir.

Doğan ve diğ. (2012), yarı kurak Konya kapalı havzası için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, kuraklıkları belirlemek için Normalin Yüzdesi İndeksi (PNI), Ondalık Tabanlı Yağış Kuraklık İndeksi (RDDI), istatistiksel Z-Skoru, Çin-Z Endeksi (CZI), Standart Yağış İndeksi (SPI) ve Etkin Kuraklık İndeksi (EDI) karşılaştırılmıştır. Kuraklık indeksleri, onsekiz farklı zaman adımı için değerlendirilmiştir. PN ve RDDI diğer indikatörlerden farklı sonuçlar vermiştir: PNI'de, zaman aralığı arttıkça kuraklık yüzdesinde bir düşüş tespit edilirken, RDDI tüm zaman aralıkları için kuraklıkları fazla tahmin etmiştir. SPI ve CZI, farklı zaman aralıkları için kuraklıkları belirlemede daha tutarlı sonuçlar vermiştir. Beyşehir istasyonunda, 1973–1974 arası kurak dönem analiz edilerek, EDI'nın, aylık yağış

değişikliklerine, özellikle daha kısa zaman aralıkları için diğer DI'lerden daha hassas bulunmuştur.

Beyaztaş ve diğ. (2018), yeniden örneklemeyle (Bootstrap) Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PDSI) için tahmin aralıklarının oluşturulmasıyla ilgili çalışma yapmışlardır. Çalışmada, aylık, kısa süreli (üç ay) ve orta vadeli (altı ay) kuraklık gözlemlerini kullanarak, geçerli tahmin aralıkları elde etmek için, kalıntı temelli (residual-based) yeniden örnekleme yöntemine dayanan bir yaklaşım önerilmektedir. Ayrıca, Kuzey Atlantik ve Kuzey Kutbu Salınım indekslerinin yapılandırılmış tahmin aralıkları üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Önerilen yaklaşımın performansı, İç Anadolu, Türkiye'de bulunan Konya kapalı havzasından elde edilen Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi için değerlendirilmiştir.

Beyaztaş ve Yaseen (2019), kuraklık aralığı oluşumlarının güvenilir olarak tahmin edilebilmesi için foksiyonel bir zaman serisi analizi Konya havzası, İç Anadolu, Türkiye üzerinde önermişlerdir. Önerilen model, PDSI'ya dayanan performansına göre doğrulanmıştır. Önerilen fonksiyonel temel bileşen analiz (FPCA) modeli, Aksaray istasyonunda karesel ortalama hata (RMSE) kullanılarak, LES ve ARIMA modelleri üzerinde yaklaşık %29.5 ve %28.3 oranında dikkate değer bir kuraklık aralığı tahmini artışı göstermiştir. Elde edilen sonuçlara uygun olarak önerilen metodolojinin, gelecekteki PDSI aralıklarını ve akış büyüklüklerini yakalamak için güvenilir bir tahmin modeli olduğu belirtilmiştir.

Cavuş ve Aksoy (2020), yağış azlığına dayalı süre-frekans eğrilerini geliştirmek ve sadece yağış verilerini dikkate alan SPI kullanarak, kuraklıkların kapsamlı bir karakterizasyonunu Seyhan Nehri havzasında uygulamışlardır. Doğrudan SPI kullanmak yerine, süre-frekans eğrilerinde şiddet ve yoğunluk hesaplanmıştır. Çalışmada, her yıl en şiddetli kuraklık, yılın kritik kuraklığı olarak tanımlanmıştır. Toplam olasılık teoremini kullanarak, en uygun olasılık dağılım fonksiyonunu belirlemek için, kritik kuraklık şiddetine frekans analizi uygulanmıştır. Sonuçlar, 2 yıllık dönüş periyotlu kuraklık şiddeti/yoğunluğu-süre-frekans eğrisinin, 5-100 yıllık daha yüksek dönüş periyotlu eğrilerden oldukça düşük olduğunu ve eğrilerden açıkça ayrıldığını göstermektedir. Ancak daha uzun dönüş süresi eğrileri ile aynı eğilimi gösterdiğini ve ayrıca 25 yıllık veya daha uzun geri dönüş periyotlarındaki kuraklıkların yağış azlığı arasında neredeyse hiçbir fark olmadığı belirtilmiştir.

Tatlı ve Türkeş (2011), PDSI, Palmer Hidrolojik Kuraklık Endeksi (PHDI), Palmer Nem Anomalisi (Z) İndeksi (Z-İndeksi), Ağırlıklı PDSI (WPDSI) ve Su Azlığı (P-PET) İndeksi için ampirik Ortogonal Fonksiyon (EOF) analizini kullanmış ve Türkiye genelinde ortaya çıkan alansal paternleri karşılaştırmışlardır. PDSI, PHDI, Z, WPDSI, Aridite İndeksi (AI) ve P-PET İndeksi değerleri, 1929-2009 dönemi için, Türkiye'deki 96 meteoroloji istasyonunda gözlemlenen aylık sıcaklık ve yağış değerlerine göre hesaplanmıştır. Bunun yanında, kullanılabilir 1 m toprak derinliğindeki mevcut su tutma kapasiteleri (AWHC), Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı Dağıtılmış Aktif Arşiv Merkezi'nin (ORNL DAAC) toprak veri setlerinden çıkarılmıştır. En yüksek değeri olan ilk EOF (EOF1) paterninin sonuçlarına dayanarak ve PDSI, PHDI ve WPDSI arasındaki güçlü uyumu da göz önünde dikkate alındığında, Türkiye'de, bu kuraklık indekslerinden birini kullanmanın ve uygulamanın, bir kuraklık analizi için yeterli olabileceğini önerilmiştir. Sonuç olarak, Türkiye veya benzer iklimsel ve fiziksel coğrafi şartlara sahip herhangi bir ülkede, çok amaçlı, orta ve uzun vadeli kuraklık yönetim planında, üç kuraklık indeksinden birini Z-Index ile birlikte kullanmanın başarılı uygulamalar için kabul edilebilir olduğu belirtilmiştir.

Tosunoğlu ve Onof (2017), Türkiye'nin kuzeydoğusundaki Çoruh Havzasında kuraklığı, genelleştirilmiş lineer modellerle belirlemeye çalışmışlardır. Simüle edilmiş ve ölçülmüş yağış zaman serilerinden kuraklık özelliklerini elde etmek için, SPI yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, farklı koşullar için iki değişkenli geri dönüş sürelerine göre tahmin edilen kuraklık riskleri, havzadaki su yapılarının planlanması, yönetimi ve yeterliliğinin değerlendirilmesinde yararlı bilgiler sağlayabileceği düşünülmektedir.

Mehr ve diğ. (2020), Ankara için, iklim değişikliğinin SPI ve SPEI kullanarak meteorolojik kuraklığa etkilerini incelemişlerdir. Üç genel sirkülasyon modelinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryo sonuçları, bölgesel olarak küçültülmüş ve düzeltilmiş çıktıları kullanılmıştır. Sonuçlar, Ankara'nın, 1971-2000 referans döneminde, altı şiddetli ve iki aşırı kuraklık olayı yaşadığını göstermektedir. Bununla birlikte, tahminler, 2016-2040 yılları için, daha az kuraklık görüleceğini ve aşırı kuraklık olayları meydana gelmeyeceğni göstermektedir. RCP 4.5 senaryosu, kurak dönemin 2016-2040 aralığının ikinci yarısında baskın olacağını gösterirken, RCP 8.5 senaryosu ise tüm dönem boyunca eşit olarak olacağını öngörmüştür.

Dabanlı (2018), Türkiye'de 250 farklı meteoroloji istasyonu verileri kullanarak kuraklık tehlikesi, güvenlik açığı ve risk değerlendirmesi çalışması yapmıştır. Çalışmada, Kuraklık Tehlike İndeksi (Drought Hazard Index, DHI) ve SPI kullanılarak, kuraklık meydana gelme olasılığına dayanılarak elde edilmiştir. Ayrıca, Kuraklık Hassasiyet İndeksi (Drought Vulnerability Index, DVI), toplum üzerindeki kuraklığın etkisini ölçmek için, dört sosyo-ekonomik gösterge kullanılarak hesaplanmıştır. Son olarak, Kuraklık Risk İndeksi (Drought Risk Index, DRI), DHI ve DVI'yı çarparak elde edilmektedir. Analizler, 81 ilden 73'ünün düşük kuraklık riskine (0 <DRI <0.25), 6 ilin orta kuraklık riskine (0.25 <DRI <0.5) ve 1 ilin (Konya) yüksek kuraklık riskine (0.50) maruz kaldığını göstermektedir (0.5<DRI <0.75).

Mehr ve Vaheddoost (2020), Ankara için SPI ve SPEI indeksleriyle ilişkili trendlerin belirlenmesi için çalışma yapmışlardır. Çalışmada, altı meteoroloji istasyonundan 46 yıllık gözlemlenen aylık yağış ve sıcaklık serilerini kullanılmış; 3, 6 ve 12 aylık zaman dilimlerinde SPI ve SPEI hesaplamışlardır. İndeksler arasında karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Her istasyondaki kuraklık eğilimlerini araştırmak için, Spearman sıralı korelasyon katsayısı, Şen Yöntemi ve trend analizi uygulanmıştır. Sonuçlar, SPI ve SPEI arasında, özellikle 6 ve 12 aylık zaman aralıklarında, geçici tutarsızlıklar olmasına rağmen, 1971-2016 döneminde beş aşırı kuraklık olayıyla karşı karşıya olunduğunu göstermiştir. SPEI göz önüne alındığında, sonuçlar gözlemlenen kuraklık olaylarında hafif bir azalma eğilimi göstermesine rağmen SPI aynı davranışı uymamaktadır.

1.2.2.2 Dünya'daki kuraklık indeksi çalışmaları

Abbasi ve diğ. (2018), İran'da bulunan Urmia Gölü'nün batısı için, SPEI indeksi ve gen ifade programlama modeli kullanarak, kuraklık izleme ve tahmin çalışması yapmışlardır. SPEI, 1951'den 2009'a kadar aylık yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak, 1, 3, 6, 12, 24 ve 48 aylık zaman aralıkları için hesaplanmış ve performansı SPI ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, 3, 12 ve 48 aylık zaman ölçeklerinde, SPEI ve SPI korelasyon katsayısılarının, sırasıyla, 0.84, 0.85 ve 0.78 olduğunu göstermiştir. İzleme sonuçları, istatistiksel dönemde, 1959-1967 ve 1998-2009 yılları arasında, kuraklıkla ilgili iki uzun dönem göstermiştir. SPEI zaman serilerine dayanan kuraklık izlemesinden sonra, kuraklık, 1-5 ay gecikmeli gen ifade programlama modelleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Sonuçlara göre, SPEI ölçeği artırılarak tahmin doğruluğu artırılmış, böylece bir aylık ölçekteki (SPEI-1), test aşamasındaki

korelasyon katsayısı, 0.22'den, 48 aylık ölçekteki (SPEI-48) korelasyon katsayısı 0.98'e artmıştır. Modelin doğruluğu ise, SPEI-1'de %60'tan, SPEI-48'de %92.3'e yükselmiştir.

Diani ve diğ. (2019), Fas'ın Yüksek Ziz Nehri Havzası'nda, SPI kullanarak meteorolojik kuraklığı değerlendirmişlerdir. Çalışma alanındaki kuraklığı analiz etmek için, iklimi ve özellikle yağıştaki değişimi ele almak amacıyla, 1971'den 2017'ye kadar bir sürede, iklim değişkenliği ve yıl içindeki değişim ile yıllık zaman ölçeğindeki (aylık, mevsimsel ve yıllık) değişiklik ayrı ayrı değerlendirilmiştir. İlk yaklaşımda, yağış verileri uzun süre ölçeğinde (yıllık ve bir yıldan fazla süre) kullanılmıştır. Bu amaçla, SPI'ın, birden fazla zaman ölçeği için, yağış azlığını ölçtüğü düşünülmüştür. İkinci yaklaşım için, yıl içinde farklı zaman ölçeklerinde yağış Mann-Kendall trend analizi uygulanmıştır. Sonuçlar, çalışma alanının yıllık yağışta önemli bir eğilim göstermediğini, ancak mevsimsel yağış açısından, yaz aylarında, yağışların büyüklüğünün üç istasyonda olumlu bir eğilim gösterdiğini işaret etmektedir. Aylık yağışlarda belirgin bir negatif ve pozitif eğilim, sırasıyla, Nisan ve Ağustos aylarında görülmüştür.

Ficklin ve diğ. (2015), Penman-Monteith yöntemi ile Potansiyel Evapotranspirasyon (PET) yaklaşımı kullanarak PDSI'nin hesaplanması ile ilgili çalışma yapmışlardır. Sonuçlara göre PDSI'nin alansal olarak yüksek korelasyona işaret etmektedir. Kuraklığın izlenmesi ihtiyacı göz önüne alındığında, Penman-Monteith ile hesaplanan PET'in, PET yaklaşımlarının seçimine eklenmesi, PDSI hesaplama aracının daha doğru tahminler sağlayacağı düşünülmektedir.

Javad ve diğ. (2018), Irak'taki kuraklık özelliklerini, kendinden kalibre PDSI (sc-PDSI) ile değerlendirmişlerdir. Kuraklık izlemesi için sc-PDSI, 1981-2015 döneminde, üç bölge (kurak ve yarı-kurak, bozkırlar ve çöl) için ortalamalarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, 1999, 2000, 2008 ve 2009 yıllarında, 2012 yılında şiddetli kuraklık yaşanan çöl bölgesi hariç, tüm bölgelerde kuraklık yaşandığını, 1982 ve 1988 yıllarında ise, tüm bölgelerin ortalamanın üzerinde yağış aldığını göstermiştir. Standart yağış sapma değerleri, her bir bölge için, yağış anomalileri ile karşılaştırılmış, daha kurak mevsimler, tüm bölgelerde 2007-2008 ve 1998-1999 olarak belirlenmiştir.

Ülke Keskin ve Hezarani (2019), İran'daki Urmia Gölü için havza kuraklığının SPI ile analizini yapmışlardır. Çalışmada, Urmia Gölü havzasının kuraklığı, bölgedeki

sinoptik istasyonlardan elde edilen toplam aylık yağış verilerine göre dört zaman ölçeğinde (3, 6, 12 ve 24 ay) SPI kullanılarak araştırılmıştır. Sonuçlar, kısa dönemli ölçeklerin yağış değişikliklerine hızlı tepki verdiğini, kuraklığın uzun dönemli ölçeklerde daha fazla devam ettiğini göstermektedir.

Li ve diğ. (2015), 1982-2012 yılları arasında, Güneybatı Çin'deki kuraklık koşullarını karakterize etmek için SPEI kullanmışlardır. SPEI'ye dayanarak, sırasıyla çok ölçekli patern, eğilim ve kuraklığın uzaysal/zamansal kuraklık durumu değerlendirilmiştir. Sonuçlar, Güneybatı Çin'in kuraklaşma eğilimini açıkça göstermiştir. Beş zaman ölçeğindeki ortalama SPEI değerlerinin tümü önemli ölçüde azalmıştır. SPEI'nin performansını araştırmak için, SPEI ile uzaktan algılanan iki kuraklık indeksi Toprak Nemi Kondisyon İndeksi (Soil Moisture Condition Index, SMCI) ve Vejetasyon Kondisyon İndeksi (Vegetation Condition Index, VCI) ve SPI arasında korelasyon analizi yapılmıştır. Sonuçlar, hem SMCI ile VCI'nın ve ayrıca SPI ile SPEI'nın benzer korelasyonlara sahip olduğunu göstermiştir.

Liang ve diğ. (2018), Çin'de, 21. yy boyunca kuraklık tehlikelerinin projeksiyonunu gerçekleştirmişlerdir. Kuraklık sıklığı ve kuraklık şiddeti eğilimi, 3 farklı RCP senaryosu altında CMP5 çıktıları ve tarihsel meteorolojik gözlemler kullanılarak hesaplanan PDSI kullanılarak değerlendirilmiştir. PDSI sınıfı olarak tanımlanan kuraklık döneminin simülasyon sonuçları, tarihsel kuraklık olaylarının %90'ından fazlasını yakalayabilmiştir. Projeksiyon sonuçları, RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları altında, 21. yy'da kuraklık sıklığının artacağını göstermektedir. 21. yy. ortalarında (2021-2050), üç emisyon senaryosu altında benzer kuraklık sıklığı paternleri bulunmuştur ve yıllık kuraklık süresinin 3.5-4 ay süreceği düşünülmektedir. 21. yy sonunda (2071–2100), RCP 8.5 senaryosunda, yıllık kuraklık süresinin, kuzeybatı Çin'in yanı sıra doğu ve güney Çin'in kıyı bölgelerinde 5 ayı aşabileceği görülmektedir. RCP 2.6 senaryosunda, 21. yy. boyunca kuraklık biraz azalırken, RCP 8.5 senaryosu altında, Çin'in çoğu bölgesinde kuraklık tehlikelerinin daha ciddi olacağı tahmin edilmektedir.

Ogunrinde ve diğ. (2019), Nijerya'nın kuzey bölgesinde, sc-PDSI kullanarak kuraklığın alansal karakterizasyonu yapmışlardır. Sonuçlara göre, aşırı kuraklık olaylarının, birden fazla kez (Ağustos 1987, 2001, 2002 ve 2009) meydana geldiği görülmektedir.

Polong ve diğ. (2019), Kenya'daki, Tana Nehri Havzası'ndaki SPEI'nın zamansal ve alansal gelişimini incelemişlerdir. SPEI, 1960-2013 yılları arasında kaydedilen, Küresel Yağış ve İklim Merkezi'nden (GPCC), 54 yıllık, aylık yağış verileri ile İklim Araştırma Birimi'nden (CRU) alınan sıcaklık verileri kullanılarak, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde hesaplanmıştır. Önemli tarihsel kuraklık ve yağış olaylarının gelişimi ve meydana gelme sıklığı belirlenmiştir. İndeks, 1960-1980 yılları arasındaki dönemde, kuraklık olaylarının baskın olduğunu, yağış olaylarının, 1990-2000 arasındaki dönemde baskın olduğunu göstermiştir. Temel Bileşen Analizi (PCA), havzadaki kuraklık ve yağış olaylarının uzaysal değişkenlik modelini değerlendirmek için SPEI zaman serisine uygulanmıştır. PCA, bu olayların uzaysal varyasyonunun %80'inden fazlasını açıklayan iki önde gelen bileşen olduğunu göstermiştir. Ayrıca, zaman-frekans dinamiklerini yakalamak için sürekli dalgacık dönüşümü (Continuous Wavelet Transform, CWT), PCA hesaplarına uygulanmıştır. SPEI-6 ve SPEI-12'nin dalgacık dönüşümü, spektrum boyunca, 1 ile 2 yıllık önemli periyodiklikleri tanımlamıştır.

Senatore ve diğ. (2019), İran için, PDSI ile iklim koşulları ve kuraklık değerlendirmesini 2070-2099 arası, CORDEX Güney Asya iklim projeksiyonlarını kullanarak yapmışlardır. Başlangıçta, mevcut, sekiz CORDEX Güney Asya Bölgesel İklim Modeli'nin performansları, GPCC v.7 yağış veri kümesi ve sıcaklık veri kümesi (Climate Forecast System Reanalysis, CFSR) aracılığıyla, 1970-2005 dönemi için değerlendirilmiştir. Modeller, güçlü bir yağış düşüşü göstermektedir, ayrıca ağırlıklı ortalama yıllık toplam yağış miktarında yaklaşık %20'lik bir düşüş öngörmektedir. Sıcaklık tahminleri ise, yıllık ortalama 2.4°C artış beklemektedir. Gelecekteki kuraklık senaryoları, sc-PDSI ile belirlenmiştir. Ağırlıklı ortalama, ortalama iklim koşullarında gerçek bir değişim olarak yapılandırılabilen ve ülkenin su kaynaklarını büyük ölçüde etkileyen keskin bir kuraklık öngörmektedir.

Starks ve diğ. (2019), Amerika'nın Kansas Eyaleti'ndeki Konza merasında SPEI değerledirmesi yapmışlardır. Çalışmada, SPEI'nin gelecekteki biyokütle durumunu değerlendirmede faydasını araştırmak için, biyokütle verileri kullanılmıştır. Diskriminant analizi ve Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanarak, otlatma mevsiminde seçilen aylarda, yem kütlesini ortalama üstü, ortalama ve ortalamanın altında kategorilere ayırmak için, aylık zaman ölçeği SPEI'si analiz edilmiştir. SPEI aracılığıyla yapılan analizde, hata matrislerinin değerlendirilmesi incelendiğinde YSA'nın diskriminant analizine göre daha iyi performans ortaya koymuştur.

Wang ve diğ. (2015b), Luanhe Nehri Havzası'ndaki kuraklıkların uzaysal-zamansal gelişiminin farklı kuraklık indeksleri kullanarak analiz etmişlerdir. Bu havzada 1960'dan 1989'a kadar olan aylık yağış ve hava sıcaklığına dayanarak, üç ve altı aylık zaman ölçeklerinde, SPEI, SPI ve sc-PDSI hesaplanmıştır. 1960-1989 yılları arasındaki kuraklık şiddetinin zamansal değişimleri analiz edilmiş ve farklı kuraklık indekslerinin sonuçlarına göre karşılaştırılmış ve bazı tipik kuraklık olayları belirlenmiştir. Ayrıca, kuraklık şiddetinin indekslere göre alansal dağılımları araştırılmıştır. Sonuçlar, farklı kuraklık indekslerinin performanslarının, kuraklık süresi ve kuraklıkların baskın faktörleri ile yakından ilişkili olduğunu, kuraklık olaylarında hem buharlaşma hem de yağışın önemli rol oynadığı zaman, SPEI'nın, SPI'dan daha doğru sonuç verdiğini, sc-PDSI tarafından gösterilen kuraklık şiddetinin genellikle 1960-1989 yılları arasındaki gerçek kuraklık şiddetinden daha hafif olduğunu göstermiştir.

Wang ve diğ. (2018), Çin'in en büyük tatlı su gölündeki su seviyesinin son beş yılda SPEI'ya verdiği yanıtları araştırmışlardır. Poyang Gölü, son yıllarda sürekli düşük su seviyelerinde bir dönem yaşayan önemli bir bölgesel su kaynağı ve simgesel bir öneme sahiptir. Çalışmada, 1961-2015 yılları arasında, bu havza üzerindeki meteorolojik kuraklığın zamansal değişkenliğini ve alansal dağılım özelliklerini analiz etmek için SPEI kullanılmıştır. Sonuçlar, 2000 yılından bu yana, Poyang Gölü'ndeki su seviyesinin düştüğünü, özellikle sonbaharda, azalma hızının 11.26 cm/gün'e ulaştığını, Poyang Göl Havzası'ndaki meteorolojik kuraklığın belirgin mevsimsel özelliklere sahip olduğunu ve bu havzanın 2000'li yıllarda yeni bir kuraklık dönemine girdiğini göstermiştir. Ayrıca, korelasyon analizinin sonuçlarına göre, göl seviyesinin Poyang Göl Havzası'ndaki SPEI'ya yanıt vermesi için üç ve altı aylık zaman ölçeklerinin optimum zamanları olduğu ve mevsimsel olarak, korelasyonun kışın en iyi, sonbaharda ise en kötü değerde çıktığı belirtilmiştir.

Wang ve diğ. (2019), PDSI'yı temel alarak, Pasifik on yıllık salınımının (PDO) Kuzey Çin'deki sonbahar kuraklıkları (ADNC) üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. ADNC, PDSI kullanılarak tanımlanmaktadır. Sonuçlar, negatif PDO fazları sırasında, ADNC'nin, pozitif PDO fazlarından daha şiddetli olduğunu göstermektedir. Negatif PDO fazı sırasında, sonbahar yağışları ADNC'nin şiddetinde önemli rol oynamaktadır. Buna karşılık, pozitif PDO aşamalarında, Kuzey Çin'deki kuraklıklar, önceki mevsimlerdeki iklim koşullarından daha fazla etkilenmektedir. Regresyon analizi,

ADNC ile ilişkili atmosferik dolaşım anomalilerinin, farklı PDO aşamaları altında, Kuzey Çin'de oldukça farklı olduğunu göstermektedir.

Li ve diğ. (2015), iklim değişikliği senaryosu altında, Çin'in Huang-Huai-Hai Ovası'nda, kuraklık özelliklerinin alansal değişimini incelemişlerdir. Çalışmada, son 50 yılda (1961-2010) ve gelecekteki senaryolarda (2010-2099) gözlemlenen meteorolojik verilere ve RCP 8.5 senaryolarına dayanarak, kuraklık özelliklerindeki (kuraklık olaylarının sıklığı, süresi, şiddeti ve yoğunluğu) varyasyonlar araştırılmıştır. İlk olarak, tarımsal kuraklık alanlarıyla aralarındaki ilişkiyi belirlemek için SPI, Penman-Monteith denklemine dayalı SPEI (SPEI-PM) ve Thornthwaite denklemine dayanan SPEI (SPEI-TH) karşılaştırılmıştır. Ardından, en iyi performans gösteren indekse dayalı olarak hem tarihsel hem de gelecekteki RCP 8.5 senaryosu için kuraklık özellikleri analiz edilmiştir. Kuraklık indeksleri ve tarımsal kuraklık alanları arasındaki korelasyon analizleri, SPEI-PM'nin, SPI ve SPEI-TH'den daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir. SPEI-PM sonuçlarına göre, 1961-2010 yıllarında, süre, şiddet ve yoğunluk dahil olmak üzere, kuraklık riskleri azalan bir eğilim göstermiştir. Bununla birlikte, RCP 8.5 senaryosunda, kuraklığın 2010-2099 yılları arasında sıklık, süre, şiddet ve yoğunluk bakımından artması beklenirken, 2010-2039 döneminde kuraklık bileşenlerinin tarihsel koşullara göre daha hafif olacağı tahmin edilmektedir.

Yu ve diğ. (2019), PDSI ve sc-PDSI'yi temel alarak, sulama kotaları ve toprak suyu açığı gibi tarımsal sulama yöntemlerini göz önünde bulundurarak, Modifiye PDSI (MPDSI) önermişlerdir. Çalışmada dikkate alınan MPDSI ve diğer kuraklık indeksleri tarafından izlenen kuraklık değişiklikleri karşılaştırılmıştır ve MPDSI'nın, sulanan bölgelerdeki kuraklık koşullarını iyi izleyebildiği belirtilmiştir. Ayrıca, MPDSI'nın, kuraklık süresi ve kuraklık yoğunluğu açısından, PDSI tarafından kuraklık koşullarının fazla tahmin edilmesini de azaltabileceği ileri sürülmüştür.

Zarei (2019), İran'ın güneyinde 1980'den 2014'e kadar 16 sinoptik istasyonun yağış verileri kullanılarak hesaplanan SPI'ın, uzaysal ve zamansal kuraklık düzenindeki değişim eğilimini analiz etmişlerdir. Doğrusal regresyona dayalı zamansal modeldeki değişim eğilimi analizi sonuçları, en fazla kuraklığın yıllık zaman ölçeğinde (istasyonların %37.5'inde) meydana geldiğini göstermiştir. Mann-Kendall (MK) ve Spearman'ın Rho (SR) testlerine dayanarak, en fazla kuraklık eğilimleri kış ve yıllık zaman ölçeklerinde gerçekleşmiştir. Genel olarak, kurak sınıflarla alan yüzdesinin

artan bir eğilim gösterdiğini, bu nedenle çalışma alanının daha kurak olacağını ve tarımsal faaliyetler, doğal kaynaklar yönetimi, yüzey ve yeraltı su kaynakları planlaması ve diğer faaliyetler üzerinde etkili olacağını göstermiştir.

Zhang ve diğ. (2018), Çin'de 2002'den 2015'e kadar sc-PDSI, SPI ve SPEI kuraklık indeksleri ile karasal su depolama arasında korelasyon analizi gerçekleştirmişlerdir. Üç kuraklık endeksinin karşılaştırılmasında, SPEI'nın İç Nehir Havzası gibi diğer büyük nehir havzalarına daha uygulanabilir olduğu bulunurken, sc-PDSI, kuraklık izleme aracı olarak tanıtılmıştır. Bu çeşitli alansal davranışlara, bu üç kuraklık endeksi ile karakterize edilen hidrolojik kuraklıklar arasındaki farkların neden olduğu belirtilmiştir.

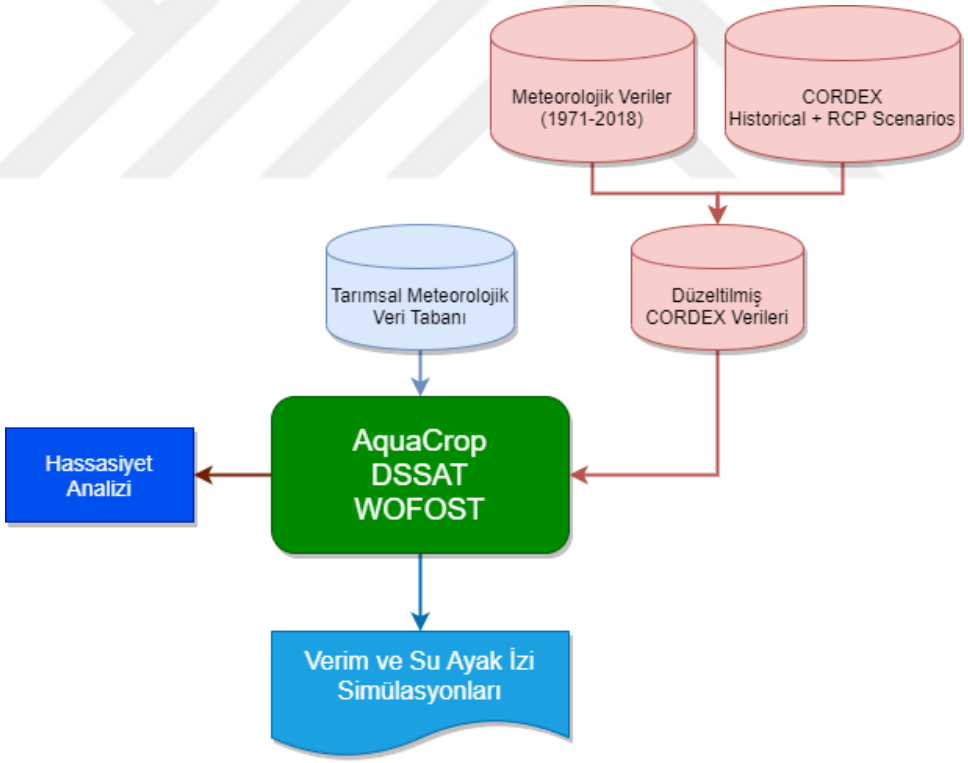
Zhao ve diğ. (2017), Çin'de, kuraklık izleme için, 589 meteoroloji istasyonundan aylık ortalama hava sıcaklığı ve yağış verileri alınarak sc-PDSI ve SPEI arasındaki zaman ölçeği farkları üzerine çalışma yapmışlardır. Pekin bölgesinde, 1961-2011 yılları arasında, kuraklık yıllarında sc-PDSI ve SPEI ve üç kurak dönem karakterleri kullanılarak yapılan karşılaştırmalı analiz, sc-PDSI tabanlı kurak dönem sürelerinin 3 ve 6 aydan daha uzun olduğunu göstermiştir. SPEI'lerin, ancak 12 aylık veya daha uzun zaman ölçeğine sahip SPEI'lere eşit olduğu belirtilmiştir. 3 aylık SPEI, iki bölgede kuraklığın başlamasını, şiddetlenmesini, azalmasını ve dinmesini daha iyi izleyebilmiştir. Bu nedenle, sc-PDSI'nın, Pekin'de 12 aylık gecikmeli olanlar için 0.48 gibi güçlü gecikmeli otokorelasyon nedeniyle sadece orta ve uzun vadeli kuraklıkların izlenmesi için uygun olduğu, oysa SPEI hem kısa hem de uzun vadeli kuraklık için uygun olduğu ortaya koyulmuştur.

Lu ve diğ. (2019) tarafından RCP 2.6, 4.5 ve 8.5 iklim projeksiyonları kullanarak SPEI indeksinin küresel olarak projeksiyonlarını 3 farklı zaman dönemi (2030'lar, 2050'ler ve 2080'ler) için belirlemişlerdir. Türkiye'nin kuzeybatısı için RCP 4.5 senaryosundaki kuraklık durumu normal civarında; RCP 8.5 senaryosundaki kuraklık durumu ise orta derecede kuraklık belirlemişlerdir ve tez çalışmasına benzer sonuçlar belirlemişlerdir. Touma ve diğ. (2015) tarafından 15 farklı iklim değişikliği projeksiyonu verileri kullanılarak 2 farklı dönemde (2010-2054 ve 2055-2099) farklı kuraklık indeksleri ile küresel sonuçlar elde etmişlerdir. SPEI indeksi sonuçlarına göre Türkiye'de kuraklık hadiselerinin geçmiş dönemlere göre artacağını ve kuraklık durumunun da 1-2 ay uzayacağını belirlemişlerdir. Spinoni ve diğ. (2019) tarafından Akdeniz Havzası için 4 farklı iklim projeksiyon verileri ile SPEI indeksi kullanılarak

gelecekteki kuraklık durumunu tahmin etmişlerdir. Akdeniz Havzasında hidrolojik kuraklık (SPEI-12) durumunun 2071-2100 döneminde artacağını kuraklık durumunda yaşanan ekstrem koşulların şiddetleneceğini belirtmişlerdir. Küresel olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde SPEI'nin seçilmesinin sebebi sadece meteorolojik değişkenler yardımıyla hesaplanabiliyor olmasından kaynaklanmaktadır. Vicente-Serrano ve diğ. (2015) tarafından hem PDSI hem de SPEI indeksleri kullanılarak farklı referans istasyon verileri kullanılarak kuraklık durumunun gelecek dönemdeki eğilimleri belirlenmiştir. Bu çalışmada alansal olarak SPEI indeksine ait korelasyon katsayılarılarının PDSI'ya göre yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Bunun yanında Akdeniz Havzasındaki kuraklık durumunun artacağını belirlemişlerdir.

2. MATERYAL VE METOT

Tez çalışmasında kullanılan veri ve yapılan işlemlere ait akış diyagramı Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Model kalibrasyonunda kullanılan arazi verilerinin yanı sıra MGM'den alınan uzun dönem (1971-2018) meteoroloji verileri ile CORDEX tarafından yayınlanan iklim projeksiyon verilerinin düzeltilmesinde 1971-2000 yılları arası referans dönem olarak belirlenmiştir. Düzetilmiş projeksiyon verileri ile kalibrasyon ve validasyon sürecini tamamlamış bitki gelişimi simülasyonu modelleri ile RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre potansiyel verim ve SAİ miktarları belirlenmiştir.

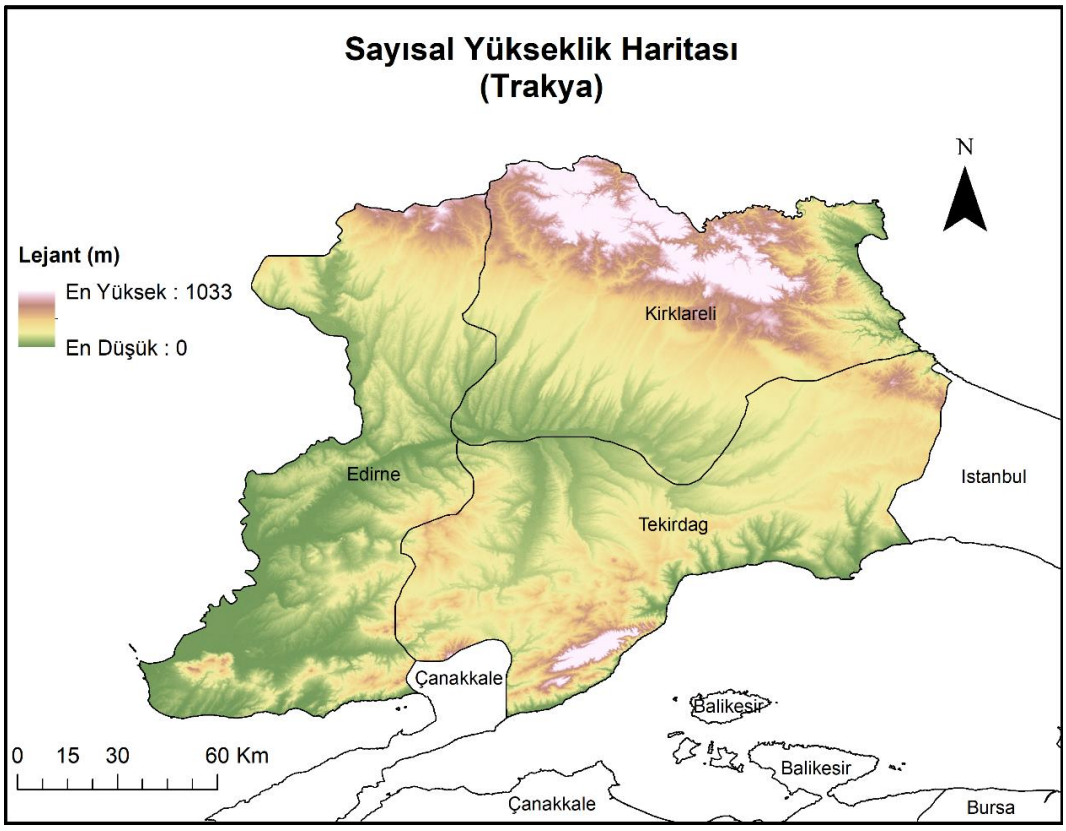


Şekil 2.1 : Tezdeki Süreçlere Ait Akış Diyagramı.

2.1 Çalışma Alanı

Tez çalışması, ülkemizin kuzeybatısında bulunan Trakya Bölgesi'ndeki Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinin tarım yapılan alanlarını kapsamaktadır. Trakya'nın 20

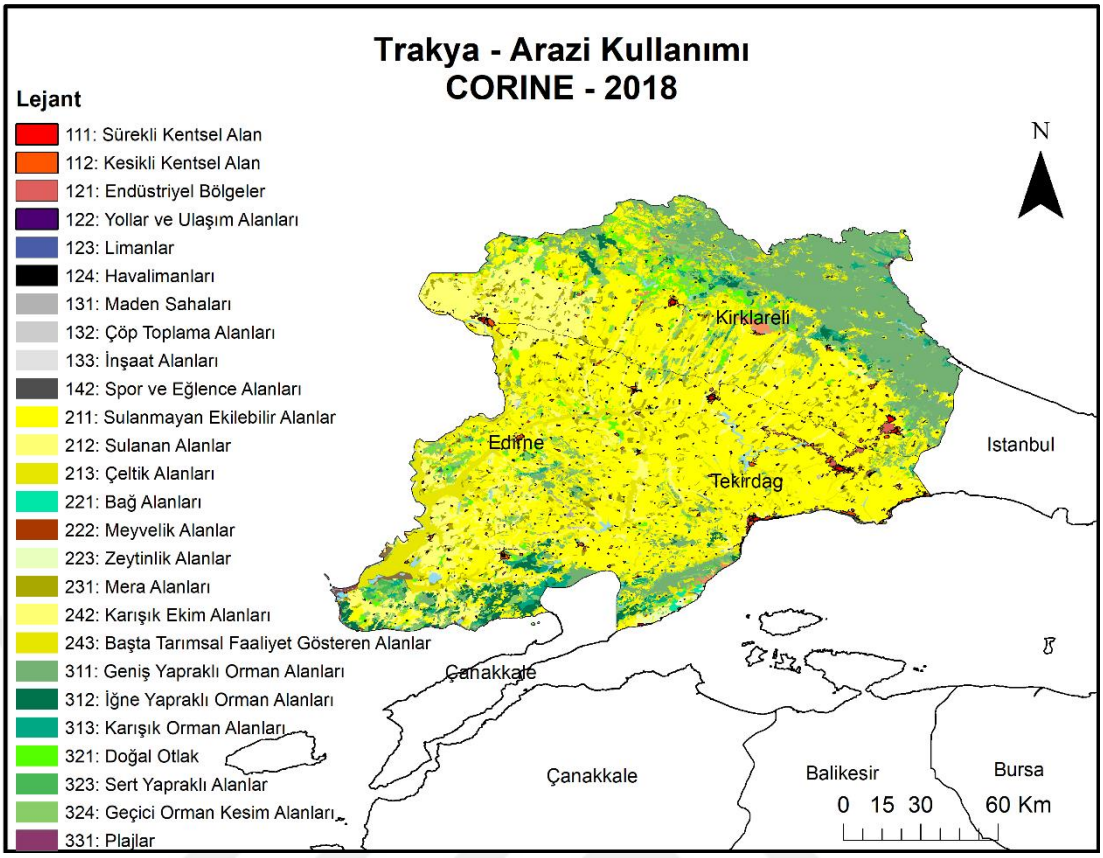
metre çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli haritası Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Kırklareli'nin kuzeyindeki, Yıldız (Istranca) Dağları ve Tekirdağ'ın güneybatısındaki Korudağ ve Ganos dağları Trakya'nın önemli yeryüzü şekillerindendir. Deniz seviyesinden en yüksek rakım; 1032 m ile Yıldız Dağları'nda bulunmaktadır.



Şekil 2.2 : Trakya Sayısal Yükseklik Modeli Haritası.

Avrupa Çevre Ajansı tarafından 2019 yılında yayınlanan son arazi kullanım haritası (CORINE) Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Trakya geneline bakıldığında, toplam arazilerin %42.3'ü sulanmayan ekilebilir alan, %10.6'sı sulanan ekilebilir alan, %6.6'sı ise; doğal bitki örtüsü ile karışık tarım alanları olarak belirlenmiştir. Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ'daki toplam 1.9 milyon ha'lık alanın %59.4'ü tez çalışmasını ilgilendiren arazileri içermektedir.

Bölgede, yetiştiriciliği yapılan bitkiler; kışlık buğday ve ayçiçeği başta olmak üzere çeltik, arpa ve kanoladır. Buğday bitkisinin 2014 – 2018 yılları arasındaki ortalama verim değerleri, Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinde, sırasıyla, 370.3, 359.6 ve 403.7 kg/da; ayçiçeği bitkisinin ise; 215.2, 208.0, 198.9 kg/da olarak belirlenmiştir (TÜİK, 2019).



Şekil 2.3 : Arazi Kullanım (CORINE) 2018 Haritası (Avrupa Çevre Ajansı, 2018).

Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illeri içerisindeki, uzun yıllar meteorolojik verisi bulunan istasyonlar belirlenerek, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) iklim verileri temin edilmiştir. Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ istasyonlarındaki aylık ortalama sıcaklık (°C) ve aylık toplam yağış (mm) miktarlarına ait bilgiler Çizelge 2.1'de verilmiştir. Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illeri 1971-2019 yılları arasındaki ortalama sıcaklık ve toplam yağış istatistik tablosu incelendiğinde Tekirdağ ilinin yıllık ortalama sıcaklığı Edirne ve Kırklareli illerindeki yıllık ortalama sıcaklığına göre sırasıyla 0.37°C ve 0.74°C daha sıcak olduğu ölçülmüştür. Yıllık toplam yağış miktarı incelendiğinde ise Edirne ilinin Kırklareli ve Tekirdağ illeri yıllık toplam yağış miktarından sırasıyla 24.4 mm ve 27.6 mm fazladır. Yıllık ortalama sıcaklık değeri Tekirdağ ilinde en yüksek olmasına rağmen yaz aylarında Edirne ve Kırklareli illerindeki sıcaklıklar daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kış aylarında ise Edirne ve Kırklareli illerindeki ortalama sıcaklık değerleri Tekirdağ iline göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Tekirdağ ilinin deniz kıyısında olması bu durumun ortaya çıkmasına ve Edirne ve Kırklareli illerinde Tekirdağ iline göre karasal bir iklimin yaşandığını ortaya koymaktadır.

Çizelge 2.1 : Trakya'daki İl Merkezlerinin Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yıllık Toplam Yağış İstatistiği.

1971-2019 Yılları	Edirne		Kırklareli		Tekirdağ	
	Ortalama Sıcaklık (°C)	Toplam Yağış (mm)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Toplam Yağış (mm)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Toplam Yağış (mm)
Ocak	2.64	59.0	3.08	56.1	5.00	60.1
Şubat	4.47	49.9	4.14	45.9	5.41	52.2
Mart	7.90	53.6	7.12	48.1	7.63	51.5
Nisan	13.01	45.8	12.21	43.0	11.92	40.8
Mayıs	18.09	51.9	17.28	49.8	16.76	36.8
Haziran	22.37	43.7	21.59	51.8	21.29	37.6
Temmuz	24.68	34.9	24.01	27.8	23.80	24.7
Ağustos	24.42	23.0	23.71	19.4	23.91	13.3
Eylül	20.06	37.0	19.50	32.0	20.23	35.0
Ekim	14.20	55.9	14.04	56.8	15.57	65.8
Kasım	8.74	67.2	8.94	68.1	10.83	69.1
Aralık	4.25	61.7	4.82	60.6	6.97	69.2
Ortalama	13.78	583.7	13.41	559.3	14.15	556.1

2.2 Veri

2.2.1 Meteorolojik veriler

Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ istasyonlarının yanı sıra MGM'den verisi alınan ve bitki iklim modellerinin kalibrasyonunda kullanılan Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne ait Kırklareli ve Edirne illerindeki tarımsal meteoroloji istasyonlarının enlem-boylam ve rakım bilgileri Çizelge 2.2'de gösterilmektedir. Bu istasyonlardan Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne bağlı Kırklareli ve Edirne lokasyonlarındaki tarımsal meteoroloji istasyonlarına ait fotoğraflar Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te verilmiştir.

Çizelge 2.2 : İstasyon Bilgileri.

Lokasyon	Boylam (°)	Enlem (°)	Rakım (m)
Pınarhisar (MGM)	27.52	41.63	225
Edirne (MGM)	26.55	41.68	48
Kırklareli (MGM)	27.22	41.74	232
Çorlu (MGM)	27.92	41.14	153
Tekirdağ (MGM)	27.49	40.96	14
Lüleburgaz (MGM)	27.31	41.35	45
Malkara (MGM)	26.91	40.89	202
İpsala (MGM)	26.39	40.89	73
Uzunköprü (MGM)	26.71	41.27	22
ATSTMAEM-Kırklareli	27.21	41.70	170
ATSTMAEM-Edirne	26.63	40.73	30

Bu istasyonlarda, bitki iklim modellerine girdi olan meteorolojik değişkenler ölçülmektedir. Bu değişkenler; günlük ortalama sıcaklık (°C), günlük maksimum sıcaklık (°C), günlük minimum sıcaklık (°C), günlük ortalama bağıl nem (%), 2 m'deki ortalama rüzgar şiddeti (m/s), günlük toplam yağış (mm), günlük toplam (global) güneş radyasyonu (W/m^2) ve üç farklı derinlikteki (0-30, 30-60, 60-90 cm) toprak su içeriğidir.

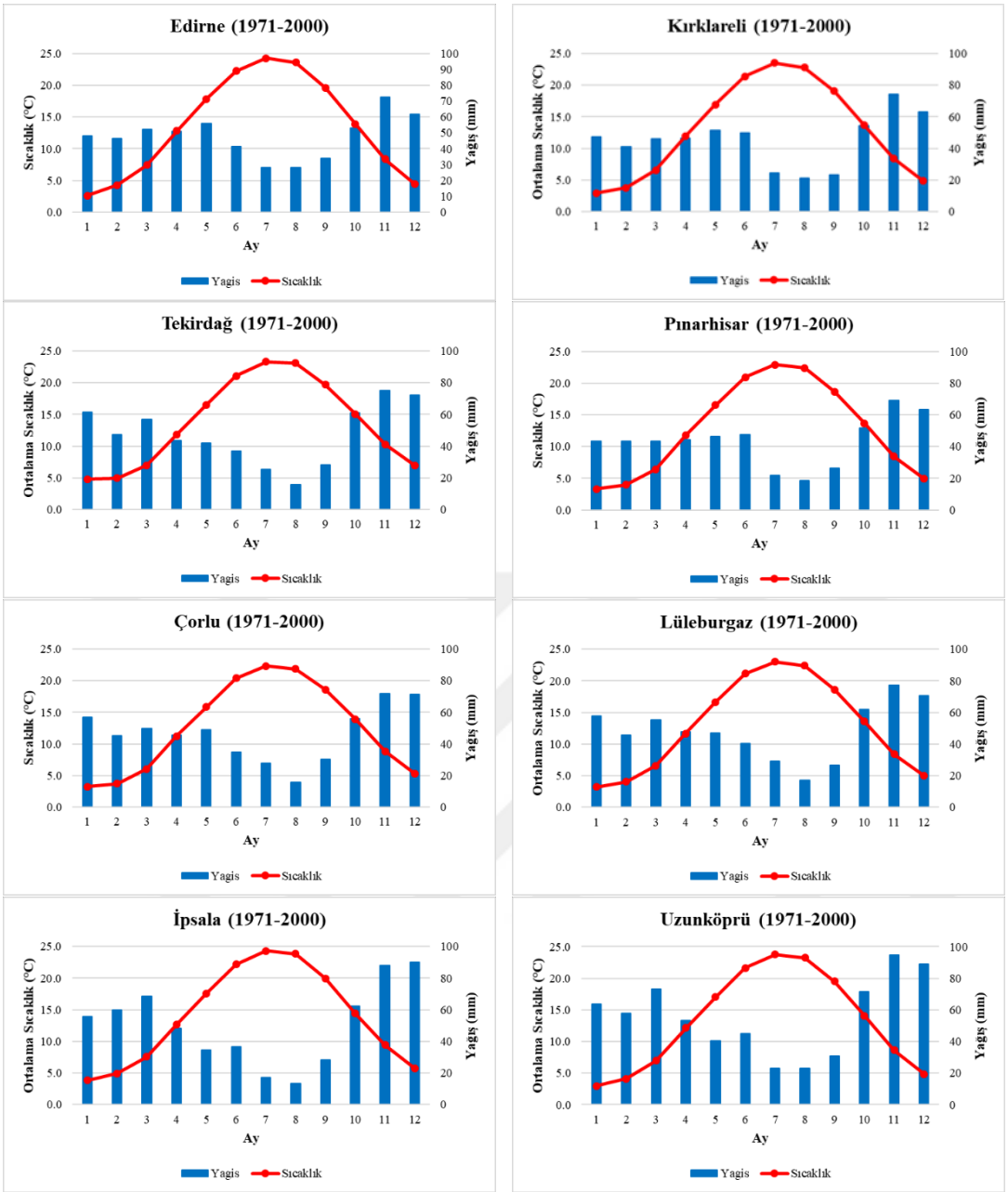
MGM'den alınan ve ileriye yönelik projeksiyon verilerinin düzeltilmesinde kullanılan, 1971-2000 referans yıllarına ait aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış grafikleri Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Ölçüm verileri alınan istasyonlar ile oluşturulmuş yıllık ortalama sıcaklık, ayçiçeği ve buğday gelişme dönemindeki ortalama sıcaklık ve yağış haritaları Şekil 2.7 ve Şekil 2.9 arasında verilmiştir.



Şekil 2.4 : Edirne'deki Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü'ne ait Tarımsal Meteoroloji İstasyonu.



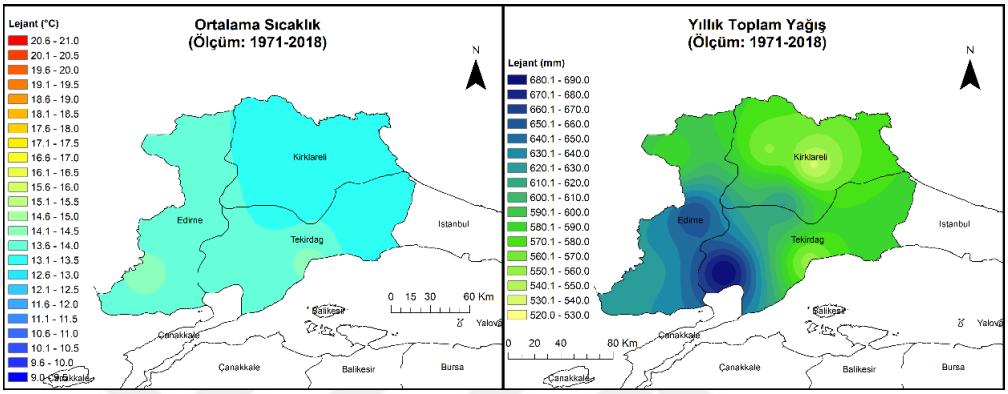
Şekil 2.5 : Kırklareli'ndeki İstanbul Teknik Üniversitesi'ne ait Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü'ndeki Tarımsal Meteoroloji İstasyonu.



Şekil 2.6 : MGM İstasyonlarına Ait Referans Dönemdeki (1971-2000) Aylık Ortalama Sıcaklık ve Yağış Grafikleri.

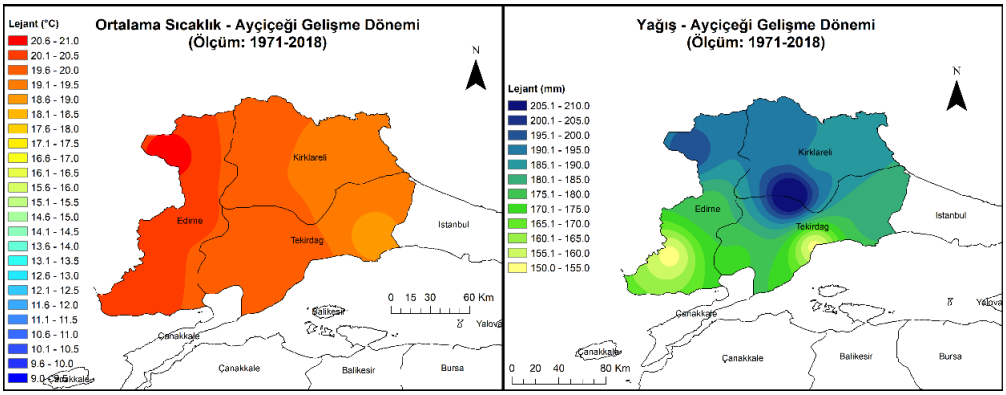
Kırklareli ili, Edirne ve Tekirdağ illerine göre daha düşük sıcaklığa sahiptir. Tekirdağ ve Edirne illerinde en yüksek ortalama sıcaklık; İpsala ilçesinde 13.8°C olarak belirlenmiştir. En düşük ortalama sıcaklığa sahip istasyon ise; 12.7°C ile Çorlu istasyonudur. Yıllık ortalama sıcaklık; 13.2°C, ayçiçeği bitkisinin gelişme dönemindeki (Nisan-Ağustos) ortalama sıcaklık ise; Trakya genelinde 19.3°C olarak hesaplanmıştır. En yüksek sıcaklık; Edirne ilinde 20.2°C, en düşük sıcaklık ise; Çorlu'da 18.4°C olarak ölçülmüştür. Buğday bitkisi gelişme dönemindeki (Ekim-Haziran) ortalama sıcaklık bitki gelişiminin kış aylarına denk gelmesinden dolayı,

Trakya'daki ortalama sıcaklık 9.9°C olarak hesaplanmıştır. Bu dönemdeki en yüksek ortalama sıcaklık; 10.5°C ile İpsala'da, en düşük sıcaklık ise; 9.4°C ile yine Çorlu'da gerçekleşmiştir. Trakya'da 1971-2000 referans yılları arasındaki yıllık toplam yağış; 568.7 mm olarak hesaplanmıştır. Trakya'nın batı kısmındaki Edirne ilinin Uzunköprü ilçesinde yıllık toplam yağış ortalaması; 665.7 mm olarak ölçülmüştür. En düşük yağış ortalaması ise; 485.4 mm ile Kırklareli ilindeki Pınarhisar ilçesi olarak tespit edilmiştir.

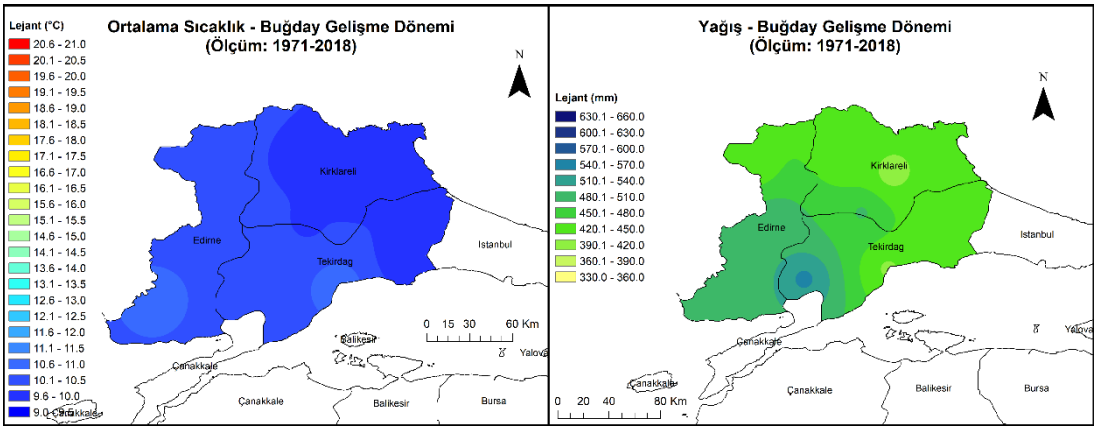


Şekil 2.7 : Trakya Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yıllık Toplam Yağış Haritaları.

Ayçiçeği döneminin büyük kısmı yaz aylarında gerçekleştiği için, yağış miktarı ortalama 178.8 mm olarak belirlenmiştir Yıllık düşen ortalama yağışın %31.4'ü bu dönemde gerçekleşmektedir. Yıllık yağış miktarı en yüksek olan Uzunköprü'de, ayçiçeği gelişme döneminde 184.7 mm ile yaklaşık Trakya ortalaması kadar; en yüksek yağış miktarı 205.0 mm ile Edirne Merkez'de gerçekleşmiştir. En düşük yağış miktarı ise; 150.1 mm ile Edirne'nin güneyinde yer alan İpsala'da gerçekleşmiştir. Yıllık toplam yağışın %78'i ise; buğday gelişme döneminde gerçekleşmektedir. Bu dönemdeki en yüksek yağış alan istasyon 517.1 mm ile Uzunköprü, en düşük yağış alan istasyon ise 401.0 mm ile Pınarhisar olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.8 : Trakya Ayçiçeği Gelişme Dönemi Ortalama Sıcaklık ve Toplam Yağış Haritaları.



Şekil 2.9 : Trakya Kışlık Buğday Gelişme Dönemi Ortalama Sıcaklık ve Toplam Yağış Haritaları.

2.2.2 Arazi verileri

Meteorolojik verilerin yanı sıra bitki gelişimi simülasyon modellerinde kullanılmak üzere, arazinin toprak yapısı, ayçiçeği ve buğday bitkilerinde uygulanan tarımsal faaliyetler, başlangıç toprak içeriği girdileri de belirlenmiştir. Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerine ait topraklardaki bazı fiziksel bilgiler (Şaylan ve diğ., 2012; Gürbüz ve diğ., 2019) Çizelge 2.3'te gösterilmiştir. Şekil 2.10'da toprak analizi için araziden alınan örneklere ait fotoğraf verilmiştir.

Arazi verisi olarak, toprak verilerinin dışında, başlangıç koşulları da bitki gelişiminde oldukça önemlidir. Model kalibrasyonunun yapıldığı 2014 – 2018 yılları arasında, ayçiçeği ve buğday bitkilerininin gelişme dönemlerinde, başlangıç toprak su içeriği, Edirne ve Kırklareli illerinde araziden ölçüm alınarak (3'er tekrarlı), modellerde girdi verisi olarak kullanılmıştır. Tekirdağ ili için ise, başlangıç toprak su içeriği değeri ile toprak verilerindeki tarla kapasitesi model girdisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.10 : Toprak Örneklerinin Alınması.

Çizelge 2.3 : Toprakların Bazı Fiziksel Özellikleri (Şaylan ve diğ., 2012; Gürbüz ve diğ., 2019).

	Derinlik (cm)	Su ile Doygunluk (%)	pH	Org. Madde (%)	Bünye			Tarla Kapasitesi (Ağırlık %)	Solma Noktası (Ağırlık %)	Bünye Sınıfı
					Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)			
Kırklareli	0-30	44	7.67	1.46	12.5	20.8	66.7	16.2	6.7	Kumlu Tın
	30-60	59	7.63	1.58	18.8	27.1	54.2	16.9	10.3	
	60-90	57	7.77	1.10	16.7	27.1	56.3	22.8	10.1	
Edirne	0-30	61	7.83	1.72	52.1	25.0	22.9	29.4	20.7	Kil
	30-60	56	7.94	1.25	50.0	22.9	27.1	23.7	17.4	
	60-90	50	7.88	0.78	52.1	20.8	27.1	23.9	18.1	
Tekirdağ	0-90	44	7.25	1.44	23.6	37.4	40.9	28.5	15.3	Tın

2.2.3 Bitki verileri

Bitki gelişimi simülasyon–modellerine girilen bir diğer önemli veri; simülasyonu yapılacak olan bitkinin fenolojik kayıtları ile beraber m^2'ye ekilen tohum sayısı, çıkan miktarı, ekim çeşidi ve yöntemi, tohum özellikleri, gelişim gösterdiği minimum ve maksimum sıcaklık değeri, sıra arası ve sıra üzeri mesafeleri gibi bitki gelişimine doğrudan etkisi olan parametrelerdir. Tez çalışmasında simülasyonu yapılan ayçiçeği ve kışlık buğday bitkileri ile ilgili tüm yukarıda bahsi geçen kayıtlar, modellere girilmek üzere araştırma yapılan arazilerde gözlenmiş ve kayıt edilmiştir. Ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin fenolojik kayıtlarına ait bilgiler Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5'te verilmiştir. Fenolojik kayıtlar ile birlikte Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinde, ayçiçeği bitkisinin kültür tipi "Tunca", kışlık buğday bitkisinin kültür tipi ise "Gelibolu" olarak belirlenmiştir. Tunca ve Gelibolu kültür tipleri Trakya'da yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan kültür tiplerindendir. Ayçiçeği ve buğday bitkilerinin ekimi ile ilgili bilgiler Çizelge 2.6'da verilmiştir. Ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin gelişme dönemi boyunca gözlenmiş fenolojik dönemleri Şekil 2.11 ve Şekil 2.12'de verilmiştir. Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5'te fenolojik dönemler bitki gelişimi simülasyonu modellerinin kalibrasyonunun yapıldığı 2014-2018 yıllarındaki ortalama tarihleri ifade etmektedir.

Çizelge 2.4 : Ayçiçeği Fenolojik Dönemler.

Fenolojik Dönemler Ayçiçeği	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ
Ekim	25-Nisan	10-Nisan	20-Nisan
Çıkış	10-Mayıs	20-Nisan	01-Mayıs
Yapraklanma	01-Haziran	20-Mayıs	25-Mayıs
Çiçek Tablası Oluşumu	25-Haziran	15-Haziran	20-Haziran
Çiçeklenme	10-Temmuz	30-Haziran	05-Temmuz
Olgunlaşma	01-Ağustos	20-Temmuz	25-Temmuz
Hasat	01-Eylül	20-Ağustos	25-Ağustos

Çizelge 2.5 : Kışlık Buğday Fenolojik Dönemler.

Fenolojik Dönemler Kışlık Buğday	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ
Ekim	20-Ekim	20-Ekim	20-Ekim
Çıkış	01-Kasım	01-Kasım	01-Kasım
3. Yaprak	10-Kasım	10-Kasım	10-Kasım
Kardeşlenme	20-Aralık	20-Aralık	20-Aralık
Sapa Kalkma	25-Mart	15-Mart	20-Mart
Başaklanma	20-Nisan	25-Nisan	20-Nisan
Çiçeklenme	05-Mayıs	20-Mayıs	10-Mayıs
Olgunlaşma	01-Haziran	10-Haziran	05-Haziran
Hasat	20-Haziran	25-Haziran	20-Haziran

Çizelge 2.6 : Ayçiçeği ve Buğday Bitkileri Ekim Bilgileri.

Bitki	Ayçiçeği	Buğday
Kültür Tipi	Tunca	Gelibolu
Gelişim Gösterdiği Sıcaklık Aralığı	6.7-30°C	0-26°C
Ekim Tipi	Havalı Ayçiçeği Makinesi	Mibzerle Sıraya Ekim
Ekim Derinliği	4 – 5 cm	4 – 5 cm
Ekilen Tohum Miktarı	0.3 kg/da	20 kg/da
Sıra Arası Mesafe	70 cm	10 cm
Sıra Üzeri Mesafe	20 cm	4-5 cm



Ekim



Çıkış



Yapraklanma



Çiçek Tablası Oluşumu



Çiçeklenme



Olgunlaşma



Hasat

Şekil 2.11 : Ayçiçeği Fenolojik Dönemlerine Ait Fotoğraflar.



Ekim



Çıkış



3. Yaprak



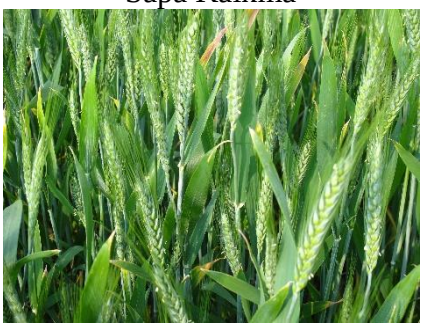
Kardeşlenme



Sapa Kalkma



Başaklanma



Çiçeklenme



Olgunlaşma



Hasat

Şekil 2.12 : Kışlık Buğday Fenolojik Dönemlerine Ait Fotoğraflar.

2.2.4 Projeksiyon verileri

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 5. Değerlendirme Raporu'nda, (AR5) iklim değişikliği senaryoları değiştirilmiştir. Eski senaryolara antropojenik (insan kökenli) faktörler de eklenerek yeni senaryolar üretilmiştir. Antropojenik faktör olarak nüfus, ekonomik ve teknolojik sebeplerin iklim üzerindeki etkilerini açıkça ortaya koymaktadır. Bu senaryolar "Temsili Konsantrasyon Yolu" (Representative Concentration Pathway, RCP) adı altında 4 farklı senaryo şeklinde üretilmiştir. Bu senaryolar RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5 olmak üzere 4 farklı şekilde isimlendirilmiştir. RCP senaryolarına ait genel bilgiler Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Bu senaryolardan RCP 2.6 en iyimser, RCP 8.5 ise en kötümser senaryo olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak, küresel atmosferik CO_2 konsantrasyon değerleri incelendiğinde, RCP 2.6 senaryosunun geçerliliği kalmamıştır. Çalışmalarda, gerçeğe daha yakın olması açısından RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları üzerine yoğunlaşılmıştır.

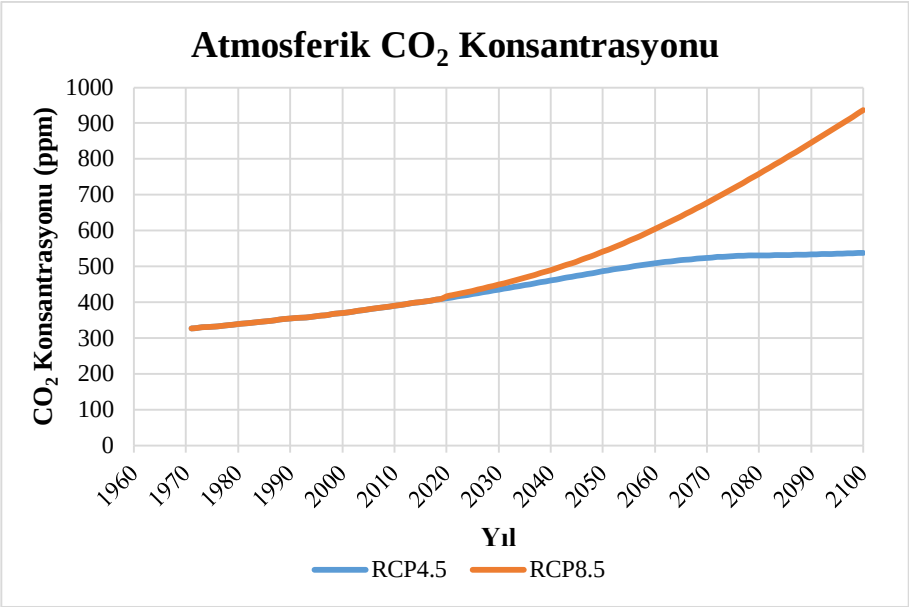
Çizelge 2.7 : IPCC Tarafından Üretilen RCP Senaryoları (IPCC, 2013; Raes ve diğ., 2009; Steduto ve diğ., 2009).

Senaryolar	Radyatif Zorlama	CO_2 Konsantrasyon Eşdeğeri	Sera Gazı Emisyonları
RCP 8.5	> 8.5 W/m^2	~1000 (2100'de)	2100'e kadar artış devam ediyor.
RCP 6.0	~6.0 W/m^2	~ 850 ppm (2100'de)	Yüzyılın son çeyreğinde düşüş.
RCP 4.5	~4.5 W/m^2	~ 650 ppm (2100'de)	Yüzyılın ortalarından itibaren düşüş.
RCP 2.6	~3.0 W/m^2	Zirve ~ 490 ppm ve düşüş (2100'de)	Yüzyılın ilk çeyreğinde düşüş.

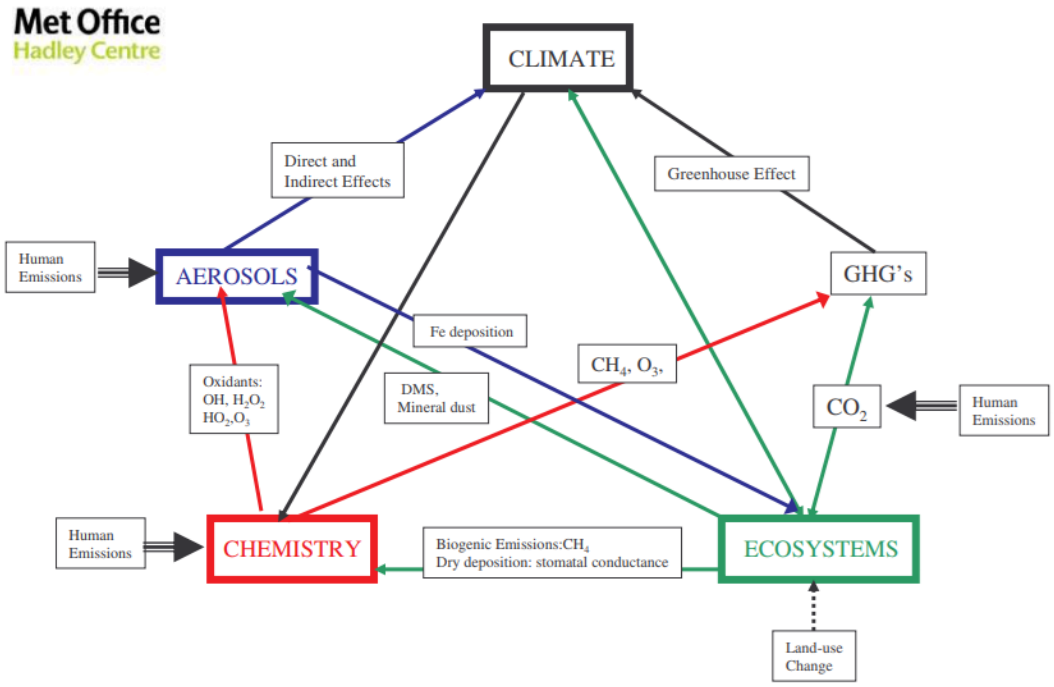
Şekil 2.13'te, atmosferik CO_2 konsantrasyon miktarının 1971 yılından 2099 yılına kadar, RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre değişimi gösterilmektedir. Ayrıca 2020-2040, 2041-2070, 2071-2099 dönemlerindeki atmosferik CO_2 konsantrasyon miktarları incelendiğinde, RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sırasıyla, 435 ve 450 ppm, 497 ve 578 ppm, 532 ve 803 ppm ortalamalarına erişebileceği öngörülmektedir.

Tez çalışmasında, RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına ait meteorolojik veriler 1971 yılından 2099 yılına kadar temin edilmiştir. İngiltere'de bulunan Haldey Meteoroloji Ofisi tarafından geliştirilmiş ve IPCC'nin 5. Değerlendirme Raporundaki senaryolar

için çalıştırılmış HadGEM2-ES genel sirkülasyon modeli (Şekil 2.14) verilerinin Danimarka Meteoroloji Enstitüsü tarafından geliştirilmiş HIRHAM5 (Christensen ve diğ., 2007) bölgesel iklim modeli kullanılarak altölçeklendirilen ve 0.11° (~12.5 km) yatay çözünürlüklü ve CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) tarafından yayınlanan veriler, günlük zaman aralığında temin edilmiştir. Temin edilen model verileri, referans dönemdeki (1971-2000) ölçüm verileri kullanılarak yanlılık düzeltmesi yapılmıştır.



Şekil 2.13 : Atmosferik CO_2 Konsantrasyon Zaman Serisi (IPCC, 2013).



Şekil 2.14 : HadGEM2-ES Küresel İklim Modeli Çalışma Şeması (Collins ve diğ., 2011).

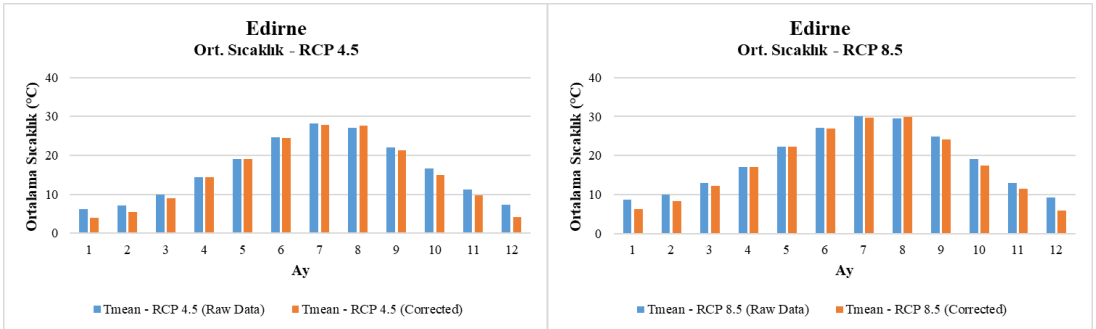
2.2.4.1 Basit mevsimsel yanlılık (bias) düzeltmesi

Bitki gelişimi simülasyonunda, ortalama sıcaklık (°C), maksimum sıcaklık (°C), minimum sıcaklık (°C), bağıl nem (%), 2 m'deki rüzgâr şiddeti (m/s), günlük toplam yağış (mm) değerleri girdi verileri kullanılmıştır. Elde edilen projeksiyon verilerine hata (bias) düzeltmesi uygulanması zorunlu olduğundan (Macadam ve diğ., 2016; Teng ve diğ., 2015; Qian ve diğ., 2016; Mostafa ve diğ., 2019), 1971-2000 yılları arasındaki referans yıllardaki ölçüm ve model verilerinin karşılaştırılması ve buradan çıkan hatanın RCP 4.5 ve 8.5 projeksiyon verilerine uygulanması gerekmektedir. Çalışmada, günlük ortalama sıcaklık (°C), günlük maksimum sıcaklık (°C) ve günlük minimum sıcaklık (°C) için aylık hata düzeltmesi yapılmıştır (Bergström ve diğ., 2001; Marcos ve diğ., 2018; Soriano ve diğ., 2019). Hata düzeltmesi için Denklem 2.1 ve 2.2'den yararlanılmıştır:

$$\Delta T_{gelecek} = T_i - \bar{T}_{i,model} \tag{2.1}$$

$$T_{düzeltilmiş} = \Delta T_{gelecek} + \bar{T}_{i,ölçüm} \tag{2.2}$$

Denklem 2.1'deki $\Delta T_{gelecek}$, projeksiyon verilerindeki günlük sıcaklık farkını (°C); T_i, günlük projeksiyon sıcaklık değerini (°C); $\bar{T}_{i,model}$, projeksiyon verisinin bulunduğu ayın referans yıllardaki aylık ortalama sıcaklık verisini; $\bar{T}_{i,ölçüm}$, referans yıllardaki aylık ortalama sıcaklık verisini; $T_{düzeltilmiş}$ ise; düzeltilmiş sıcaklık verisini ifade etmektedir. Aylık olarak Edirne ili RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için düzeltilmiş ve düzeltilmemiş (ham veri) ortalama sıcaklık verileri Şekil 2.15'te gösterilmektedir.

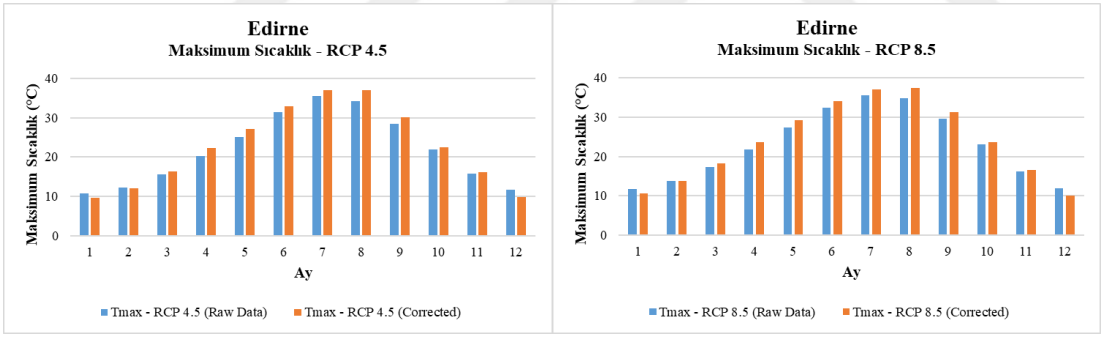


Şekil 2.15 : Edirne ili Ham ve Düzeltilmiş Ortalama Sıcaklık Verisi.

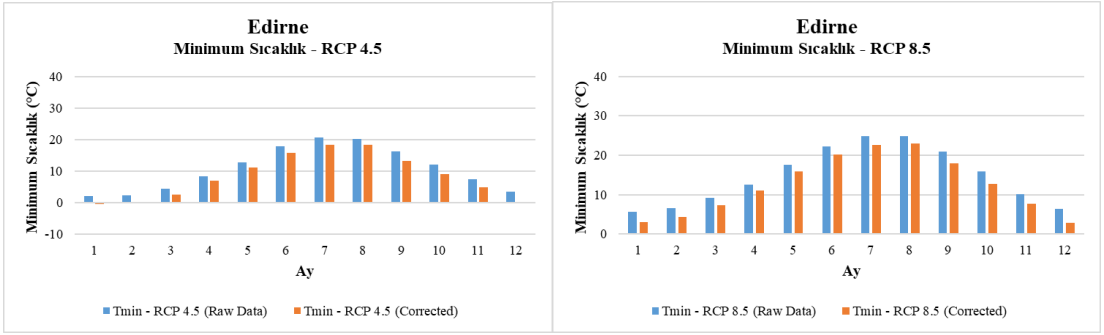
Şekil 2.15'te görüldüğü üzere, düzeltilmiş ortalama sıcaklık verileri hem kış aylarında hem de yaz aylarında ham verilere göre daha düşüktür. Yıllık ortalamalar incelendiğinde ise, RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre ham veriler ve düzeltilmiş ortalama sıcaklıklar; sırasıyla, 16.2°C ve 15.1°C ile 18.6°C ve 17.6°C olarak

hesaplanmıştır. Edirne ili için maksimum sıcaklık verilerinin düzeltilmiş ve ham verileri Şekil 2.16'da gösterilmektedir. RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında da ortalama sıcaklık düzeltmelerinde olduğu gibi, kış aylarında ham verilerin daha yüksek, yaz aylarında ise ham verilerin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ortalama sıcaklık verilerinin aksine, RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında ham veri, düzeltilmiş verilere göre daha yüksektir ve sırasıyla 21.9°C ve 22.7°C ile 23.0°C ve 23.8°C olarak hesaplanmıştır. Aylık ortalama sıcaklık verileri incelendiğinde, RCP 8.5 senaryosunda yaz aylarındaki ortalama sıcaklığın yaklaşık olarak 30°C olacağının öngörülmesi, bu dönemde yetiştiriciliği yapılan ayçiçeği bitkisinde önemli etkiler yaratacaktır. Şekil 2.17'de ise Edirne ilinin RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre minimum sıcaklık düzeltmelerinin aylık ortalamaları gösterilmektedir.

Edirne ilinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarındaki minimum sıcaklık düzeltmeleri incelendiğinde, ham verilerin, tüm aylarda, düzeltilmiş verilere göre yüksek olduğu belirlenmiş ve ortalamada yaklaşık 2.5°C fark olduğu tespit edilmiştir. RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarındaki ham veriler ile düzeltilmiş verilerin yıllık ortalama değeri; sırasıyla, 10.6°C ile 8.3°C ve 14.7°C ile 12.4°C olarak hesaplanmıştır.

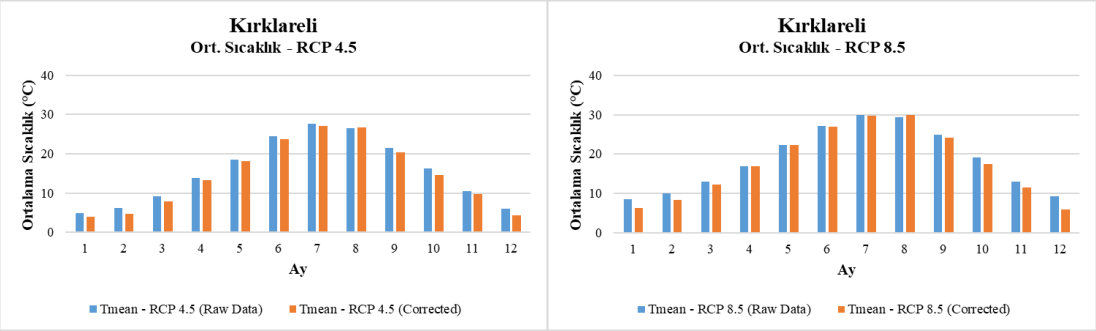


Şekil 2.16 : Edirne ili Ham ve Düzeltilmiş Maksimum Sıcaklık Verisi.



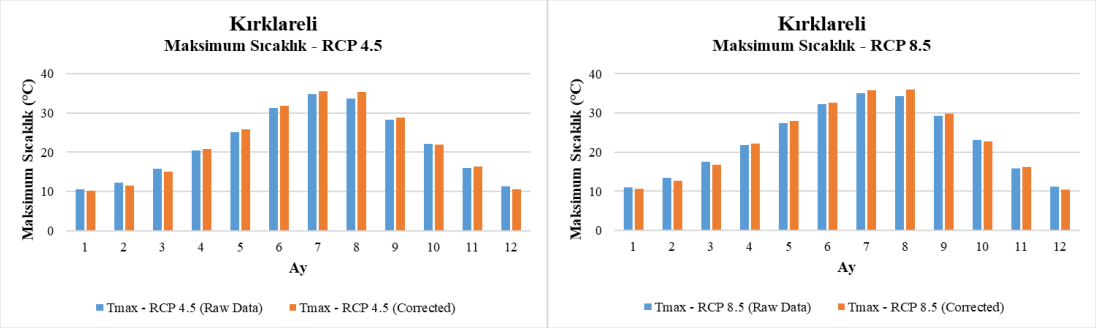
Şekil 2.17 : Edirne ili Ham ve Düzeltilmiş Minimum Sıcaklık Verisi.

Şekil 2.18 ve Şekil 2.20 arasında, Kırklareli ili için RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre düzeltilmiş ve ham sıcaklık (ortalam, maksimum, minimum) verilerinin aylık ortalamaları gösterilmektedir.



Şekil 2.18 : Kırklareli ili Ham ve Düzeltilmiş Ortalama Sıcaklık Verisi.

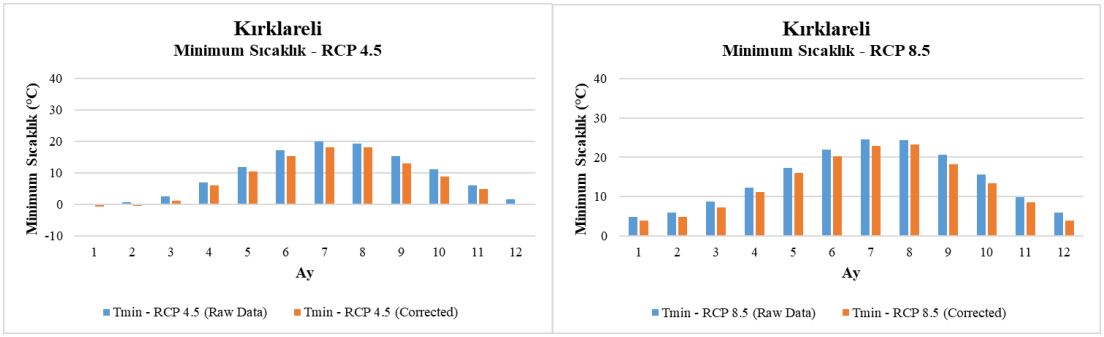
Kırklareli ili için yapılan düzeltme sonrasında, ham verilerin düzeltilmiş verilerden yaklaşık 1°C yüksek olduğu belirlenmiştir. Ham veriler ile düzeltilmiş verilerin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre yıllık ortalama değerleri; sırasıyla, 15.5°C ve 14.5°C; 18.2°C ve 17.3°C olarak hesaplanmıştır. Aylık ortalama sıcaklık değerleri incelendiğinde, RCP 8.5 senaryosunda, yaz aylarında 30°C ortalama sıcaklık öngörülmesi dikkat çekicidir.



Şekil 2.19 : Kırklareli ili Ham ve Düzeltilmiş Maksimum Sıcaklık Verisi.

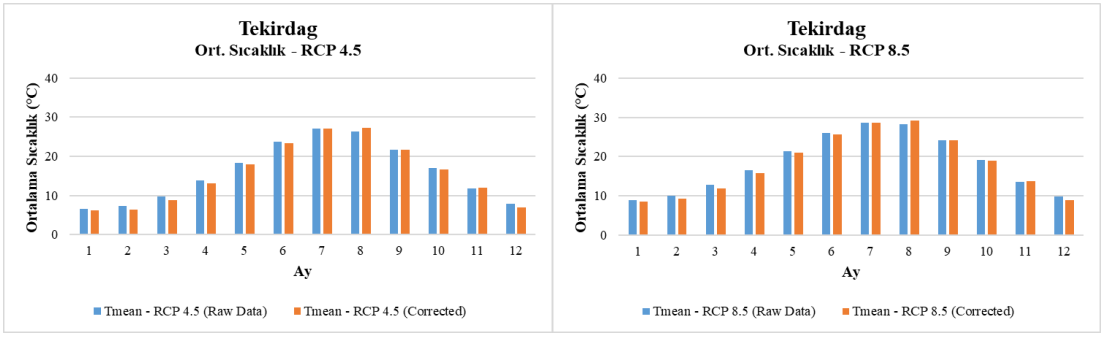
Aylık maksimum sıcaklık değerleri incelendiğinde, kış aylarında ham veriler düzeltilmiş verilere göre daha yüksek değerlere sahipken, yaz aylarında, düzeltilmiş verilerin ham verilere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yıllık ortalama değerleri; RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre, ham veriler ve düzeltilmiş verilerin, sırasıyla, 21.8°C ve 22.0°C; 22.7°C ve 22.9°C olarak hesaplanmıştır. Kırklareli ilinin aylık düzeltilmiş verileri incelendiğinde, RCP 4.5 senaryosunda kış aylarındaki (Aralık, Ocak, Şubat) düzeltilmiş verilerin 0°C civarında olduğu görülmektedir. Bunun yanında, RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarında, ham veriler ile düzeltilmiş veriler arasında ortalama 1.5°C fark olduğu belirlenmiştir. Yıllık minimum sıcaklık

ortalaması, RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında, ham ve düzeltilmiş veriler için, sırasıyla, 9.3°C ve 7.8°C ile 14.3°C ve 12.8°C olarak belirlenmiştir.

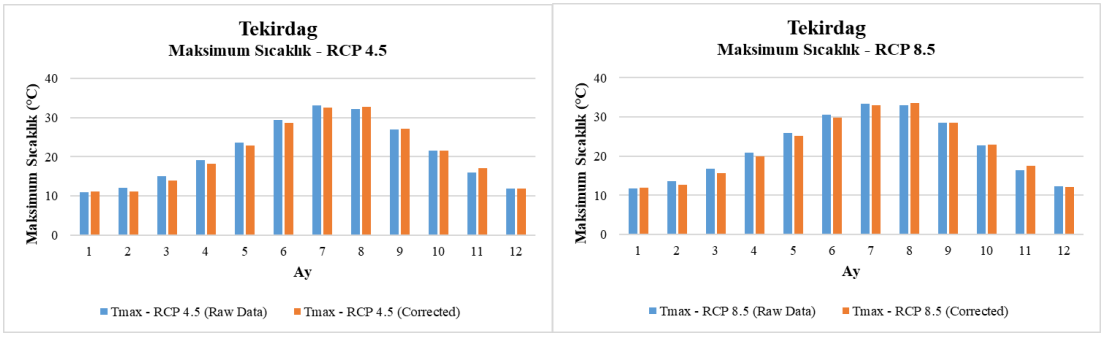


Şekil 2.20 : Kırklareli ili Düzeltilmiş ve Ham Minimum Sıcaklık Verisi.

Tekirdağ ilinin ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık için yapılan yanlılık düzeltmeleri, sırasıyla, Şekil 2.21 ve Şekil 2.23 arasında gösterilmektedir. Aylık ortalama düzeltilmiş ve ham sıcaklık verileri incelendiğinde, farkların yüksek olmadığı göze çarpmaktadır. Yıllık düzeltilmiş ve ham ortalama sıcaklık değerleri; RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında, sırasıyla, 15.9°C ile 15.6°C ve 18.3°C ile 18.0°C olarak belirlenmiştir. Ham veriler ile düzeltilmiş veriler arasındaki yıllık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değişkenlerinin herbirinde, 0.3°C'lık bir yanlılık düzeltmesi uygulanmıştır.

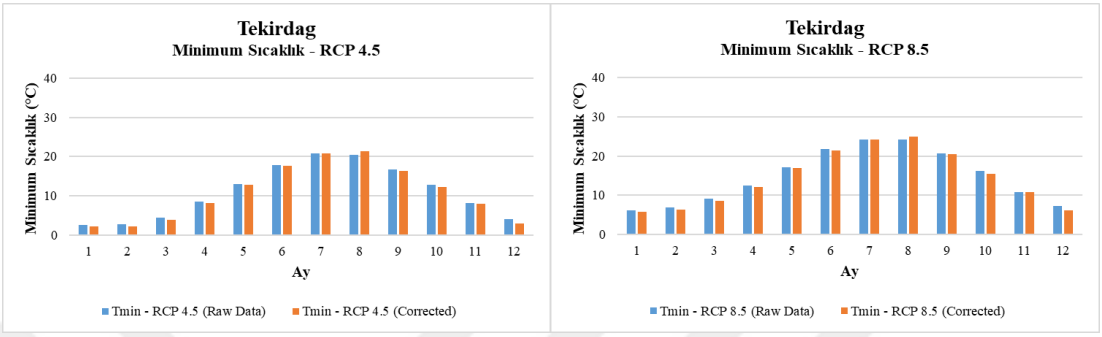


Şekil 2.21 : Tekirdağ ili Düzeltilmiş ve Ham Ortalama Sıcaklık Verisi.



Şekil 2.22 : Tekirdağ ili Düzeltilmiş ve Ham Maksimum Sıcaklık Verisi.

Aylık maksimum sıcaklıklar incelendiğinde, birkaç ay dışında (Ocak, Ağustos, Ekim ve Kasım), ham verilerin genel olarak düzeltilmiş verilerden yüksek olduğu belirlenmiştir. Yıllık, düzeltilmiş ve ham maksimum sıcaklık değerleri; RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında, sırasıyla, 21.0°C ile 20.7°C; 22.2°C ile 21.9°C olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.23 : Tekirdağ ili Düzeltilmiş ve Ham Minimum Sıcaklık Verisi.

Aylık minimum sıcaklıklar incelendiğinde, ortalama ve maksimum sıcaklıktakine benzer durum, minimum sıcaklıklarda da ortaya çıkmaktadır. Ağustos ayı dışında ham verilerin düzeltilmiş verilere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. RCP 4.5 senaryosunda, yaz aylarındaki ortalama minimum sıcaklık yaklaşık 20°C civarında iken, RCP 8.5 senaryosunda aylık minimum değerler yaklaşık 25°C olmaktadır. Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerindeki aylık minimum veriler incelendiğinde, yükseliş dikkati çekmektedir. Bu durumun, gelişiminin bir bölümü kış aylarında olan kışlık buğday bitkisinin, fenolojik dönemini daha erken tamamlamasına yol açabileceği düşünülmektedir. Gelişimini yaz aylarında tamamlayan ayçiçeği bitkisi için, özellikle gece gerçekleşen minimum sıcaklıkların artmasının kalite değerlerini düşürebileceği düşünülmektedir.

2.2.4.2 Kantil haritalama yanlılık düzeltmesi

Kantil haritalama (Quantile Mapping, QM) yöntemi, özellikle yağış verisi için olmak üzere, global güneş radyasyonu, bağıl nem, rüzgar şiddeti değişkenlerinin ileriye yönelik projeksiyon verilerinin düzeltilmesinde, yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Themeßl ve diğ., 2011; Teutschbein ve Siebert, 2012; Gudmundsson ve diğ., 2012; Chen ve diğ., 2013; Ngai ve diğ., 2017; Gutiérrez ve diğ., 2018; Joseph ve diğ., 2018; Haider ve Ullah, 2020). Bu yöntem, modellerden çıkan referans yılların kümülatif dağılım fonksiyonunun ölçüm değerlerinin, kümülatif dağılım fonksiyonlarının üzerine haritalandırılarak projeksiyon dağılım fonksyionlarına

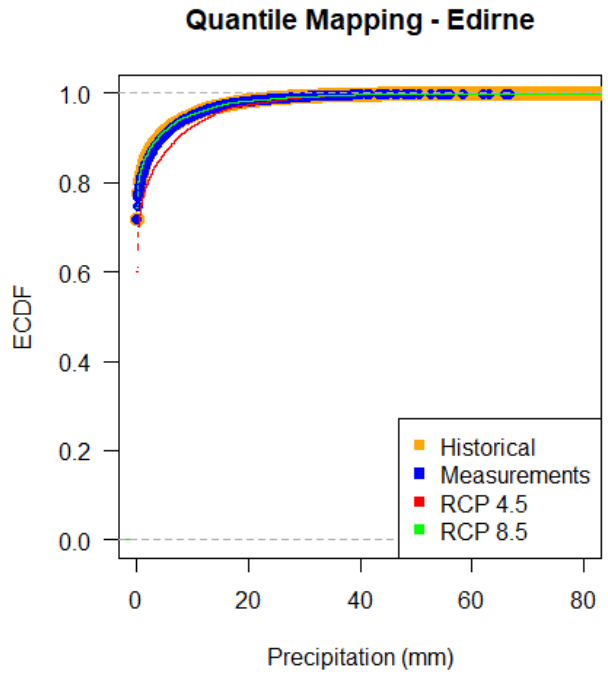
uygulanması esasına dayanmaktadır (Li ve diğ., 2010; Heo ve diğ., 2019; Iturbide ve diğ., 2019; Soriano ve diğ., 2019).

$$\boldsymbol{Q_m(t) = F_0^{-1}[F_s[Q_s(t)]]} \quad (2.3)$$

Bu denklemdeki $\boldsymbol{Q_m(t)}$, düzeltilmiş veriyi; $\boldsymbol{Q_s(t)}$, model tarafından üretilmiş referans yıllardaki ham veriyi; $\boldsymbol{F_s}$, model tarafından üretilmiş ham projeksiyon verilerininin kümülatif dağılım fonksiyonunu; $\boldsymbol{F_0^{-1}}$, ölçüm değerlerinin kümülatif dağılım fonksiyonunu ifade etmektedir. Kantil haritalama yöntemiyle RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için üretilmiş yağış, bağıl nem, rüzgar şiddeti ve global radyasyon parametrelerinde yanlılık düzeltmesi yapılmıştır.

Yağış

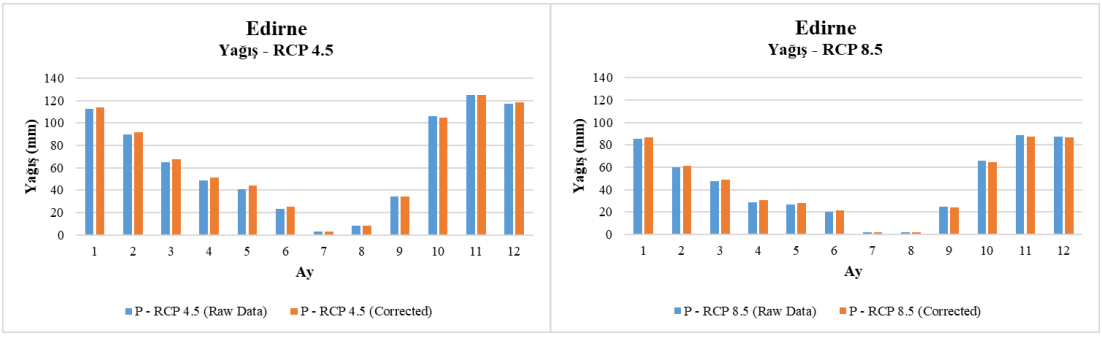
HadGEM2-ES modeli tarafından RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için üretilen günlük yağış verileri Kantil Haritalama yöntemiyle düzeltilmiştir. Edirne için kantil haritalama yöntemiyle elde edilen kümülatif dağılım fonksiyonlarını içeren grafik, Şekil 2.24'te gösterilmektedir. Edirne için üretilen RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları ile ham ve düzeltilen yağış verilerinin aylık grafiği Şekil 2.25'te gösterilmektedir.



Şekil 2.24 : Edirne ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Yağış Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu.

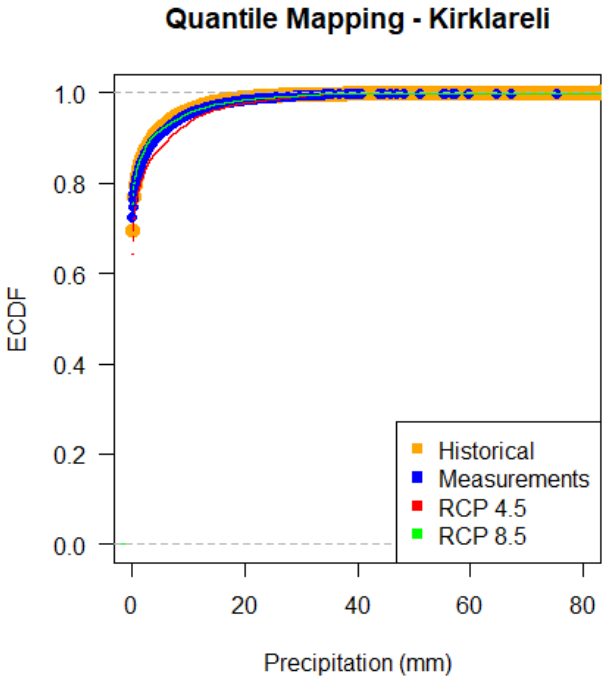
Edirne ilindeki ham veriler RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında düzeltilmiş verilere göre genellikle daha düşük olmasına rağmen, yıllık toplam ham ve düzeltilmiş yağış

miktarlarına bakıldığında, RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları, sırasıyla, 773.1 ve 787.4 mm ile 539.1 ve 544.4 mm olarak hesaplanmıştır.

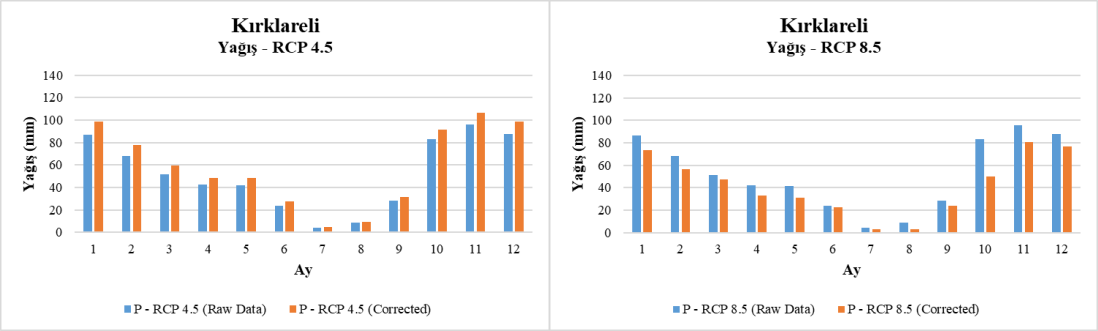


Şekil 2.25 : Edirne ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Toplam Yağış Verileri ile Aylık Toplam Ham Yağış Verileri.

Uzun yıllar (1971-2019), yıllık toplam yağış miktarı, Edirne ilinde 583.7 mm olduğu göz önünde bulundurulduğunda, RCP 4.5 senaryosunun Edirne ili için %34.8 artabileceği tahmin edilmiştir. RCP 8.5 senaryosu ise yıllık yaklaşık %6.8 daha düşük yağış miktarına sahip olabileceği hesaplanmıştır. Kırklareli ili için kantil haritalama yöntemi ile yapılan kümülatif dağılım fonksiyonlarını içeren grafik Şekil 2.26'da verilmiştir. Aylık ham ve düzeltilmiş toplam yağış grafikleri ise Şekil 2.27'de gösterilmektedir.



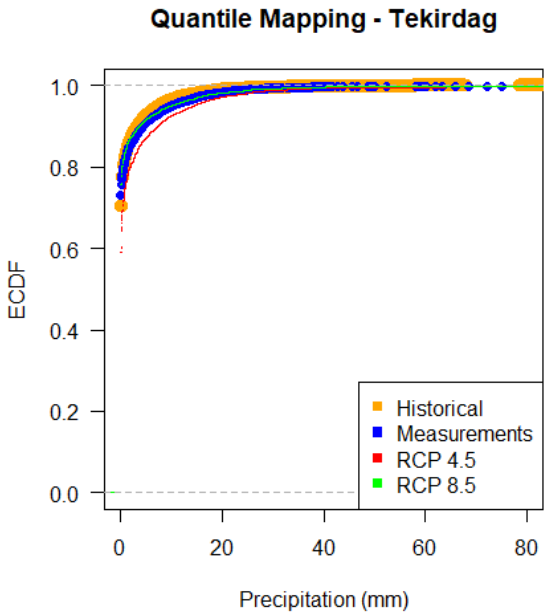
Şekil 2.26 : Kırklareli ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Yağış Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu.



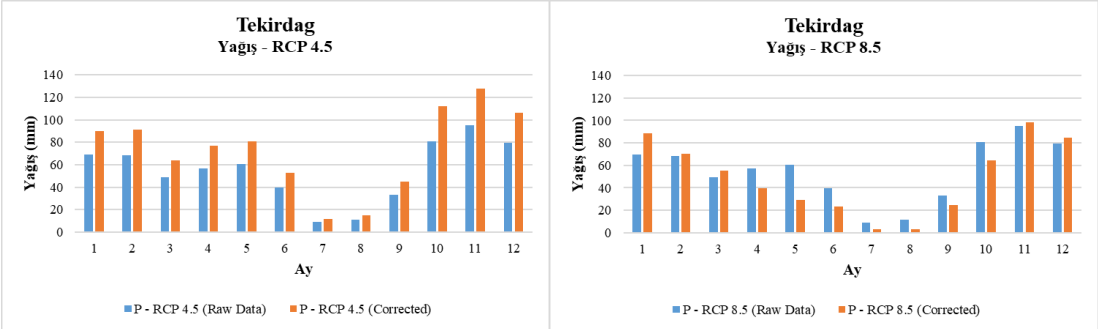
Şekil 2.27 : Kırklareli ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Toplam Yağış Verileri ile Aylık Toplam Ham Yağış Verileri.

Kırklareli için ham ve düzeltilmiş verilerin aylık toplam grafikleri incelendiğinde RCP 4.5 senaryosundaki aylık toplam yağış miktarları için, düzeltilmiş verilerin ham verilere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak, RCP 8.5 senaryosunda tam tersi bir durum söz konusudur ve tüm aylardaki yağış miktarı ham verilere göre düşüş göstermiştir. Kırklareli için RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları ile elde edilen ham ve düzeltilmiş veriler; sırasıyla, 622.1 ve 701.7 mm ile 622.1 ve 501.5 mm olarak belirlenmiştir. Uzun yıllar (1971-2019), yıllık yağış toplam miktarının 559.3 mm olduğu düşünüldüğünde, RCP 4.5 senaryosuna göre yılık yağışın %25.4 daha fazla, RCP 8.5 senaryosuna göre ise; %10.7 azalış gösterediği hesaplanmıştır.

Tekirdağ ili için kantil haritalama yöntemiyle yapılan yağış düzeltmesi ile elde edilmiş kümülatif dağılım fonksiyonlarını içeren grafik Şekil 2.28'de gösterilmektedir. Aylık ham ve düzeltilmiş toplam yağış miktarları ise Şekil 2.29'da verilmiştir.



Şekil 2.28 : Tekirdağ ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Yağış Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu.



Şekil 2.29 : Tekirdağ ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Toplam Yağış Verileri ile Aylık Toplam Ham Yağış Verileri.

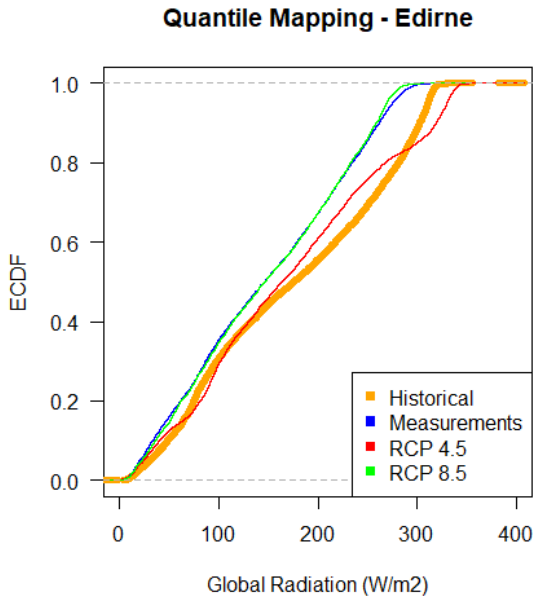
Tekirdağ için kantil haritalama yöntemi ile düzeltilen yağış verileri ile ham veriler karşılaştırıldığında, RCP 4.5 senaryosunda her ay yükseliş gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum RCP 8.5 senaryosunda kış aylarında yükseliş gerçekleşirken yaz aylarında düşüş gerçekleştiği görülmektedir. Yıllık ham ve düzeltilmiş toplam yağış miktarları göz önüne alındığında, RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında, sırasıyla, yağış miktarları 652.2 ve 872.5 mm ile 652.2 ve 584.5 mm olarak belirlenmiştir. Ham verilerdeki yıllık toplam yağış miktarları RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında aynı olmasına rağmen aylık dağılımları farklıdır. Uzun yıllar (1971-2019) yıllık yağış ortalamasının 556.1 mm olduğu göz önüne alındığında RCP 4.5 senaryosunda %56.9, RCP 8.5 senaryosunda ise; %17.3 artış olduğu belirlenmiştir.

Global Radyasyon

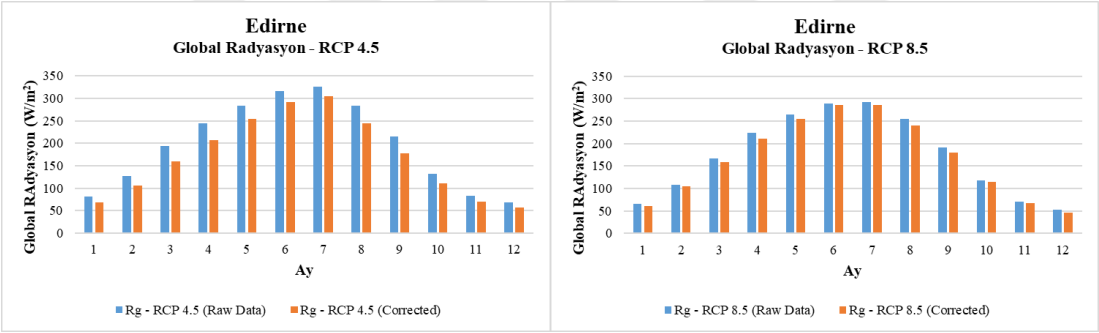
Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ için HadGEM2-ES modeli tarafından RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için üretilen global radyasyon verisi de kantil haritalama yöntemiyle düzeltilmiştir. Şekil 2.30'da, Edirne ili için global radyasyon kantil haritalama fonksiyonları gösterilmektedir. Aylık ortalama değerleri ise Şekil 2.31'de gösterilmektedir.

Edirne için ham ve düzeltilmiş global radyasyon verileri incelendiğinde, RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında, ham verilerin düzeltilmiş verilere göre sırasıyla, %14.8 ve %4.5 fazla olduğu görülmektedir. Yıllık, ortalama ham ve ortalama düzeltilmiş global radyasyon miktarı, RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre, sırasıyla, 196.3 ve 170.0 W/m^2 ile 174.9 ve 167.4 W/m^2 olarak hesaplanmıştır.

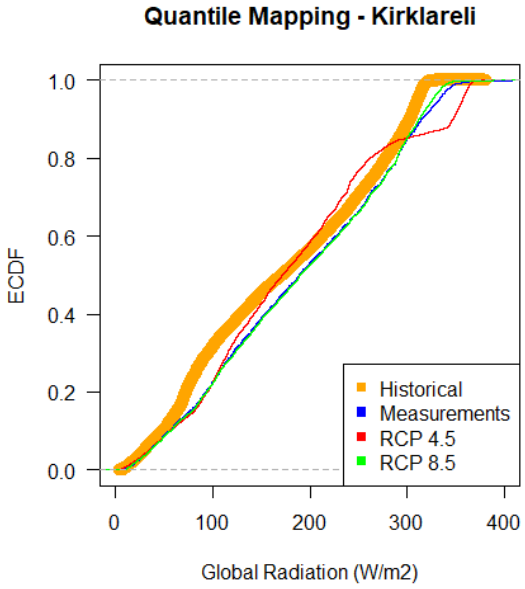
Kırklareli için üretilmiş kümülatif dağılım fonksiyonlarını içeren kantil haritalama Şekil 2.32'de, aylık ortalama global radyasyon miktarları ise Şekil 2.33'te gösterilmektedir.



Şekil 2.30 : Edirne ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Global Radyasyon Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu.

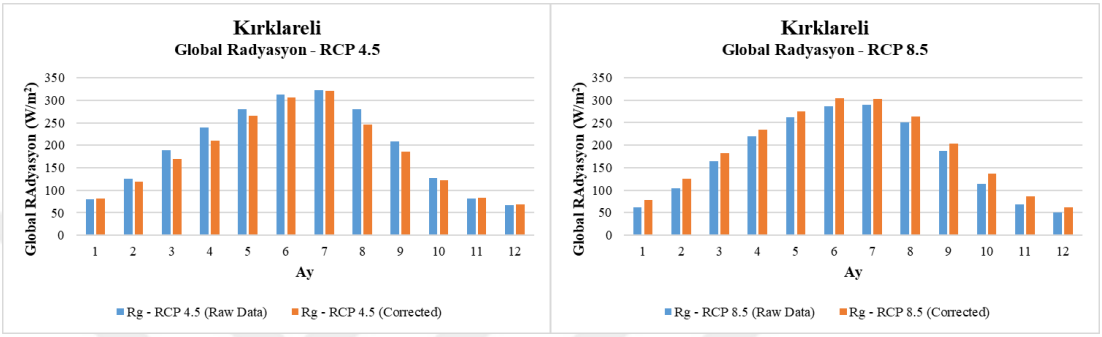


Şekil 2.31 : Edirne ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Global Radyasyon Verileri ile Aylık Ortalama Global Radyasyon Verileri.



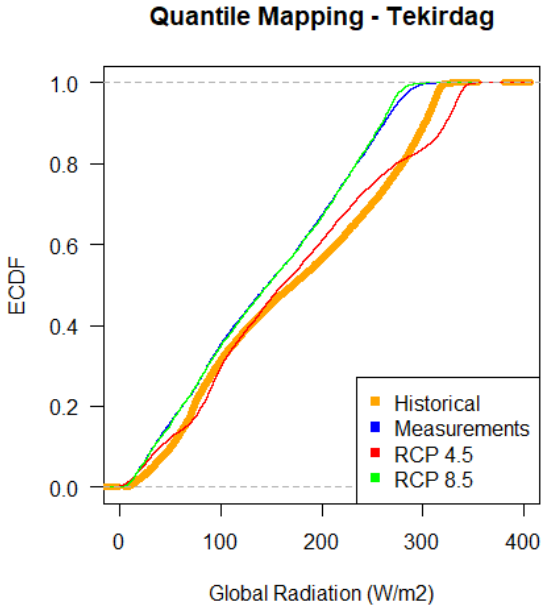
Şekil 2.32 : Kırklareli ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Global Radyasyon Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu.

Kırklareli için ham ve düzeltilmiş global radyasyon verileri incelendiğinde, RCP 4.5 senaryosunda neredeyse tüm aylarda (Kasım, Aralık ve Ocak ayları hariç), ham verilerin düzeltilmiş verilere göre %6.2 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ham ve düzeltilmiş global radyasyon verilerinin RCP 8.5 senaryosu incelendiğinde ise, ham verilerin %8.7 daha düşük olduğu hesaplanmıştır. Yıllık, ortalama ham ve ortalama düzeltilmiş global radyasyon verisi ise; RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla, 193.1 ve 181.8 W/m^2 ile 171.8 ve 188.1 W/m^2 olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.33 : Kırklareli ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Global Radyasyon Verileri ile Aylık Ortalama Global Radyasyon Verileri.

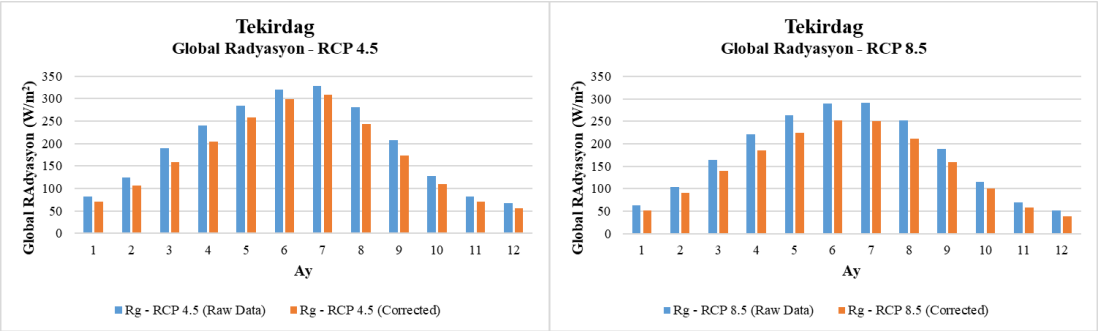
Tekirdağ için üretilmiş kümülatif dağılım fonksiyonlarını içeren kantil haritalama Şekil 2.34'te, aylık ortalama global radyasyon miktarları ise Şekil 2.35'te gösterilmektedir.



Şekil 2.34 : Tekirdağ ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Global Radyasyon Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu.

Tekirdağ için ham ve düzeltilmiş global radyasyon verileri incelendiğinde, RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında, aylık ham verilerin düzeltilmiş verilerden daha yüksek

değerlerde olduğu belirlenmiştir. Yıllık, ortalama ham ve ortalama düzeltilmiş global radyasyon verileri incelendiğinde, RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için sırasıyla, 194.5 ve 171.7 W/m^2 ile 172.8 ve 146.6 W/m^2 olarak belirlenmiştir. Yıllık ortalama ham ve düzeltilmiş global radyasyon verileri arasındaki fark, RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için sırasıyla, %13.3 ve %17.9'dur.



Şekil 2.35 : Tekirdağ ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Global Radyasyon Verileri ile Aylık Ortalama Global Radyasyon Verileri.

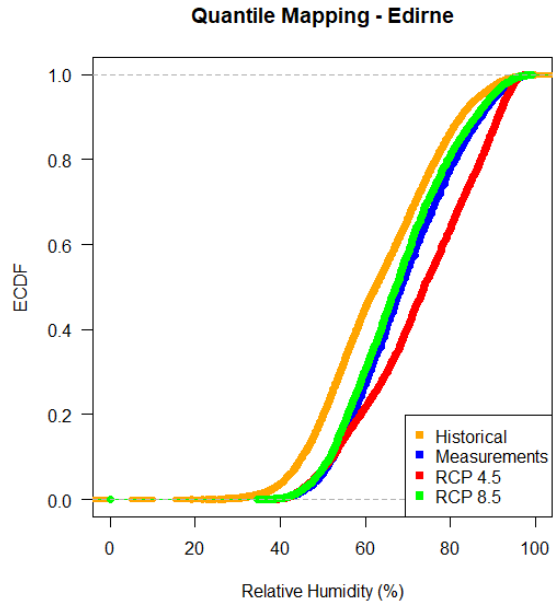
Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illeri için global radyasyon değerleri göz önüne alındığında, en yüksek, yıllık ortalama global radyasyon değeri; Kırklareli RCP 8.5 senaryosunda yaşanmaktadır. En düşük, yıllık ortalama global radyasyon değeri ise Tekirdağ RCP 8.5 senaryosunda gerçekleşmiştir.

Bağıl Nem

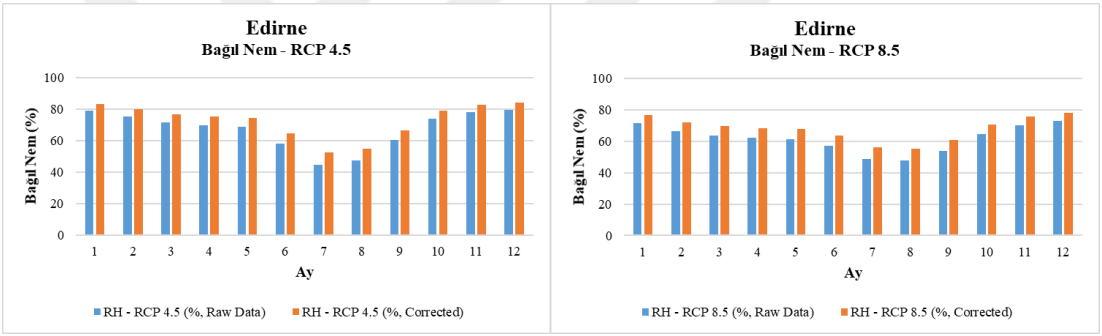
Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illeri için kantil haritalama yöntemi ile bağıl nem verileri düzeltilmiştir. Bu yöntem ile Edirne için elde edilen kümülatif dağılım fonksiyonları Şekil 2.36'da, aylık ortalama bağıl nem miktarları ise Şekil 2.37'de gösterilmektedir.

Edirne'deki aylık ham ve düzeltilmiş ortalama bağıl nem değerleri göz önüne alındığında RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında düzeltilmiş verilerin, ham veriler göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Yıllık ortalama bağıl nem değerleri ise; RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için, sırasıyla, %67.3 ve %73.0 ile %61.7 ve %67.8 olarak belirlenmiştir. Ham ve düzeltilmiş ortalama değerler arasındaki fark; RCP 4.5 senaryosunda %8.3, RCP 8.5 senaryosunda ise %10.0'dır.

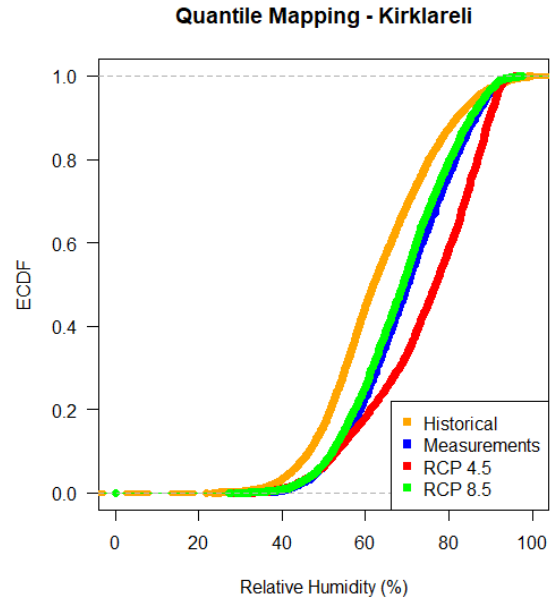
Kırklareli için kantil haritalama yöntemi ile üretilmiş kümülatif dağılım fonksiyonları ve aylık ortalama bağıl nem miktarları; sırasıyla, Şekil 2.38 ve Şekil 2.39'da gösterilmektedir.



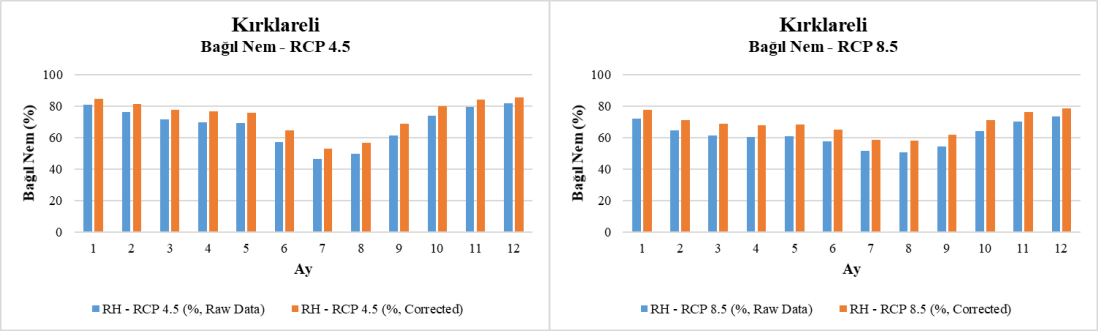
Şekil 2.36 : Edirne ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Bağıl Nem Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu.



Şekil 2.37 : Edirne ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Bağıl Nem Verileri ile Aylık Ortalama Bağıl Nem Verileri.

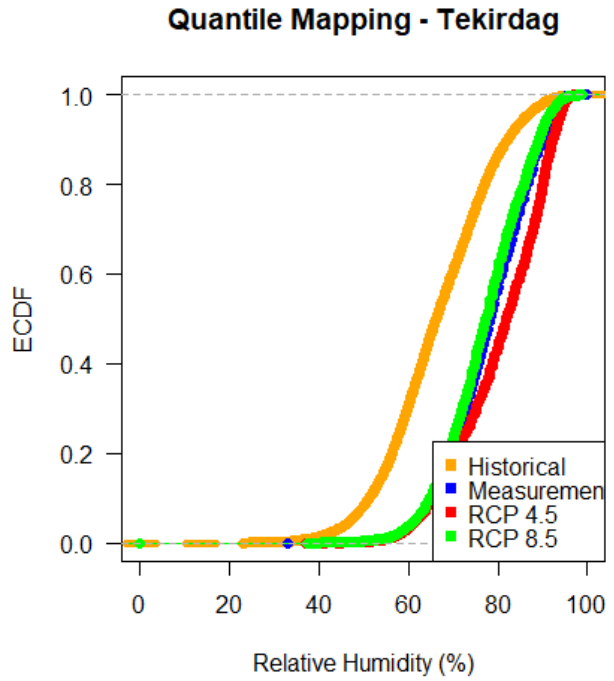


Şekil 2.38 : Kırklareli ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Bağıl Nem Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu.

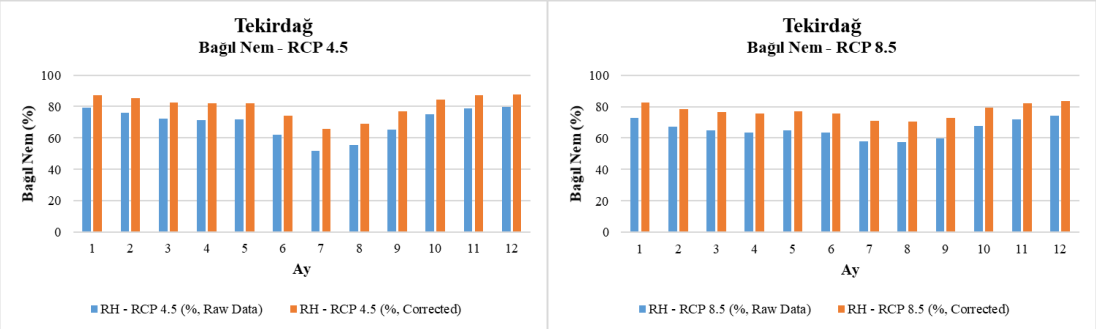


Şekil 2.39 : Kırklareli ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Bağıl Nem Verileri ile Aylık Ortalama Bağıl Nem Verileri.

Kırklareli'deki aylık ham ve düzeltilmiş ortalama bağıl nem değerleri incelendiğinde, RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında düzeltilmiş verilerin ham verilere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Yıllık ortalama bağıl nem değerleri ise; RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için, sırasıyla, %68.3 ve %74.2 ile %61.8 ve %68.7 olarak hesaplanmıştır. Ham ve düzeltilmiş ortalama değerler arasındaki fark; RCP 4.5 senaryosunda %8.6, RCP 8.5 senaryosunda ise %11.1 olarak belirlenmiştir. Tekirdağ için kantil haritalama yöntemi ile üretilmiş kümülatif dağılım fonksiyonları ve aylık ortalama bağıl nem miktarları sırasıyla Şekil 2.40 ve Şekil 2.41'de gösterilmektedir.



Şekil 2.40 : Tekirdağ ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Bağıl Nem Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Amprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu.



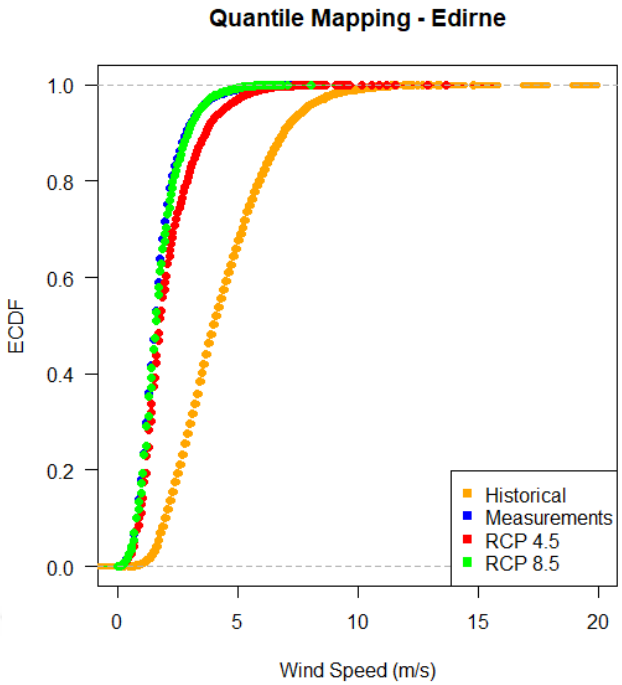
Şekil 2.41 : Tekirdağ ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Bağıl Nem Verileri ile Aylık Ortalama Bağıl Nem Verileri.

Tekirdağ'daki aylık ham ve düzeltilmiş ortalama bağıl nem değerleri incelendiğinde, RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarında düzeltilmiş verilerin ham verilere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Yıllık ortalama bağıl nem değerileri ise; RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için, sırasıyla, %69.9 ve %80.4 ile %65.4 ve %77.0 olarak belirlenmiştir. Ham ve düzeltilmiş ortalama değerler arasındaki fark; RCP 4.5 senaryosunda, %14.9, RCP 8.5 senaryosunda ise; %17.8 olarak belirlenmiştir. Bağıl nem miktarları, Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illeri için incelendiğinde RCP 4.5 senaryosundaki ortalama bağıl nem, RCP 8.5 senaryosuna göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi; sıcaklıkların RCP 8.5 senaryosunda daha fazla artmasıdır. En yüksek yıllık ortalamaya sahip bağıl nem; RCP 4.5 senaryosunda %80.4 ile Tekirdağ, en düşük yıllık ortalamaya sahip bağıl nem ise; RCP 8.5 senaryosunda %67.8 ile Edirne'ye aittir. Tekirdağ'da meydana gelen yüksek bağıl nem değerleri Tekirdağ ili merkezinin deniz kıyısında yer almasından kaynaklanmaktadır.

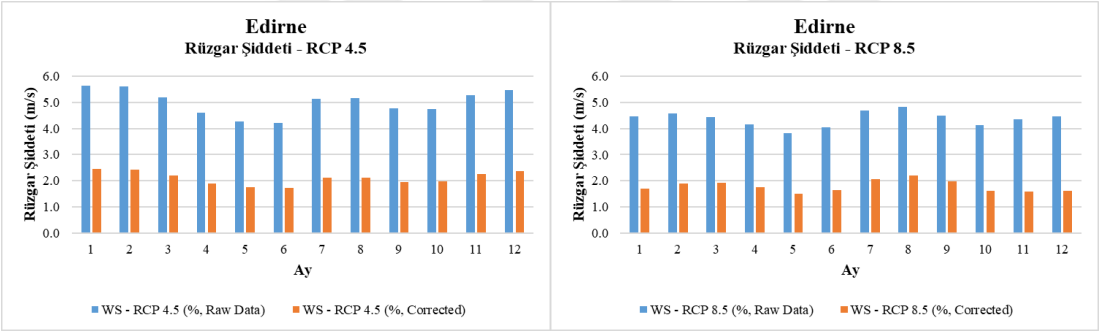
Rüzgar Şiddeti

Model verilerine girilen bir diğer meteorolojik değişken rüzgar şiddetidir. Kantil haritalama yöntemi ile ham rüzgar şiddeti verileri düzeltilmiştir. Edirne ili RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için üretilmiş kümülatif dağılım fonksiyonları Şekil 2.42'de, aylık ortalama rüzgar şiddeti değerleri ise Şekil 2.43'te gösterilmektedir.

Edirne ili ham ve düzeltilmiş rüzgar şiddeti verileri incelendiğinde, ham verilerin düzeltilmiş verilere göre oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi; referans yıllardaki (1971-2000) model verileriyle aynı dönemdeki ölçüm verileri ile arasındaki farkın yüksek olmasıdır. Edirne ili RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için, ham ve düzeltilmiş yıllık ortalama rüzgar şiddeti; sırasıyla, 5.0 ve 2.1 m/s ile 4.4 ve 1.8 m/s olarak belirlenmiştir. Ham ve düzeltilmiş veriler arasında, RCP 4.5 senaryosunda %42.0, RCP 8.5 senaryosunda %40.8 fark bulunmaktadır.



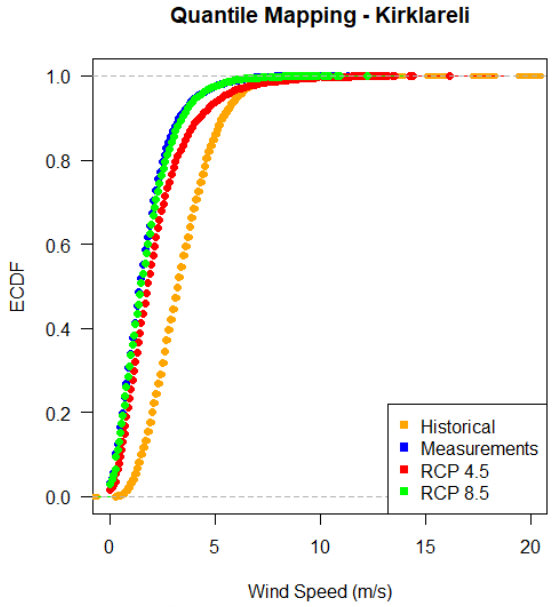
Şekil 2.42 : Edirne ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Rüzgar Şiddeti Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Emprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu.



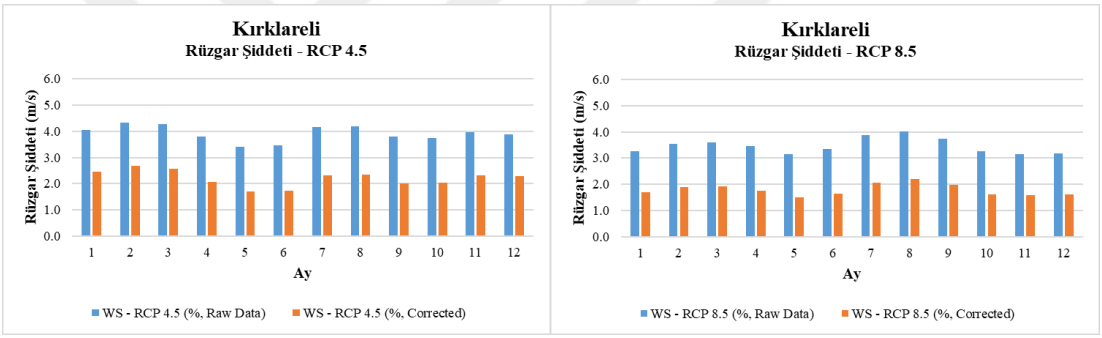
Şekil 2.43 : Edirne ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Rüzgar Şiddeti Verileri ile Aylık Ortalama Rüzgar Şiddeti Verileri.

Kırklareli ili için kantil haritalama yöntemi ile üretilmiş kümülatif dağılım fonksiyonları Şekil 2.44'te ve düzeltilmiş rüzgar verilerinin aylık ortalama değerleri Şekil 2.45'te bulunmaktadır.

Kırklareli ili ham ve düzeltilmiş rüzgar şiddeti verileri incelendiğinde ham verilerin düzeltilmiş verilere göre oldukça yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi referans yıllardaki (1971-2000) model verileri ile aynı dönemdeki ölçüm verileri arasındaki farkın yüksek olmasıdır. Kırklareli ili RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için, ham ve düzeltilmiş yıllık ortalama rüzgar şiddetileri, sırasıyla, 3.9 ve 2.2 m/s ile 3.5 ve 1.8 m/s olarak belirlenmiştir. Ham ve düzeltilmiş veriler arasında RCP 4.5 senaryosunda %56.5, RCP 8.5 senaryosunda %51.5 fark bulunmaktadır.



Şekil 2.44 : Kırklareli ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Rüzgar Şiddeti Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Emprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu.

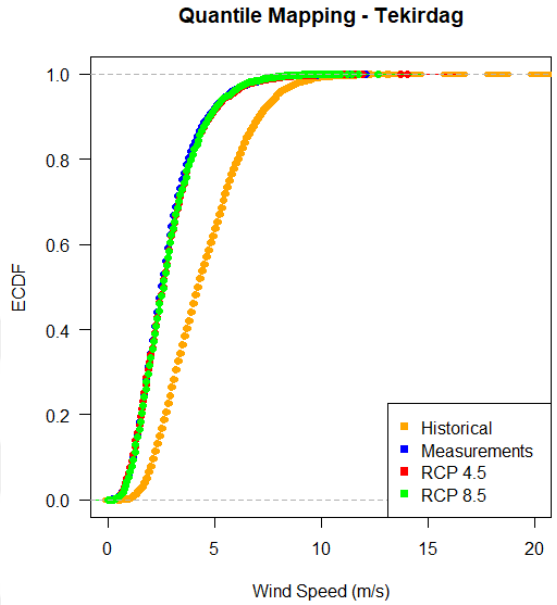


Şekil 2.45 : Kırklareli ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Rüzgar Şiddeti Verileri ile Aylık Ortalama Rüzgar Şiddeti Verileri.

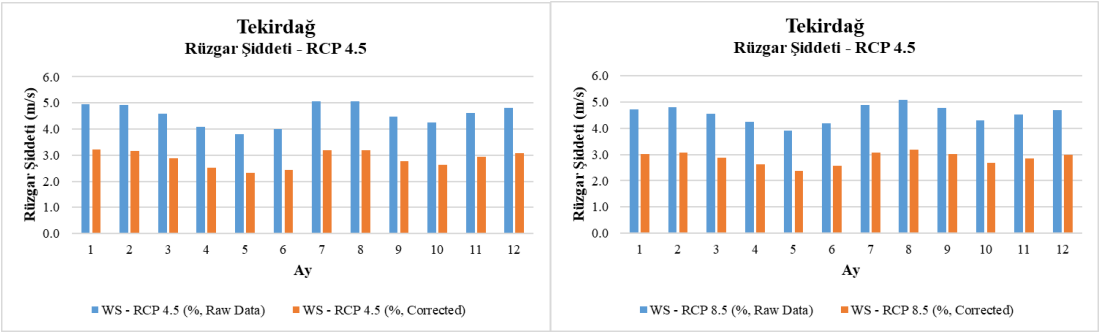
Tekirdağ ili için kantil haritalama yöntemi ile üretilmiş kümülatif dağılım fonksiyonları ve aylık ortalama rüzgar şiddeti verileri sırasıyla Şekil 2.46 ve Şekil 2.47'de verilmiştir.

Tekirdağ ili ham ve düzeltilmiş rüzgar şiddeti verileri incelendiğinde ham verilerin düzeltilmiş verilere göre oldukça yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi Edirne ve Kırklareli illerinde olduğu gibi referans yıllardaki (1971-2000) model verileri ile aynı dönemdeki ölçüm verileri arasındaki farkın yüksek olmasıdır. Kırklareli ili RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için, ham ve düzeltilmiş yıllık ortalama rüzgar şiddetleri, sırasıyla, 4.5 ve 2.9 m/s ile 4.6 ve 2.9 m/s olarak belirlenmiştir. Ham ve düzeltilmiş veriler arasında RCP 4.5 senaryosunda %62.9, RCP 8.5 senaryosunda %62.8 fark bulunmaktadır. Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illeri incelendiğinde, hem RCP 4.5 hem de RCP 8.5 senaryolarındaki en yüksek yıllık ortalama rüzgar şiddeti

Tekirdağ'da belirlenmiştir. Bunun sebebi Tekirdağ ilinin deniz kıyısında yer almasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, kantil haritalama yöntemi ile düzeltilen rüzgar şiddeti verilerindeki hata oranının diğer meteorolojik değişkenlere göre yüksek olmasının sebebi; rüzgar verilerinin lineer olmaması ve bu sebepten tahminin oldukça güç oluşundandır.



Şekil 2.46 : Tekirdağ ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Rüzgar Şiddeti Verileri, Ölçüm ve Model Verilerinin Emprik Kümülatif Dağılım Fonksiyonu.



Şekil 2.47 : Tekirdağ ili Kantil Haritalama ile Düzeltilen Aylık Ortalama Rüzgar Şiddeti Verileri ile Aylık Ortalama Rüzgar Şiddeti Verileri.

2.3 Bitki Gelişimi Simülasyonu Modelleri

Tez çalışmasında, Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illeri için su ayak izinin modellenmesi ve elde edilen projeksiyon verileri ile 2099 yılına kadar olan dönemdeki ayçiçeği ve kışlık buğday bitkisi açısından değerlendirmesi yapılmıştır. Tez çalışmasında, üç bitki gelişimi simülasyonu modeli çalıştırılmıştır. Bu modeller; AquaCrop, DSSAT (**D**ecision **S**upport **S**ystem for **A**grotechnology **T**ransfer) ve

WOFOST **(WO**rld **FO**od **ST**udies)'tur. Dolayısıyla, ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin ileriye yönelik su ayak izlerinin ve verimlerinin simülasyonları için AquaCrop, DSSAT ve WOFOST modelleri kullanılmıştır. Aşağıda bu modeller açıklanmıştır.

2.3.1 AquaCrop modeli

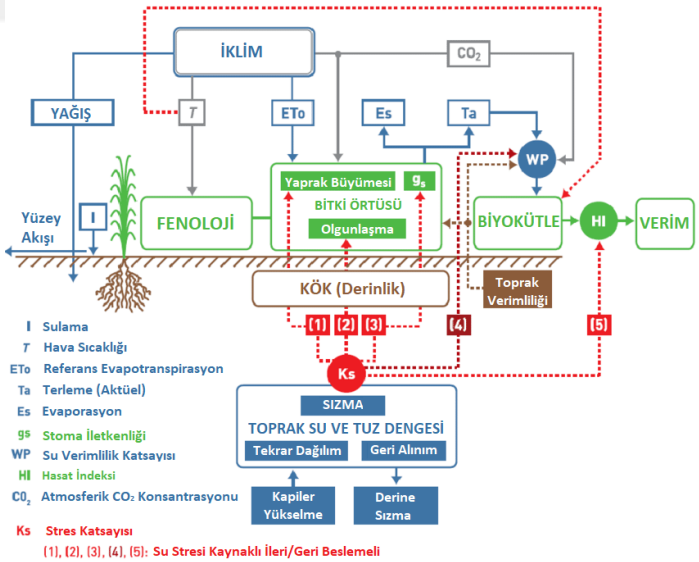
AquaCrop modeli, Dünya Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından geliştirilmiş, su dengesi yöntemi esaslarına dayanan ve araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan, SAİ'nin belirlenmesinde tercih edilen bir modeldir. Bu modelde gerekli olan girdi verileri; toprak-bitki-atmosfer parametreleri, tarımsal faaliyetler ile ilgili bilgiler ve sulama ile ilgili kayıtlardan oluşmaktadır. Modelin çevre bölümü iklim, bitki, tarımsal faaliyetler ve toprak olarak dört bölümden meydana gelmektedir (Raes ve diğ., 2009; Steduto ve diğ., 2009).

İklim kısmında, bitkinin yetiştirildiği ortamla ilgili atmosferik değişkenler girdi verisi olarak kullanılır. Bu değişkenler minimum (T_{min}) ve maksimum (T_{max}) hava sıcaklığı, referans evapotranspirasyon (ET_0), toplam yağış ve atmosferdeki CO_2'nin yıllık konsantrasyonudur. Bu veriler günlük olarak girilebileceği gibi, on günlük ve aylık olarak da oluşturulabilir.

Bitki kısmı, beş ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler; bitki gelişme dönemleri (fenolojik kayıtlar), toprak üstü bitki örtüsü, kök derinliği, biyokütle ve hasattır. Modelde, bitkinin karakterini belirlerken besin maddelerinden (gübre) kaynaklanan stresten, sıcaklık stresi ve su stresinden de yararlanılır. Bitkinin ekiminden hasadına kadar bitkinin gösterdiği gelişim, su stresi ile karşılaştığında farklı tepkiler verir. Özellikle bitki ilk gelişmeye başladığı dönemde su stresi ile karşılaşırsa bitki örtüsünün gelişimi (CC) zayıf olur. Bunun yanında, bitki gelişimi boyunca ve gelişimi tamamlandığında, su stresi ile karşılaşıyorsa, bu durum bitkinin gözeneklerinin (stoma) kapanmasına ve bitkinin erkenden ölmesine neden olur. Su stresi, su verimlilik parametresini (WP) ve hasat indeksini (HI) de etkileyebilir (Raes ve diğ., 2009; Steduto ve diğ., 2009; Rinaldi ve diğ., 2011; Mkhabela ve Bullock, 2012; Vanuytrecht ve diğ., 2014). Hasat indeksi ve biyokütle kullanılarak biokütlenin hasat edilebilir kısmı (Y) denklem 2.4 yardımıyla hesaplanır.

$$Y = B * HI \tag{2.4}$$

Denklemdeki Y, hasat miktarını (t/ha); B, biyokütle miktarını (t/ha); HI, ise hasat indeksini ifade etmektedir. AquaCrop modelinin yapısı toprak-bitki-atmosfer bileşenlerinin ilişkisine dayanır ve bu bileşenlerden bağlantı oluşturur. AquaCrop, bu yapıyı oluşturan bileşenlerin toprak bileşeninden su dengesini; bitki bileşeninden bitkinin büyümesini, gelişimini ve verim sürecini; atmosfer bileşeninden termal dengeyi, buharlaşmayı, yağışı ve CO_2 konsantrasyonunu simülasyon için kullanır. Ayrıca, toprak-bitki-atmosfer bileşenlerinin yanı sıra bu bileşenleri ve verimi etkileyen sulama, gübreleme gibi tarımsal faaliyetleri de bünyesine alır. Ancak model yabani otların, hastalık ve zararlıların verime olası etkilerini dikkate almamıştır (Raes ve diğ., 2009; Steduto ve diğ., 2009; Andarzian ve diğ., 2011; Xing ve diğ., 2017). Modelin yapısını oluşturan bileşenler ve verimi etkileyen diğer tarımsal faaliyetler arasındaki ilişkiler Şekil 2.48'deki akış şemasında gösterilmektedir. AquaCrop modelinin iklim kısmında dört ana parametre (i) maksimum ve minimum sıcaklık (°C), (ii) toplam yağış (mm), (iii) referans evapotranspirasyon (mm) olarak çalışmada günlük veriler ve (iv) CO_2 konsantrasyonu (ppm) olarak çalışmada yıllık veriler kullanılacaktır. Referans evapotranspirasyon FAO Penman-Monteith eşitliği (Denklem 2.5) ile hesaplanacaktır.



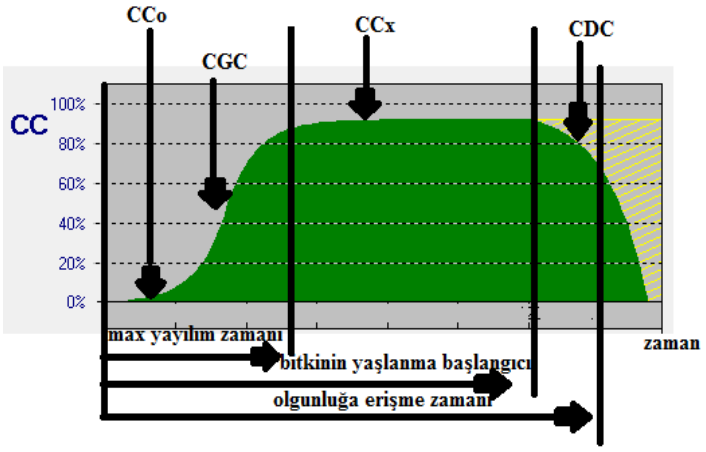
Şekil 2.48 : AquaCrop Modeli Akış Şeması (Steduto ve diğ., 2009).

$$ET_0 = \frac{0.408\,\Delta\,(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)} \qquad (2.5)$$

Denklem 2.5'te referans evapotranspirasyon hesabı için gereken meteorolojik değişkenler; R_n, net radyasyonunu (MJ/m^{2}gün); G, toprak ısı akısını (MJ/m^{2}gün); T, ortalama hava sıcaklığını (°C); u_2, 2 m yükseklikteki ortalama rüzgar şiddetini (m/s);

e_s, doymuş buhar basıncını (kPa); e_a, gerçek buhar basıncını (kPa); Δ, sıcaklık ile buhar basıncı arasındaki eğrinin eğimini (kPa $°C^{-1}$) ve γ, psikrometrik katsayıyı (kPa/°C) göstermektedir.

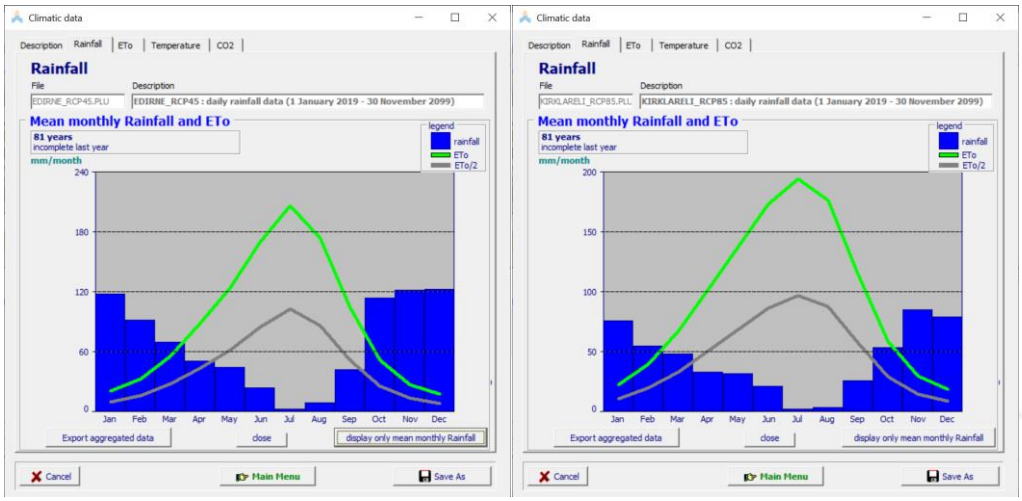
Bitki bölümü bitki gelişimi ve ölçümüyle ilgilenir. Model, yeşil bitki örtüsünün kapladığı alanın (CC) başlangıçtaki değeri (CC_o) ile bitkinin gelişme durumu boyunca CC gelişimi ile birlikte çiçeklenme dönemiyle ve ürün oluşumunun yanı sıra kök derinliğiyle, bitki gelişimine ilişkin gözlem ve ölçüm girdileri arasında ilişki kurar. Bitki örtüsünün kapladığı alanın genişlemesini bulmak için bitki gelişim katsayısını (CGC) öncelikle hesaplamak gerekir. CGC ekilen bitkinin CC'sinin maksimum değere ulaşması için geçen gün sayısı modele girilerek hesaplanır. Bitki örtüsünün kapladığı alanın azalma oranı ise bitki zayıflama katsayısı (CDC) ile belirlenir. CDC bitkinin zayıflama katsayısı olarak tanımlanabilir. CDC hesabı için bitkinin yaşlılık döneminin (olgunlaşmadan hasada kadar) gün sayısı gereklidir. Bitki CC sinin maksimuma ulaştığında bitki yaşlılık dönemi başlar. Yaşlılık döneminin başlama süreci bitki gelişimine ve bitkinin cinsine bağlıdır. Yeşil bitki örtüsünün kapladığı alanın maksimumu (CC_x) ise bitki yoğunluğuna, ekilen tohumun %90'ının çıkışından sonraki CC'ye ve CGC'ye bağlıdır (Raes ve ark., 2012). Şekil 2.49'da bitki örtüsündeki gelişim ve değişimi verilmiştir.



Şekil 2.49 : Bitki Örtüsünün Kapladığı Alanın Zamana Göre Değişimi.

Kök sistemi, etkili kök derinliği (Z) ve su alma kapasitesine göre modellenir. Etkin kök derinliği, bitkinin kökleri tarafından alınan suyun büyük bir çoğunluğunun bulunduğu toprak derinliğidir. Su verimlilik parametresine (WP) bağlı olarak çalışan model WP sayesinde biyokütle artışıyla ilgili olan aradaki bazı işlem basamaklarını kullanmaz. WP parametresi iklime göre değiştirilebilir. Biyokütle WP yardımıyla

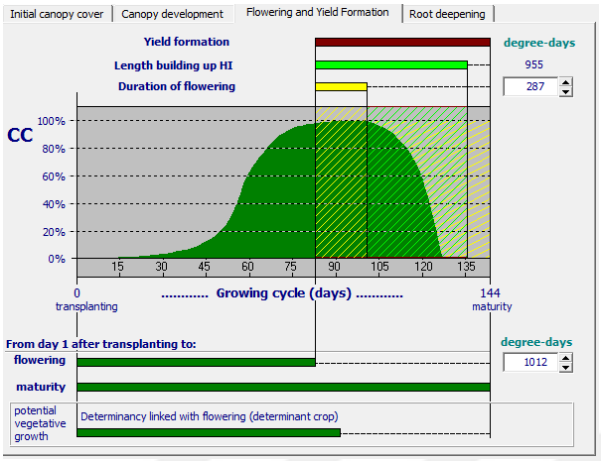
bulunarak hasat indeksi ile çarpılırsa verimlilik hesaplanır. Hasat indeksi (HI) su eksikliği ve bitkinin gelişimi boyunca değişen su stresi şiddetine göre değişebilir (Raes ve diğ., 2009; Steduto ve diğ., 2009; Nyati ve diğ., 2018). Toprak girdi verilerinin olduğu kısımda ise, derinliklerine göre alınan toprak parçaları modele tanıtılarak ve her bir toprak örneğinin hidrolik karakteristiği (solma noktası, tarla kapasitesi, su ile doygunluk yüzdesi) girilerek ya da modelin bilgi kısmında yer alan toprak çeşitlerinin genel toprak yapısı ve hidrolik karakteristiğini seçerek de model çalıştırılabilir. AquaCrop modeline girilen meteorolojik veriler Penman-Monteith yaklaşımı ile hesaplanan aylık toplam ET_0 miktarları ile aylık toplam yağış grafiği Şekil 2.50'de gösterilmektedir.



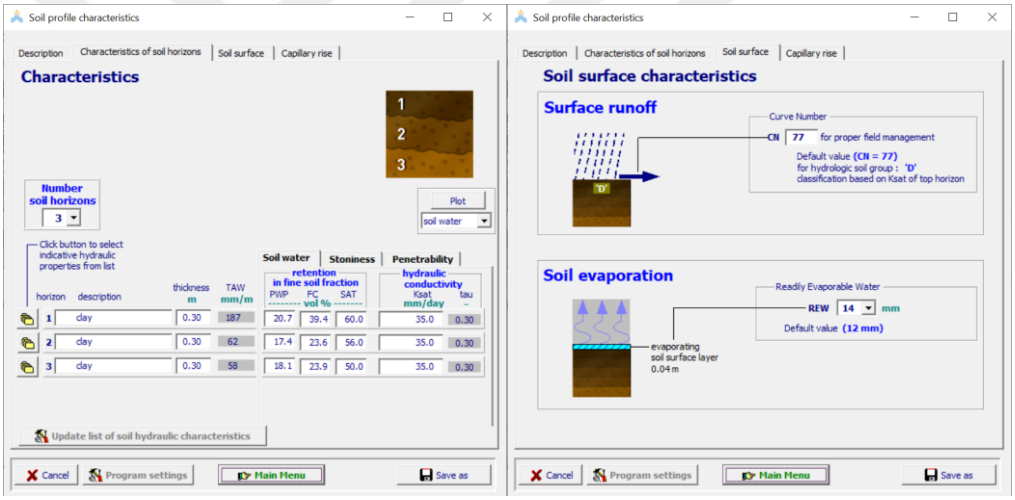
Şekil 2.50 : AquaCrop Aylık Yağış ve ET_0 Grafiği Örnek Ekran Görüntüleri.

Potansiyel vejetatif büyüme çiçeklenme ile yakından ilgilidir. Çiçeklenme dönemi bitkinin verimi için çok önemlidir. Model, bitkinin çiçeklenme döneminin geçtiği süreyi ve bitkinin çiçeklenme döneminin başlangıcından olgunluğa eriştiği gün sayısını girdi olarak alır. Daha sonra AquaCrop modeli, bu girdi verilerini kullanarak hasat indeksinin gelişmesi için geçen gün sayısını (lenght building up) hesaplar. Bitkinin gelişimini, bitkinin kök derinliği de etkiler. Maksimum ve minimum kök derinlikleri, kökün büyüme katsayısı modele girilerek; bitki gelişimine olan etkileri modelde incelenir. Ayçiçeği ve buğday bitkilerinin Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illeri için fenolojik gözlemlerden elde edilen tarihler AquaCrop modeline girilmiştir (Şekil 2.51). Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerindeki toprak verilerine ait bilgiler de AquaCrop modeline girilmiştir. Şekil 2.52'de toprak bölümüne ait ekran görüntüsü gösterilmektedir. Edirne ve Kırklareli illeri için yapılan simülasyonlarda toprak için başlangıç koşulları araziden alınan örnekler ile mevcuttur. Tekirdağ ili için ise tınlı

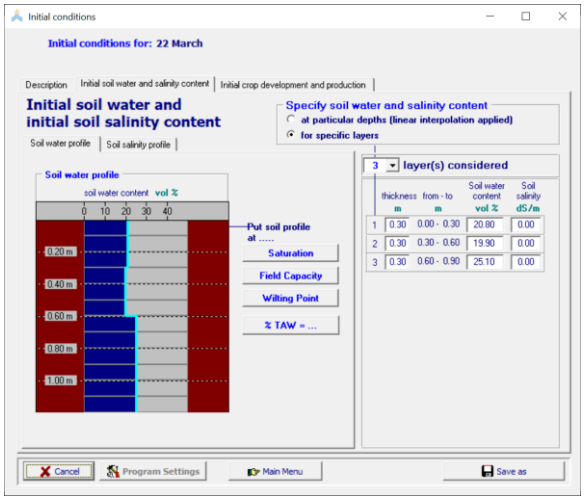
toprak tipi için geçerli olan tarla kapasitesi miktarı başlangıç toprak su içeriği değeri olarak kullanılmıştır. Başlangıç koşullarına ait ekran görüntüsü Şekil 2.53'te gösterilmektedir.



Şekil 2.51 : AquaCrop Modeli Fenolojik Kayıtlar Örnek Ekran Görüntüsü.



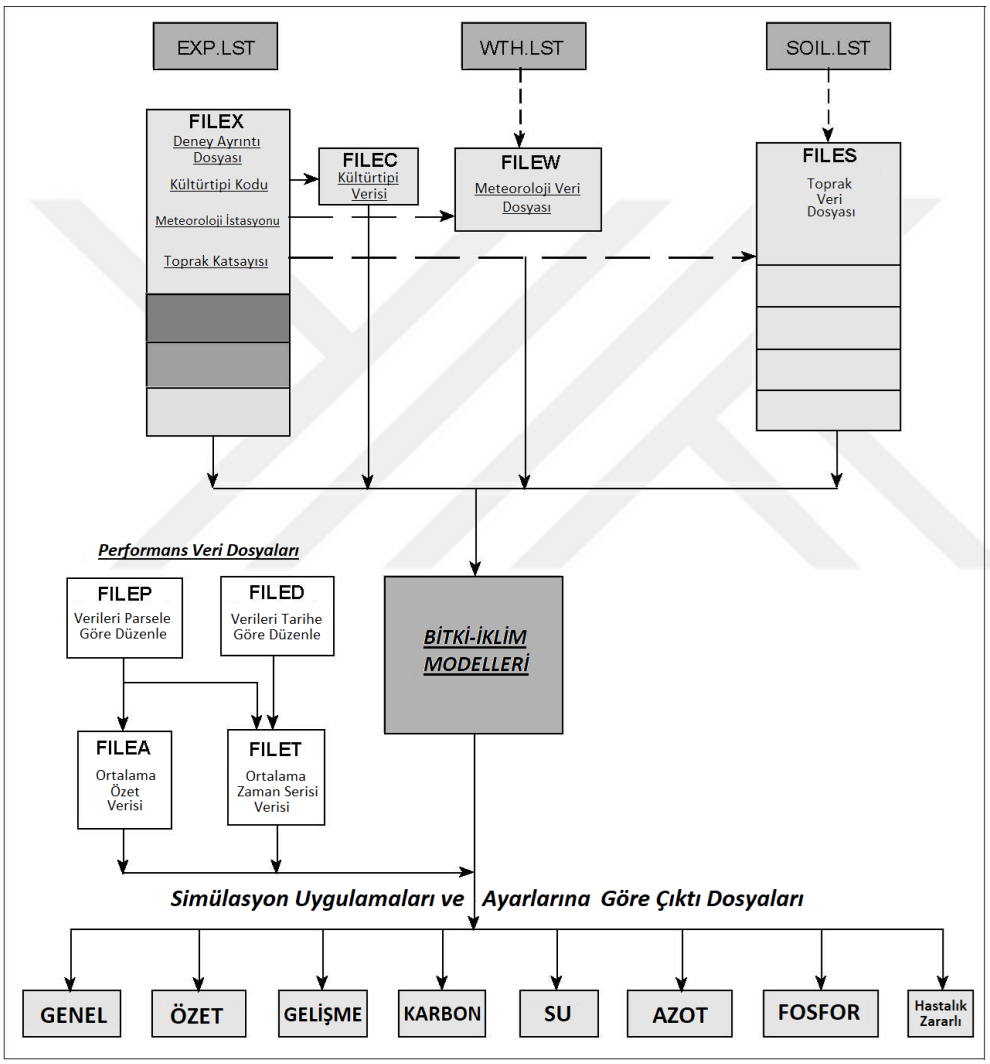
Şekil 2.52 : AquaCrop Modeli Toprak Bölümü Örnek Ekran Görüntüleri.



Şekil 2.53 : AquaCrop Modeli Toprak Bölümü Örnek Ekran Görüntüsü.

2.3.2 DSSAT modeli

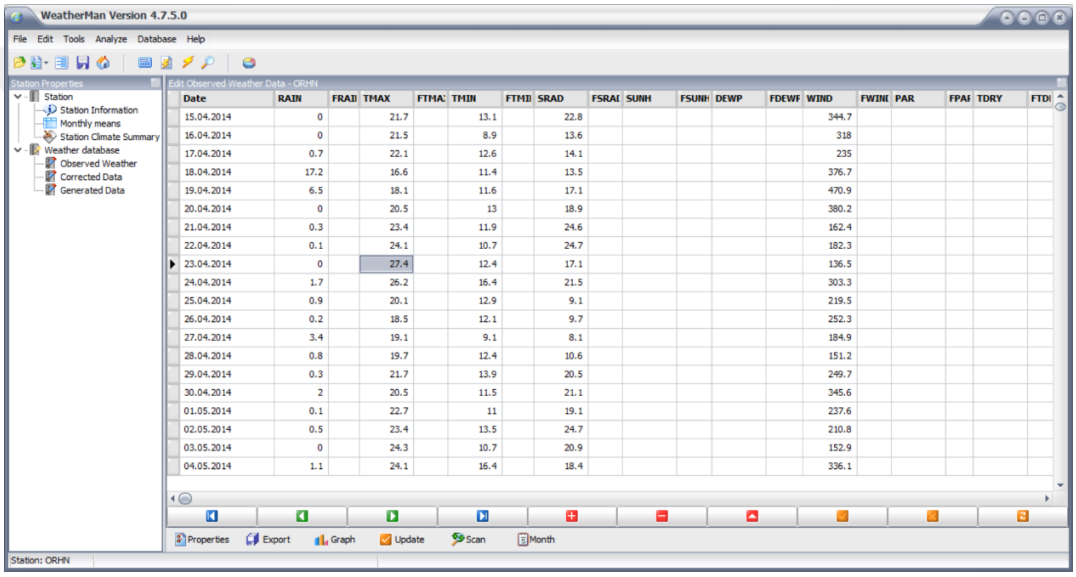
DSSAT modeli, tarımsal teknoloji transfer çalışmalarının gerçekleştirilmesi, üretim durumunun başlangıç koşullarındaki meteorolojik ve toprak değişkenlerine göre bitki gelişimi süreçlerinde ortaya çıkan riskleri en aza indirmeyi amaçlayan uluslararası bir modeldir (Jones ve diğ., 2003; Hoogenboom ve diğ., 2017; Tariq ve diğ., 2018; Malik ve Dechmi, 2020). Şekil 2.54'te DSSAT v4.7.5 modeli içerisinde gerçekleştirilen hesaplamalara ait şematik gösterimi (Hoogenboom ve diğ., 2017) verilmiştir.



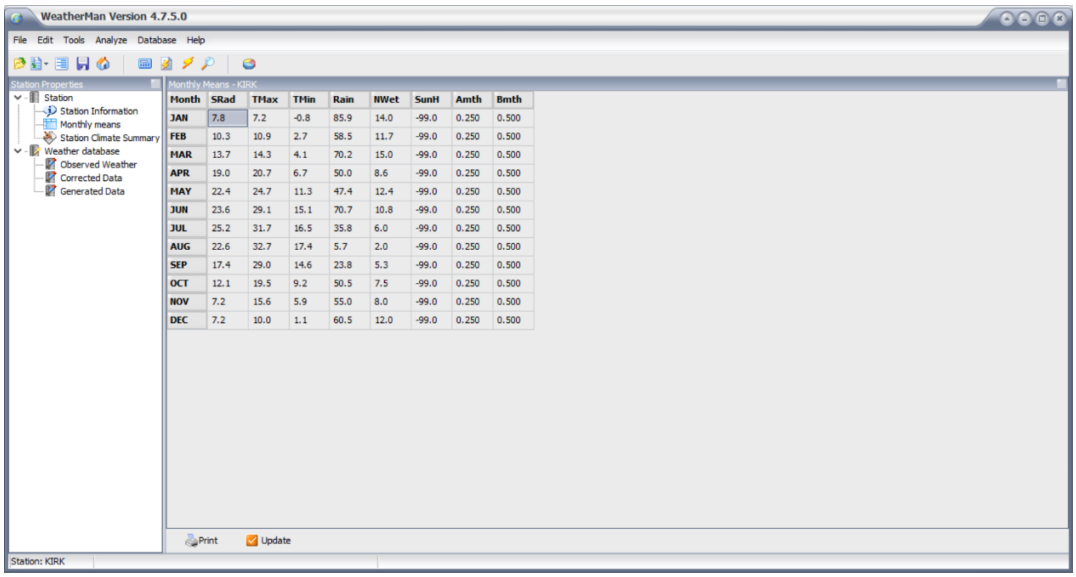
Şekil 2.54 : DSSAT Modeli Akış Diyagramı.

DSSAT modeli, yaptığı hesaplamalar için alt menüler içermektedir. Bunun için meteoroloji dosyası, bitki dosyası ve tarla bilgilerini içeren alt menüler hazır olarak bulunmaktadır. Bu hazır arşiv dosyalarının hangi formatta olduğu ve mevcut dosyaların hangi bilgilerden oluştuğu bilgisini kullanıcılarına sağlamaktadır. Tez çalışmasında Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerindeki meteoroloji istasyonlarından

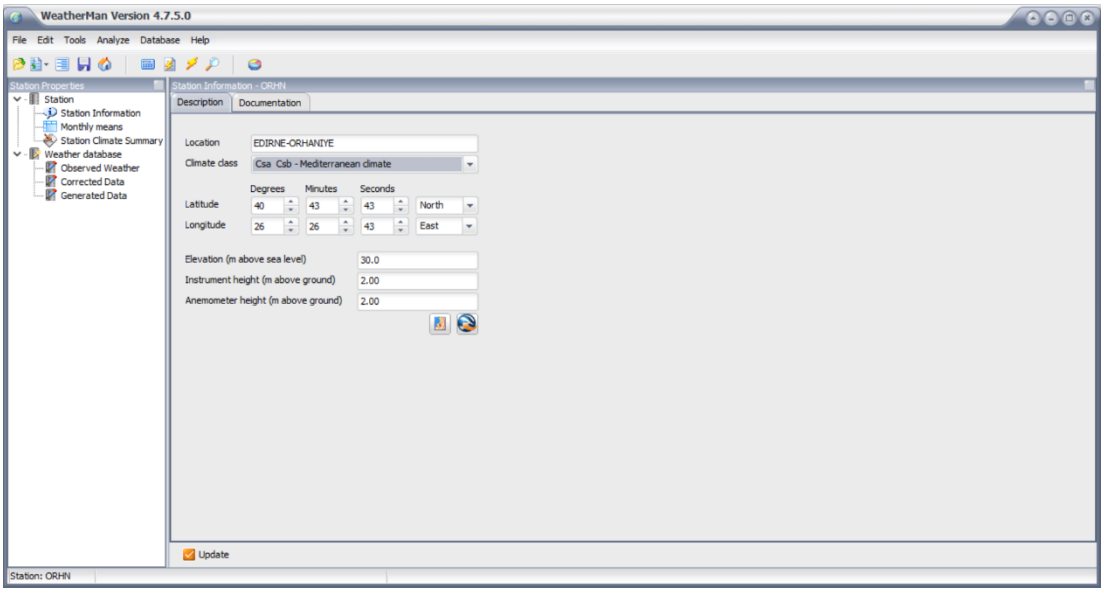
alınan günlük veriler ve ileriye yönelik RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına ait günlük veriler DSSAT modelinin içinde bulunduğu "Weatherman" alt birimi aracılığıyla oluşturulup aktarılmaktadır. Şekil 2.55'te Weatherman tarafından okunmuş günlük meterolojik değişkenlere ait ekran görüntüsü gösterilmektedir. Weatherman tarafından okunan günlük meterolojik verilerde eksiklik bulunuyorsa tamamlama seçeneği sunmaktadır. Uygun format ve birimde girilen meteorolojik verilerin aylık olarak özeti Şekil 2.56'da gösterilmektedir. Bu verilerin dışında istasyonun enlem-boylam, deniz seviyesinden yüksekliği, Köppen İklim Sınıflandırmasına göre hangi sınıfta olduğu ve ölçümü yapılan meteorolojik faktörlerin kaç metre yükseklikte yapıldığı bilgileri de bulunmaktadır (Şekil 2.57).



Şekil 2.55 : Weatherman - Ekran Görüntüsü.

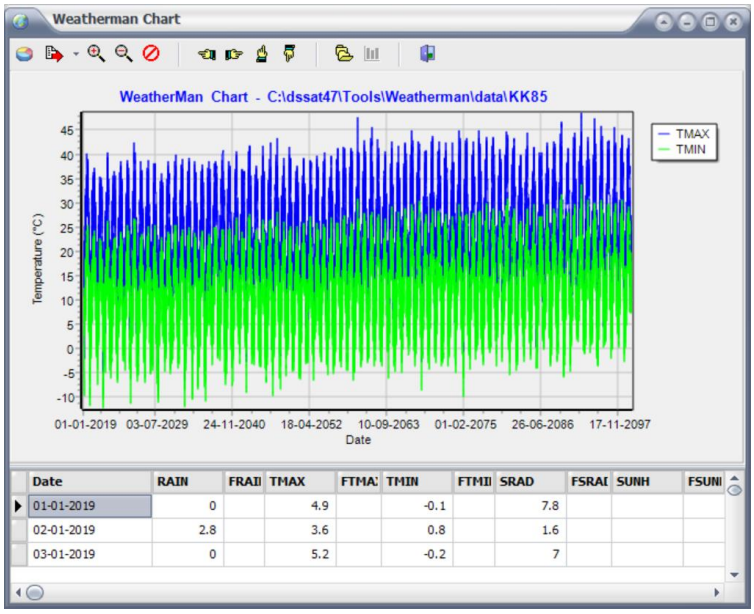


Şekil 2.56 : Weatherman - İstasyon Aylık Ekran Görüntüsü.

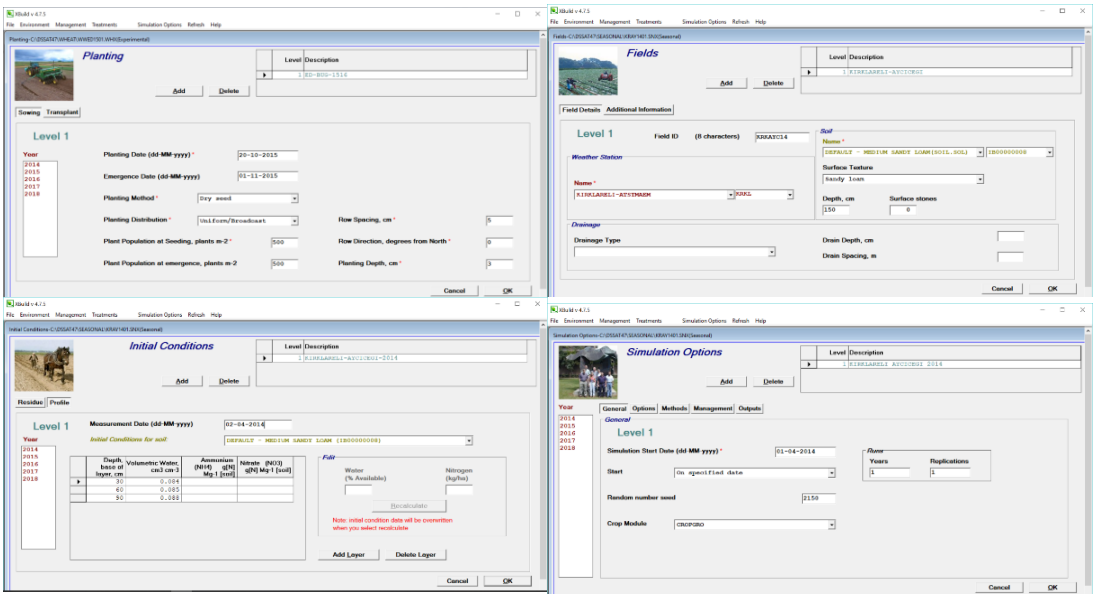


Şekil 2.57 : Weatherman - İstasyon Bilgileri Ekran Görüntüsü.

Bu girdilerin yanında "Weatherman" alt çalışma programı, veri kontrolü, varsa eksik verilerin tamamlanması ve ölçümü yapılan meteorolojik değişkenlerin zaman serilerinin üretilmesi için kullanılabilmektedir. Şekil 2.58'de projeksiyon verilerine ait maksimum ve minimum sıcaklık zaman serisi ekran görüntüsü gösterilmektedir. DSSAT modelinin diğer modülleri ise, arazi verilerinin girildiği "Fields", başlangıç koşullarının girildiği "Initial Conditions", bitki verilerinin girildiği "Planting" kısmı ve bitki çeşidinin bulunduğu "Cultivar", simülasyon ayarlamaların yapıldığı "Simulation Options" kısımlardır. AquaCrop modelinde olduğu gibi aynı verilerin DSSAT modeline girişi sağlanmıştır (Şekil 2.59).

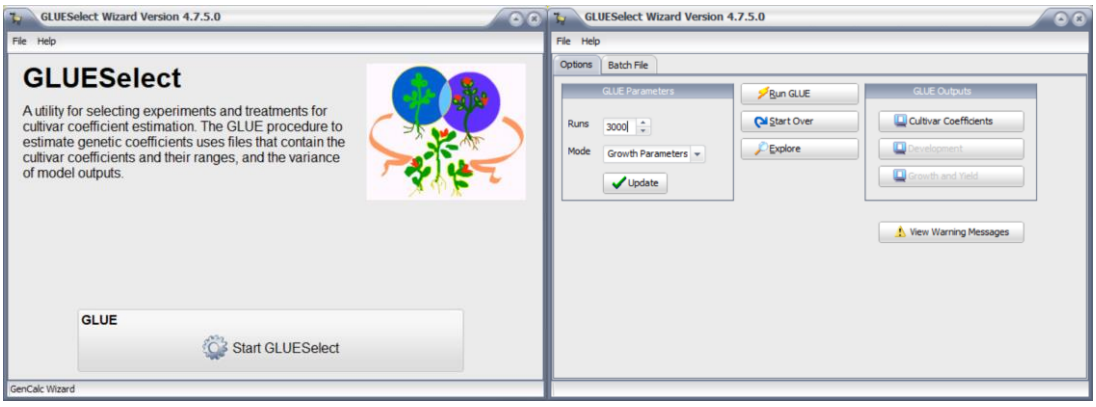


Şekil 2.58 : Weatherman - Zaman Serileri Ekran Görüntüsü.



Şekil 2.59 : DSSAT Menüleri Ekran Görüntüleri.

DSSAT modelinde simülasyonu yapılan ayçiçeği ve kışlık buğday biktilerinin model kalibrasyonu için DSSAT modeli içerisinde bulunan GLUE (**G**eneralized **L**ikelihood **U**ncertanty **E**stimation) programı kullanılmıştır (Şekil 2.60). Araziden alınan ölçüm verileri, GLUE altmodeli tarafından Bayezyan en iyileme yöntemiyle 3000 (Jones ve diğ., 2011; Corbeels ve diğ., 2016; Li ve diğ., 2018) adet iterasyon yapılarak bitki genotip katsayıları belirlenmektedir. Simülasyonu yapılan her bitki için farklı genotip katsayıları bulunmaktadır. Belirlenen bitki genotip katsayıları ise el ile düzeltme (Palosuo ve diğ., 2011; Kersebaum ve diğ., 2016; Yan ve diğ., 2020) yapılarak son halini almıştır.



Şekil 2.60 : GLUE Programı Ekran Görüntüsü.

DSSAT modelinde potansiyel bitki ET miktarını belirlemek için Priestly-Taylor (1972) yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem için hesaplama eşitlikleri denklem 2.6 - 2.8'te gösterilmektedir.

Potansiyel ET hesaplanan gündeki maksimum sıcaklık değeri 5°C ile 35°C ise,

$$ETP = 1.1 * (R_g * (2.04 * 10^{-4} - 1.83 * 10^{-4} * ALB) * (T_{ort} + 29)) \quad (2.6)$$

Eğer ilgili günün maksimum sıcaklık değeri 35°C'tan büyük ise,

$$ETP = \left(R_g * (2.04 * 10^{-4} - 1.83 * 10^{-4} * ALB) * (T_{ort} + 29)\right) * ((T_{max} - 35) * 0.05 + 1.1) \quad (2.7)$$

Eğer ilgili günün maksimum sıcaklık değeri 5°C'tan küçük ise,

$$ETP = 1.1 * \left(R_g * (2.04 * 10^{-4} - 1.83 * 10^{-4} * ALB) * (T_{ort} + 29)\right) * 0.01 * e^{0.18(Tmax+20)} \quad (2.8)$$

denklemleri kullanılır. ETP; potansiyel evapotranspirasyonu, ALB; albedo değerini ifade etmektedir. Potansiyel ET hesabının yanında gerçek evapotranspirasyon değeri hesaplamaları da yapılmaktadır.

2.3.2.1 Nwheat altmodeli

DSSAT modelinde kışlık buğday bitkisi gelişimini simüle etmek için CERES-Wheat ve Nwheeat altmodelleri bulunmaktadır. NWheat modeli, oldukça bilinen ve Agricultural Production Systems Simulator (APSIM) modelinden, DSSAT modeline entegre edilmiş ve doğrulaması bir çok farklı lokasyonda (Guarin ve diğ., 2018; Kassie ve diğ., 2016; Liu ve diğ., 2016; Paff ve Asseng, 2019) yapılmış ve bilimsel olarak kabul görmüş bir modeldir (Asseng ve diğ., 2000; Asseng ve diğ.,.2004; Guarin ve diğ., 2019). Nwheat buğday gelişim alt modeli, farklı sıcaklık, yağış, karbondioksit ve topraktaki su dönüşümü test edilerek DSSAT modeline eklenmiştir (Asseng ve diğ., 2003; Wessolek ve Asseng, 2006; Bassu ve diğ., 2009; O'Leary ve diğ., 2015; Hussain ve diğ., 2018). Nwheat alt modeli, DSSAT içerisinde bulunan ve buğday gelişimi için kullanılan CERES-Wheat altmodeline göre daha fazla genotip katsayısı içermektedir (Hussain ve diğ., 2018). Buğday bitki simülasyonu için CERES-Wheat altmodelinde 5 farklı genotip katsayı bulunurken (Malik ve Dechmi, 2019), Nwheat alt modelinde yaklaşık 11 tane ana genotip katsayı bulunmaktadır (Kassie ve diğ., 2016; Hernandez ve diğ., 2018). Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerindeki kışlık buğday simülasyonları NWheat alt modeli ile yapılmıştır.

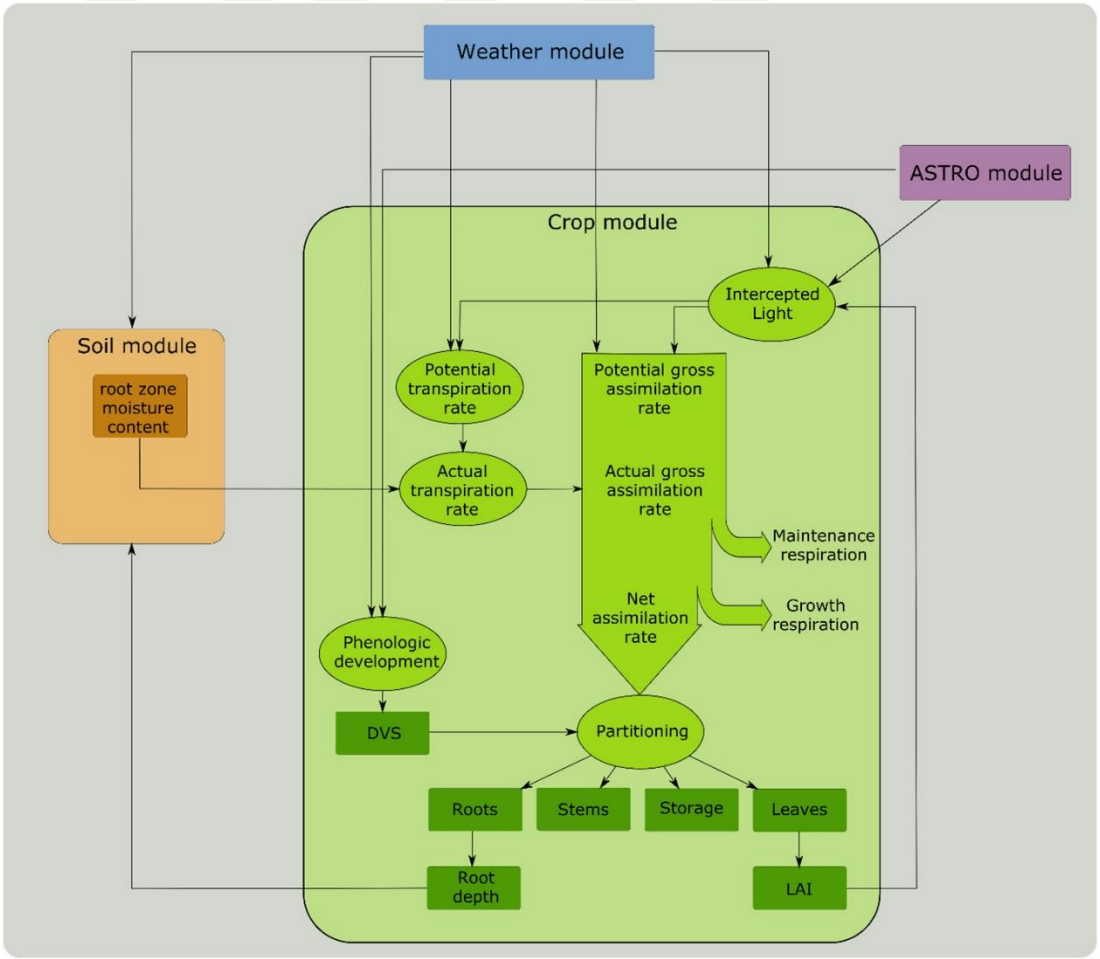
2.3.2.2 CROPGRO altmodeli

DSSAT modelinde ayçiçeği bitkisi gelişimini simüle etmek için CROPGRO altmodeli bulunmaktadır. Ayçiçeği bitkisi, DSSAT modelinin önceki versiyonlarında CROPGRO modeli içerisinde bulunmuyordu. DSSAT v4.6 ile birlikte pamuk ve

ayçiçeği bitkileri, CROPGRO altmodeli içerisine dahil edilmiştir ve DSSAT v4.7 ile birlikte güncellenmiştir (Hoogenboom ve diğ., 2017; Rolla ve diğ., 2018; Vilvert ve diğ., 2018). CROPGRO altmodeli, ayçiçeği için 18 farklı genotip katsayıdan oluşmaktadır (Malik ve Dechmi, 2019). Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerindeki ayçiçeği simülasyonları CROPGRO modeli ile yapılmıştır.

2.3.3 WOFOST modeli

WOFOST modeli, Hollanda'da bulunan Wageningen Tarım Üniversitesi tarafından disiplinlerarası çalışma ile geliştirilmiş açıklamalı bir modeldir. Bu model sadece bitki verim tahmininde değil tarımsal kuraklık risk çalışmalarında da kullanılmıştır (Boogard ve diğ., 1998; Kroes ve Supit, 2011; de Wit ve diğ., 2012; Gilardelli ve diğ., 2018; Ceglar ve diğ., 2019; de Wit ve diğ., 2019). WOFOST modelinin akış şeması Şekil 2.61'de verilmiştir.



Şekil 2.61 : WOFOST Akış Şeması (de Wit ve diğ., 2019).

WOFOST modelinde meteorolojik veri olarak global radyasyon, maksimum ve minimum sıcaklık, buhar basıncı, yağış ve rüzgar şiddeti değişkenleri

kullanılmaktadır. WOFOST modelinde kullanılan meteorolojik veri formatına ait görüntü Şekil 2.62'de bulunmaktadır. Meteoroloji verilerinin yanı sıra, ayçiçeği ve kışlık buğday bitkileri için bitki dosyası, Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ için toprak dosyası ile birlikte bitkinin gelişim dönem aralıkları ile ilgili bilgiler ve toprak özelliklerinin bulunduğu toprak dosyası için girdi dosyaları oluşturulmaktadır. Bu dosyalara ait görüntüler Şekil 2.63'te gösterilmektedir.

Site Characteristics

Country	Turkey
Station	ATSTMAEM - Orhaniye/Edirne
Description	ED01
Source	Ataturk Soil Water and Agricultural Meteorology Research Institute-ED
Contact	Serhan Yesilkoy
Missing values	-999

Longitude	Latitude	Elevation	AngstromA	AngstromB	HasSunshine
26.45	40.73	30	-0.25	-0.45	YANLIŞ

Observed data

DAY	IRRAD	TMIN	TMAX	VAP	WIND	RAIN	SNOWDEPTH
date	*kJ/m2/day or hours*	*Celsius*	*Celsius*	*kPa*	*m/sec*	*mm*	*cm*
01-01-2014	6224.8	-6.3	4.2	0.4	5.3	0.57	-999
02-01-2014	8202.8	-6.5	4.4	0.4	1.9	0.03	-999
03-01-2014	4790.1	-5.6	5.9	0.5	0.8	0.00	-999
04-01-2014	4263.2	-2.5	10.7	0.7	2.0	1.57	-999
05-01-2014	5977.9	1.6	8.7	0.7	2.5	2.43	-999
06-01-2014	4972.0	-3.0	10.3	0.6	6.3	9.20	-999
07-01-2014	6235.1	-5.7	0.1	0.4	5.8	0.00	-999
08-01-2014	9198.8	-8.6	-1.0	0.3	2.4	0.00	-999

Şekil 2.62 : WOFOST Meteoroloji Veri Formatı.

```
** $Id: ed_gelibolu.cab 1.3 1997/09/25 14:07:03 LEM release $
** File ED_GELIBOLU.CAB
** CROP DATA FILE for use with WOFOST Version 5.4, June 1992
**
** WHEAT, GELIBOLU
** Regions : Turkey, ATSTMAEM, Orhaniye Research Unit

** Derived from SUCROS87 data set for wheat.
** Calibrated for use in WOFOST model at ATSTMAEM
** Edirne for the simulation of crop growth and yield on the
** basis of daily weather data.
** Purpose of application: ITU Serhan Yesilkoy PhD Thesis

CRPNAM='Winter Wheat Gelibolu, ATSTMAEM, Orhaniye'

** emergence
TBASEM   =  0.0    ! lower threshold temp. for emergence [cel]
TEFFMX   =  26.0   ! max. eff. temp. for emergence [cel]
TSUMEM   =  10.    ! temperature sum from sowing to emergence [cel d]

** phenology
IDSL     =  0      ! indicates whether pre-anthesis development depends
                   ! on temp. (=0), daylength (=1) , or both (=2)
DLO      = -99.0   ! optimum daylength for development [hr]
DLC      = -99.0   ! critical daylength (lower threshold) [hr]
TSUM1    =1500.    ! temperature sum from emergence to anthesis [cel d]
TSUM2    = 800.    ! temperature sum from anthesis to maturity [cel d]
DTSMTB   =  0.00,   0.00,    ! daily increase in temp. sum
           30.00,   30.00,    ! as function of av. temp. [cel; cel d]
           45.00,   30.00
DVSI = 0.          ! initial DVS
DVSEND   =  2.00   ! development stage at harvest (= 2.0 at maturity [-])

** initial
TDWI     = 200.00  ! initial total crop dry weight [kg ha-1]
LAIEM    =  0.1165 ! leaf area index at emergence [ha ha-1]
RGRLAI   =  0.02   ! maximum relative increase in LAI [ha ha-1 d-1]
```

```
** $Id: kirklareli.new 1.2 1997/09/18 17:33:55 LEM release $
**
** SOIL DATA FILE for use with WOFOST Version 5.0, June 1990
**
** Sandy Loam

SOLNAM='ATSTMAEM-Kirklareli'

** physical soil characteristics

** soil water retention
SMW      =   0.160  !  soil moisture content at wilting point [cm3/cm3]
SMFCF    =   0.331  !  soil moisture content at field capacity [cm3/cm3]
SM0      =   0.533  !  soil moisture content at saturation [cm3/cm3]
CRAIRC   =   0.090  ! critical soil air content for aeration [cm3/cm3]

** hydraulic conductivity
K0       =  25.586  ! hydraulic conductivity of saturated soil [cm day-1]
SOPE     =   1.47   ! maximum percolation rate root zone[cm day-1]
KSUB     =   1.47   ! maximum percolation rate subsoil [cm day-1]
RDMSOL   =   80     ! maximum soil rootable depth [cm]

** soil workability parameters
SPADS    =   0.700  !  1st topsoil seepage parameter deep seedbed
SPODS    =   0.035  !  2nd topsoil seepage parameter deep seedbed
SPASS    =   0.800  !  1st topsoil seepage parameter shallow seedbed
SPOSS    =   0.060  !  2nd topsoil seepage parameter shallow seedbed
DEFLIM   =  -0.100  !  required moisture deficit deep seedbed
```

Şekil 2.63 : WOFOST Bitki ve Toprak Veri Formatı.

WOFOST modeli evapotranspirasyon hesaplamalarını yaparken Penman yöntemini kullanmaktadır. Çizelge 2.8'de AquaCrop, DSSAT ve WOFOST modellerinin bitki gelişimi ve verimi belirlenirken kullandığı yaklaşımlar verilmiştir.

Çizelge 2.8'deki RUE; radyasyon kullanım verimliliğini, P-R; brüt fotosentez – solunum yaklaşımını, HI; hasat indeksini, Gn; tohum sayısını, B; biyokütleyi, DL; gün uzunluğunu, T; sıcaklığı, V; soğuklanmayı ifade etmektedir.

Çizelge 2.8 : Modellerin Bitki Büyümesi ve Gelişiminde Kullandıkları Yöntemler (Palosuo ve diğ., Raes ve diğ., 2009).

	AquaCrop	**DSSAT**	**WOFOST**
Işık kullanımı/ biyokütle gelişimi	RUE	RUE	P-R
Verim Oluşumu	Y(HI, B)	Y(HI(Gn),B)	Y(Prt,B)
Bitki Fenolojisi	f(T, DL, V)	f(T, DL, V)	f(T, DL)
Kök Gelişimi	Lineer	Eksponansiyel	Lineer
Stres Faktörleri	Su, Azot	Su, Azot	Su, Azot
ET Hesabı	Penman-Monteith	Priestly-Taylor	Penman

2.4 Su Ayak İzi Hesaplamaları

Su ayak izinin (Water Footprint, WF) mavi, yeşil ve gri SAİ olmak üzere 3 farklı bileşeni bulunmaktadır. Tarımsal ekosistemde, SAİ miktarının doğru belirlenebilmesi için bu 3 farklı bileşenin anlamlarının doğru kavramak oldukça önemlidir. Bu amaçla, mavi SAİ, tarımsal ürün üretilirken yapılan sulama bilgisi (sulu tarım) olması durumunda hesaplanır. Yeşil SAİ miktarı; yetiştirilen ürünün gerçekleşen yağışa (kuru tarım) göre üretildiği zamandır. Gri SAİ miktarı; gübreleme ile yeraltı sularının ne kadar kirlendiği ile ilgili bilgiyi içermektedir. Bitkiler için toplam SAİ miktarı denklem 2.9 ile hesaplanmaktadır (Tsakmakis ve diğ., 2018; Xu ve diğ., 2019; Elbeltagi ve diğ., 2020).

$$\boldsymbol{SA\dot{I}} = \boldsymbol{SA\dot{I}_{mavi}} + \boldsymbol{SA\dot{I}_{yeşil}} \tag{2.9}$$

Model kalibrasyonun yapıldığı 2014-2018 yılları arasında SAİ (m^3/t) hesaplamalarının ölçüm verileri ile karşılaştırmasının yapılabilmesi için toprak su dengesi (TSD) metoduyla (Denklem 2.10), bitkilerin gelişme dönemindeki gerçek evapotranspirasyon miktarları belirlenmiştir (Allen ve diğ., 1998).

$$\boldsymbol{D_{r,i}} = \boldsymbol{D_{r,i-1}} - (\boldsymbol{P} - \boldsymbol{RO})_{\boldsymbol{i}} - \boldsymbol{I_i} - \boldsymbol{CR_i} + \boldsymbol{ET_c} + \boldsymbol{DP_i} \tag{2.10}$$

Denklemdeki $\boldsymbol{D_{r,i}}$; belli bir zamandaki drenaj miktarını (mm/gün), $\boldsymbol{D_{r,i-1}}$; bir zaman aralığı önceki drenaj miktarını (mm/gün), $\boldsymbol{P}$; yağışı (mm/gün), $\boldsymbol{RO}$; yüzey akışını (mm/gün), $\boldsymbol{I_i}$; sulama miktarını (mm/gün), $\boldsymbol{CR_i}$; kapiler yükselmeyi (mm/gün), $\boldsymbol{ET_c}$; bitki evapotranspirasyon miktarını (mm/gün), $\boldsymbol{DP_i}$; derine sızmayı (mm/gün) ifade

etmektedir. Kuru tarım alanlarında, derine sızma ve yüzey akışı ihmal edildiğinde, bitki evapotranspirasyon miktarı için denklem 2.11'e dönüşmektedir.

SAİ hesaplamasında kullanılan bir diğer değişken de; etkili yağıştır. Bu parametre için farklı yaklaşımlar olmasına rağmen, SAİ hesaplamalarında yaygın olarak Birleşik Devletler Tarım Departmanı'nın (USDA) geliştirmiş olduğu etkili yağış denklemleri kullanılmaktadır (Denklem 2.12 ve Denklem 2.13):

$$\boldsymbol{ET = Yağış \pm \Delta SW} \tag{2.11}$$

Denklemdeki $\boldsymbol{\Delta SW}$; ölçüm zaman aralığındaki, toprak su içeriğindeki değişimi (mm/gün) ifade etmektedir.

$$\text{Eğer} \quad P_{total} < 8.3\ mm \qquad \text{ise} \qquad P_{eff} = \frac{P_{total}(4.17 - 0.2P_{total})}{4.17} \tag{2.12}$$

$$\text{Eğer } P_{total} \geq 8.3\ mm \qquad \text{ise} \qquad P_{eff} = 4.17 + 0.1P_{total} \tag{2.13}$$

Denklem 2.8 ve 2.9'daki P_{eff}; günlük efektif yağış miktarını (mm/gün), P_{total}; günlük toplam yağış miktarını (mm/gün) ifade etmektedir. SAİ bileşenlerinden mavi ve yeşil evapotranspirasyon hesaplamaları, denklem 2.14 ve denklem 2.15 yardımıyla hesaplanmaktadır (Bocchiola ve diğ. 2013; Hoekstra ve diğ., 2011).

$$ET_{Yeşil} = \min(ET_c, P_{eff}) \tag{2.14}$$

$$ET_{Mavi} = \max(0, ET_c - P_{eff}) \tag{2.15}$$

Mavi ve yeşil SAİ hesaplamaları ise denklem 2.16 ve denklem 2.17 yardımıyla hesaplanmaktadır (Bocchiola ve diğ. 2013; Hoekstra ve diğ., 2011).

$$Mavi\ Su\ Ayak\ İzi = 10\ x \frac{ET_{Mavi}}{Verim} \tag{2.16}$$

$$Yeşil\ Su\ Ayak\ İzi = 10\ x \frac{ET_{Yeşil}}{Verim} \tag{3.17}$$

Denklem 2.16 ve 2.17'deki 10 katsayısı, belirlenen ET miktarı biriminin mm/m^2'den m^3/ha'a çevrilmesinde kullanılmaktadır. Verim miktarı (t/ha), SAİ miktarı ise m^3/t biriminde kullanılmaktadır.

2.5 Kuraklık İndeksleri

Geleceğe yönelik meteorolojik değişkenlerin zaman içindeki değişimi, su ayak izi miktarlarının ve kuraklık durumunun tespiti oldukça önemlidir. Bu kapsamda, tez çalışmasında ileriye yönelik kuraklık durumunun belirlenebilmesi için, Standart Yağış

Evapotranspirasyon İndeksi (Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index, SPEI), Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (Palmer Drought Severity Index, PDSI), kendinden kalibre Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (Self-Calibrated Palmer Drought Severity Index, sc-PDSI) değerleri hesaplanmıştır. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), meteorolojik çalışmalarda 3-aylık, tarımsal kuraklık çalışmalarında 6 ve 9-aylık, hidrolojik kuraklık çalışmaları için ise 12-aylık zaman aralıklı indekslerin kullanılmasını tavsiye etmektedir (WMO, 2012).

2.5.1 Standart yağış evapotranspirasyon indeksi

Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI), Standart Yağış İndeksi'nden (SPI) türetilmiş bir indekstir (Vicente-Serrano ve diğ., 2010). Bu indeksin geliştirilmesinin sebebi; SPI indeksinin sadece aylık yağış değeriyle hesaplanıyor olmasıdır. SPEI ise aylık yağış miktarlarına ek olarak, sıcaklık ve buharlaşma verilerinin de hesaplama yöntemine dahil edilerek tarımsal kuraklık çalışmalarında daha anlamlı sonuçlar vermesine imkan tanımaktadır (Tirivarombo ve diğ., 2018; Ribeiro ve diğ., 2019; Starks ve diğ., 2019; Zhang ve diğ., 2019). Bu indeksin kategorizasyonu Çizelge 2.9'da gösterilmektedir.

Çizelge 2.9 : SPEI Kategorizasyonu (Vicente-Serrano ve diğ., 2010).

Kategori	SPEI Değerleri
Aşırı Kurak	< -2.00
Çok Şiddetli Kurak	-1.99 < SPEI < -1.50
Orta Şiddetli Kurak	-1.49 < SPEI < -1.00
Normal Civarı	-0.99 < SPEI < 0.99
Orta Derecede Nemli	1.00 < SPEI < 1.49
Şiddetli Nemli	1.50 < SPEI < 1.99
Aşırı Nemli	> 2.00

SPEI hesaplanması, denklem 2.18 - 2.23 arasında verilmiştir. Bu indeksi hesaplamak için, öncelikle potansiyel evapotranspirasyon miktarını hesaplamak gerekmektedir ve tez çalışmasında Penman Monteith yöntemi (Penman, 1948; Shuttleworth, 1993; Valiantzas, 2013; Zhong ve diğ., 2019) kullanılmıştır.

$$PET = ET_p = \frac{\Delta}{\Delta+\gamma} R_n + \frac{\Delta}{\Delta+\gamma} \frac{6.43(1+0.536U_2)}{\lambda} \quad (2.18)$$

Denklemde Δ; doymuş buhar basınç eğrisinin eğimini (kPa/°C), γ; psikrometrik katsayısını (kPa/°C), R_n; net radyasyonu (MJ/m^2), U_2; 2 m'deki ortalama rüzgar

şiddetini (m/s), λ; suyun buharlaşma gizli ısısını (MJ/kg) ifade etmektedir. Aylık potansiyel ET hesaplanmasını takiben denklem 2.19 ile aylık iklimsel su dengesi hesaplanır.

$$D_j = P_j - PET_j \tag{2.19}$$

Denklemdeki D_j; aylık fark miktarını (mm), P_j; aylık toplam yağış miktarını (mm), PET_j ise; aylık toplam potansiyel evapotranspirasyon (mm) miktarını ifade etmektedir. Hesaplanan D_j değerleri, farklı zaman aralıklarında kümeleştirilebilmektedir. Toplam fark, i yılındaki k. ay zaman aralığında $D_{i,j}^k$ şeklinde gösterilir ve denklem 2.20'deki gibi hesaplanmaktadır:

$$D_{i,j}^k = \begin{cases} \sum_{l=13-k+j}^{12} D_{i-1,l} + \sum_{l=1}^{j} D_{i,l} & j < k \\ \sum_{l=j-k+1}^{j} D_{i,l} + \sum_{l=1}^{j} D_{i,l} & j \geq k \end{cases} \tag{2.20}$$

Denklemdeki $D_{i,l}$, i yılındaki D_l'yi; k, 3-aylık SPEI hesaplaması için 3'ü, 6-aylık SPEI hesaplaması için 6'yı ifade etmektedir. D serisi, yağışın düşük olduğu aylarda negatif değerler alabileceği için log-lojistik dağılıma göre standartlaştırılmaktadır. Olasılık dağılım fonksiyonu içerisindeki x parametresi ise, denklem 2.21'de (Vicente-Serrano ve diğ., 2010) ifade edilmektedir.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)\left[1 + \left(\left(\frac{x-\varphi}{\alpha}\right)\right)\right]^2 \tag{2.21}$$

Denklemdeki β, α ve φ, sırasıyla ölçek, şekil ve orijin parametreleridir ve D değeri, γ > D < ∞ şeklinde bağıntısını sağlamalıdır (Singh ve diğ., 1993; Wang ve diğ., 2015). Log-lojistik fonksiyonu standartlaştırıldıktan (denklem 2.22) sonra SPEI hesaplaması (denklem 2.23 ve 2.24) yapılabilmektedir.

$$F(x) = \int_0^x f(x)dt = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma}\right)^{\beta}\right]^{-1} \tag{2.22}$$

$$SPEI = W - \frac{c_0 + c_1 W + c_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3},\ (W = \sqrt{-2\ln(1-P)}),\ P \leq 0.5 \tag{2.23}$$

$$SPEI = \frac{c_0 + c_1 W + c_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} - W,\ (W = \sqrt{-2\ln(1-P)}),\ P > 0.5 \tag{2.24}$$

Denklemlerdeki P; belirli bir yağış miktarı değişiminin aşılma olasılığını, c_0; 2.515517, c_1; 0.802853, c_2; 0.010328, d_1; 1.432788, d_2; 0.189269, d_3; 0.001308 sabitlerini ifade etmektedir (Li ve diğ., 2015; Wang ve diğ., 2015; Gao ve diğ., 2017;

Polong ve diğ., 2019). SPEI indeksi değerlerinin ortalaması sıfıra, standart sapması 1'e eşittir. Bu sebepten dolayı, farklı zaman, farklı lokasyon ve ileriye yönelik farklı projeksiyon sonuçlarından elde edilen veriler ile SPEI hesaplanmasında ve karşılaştırılmasında bir sakınca bulunmamaktadır (Nam ve diğ., 2015; WMO, 2016; Marcos-Garcia ve diğ., 2019).

2.5.2 Palmer kuraklık şiddeti indeksi

Amerika Birleşik Devletleri'nde, tarımsal kuraklığı izleme amacıyla Palmer (1965) tarafından geliştirilmiş ve halen oldukça yaygın olarak kullanılan bir indekstir (Dai, 2011; Hao ve diğ., 2015). Aylık toplam yağış, potansiyel ET ve toprağın su tutma kapasitesi bilgileri kullanılarak PDSI değerleri hesaplanmaktadır (Alley, 1984; Trenberth ve diğ., 2014). Aylık PDSI değerleri denklem 2.25 ile verilir (Palmer, 1965).

$$X_i = 0.8797X_{i-1} + \frac{1}{3}Z_i \tag{2.25}$$

Denklemdeki X_i ve Z_i; sırasıyla, i. aydaki PDSI ve nem anomali indeksini ifade etmektedir. Bu denklemdeki Z katsayısı ise; denklem 2.26 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$Z = dK \tag{2.26}$$

Denklemindeki K; bir bölgedeki iklim karakteristiği katsayısını ifade eder ve bu değerin hesaplanması için denklem 2.27'den yararlanılmaktadır.

$$K = \frac{Su\ İhtiyacı}{Sağlanan\ Su} = \frac{\overline{PE}+\bar{R}+\overline{RO}}{\bar{P}+\bar{L}} \tag{2.27}$$

Denklemdeki $\overline{PE}$; ortalama potansiyel ET (mm/ay), $\bar{R}$; toprağın ortalama su miktarı ihtiyacı, $\overline{RO}$; ortalama yüzey akışı (mm/ay), $\bar{P}$; ortalama yağış (mm/ay), $\bar{L}$; topraktan çıkan ortalama nemi (mm/ay) ifade etmektedir.

2.5.3 Kendinden kalibre Palmer kuraklık şiddeti indeksi

Kendinden Kalibre Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (sc-PDSI), PDSI indeksinin eksikliklerini gidermek için Wells ve diğ. (2004) tarafından geliştirilmiş PDSI indeksi hesaplamalarını temel alan bir indekstir. Bu indeksin geliştirilmesindeki amaç; PDSI'dan farklı olarak, değişik lokasyon ve iklimlerdeki kuraklık durumunun karşılaştırılmasına olanak sağlamasıdır ve hesaplanırken bölgenin iklimsel

katsayılarını da değerlendirmesidir (Nam ve diğ., 2015; Zhao ve diğ., 2015; Zhang ve diğ., 2019). Bu katsayının belirlenebilmesi için denklem 2.28 ve 2.29 kullanılmaktadır.

$$K' = 1.5 \log_{10}\left[\left(\frac{\overline{PE}+\bar{R}+\overline{RO}}{\bar{P}+\bar{L}} + 2.80/\bar{D}\right)\right] + 0.50 \quad (2.28)$$

$$K = \frac{17.67}{\sum_1^{12} \overline{DK'}} K' \quad (2.29)$$

Denklemlerdeki $\bar{D}$; ortalama nem çıkışını, K'; bir noktadaki iklim karakteristiği katsayısını ifade etmektedir. Bu denklemlerdeki en önemli gelişimin, iklim katsayısının bölgeselden lokasyona indirgenebilmesi olarak belirtilmektedir. PDSI ve sc-PDSI sonuçları değerlendirken Çizelge 2.10'dan yararlanılmaktadır ve 11 farklı değerlendirme kategorisi bulunmaktadır (Palmer, 1965).

Çizelge 2.10 : PDSI ve sc-PDSI Kategorizasyonu (Palmer 1965).

Kategori	PDSI ve sc-PDSI Değerleri
Aşırı Kurak	< -4.00
Çok Şiddetli Kurak	-3.99 < X < -3.00
Orta Şiddetli Kurak	-2.99 < X < -2.00
Biraz Kurak	-1.99 < X < -1.00
Çok Az Kurak	-0.99 < X < -0.50
Normal Civarı	-0.49 < X < 0.49
Çok Az Nemli	0.50 < X < 0.99
Biraz Nemli	1.00 < X < 1.99
Orta Derecede Nemli	2.00 < X < 2.99
Şiddetli Nemli	3.00 < X < 3.99
Aşırı Nemli	> 4.00

3. BULGULAR

Bu bölümde, Trakya Bölgesi'nde yetiştiriciliği yapılan ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin mevcut su ayak izi (SAİ) miktarı toprak su dengesi yöntemi ile belirlenmiş olup tez çalışmasında kullanılan modeller ile karşılaştırılmıştır. Buna ilave olarak, gerçek verim ile modellenen verim arasındaki farklar incelenmiştir. Modeller ile iklim değişikliği senaryolarında belirtilen sıcaklık ve yağış miktarlarındaki değişimlerin, verim ve SAİ'ye etkilerinin hassasiyet analizi yapılmıştır. HadGEM2-ES küresel iklim modelinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre ürettiği sonuçları HIRHAM5 bölgesel iklim modeli vasıtasıyla altölçeklendirilen CORDEX verileri temin edilmiş olup Trakya'da ileriye yönelik (2099 yılına kadar) RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre üretilmiş veriler bitki gelişimi simülasyonu modelleri tarafından ayçiçeği ve kışlık buğday bitkileri için çalıştırılmıştır. Bu modellerden elde edilen sonuçlara göre 2020 yılından 2099 yılına kadar ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre verim ve SAİ miktarlarındaki olası değişimler belirlenmiştir. Temin edilen CORDEX verileri vasıtasıyla Trakya'daki kuraklık durumu SPEI (3, 6, 9 ve 12-ay), PDSI ve sc-PDSI indeksleri ile 2020-2099 yılları arası için hesaplanmış olup ayçiçeği ve buğday bitkilerinin gelişme dönemleri için irdelenmiştir.

3.1 Bitki İklim Modelleri Bulguları

3.1.1 Model kalibrasyonu

Tez çalışmasında kullanılan AquaCrop, DSSAT ve WOFOST modellerinin Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illeri için 2014-2018 yılları arasındaki meteorolojik ölçüm ve bitki fenoloji verileri kullanılarak verim değerlerine göre kalibrasyonu yapılmıştır. Model kalibrasyonu için bu yılların seçilmesinin sebebi ise arazide tarafımca toplanan gerçek ölçüm ve gözlem verilerinin bu yıllarda olmasıdır. Modellerin kalibrasyon işlemi tamamlandıktan sonra verim değerlerine ait elde edilen sonuçlar Çizelge 3.1'de gösterilmektedir.

Bu dönemde kuru olarak yetiştirilen ayçiçeği bitkisinin ortalama verimi 221 kg/da ve buğday bitkisinin ortalama verimi ise 446 kg/da olarak gerçekleşmiştir. Trakya'daki ölçümlerin yapıldığı gelişme dönemlerindeki ortalama verim değerleri Türkiye ortalamasından (Ayçiçeği=160 kg/da; Buğday=232 kg/da) ayçiçeği bitkisi için %38.1, buğday bitkisi için %92 fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, ayçiçeği ve buğday bitkilerinin Trakya'daki ortalama miktarı sırasıyla 238 (%7.6 fazla) ve 375 (%16.0 az) kg/da olduğu belirtilmektedir (TÜİK, 2019). Ayçiçeği bitkisi için yapılan simülasyonlar incelendiğinde AquaCrop, DSSAT ve WOFOST modelleriyle yapılan ortalama bağıl hata oranı sırasıyla %4.7, -%0.3 ve %7.2; normalize kök ortalama karesel hatası (NRMSE) %5.5, %5.3 ve %7.3; ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) %4.7, %4.7 ve %7.2 olarak hesaplanmıştır. Kışlık buğday için yapılan simülasyonlardaki ortalama bağıl hata AquaCrop, DSSAT ve WOFOST modellerinde sırasıyla %0.5, -%4.8 ve %3.3; NRMSE oranı %3.3, %7.9 ve %5.7; MAPE oranı %3.2, %6.3 ve %5.6 olarak hesaplanmıştır. Model kalibrasyon sürecinde ortaya çıkan hata oranı %10'un altında ise "çok iyi", %10-20 arasında ise "iyi", %20-30 arasında ise "kabul edilebilir", %30'dan büyük ise başarısız olarak kabul edilmektedir (Jamieson ve diğ., 1991; Soler ve diğ., 2007; Kadiyala ve diğ., 2015; Mehrabi ve Sepaskhah, 2019).

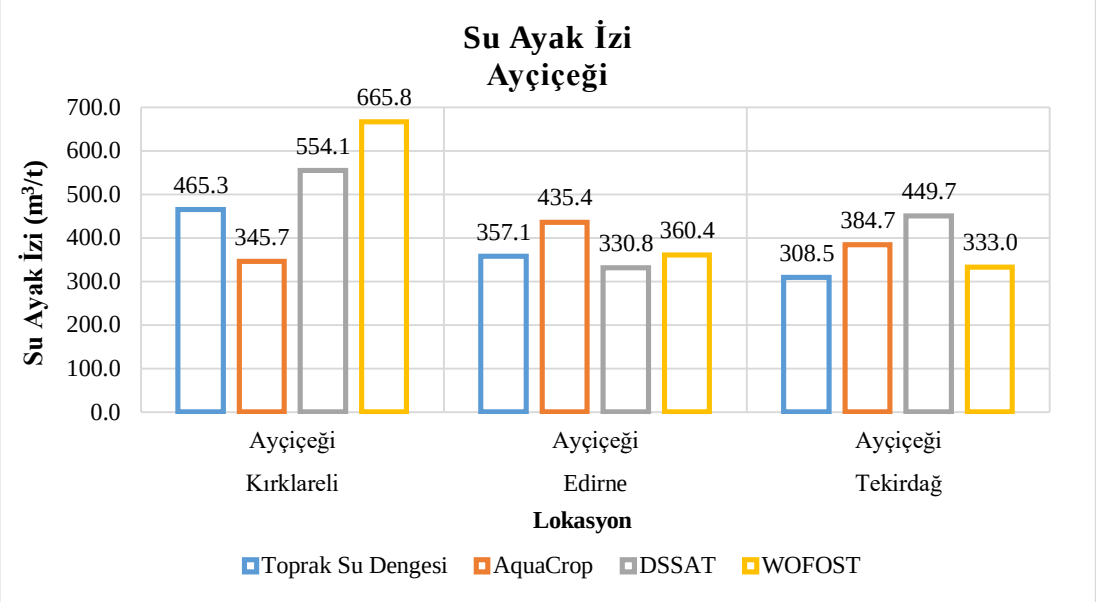
Çizelge 3.1 : Gerçek Verim ve Model Verimlerinin Karşılaştırılması.

Bitki	Lokasyon	Ort. Yağış (mm)	Ort. Verim (kg/da)	AquaCrop Verim (kg/da)	DSSAT Verim (kg/da)	WOFOST Verim (kg/da)
Ayçiçeği	Kırklareli	205.4	224.0	228.2	235.0	238.0
	Edirne	176.2	214.7	223.4	218.3	233.0
	Tekirdağ	170.9	224.3	242.9	207.6	239.9
Kışlık Buğday	Kırklareli	503.0	467.0	459.4	442.6	499.6
	Edirne	518.7	486.0	474.2	430.8	469.3
	Tekirdağ	423.7	384.5	406.1	393.3	409.5

Kuru koşullarda yetiştiriciliği yapılan ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin toprak su dengesi (TSD) yöntemi ve verim değerlerine göre kalibrasyonu yapılan modeller yardımıyla elde edilen SAİ değerleri karşılaştırılmıştır.

Kuru koşullarda yetiştirilen bir bitkinin yeşil SAİ miktarı belirlenirken $ET_{yeşil}$ ve verim değerlerinin bilinmesi gereklidir. $ET_{yeşil}$ miktarının büyük olması gerçekleşen efektif yağışın yüksek olmasıyla bağlantılıdır ve bitkinin gerçek ET miktarı da bununla ilişkili

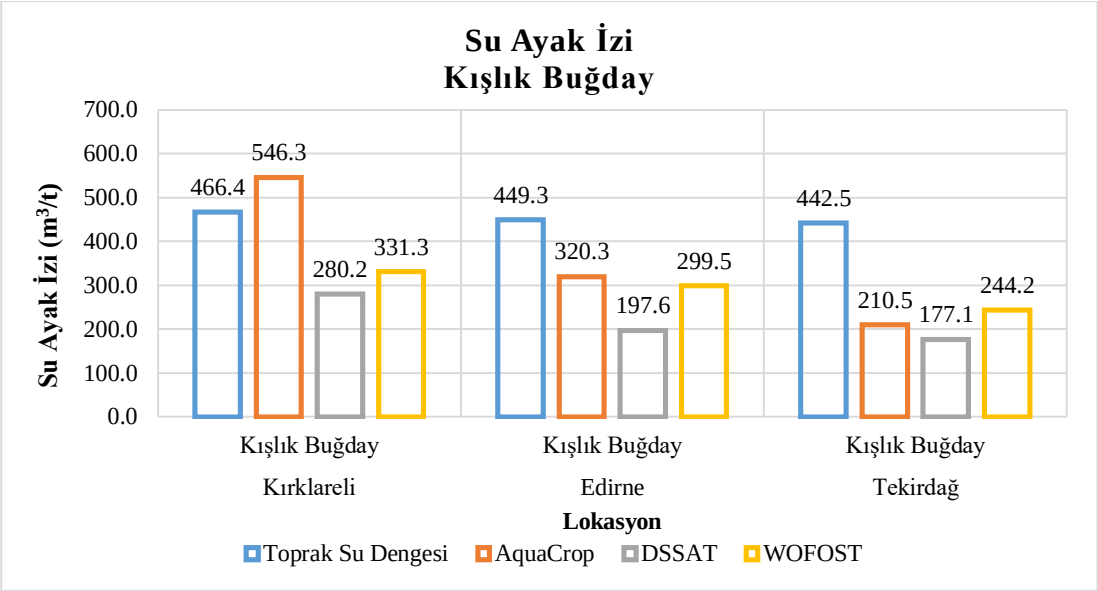
olarak yüksek çıkmaktadır. Tüm dönemdeki $ET_{yeşil}$ miktarı ise, bitki verimine bölünerek SAİ belirlenmektedir. Şekil 3.1'de Trakya'da kuru koşullarda yetiştirilen ayçiçeği bitkisinin SAİ grafiği bulunmaktadır. Trakya'da TSD yöntemine göre ortalama değeri 377 m^3/t olarak hesaplanmıştır. AquaCrop, DSSAT ve WOFOST modelleri ile hesaplanan SAİ miktarları sırasıyla 388.6, 444.9 ve 453.1 m^3/t olarak hesaplanmıştır. Toprak su dengesi yöntemi ve kullanılan modellerden çıkan farklı sonuçların sebebi ise farklı kabuller vasıtasıyla işlemlerin yapılmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca bazı model yüksek çıkarken diğer modeller oldukça farklı sonuçlar ortaya koyabilmektedir. TSD yöntemine göre ayçiçeği bitkisinin Kırklareli'de Edirne ve Tekirdağ'a göre yüksek çıkmasının sebebi yağış miktarının yüksekliğinden kaynaklanmaktadır. Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinde yapılan SAİ hesaplamalarının standart sapma miktarı sırasıyla 135.6, 45.0 ve 62.5 m^3/t olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.1 : Ayçiçeği Bitkisinin Farklı Yaklaşımlarla Elde Edilen SAİ Miktarlarının Karşılaştırması.

Şekil 3.2'de Trakya'da kuru koşullarda yetiştirilen kışlık buğday bitkisinin toprak su dengesi yöntemi ve bitki iklim modelleri ile elde edilmiş SAİ miktarları gösterilmektedir. Toprak su dengesi yöntemi ile elde edilen SAİ ortalaması 452.7 m^3/t olarak hesaplanmıştır ve tüm illerdeki sonuçlar birbirine oldukça yakın belirlenmiştir. AquaCrop, DSSAT ve WOFOST modelleri tarafından hesaplanan kışlık buğday SAİ ortalamaları sırasıyla 359.0, 218.3 ve 291.7 m^3/t olarak hesaplanmıştır. Bitki gelişimi simülasyonu modelleri ise farklı lokasyonlarda oldukça farklı sonuçlar

verebilmektedir. Bunun sebebi ise modellerin ET hesaplamalarında kullanmış olduğu farklı metotların yanı sıra toprak su içeriğinin zamansal değişimi, toprak tipi, bitki fenolojisi ve verimi etkileyen atmosferik koşullar SAİ hesaplamalarında önem arz etmektedir. Bu sebeple ortaya çıkan sonuçlar birbirinden oldukça farklı olmaktadır (Yeşilköy ve Şaylan, 2020).



Şekil 3.2 : Kışlık Buğday Bitkisinin Farklı Yaklaşımlarla Elde Edilen SAİ Miktarlarının Karşılaştırması.

3.1.2 Hassasiyet analizleri

Trakya'da yetiştiriciliği yapılan ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin iklim değişikliğine olan tepkilerinin belirlenmesi için hassasiyet analizi yapılmıştır. Modellerin kalibrasyon işlemleri tamamlandıktan sonra meteorolojik değişkenlerden sıcaklık, yağış ve toplam güneş (global solar) radyasyon değerleri yapay olarak değiştirilerek hassasiyet analizleri yapılmaktadır. Sıcaklık -1°C'tan +7°C'a kadar 1°C aralıkla; yağış +%10'dan -%50'ye kadar %10'luk aralıklarla ve son olarak toplam güneş radyasyon değerleri %2 ve %4 olmak üzere arttırılmıştır. Sadece bu meteorolojik değişkenlerin değişmesine ek olarak ikili şekilde de değişiklikler hassasiyet analizine uygulanmıştır. Toplamda 93 farklı değişim senaryosu uygulanmış olup verim ve SAİ değişimleri AquaCrop, DSSAT ve WOFOST modelleri ile belirlenmiştir.

3.1.2.1 AquaCrop modeli hassasiyet analizi

AquaCrop modeli ile Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerindeki ayçiçeği (Ek A.1-Ek A.6) ve buğday (Ek A.7-Ek A.12) bitkilerinin verim ve SAİ değerlerinin hassasiyet

analizi yapılmıştır. Ayçiçeği bitki verimi, yağış miktarındaki azalma, sıcaklık ve global radyasyon artışından olumsuz etkilenmektedir. 1°C'lık sıcaklık azalışı ve %10'luk yağış artışı ise verim değerlerini ortalama (Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ) %5.5 ve %9.9 oranında arttırmaktadır. Sıcaklığın 1°C aralıklarla 7°C'ye kadar arttırıldığında bölge genelindeki ortalama verim azalışı %39.9 olarak hesaplanmıştır. Yağış miktarındaki %50 azalma ise verim miktarını %46.2 azaltmıştır. Ayçiçeği bitkisinin Edirne ilindeki sonuçları incelendiğinde (Çizelge A.1), verim değerlerindeki en şiddetli azalış %63.9 ile sıcaklığın 7°C arttığı ve yağış miktarındaki %50 azaldığı senaryoda gerçekleşmiştir. Sıcaklığın 1°C azalması verim miktarında %7.2, yağış miktarındaki %10 artış ise verim miktarında %13.2 artış gerçekleşmiştir. Bu iki durumun birlikte yaşandığı senaryoda ise %20.2 verim artışı yaşanmıştır. Kırklareli ve Tekirdağ'daki verim sonuçları incelendiğinde benzer durumlar ortaya çıkmaktadır. Çizelge A.3'e göre Kırklareli'deki verim düşüşü en fazla sıcaklığın 7°C arttığı ve yağışın %50 azaldığı senaryoda %66 olarak gerçekleşmiştir. Verim artışı ise sıcaklığın 1°C azaldığı ve yağışın %10 arttığı senaryoda %15.2 olarak gerçekleşmiştir. Tekirdağ'daki ayçiçeği verimi en fazla %48 ile T+7 ve P-%50 senaryolarının birlikte yaşandığı zamanda gerçekleşmiştir (Çizelge A.5). Global radyasyon miktarının %2 ve %4 artışı ise verim miktarında sırasıyla %1.6 ve %4.3 azalmaya sebep olmuştur.

SAİ miktarı ise hesaplama yönteminden ötürü verim ile ters ilişkiye sahiptir. Diğer taraftan yağış ve sıcaklıktaki değişimler bitki su tüketimi ve efektif yağış miktarını değiştirdiğinden ayrıca etkili olmaktadır. AquaCrop modeli ile ayçiçeği SAİ hassasiyet analizi Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ için yapılmış olup Çizelge A.4 ve Çizelge A.6 arasında gösterilmektedir. SAİ miktarındaki değişim sıcaklık arttığında ve yağış miktarı azaldığında artmaktadır. Ancak, sıcaklık 1°C'lık artışı yağışın %10'luk azalışından daha fazla SAİ miktarını değiştirmektedir. Bunun sebebi bitki evapotranspirasyon miktarının artması ile birlikte verim miktarındaki azalmadır. Yağışın azalması, efektif yağış miktarını ve verimi düşürmektedir. Bu sebeple yağış miktarındaki azalma sıcaklıktaki artış ile aynı oranda SAİ miktarını değiştirmemektedir. Sıcaklıktaki 7°C'lık artış SAİ miktarını Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinde ortalama %82.4 arttırmıştır. Yağış miktarındaki %40 ve %50 azalış SAİ miktarında sırasıyla %25.6 ve %23.6 oranında artmasına neden olmuştur. Global radyasyon miktarındaki %2 ve %4 oranındaki artma SAİ miktarında sırasıyla ortalama %2.1 ve %5.8 artışa sebebiyet vermiştir. Çizelge A.2'de Edirne'de ayçiçeği bitkisi SAİ

miktarının en fazla %129 ile T+7 ve R_g+%4 senaryosunda gerçekleşmiştir. Bunun sebebi ise sıcaklık ve global radyasyon miktarındaki artışın evapotranspirasyon miktarını arttırmasına rağmen verimde azalmaya sebebiyet vermesidir. Sadece yağış miktarındaki azalmalar incelendiğinde ise SAİ'deki en büyük artış %40.4 ile yağışın %30 azaldığı senaryoda gerçekleşmiştir. Kırklareli ve Tekirdağ SAİ miktarındaki değişim (Çizelge A.4 ve Çizelge A.6) oranlarına bakıldığında ise benzer durum gerçekleştiği görülmektedir. Sıcaklıktaki artışın SAİ'deki artışa etkisi yağışın azalışından daha fazla olduğu görülmektedir. SAİ'deki değişim oranı Kırklareli'de T+7 senaryosunda %49.9, P-%50 senaryosunda ise %18.8 olarak belirlenmiştir. SAİ miktarında %4.7 ile düşüş gerçekleşen senaryolar ise T-1 ile T-1 ve P+%10 senaryolarında gerçekleşmiştir. Tekirdağ'da SAİ miktarlarındaki artış oranının en fazla olduğu senaryo %53 ile T+7 ve R_g+%4 senaryolarının birlikte olduğundadır. En fazla düşüş gösterdiği senaryo ise %21.3 ile T-1 ve P-%50 senaryosudur. Bu senaryoda ET miktarında ve efektif yağış miktarında azalma gerçekleşmiştir. Verimdeki azalış bu iki değişkendeki kadar SAİ üzerinde etkili olmamasından kaynaklanmaktadır.

AquaCrop modeli ile kışlık buğday bitkisinin verim ve SAİ miktarlarına uygulanan hassasiyet analizleri Çizelge A.7 ile Çizelge A.12 arasında gösterilmektedir. Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinde yetiştirilen kışlık buğday bitkisi için yapılan hassasiyet analizlerinde görüldüğü üzere sıcaklık artışı buğday verimini arttırdığı, yağış miktarının azalması ve global radyasyon artışı verim miktarının düşürdüğü görülmektedir. Edirne'de yetiştirilen kışlık buğday için yapılan hassasiyet analizi Çizelge A.7'de bulunmaktadır. Bu çizelgeye göre sadece sıcaklığın arttığı durumlarda buğday verimi artış göstermektedir. Bu artış 7°C olduğunda %20.2 olarak gerçekleşmektedir. Sıcaklığın 1°C azalması ise verim miktarını %6.2 düşürmüştür. Yağış miktarının azalması ve R_g miktarının artması ise verime negatif etki yapmaktadır. Sadece yağış miktarının yarıya düşmesi verim miktarını %15.2 azalmasına sebep olmuştur. R_g değerlerinin artması ise verimde sınırlı miktarda azalmaya yol açmıştır. Ancak hem sıcaklığın arttığı ve yağışın azaldığı T+7 ve P-%50 senaryosunda ise verim miktarı %62.9 gibi yüksek oranda düşmüştür. Verim artışı %22.7 ile T+5 ve P+%10 durumlarının birlikte olduğu senaryoda gerçekleşmiştir. Kırklareli'deki buğday bitkisinin hassasiyet tablosu incelendiğinde (Çizelge A.9), sıcaklık artışı verime olumlu etki yapmıştır ama en yüksek verim artışı %12.5 ile T+5 senaryosunda gerçekleşmiştir. T+6 ve T+7 senaryolarında ise verim sırasıyla %12.1

ve %11.7 arttığı belirlenmiştir. Yağış miktarındaki azalma ise P-%50 senaryosunda geldiğinde kışlık buğday bitkisindeki verim kaybı %33.4 olmuştur. Kışlık buğday bitki veriminin %58 ile en fazla azalması T+7 ve P-%50 durumlarının birlikte yaşandığı senaryodur. Kışlık buğday verim artışının en yüksek olduğu senaryo ise T+4 ve P+%10 durumlarının birlikte yaşandığı zamanda %19.9 oranında gerçekleşmiştir. Çizelge A.11'de Tekirdağ'da yetiştirilen kışlık buğday bitkisinin hassasiyet analizi tablosuna göre sıcaklığın arttığı senaryolarda bitki veriminde artış, yağış miktarındaki azalma ve R_g miktarındaki artış bitki verimini olumsuz etkilemiştir. Sadece sıcaklığın arttığı ve 7°C olduğu senaryodaki verim artış %25'e kadar çıkmıştır. Yağış miktarının yarıya düşmesi ise verim miktarının %17.9 azalmasına sebep olmuştur. Ancak bu iki durumun birlikte yaşandığı senaryoda %40.8 ile verim kaybı en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Verim artışının en yüksek yaşandığı senaryo ise T+7 ve P+%10 durumlarının birlikte yaşandığında gerçekleşmiştir.

AquaCrop modeli ile Edirne'de yetiştirilen kışlık buğday için yapılan SAİ hassasiyet analizi Çizelge A.8'de bulunmaktadır. Bu çizelgeye göre sıcaklığın artması SAİ miktarında az da olsa artışa sebep olmuştur ve T+7 senaryosunda %8.8 artış gerçekleşmiştir. Yağış miktarının azalması ise SAİ miktarının azalmasına sebep olduğu görülmüştür ve yağış miktarının yarıya düşmesi ise SAİ miktarını %10.3 oranda azaltmıştır. Bu iki senaryonun birlikte yaşandığı senaryoda ise SAİ miktarı yaklaşık 2.6 katına çıkmıştır. Özellikle sıcaklık ile birlikte yağışın yarıya düştüğü senaryolarda SAİ miktarı keskin bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. Kırklareli'de yetiştirilen kışlık buğdayın SAİ hassasiyet analizi Çizelge A.10'da bulunmaktadır. Sıcaklık artışı ve R_g artışıdaki SAİ miktarı sınırlı olsa da yağışın azaldığı durumlarda da SAİ miktarı artmıştır. SAİ miktarındaki en fazla artış yaklaşık 2.2 ile en fazla T+7 ve P-%50 durumlarının birlikte yaşandığı senaryoda gerçekleşmiştir. Tekirdağ'daki buğday SAİ hassasiyet analizi tablosu Çizelge A.12'de bulunmaktadır. Bu çizelge incelendiğinde sıcaklık artışı SAİ miktarında oldukça az miktarda değişikliğe sebep olduğu görülmektedir. Yağış miktarının yarıya inmesi ise SAİ miktarında %8.8 azalışa sebep olmuştur. SAİ miktarındaki en fazla azalış %14 ile T-1 ve P-%50 durumlarının birlikte yaşandığı senaryoda gerçekleşmiştir.

3.1.2.2 DSSAT modeli hassasiyet analizi

DSSAT modeli ile Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinde ayçiçeği ve kışlık buğday için yapılan hassasiyet analizi sonuçları Çizelge A.13 ile Çizelge A.24'te verilmiştir.

Ayçiçeği sonuçları incelendiğinde global radyasyon, sıcaklık artışının ve yağışın azalmasının verim miktarını azalttığı tespit edilmiştir. Edirne ayçiçeği verim sonuçlarına (Çizelge A.13) göre sıcaklığın ekstrem artışı (7°C) verimde %36.3, yağış miktarındaki %50 azalış ise verimde %48.6 oranında düşüşe sebep olmuştur. Sıcaklık azalışı ve yağış artışı verimi olumlu etkilemiştir. Bu senaryoların birlikte yaşandığı T-1 ve P+%10 senaryosundaki verim %15.2 artış göstermiştir. Verim azalışının en yüksek yaşandığı senaryo ise T+7 ve P-%50 durumlarının birlikte yaşandığı zaman gerçekleşmiştir. Global radyasyonun %2 ve %4 artışı sırasıyla verim miktarını %3.3 ve %6.1 azaltmıştır. Kırklareli için yapılan ayçiçeği bitkisi verim değerleri incelendiğinde (Çizelge A.15) sıcaklık ve global radyasyon değerlerindeki artışlar ve yağış miktarındaki azalışların verime olumsuz etkisi tespit edilmiştir. Sadece sıcaklıktaki 7°C ve R_g değerlerindeki %2 artış verim miktarını sırasıyla %29.7 ve %3.7 oranında düşürmektedir. Yağış miktarındaki %50 azalma ise, verimde %25.2 azalmaya sebep olmuştur. Verim miktarının %47.2 ile en fazla azaldığı senaryo T+7 ve P-%50 durumlarının birlikte olduğu zamandır. Sıcaklık azalması ve yağış artması verime katkı yaptığı görülmektedir ve %12.3 ile en fazla verim artışı T-1 ve P+%10 durumlarının birlikte yaşandığı hassaslık analizidir. Tekirdağ'daki verim miktarları incelendiğinde ise (Çizelge A.17) sıcaklıktaki 2°C artışa kadar artma, 3°C'lık artıştan itibaren verim değerlerinde ise azalma modellenmektedir. Tekirdağ'da ayçiçeği verimin %38.9 ile en fazla azaldığı hassasiyet analizi T+7 ile P-%50 durumlarının birlikte yaşandığı zamandır. Tüm lokasyonlarda sadece R_g değişiminin olduğu durumlarda ise verim değişimi %1.5 ile %6.1 arasındaki oranlarda gerçekleşmiştir.

Ayçiçeği SAİ sonuçları incelendiğinde global radyasyon ve sıcaklığın artışıyla evapotranspirasyon değerlerini arttırmasından dolayı ve bunun yanında verim miktarındaki azalma SAİ üzerindeki artışa sebebiyet vermektedir. Sıcaklığın 7°C'lık artışı ayçiçeği bitkisinin bölgedeki ortalama SAİ miktarını %25.8 sadece yağışın azalması ise efektif yağış miktarında azalma meydana gelir. Bunun yanında verim miktarı da düştüğünden SAİ miktarında azalmalar meydana gelmektedir ve yağış miktarının %50 azalması SAİ miktarı ortalama %17.8 azalmaktadır. Edine ilindeki ayçiçeği SAİ değişimleri incelendiğinde (Çizelge A.15), sıcaklık artışı SAİ miktarında artışa sebep olmaktadır ve en fazla SAİ artışı %31.8 ile T+7 senaryosunda gerçekleşmiştir. Sadece yağış miktarındaki değişimler incelendiğinde SAİ miktarı azalmaktadır ve en fazla azalma %14.9 ile P-%50 senaryosunda olmuştur. Global

radyasyondaki %2 ve %4'lük artış ise SAİ miktarında sırasıyla %3.7 ve %2.7 oranında artış meydana gelmiştir. Kırklareli'deki SAİ değişim miktarları incelendiğinde (Çizelge A.16) ayçiçeği SAİ miktarı sıcaklık arttığı durumda artmaktadır ve yağış azaldığı zamanlarda ise azalmaktadır. Sadece sıcaklık ve yağış azaldığı senaryolarda ise sırasıyla en fazla artış %36.1 ile T+7 ve en fazla azalış ise %20.8 ile P-%50 senaryosunda gerçekleşmiştir. Bu iki senaryonun birlikte yaşandığı durumda ise SAİ miktarı %45.6 oranında artmıştır ve aynı zamanda en yüksek artış gerçekleştiği senaryo olmuştur. Tekirdağ'daki ayçiçeği SAİ senaryoları incelendiğinde (Çizelge A.18) ise Edirne ve Kırklareli'deki benzer durum bulunmaktadır. Sıcaklık artışı SAİ miktarını arttırırken yağış azalması ise SAİ miktarını düşürmüştür. En yüksek SAİ artışı T+7 ve P-%50 durumlarının birlikte olduğu senaryoda gerçekleşmiştir. SAİ miktarının en fazla düştüğü durum ise %28.7 ile P-%50 senaryoda gerçekleşmiştir.

Buğday bitkisi için DSSAT modeli ile verim ve SAİ hassasiyet analizi Çizelge A.19 ile Çizelge A.24 arasındadır. Edirne'deki verim değerleri incelendiğinde (Çizelge A.19), sadece hava sıcaklığının artması buğday veriminde artışa sebep olmaktadır, yağışın azalması da buğday verimini azaltmaktadır. Sadece sıcaklığın arttığı senaryolardaki en fazla verim artışı %19.6 ile T+7 senaryosunda gerçekleşmiştir. Yağış miktarındaki %50 azalış ise verim miktarında %15 oranında azalma tespit edilmiştir. Bunun yanında, hem sıcaklık artışı hem de yağış miktarının azalması verim miktarındaki azalma oranını daha yüksek değerler olmasına sebep olmuştur ve T+7 ve P-%50 durumundaki verim düşüşü %62.9 olarak belirlenmiştir. Kırklareli'deki verim azalma oranlarına bakıldığında (Çizelge A.21), sıcaklık artışı verim değerlerine sınırlı etkisi olmuştur. Sadece sıcaklığın 2°C artışına kadar verim değerlerinde artışa sebep olurken daha fazla sıcaklık artışı verim miktarını azaltmıştır ve T+7 senaryosundaki verim azalışı %8.9 olarak belirlenmiştir. Sadece yağışın azaldığı durumlarda bitki verimi sıcaklık değişimine göre daha fazla etkilenmiştir ve P-%50 durumunda verim miktarı %21 azalmıştır. Tekirdağ verim değerleri ise (Çizelge A.23), sadece sıcaklığın arttığı durumlarda 5°C artışına kadar verim değerlerinde artış olmasına karşın 6 ve 7°C sıcaklık artışında verim miktarları azalmaktadır. Sadece yağışın azaldığı durumlarda ise verim miktarı da azalmaktadır ve P-%50 durumunda verim %23.6 azalmıştır.

Verim %29.7 ile en fazla T-1 ve P-%50 durumlarının birlikte yaşandığı senaryoda gerçekleşmiştir.

DSSAT modeli ile Edirne'deki buğday bitkisinin SAİ değişimleri Çizelge A.20'de bulunmaktadır. Sıcaklık artışı ve yağış azalışı SAİ miktarlarını düşürmüştür. Sıcaklığın 1°C artması ise SAİ miktarını %17.8 arttırdığı belirlenmiştir. SAİ miktarının en fazla arttığı senaryo %117 ile T+7 ve P-%50 durumları birlikte yaşandığında gerçekleşmiştir. Kırklareli'de yetiştirilen buğday bitkisinin SAİ değişimleri Çizelge A.22'de gösterilmektedir. Sıcaklığın 4°C arttığı duruma kadar SAİ miktarlarında artış görülmektedir. Ancak T+7 senaryosunda SAİ miktarı %9.7 azalmıştır. Yağış miktarı azaldıkça SAİ miktarı da azalma eğilimine girmektedir ve P-%50 durumunda SAİ %9.2 azalmıştır. SAİ miktarının %13 ile en fazla arttığı senaryo T-1 ve P+%10 durumları birlikte yaşandığı zamandadır. Buğday bitkisinin Tekirdağ'daki SAİ değişim miktarları Çizelge A.24'te gösterilmektedir. Sıcaklığın 6°C'a kadar artışı SAİ miktarında azalmaya sebep olurken T+7 ve T-1 senaryolarında sırasıyla %3.1 ve %12.2 oranında artış belirlenmiştir. Yağış miktarındaki azalma ise SAİ miktarlarında önemli değişikliğe sebebiyet vermemiştir. SAİ miktarı en fazla %15.2 ile T-1 ve P-%20 durumlarının birlikte olduğu senaryoda gerçekleşmiştir.

3.1.2.3 WOFOST modeli hassasiyet analizi

WOFOST modeli ile ayçiçeği ve kışlık buğday bitki verim ve SAİ hassasiyet analizleri Çizelge A.25 ile Çizelge A.36 arasında gösterilmektedir. Modellenen ayçiçeği verimi; global radyasyon ve sıcaklık artışı, yağış azalışından olumsuz etkilenmektedir. Edirne'de yetiştirilen ayçiçeği bitkisinin verim miktarı için uygulanan hassasiyet analizi Çizelge A.25'te bulunmaktadır. Bu çizelgeye göre sıcaklık artışı ayçiçeği verim miktarını azaltmaktadır. Hava sıcaklığındaki 7°C'lık artış ayçiçeği rekoltesini %31.6 oranında azaltmaktadır. Yağış miktarındaki azalma sıcaklık artışına göre verimi daha fazla etkilediği görülmektedir. Yağış miktarının %20'den %30'a düştüğü durumlar incelendiğinde verim düşüşü %13'ten %26'ya çıkmaktadır. Ayrıca, P-%50 senaryosunda verim miktarı %47.6 oranında düşmektedir. Global radyasyon miktarının artışı verimde önemli etki yaratmamıştır. Edirne'de ayçiçeği veriminin en fazla azaldığı senaryo ise %64.8 ile T+7 ve P-%50 durumlarının birlikte yaşandığı zaman gerçekleşmiştir. Verimin ise en fazla artmış olduğu senaryo ise %6.4 ile T-1 ve P+%10 durumlarının aynı anda yaşandığı zaman gerçekleşmiştir. Kırklareli'de yetiştirilen ayçiçeği bitkisi için de benzer durum görülmektedir (Çizelge A.27).

Sıcaklık artışı, global radyasyon artışı ve yağış miktarındaki azalma verim miktarını negatif etkilemektedir. Sıcaklığın 7°C arttığı durumda ayçiçeği verim miktarı %33 azalmıştır. Yağış miktarındaki azalış verimi daha fazla etkilediği görülmektedir. P-%50 senaryosunda verim miktarı %43.9 düştüğü görülmektedir. Global solar radyasyon miktarının %2 ve %4 artışı ise ayçiçeği verim miktarını sırasıyla %2.3 ve %4.5 oranında düşürdüğü belirlenmiştir. Sıcaklık artışı ve yağış miktarının birlikte azaldığı senaryolarda en şiddetli verim azalışları tespit edilmiştir ve en fazla verim azalışı %55.5 ile T+7 ve P-%50 durumlarının birlikte yaşandığı zamandadır. Yağış miktarının %10 artışı verimde de %14'lük artışa sebep olmuştur ve en fazla verim artışı %19.5 ile T-1 ve P+%10 durumlarının aynı anda yaşandığı zaman gerçekleşmiştir. Tekirdağ'daki yetiştirilen ayçiçeği bitkisinin verimi için yapılan hassasiyet analizi Çizelge A.29'da bulunmaktadır. Tekirdağ'da yetiştirilen ayçiçeği verimi 4°C'a kadar yaşanan sıcaklık artışına kadar olumlu etkilenmektedir. Verim artışı 2°C'ta %8'e kadar çıkmıştır ve bu değerden sonra azalışa geçmektedir. Sıcaklığın 7°C arttığı durumda ise verim kaybı %14 olarak hesaplanmıştır. Yağış azalması verim miktarını azaltmaktadır. Yağışın yarıya düşmesi ayçiçeği verimini %42.9 oranında azaltmaktadır. Sıcaklığın 7°C artması ile birlikte yağışın %50 azaldığı senaryoda verim miktarı yarıya düşmektedir. Verim miktarının en fazla artış gösterdiği senaryo ise %16.6 ile T+2 ve P+%10 durumlarının birlikte yaşandığı zaman gerçekleşmiştir.

Ayçiçeği için yapılan SAİ hassasiyet analizleri incelendiğinde sıcaklık ve global radyasyon artışı SAİ miktarını arttırma eğiliminde olduğu görülmektedir. Yağış miktarındaki azalış ET değerlerini etkilemeyip verim değerlerini etkilediğinden her zaman SAİ miktarını arttırma ya da azaltma eğiliminde olduğu söylenemeyebilir. Çizelge A.26'da Edirne'de yetiştirilen ayçiçeği bitkisinin SAİ hassasiyet analiz değerleri görülmektedir. Sıcaklık artışı SAİ miktarını arttırmaktadır ve 7°C'lık sıcaklık artışı SAİ miktarını %32.7 oranında yükseltmiştir. Bunun yanında yağış miktarındaki azalış SAİ miktarını arttırdığı görülmektedir. Yağışın yarıya düşmesi SAİ miktarını %9.7 arttırmıştır. Ayçiçeği SAİ miktarının en fazla arttığı durum %41.6 ile T+7 ve P-%50 durumlarının birlikte yaşandığı senaryoda gerçekleşmiştir. SAİ miktarının en fazla azaldığı senaryo ise %13.5 ile T-1 ve P-%40 durumlarının birlikte yaşandığı zamandır. Kırklareli'de yetiştirilen ayçiçeği bitkisinin SAİ hassasiyet analizi değerleri Çizelge A.28'de verilmiştir. Sıcaklık artışı (1°C hariç) SAİ miktarını arttırmıştır. Yağış

miktarının azalışı da SAİ miktarını azalttığı (P-%50 hariç) görülmektedir. SAİ miktarının en fazla artış gösterdiği senaryo %50.9 ile T+6 ve R_g+%4 durumlarının birlikte yaşandığı senaryoda gerçekleşmiştir. Ayçiçeği SAİ miktarının %17 ile en fazla azaldığı senaryo ise T-1 ve P+%10 durumlarının birlikte yaşandığı zamandır. Tekirdağ'da yetiştirilen ayçiçeği bitkisinin SAİ hassasiyet analizi Çizelge A.30'da bulunmaktadır. Sıcaklık artışının 5°C'a kadar olan kısmında SAİ miktarı ortalama %5 azalmaktadır. Sıcaklığın 6 ve 7°C artış gösterdiği senaryolarda SAİ artışı sırasıyla %4.3 ve %9.2 oranında olmuştur. Yağış miktarının azalışı ayçiçeği SAİ miktarını arttırmaktadır ve yağışın yarıya düşmesi %7.5 SAİ azalması meydana getirmiştir. Tekirdağ'daki ayçiçeği SAİ miktarındaki en fazla artış %14 ile T+7 ve P-%40 durumlarının birlikte yaşandığı senaryodur. En fazla düşüş göstermiş olduğu senaryo ise %8.7 ile T+2 ve P+%10 durumlarının birlikte olduğu zamanda gerçekleşmiştir.

WOFOST modeli ile kışlık buğday bitkisinin verim ve SAİ miktarları için yapılan hassasiyet analizi tabloları Çizelge A.31 ile Çizelge A.36 arasında bulunmaktadır. Kışlık buğday için yapılan simülasyonalarda verim değerleri incelendiğinde sıcaklık artışı verim miktarını arttırdığı, yağış azalması ve global radyasyondaki artış kışlık buğday verimini düşürdüğü belirlenmiştir. Çizelge A.31'de Edirne'deki kışlık buğday veriminin hassasiyet analizi bulunmaktadır. Sadece sıcaklık artışının olduğu senaryolarda verim miktarını arttırmaktadır. Ancak sıcaklığın artışıyla verim artış oranı azalmaktadır. Buna rağmen T+7 senaryosunda %20.2 verim artışı yaşanmıştır. Yağışlardaki azalma ise verim miktarını azaltmaktadır. Yağış miktarının yarıya inmesi verim miktarında %15'lik kayıp yaşanmasına yol açmaktadır. Bunlara ek olarak, hem sıcaklığın 7°C artışı ve yağışın yarıya indiği senaryodaki verim azalışı %62.9 olarak belirlenmiştir. Verim artışının %22.7 oranında gerçekleştiği senaryo ise T+5 ve P+%10 durumlarının birlikte yaşandığı zamanda gerçekleşmiştir. Kırklareli'de yetiştirilen kışlık buğday verimi için yapılan hassasiyet analizi Çizelge 3.34'te bulunmaktadır. Sadece sıcaklığın arttığı senaryolar incelendiğinde verim miktarı sürekli artış göstermektedir ve T+7 senaryosunda %12.6 verim artışı belirlenmiştir. Ancak verim artış miktarı 7°C'a gelindiğinde azaldığı görülmektedir. Sıcaklığın 1°C artması ise verim miktarını %12.6 oranında arttırmıştır. Yağış miktarının azalması ise kışlık buğday verimini düşürmektedir ve yağışların yarıya düşmesi verimi %30.7 oranında azaltmıştır. Verim miktarı en fazla azalmasının modellendiği senaryo %54.9 ile T-1 ve P-%50 durumlarının birlikte yaşandığında gerçekleşmiştir. Kışlık buğday

veriminin en fazla artış gösterdiği senaryo ise %18.2 ile T-1 ve P+%10 durumlarının birlikte yaşandığındadır. Tekirdağ'da yetiştirilen kışlık buğday bitkisinin verim için yapılan hassasiyet analizi Çizelge 3.36'da bulunmaktadır. Sadece sıcaklık artışının olduğu durumlarda verim miktarı %17.9'a kadar T+7 senaryosunda gerçekleşmiştir. Sıcaklığın 1°C azalışı verimi %4.3 azalttığı belirlenmiştir. Yağışın azaldığı senaryolar incelendiğinde ise verim %30'a kadar azalmıştır (P-%50 senaryosu). Verim artışının en fazla olduğu senaryo ise %18.4 oranında T+7 ve P+%10 durumlarının birlikte yaşandığında gerçekleşmiştir.

WOFOST modeli ile kışlık buğday bitkisinin SAİ değişimi için yapılan hassasiyet analizi değerleri Edirne için Çizelge A.32'de gösterilmektedir. Sadece sıcaklık ve global radyasyon artışı, yağış azalışı olan senaryolarda SAİ miktarları azalmaktadır. Sadece sıcaklığın azaldığı senaryolar incelendiğinde SAİ'nin en fazla azaldığı senaryo T+4 olarak belirlenmiştir. Sadece yağışın azaldığı senaryolar incelendiğinde ise SAİ azalışının en fazla olduğu senaryo yağış miktarının yarıya indiği durumdadır. Tüm senaryolar incelendiğinde ise SAİ miktarının %37.2 ile en fazla azaldığı ve %79.8 ile en fazla artış gösterdiği senaryolar sırasıyla T+3 ve P-%50 ile T+7 ve P-%50 senaryolarında meydana gelmiştir. Kırklareli'de yetiştirilen kışllık buğday bitkisine ait SAİ hassasiyet analizi Çizelge A.34'te bulunmaktadır. Sadece sıcaklığın arttığı senaryolarda SAİ miktarı sürekli olarak azalmaktadır. T+7 senaryosunda SAİ miktarı %24 azalmaktadır. Sıcaklığın 1°C azaldığı senaryoda ise SAİ miktarı %4 artış göstermiştir. Sadece yağış azaldığı senaryolarda ise SAİ artışı P-%40'a kadar olmuştur. P-%50 senaryosunda SAİ miktarı düşme eğilimine girmektedir. Global radyasyondaki %2 ve %4'lük artışlar kışlık buğday miktarında kısıtlı etki bıraktığı belirlenmiştir. Tüm senaryolar incelendiğinde ise en fazla SAİ artışı (%14.8) ve azalışı (%31.1) gerçekleşen senaryolar sırasıyla P-%40 ve R_g+%4 ile T+7 ve P-%50 senaryolarında gerçekleşmiştir. Tekirdağ'da yetiştirilen kışlık buğday için yapılan SAİ hassasiyet analizi Çizelge A.36'da bulunmaktadır. Sadece sıcaklığın arttığı senaryolar incelendiğinde SAİ miktarının azaldığı görülmektedir. Sıcaklığın 7°C arttığı durumda SAİ miktarı %34.4 düşmüştür. Sıcaklığın 1°C azaldığı senaryoda ise SAİ miktarı %6 oranında artış gösterdiği belirlenmiştir. Yağış miktarındaki azalışlar SAİ değişiminde önemli etki bırakmadığı görülmektedir. Bunun sebebi, verim miktarının SAİ miktarını arttıracak kadar düşmemesinden kaynaklanmasıdır. Global radyasyon miktarındaki artış ise SAİ değişiminde kısıtlı olsa da arttırma eğiliminde olduğu görülmektedir.

Buğday SAİ miktarının en fazla azalış gösterdiği senaryo %33.6 ile T+7 ve P-%10 durumlarının birlikte olduğu zamanda gerçekleşmiştir. SAİ miktarının en çok azalış gösterdiği diğer iki senaryo ise %33.4 olarak hesaplanmış olup T+7 ile birlikte T+7 ve P+%10 durumlarının birlikte olduğunda meydana gelmiştir. Buğday SAİ miktarının en çok artış göstermiş olduğu senaryo ise %10.8 ile T-1 ve R_g+%4 durumlarının birlikte yaşandığı zamandır.

3.1.2.4 Modellerin hassasiyet analizlerinin değerlendirilmesi

Yukarıdaki bölümlerde ayçiçeği ve kışlık buğday bitkileri için üç farklı modelin ayrı ayrı meteorolojik faktörlerdeki tekil ve birleşik değişimlere verdiği tepkiler verim (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4) ve SAİ (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6) açısından belirlenmiştir. Bu bölümde her üç modelin bu bitkiler için vermiş olduğu sonuçlar topluca değerlendirilmiştir.

- AquaCrop modeli ile yapılan ayçiçeği ve buğday bitkilerinin hassasiyet analizleri incelendiğinde; Ayçeği bitkisinin verim miktarı, sıcaklık artışından olumsuz etkilenmiştir. Hava sıcaklığının 7°C arttığı (T+7) senaryodaki verim azalışı ortalama %37.7; yağış miktarının %50 azaldığı (P-%50) senaryoda verim %40.9 azalmış ve bu iki durumun birlikte yaşandığı senaryoda (T+7; P-%50) ortalama %59.5 oranında verim azalmıştır.

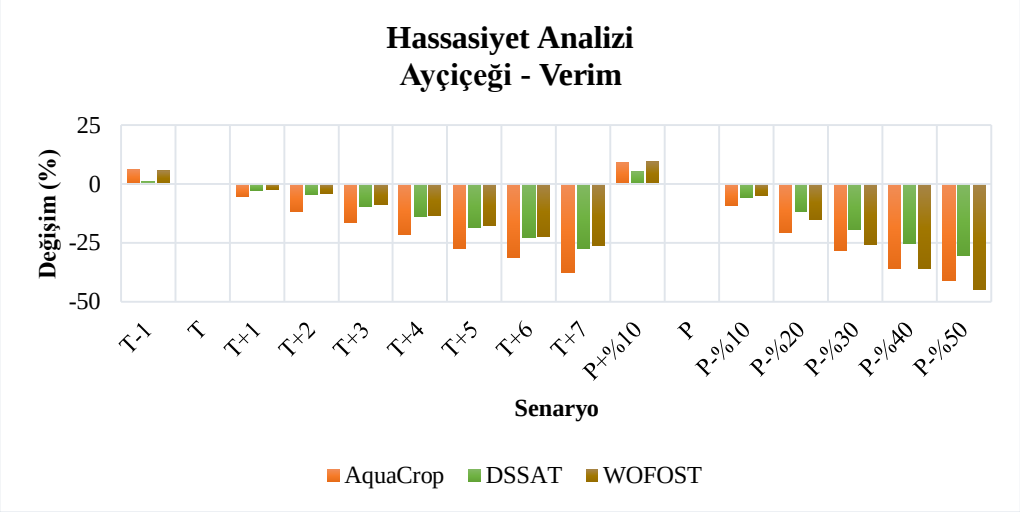
- AquaCrop modeli ile yapılan hassasiyet analiznde, ayçiçeği bitkisinin aksine, sıcaklık artışının buğday bitkisinin verimini olumlu etkilediği belirlenmiştir. Maksimum sıcaklık artış hasasiyet analizi (T+7) sonucunda, ortalama verim artışı %19.2 ve maksimum yağış azalma hassasiyet analizi (P-%50) sonucunda ise, ortalama verim azalışı %22.2 olmuştur. Ancak bu iki durumun birlikte yaşandığı senaryolarda maksimum verim azalışı (%53.9) tespit edilmiştir.

- DSSAT modeli ile ayçiçeği için yapılan hassasiyet analizleri incelendiğinde sıcaklık artışı ve yağış azalışı verim miktarını düşürmüştür. Ancak bu durumların birlikte yaşandığı senaryolardaki verim azalış miktarı en yüksek olmaktadır ve T+7; P-%50 senaryosundaki maksimum verim azalışı %50.8 olmuştur. Verim artışının sınırlı miktarda da olsa sıcaklık azalışı ve yağış artışı senaryolarında gerçekleşmektedir.

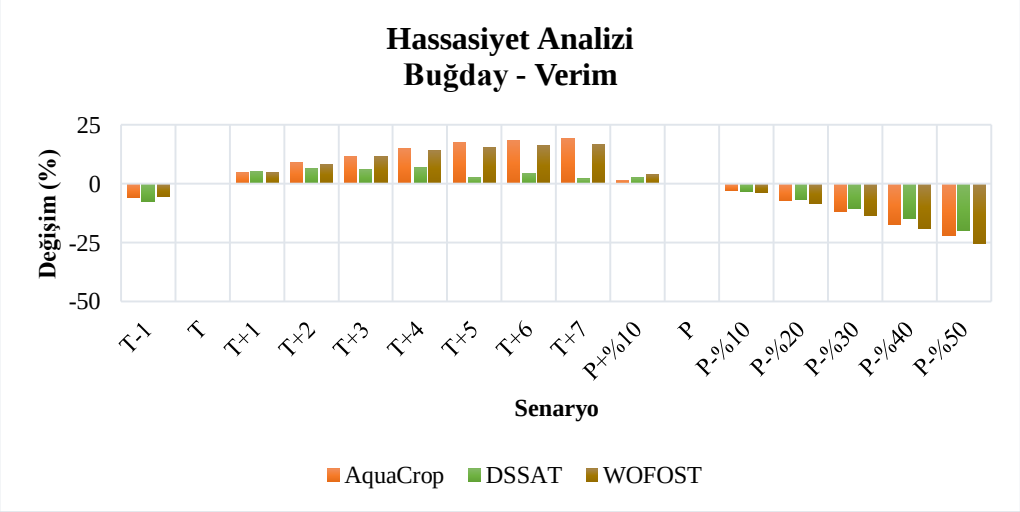
- DSSAT modeli ile buğday bitkisi için yapılan hassasiyet analizlerinde ise, verim miktarı sıcaklığın artması ile artış göstermiştir. Verimin en fazla düşüş gösterdiği

T+7 ve P-%50 durumlarının birlikte yaşandığı senaryodaki maksimum verim azalışı %41.1 olarak hesaplanmıştır.

- WOFOST modeli ile ayçiçeği bitkisi için yapılan hassasiyet analizleri incelendiğinde ise, sıcaklık artışı verimi düşürmüştür. Örneğin sıcaklığın 4°C'a kadar arttığı durumlarda ortalama verim kaybı %13.3 olmuştur. Sadece yağış miktarının %20 ve %50 azaldığı senaryolardaki ayçiçeği verim miktarındaki kayıp sırasıyla %14.9 ve %44.8 olarak hesaplanmıştır.
- WOFOST modeli ile buğday bitkisi için yapılan hassasiyet analizi incelendiğinde ise, sıcaklık artışı verim miktarını arttırmıştır. Sadece sıcaklığın 3 ile 6°C arasında arttığı senaryolardaki verim miktarı sırasıyla ortalama %13.0 ve %16.2 oranında artış göstermiştir.

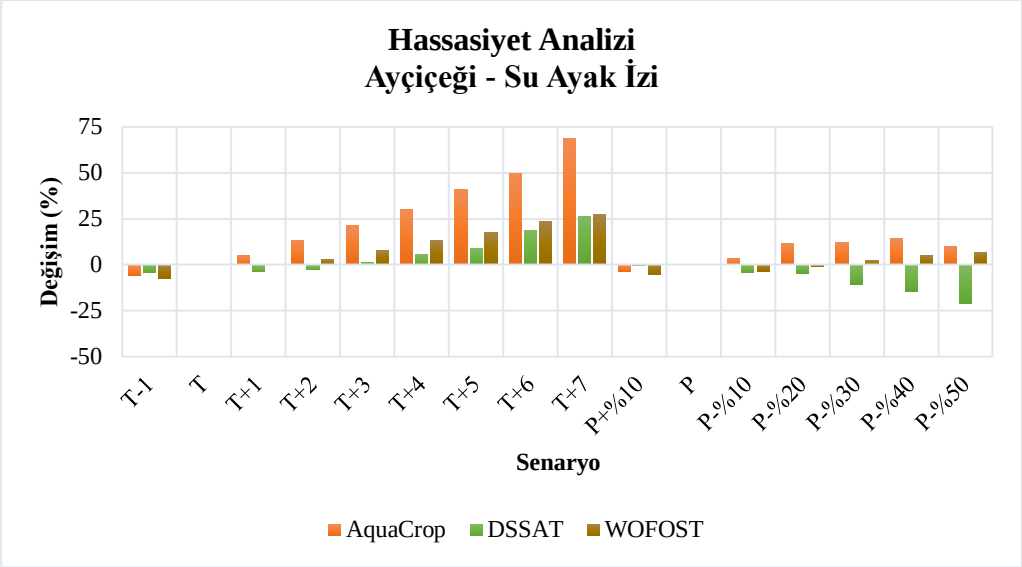


Şekil 3.3 : Ayçiçeği Bitkisinin Sıcaklık ve Yağış Değişimlerine Göre Verim Değişimi.

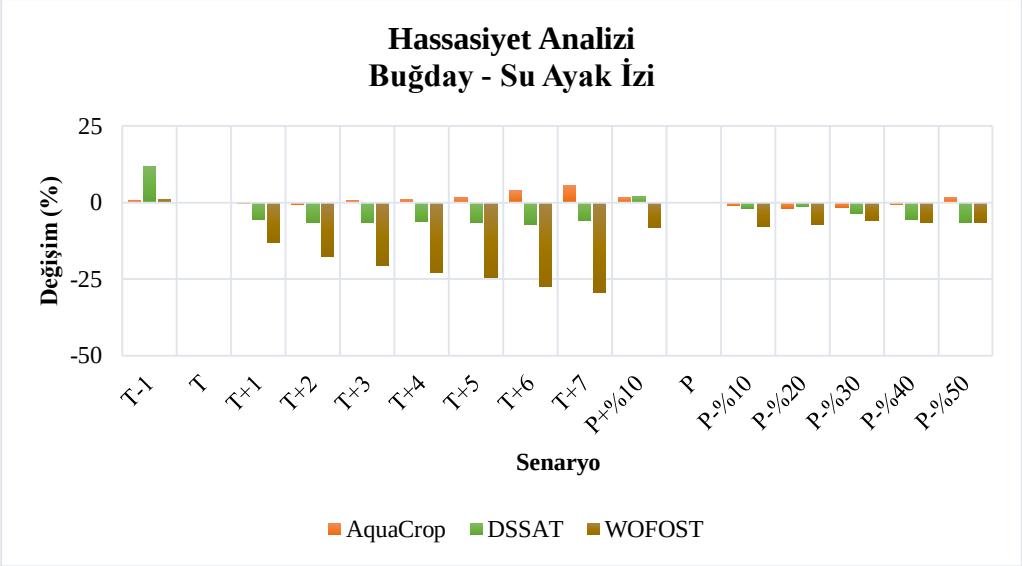


Şekil 3.4 : Buğday Bitkisinin Sıcaklık ve Yağış Değişimlerine Göre Verim Değişimi.

Hassasiyet analizleri bitki verimlerinin yanında SAİ değerleri için sıcaklık, yağış ve global solar radyasyon değişimleri için belirlenmiştir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te ayçiçeği ve buğday bitkilerinin SAİ değişimleri sıcaklık ve yağış miktarlarındaki değişimler ile ortalama SAİ değişim miktarları verilmiştir.



Şekil 3.5 : Ayçiçeği Bitkisinin Sıcaklık ve Yağış Değişimlerine Göre SAİ Değişimi.



Şekil 3.6 : Buğday Bitkisinin Sıcaklık ve Yağış Değişimlerine Göre SAİ Değişimi.

- Tüm modellerde, ayçiçeği bitkisinin SAİ miktarı sıcaklığın arttığı senaryolarda artış göstermiştir. Yağışın azaldığı senaryolarda DSSAT modeli azalma gösterirken, diğer modeller artış göstermiştir. Bunun durum, modellerin verim ve ET hesaplamalarında kullandıkları eşitlikler ve katsayılardan kaynaklanabilir.

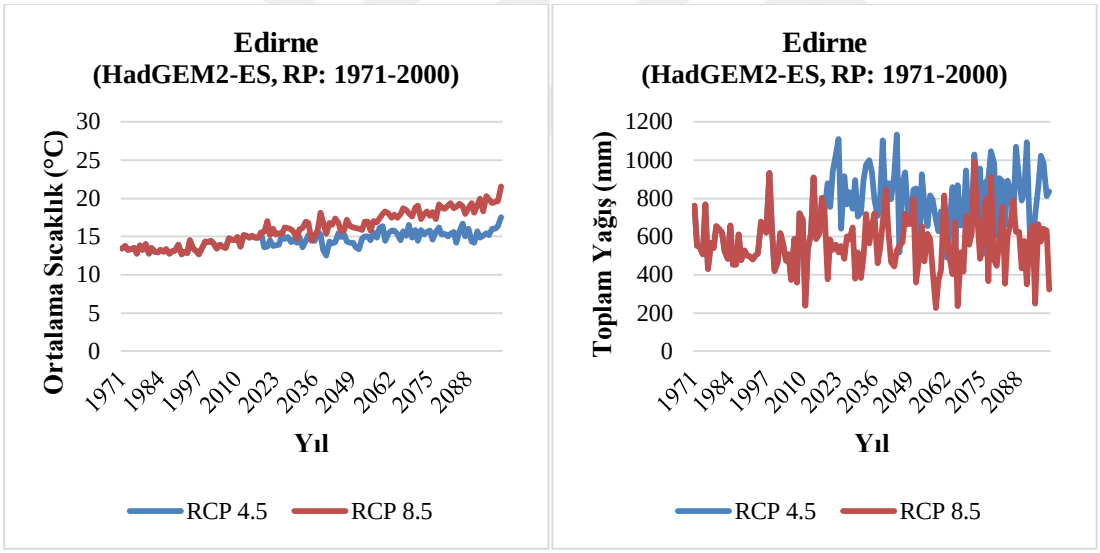
- Buğday bitkisinin SAİ değişimleri ise sıcaklığın arttığı senaryolarda AquaCrop modeli sınırlı da olsa artış gösterirken diğer modeller azaldığını belirlemişlerdir. Sadece yağışın azaldığı senaryolarda ise, SAİ miktarı azalmıştır.

3.2 İklim Projeksiyon Bulguları

Tez çalışmasında, Trakya Bölgesi'nin meteorolojik değişkenlerinin gelecekteki değişimleri EURO-CORDEX'ten günlük olarak temin edilmiş ve günümüzden ileriye doğru 3 dönem (P1: 2020-2040, P2: 2041-2070 ve P3: 2071-2100) halinde incelenmiştir. İleriye yönelik meteorolojik değişkenlerin durumu HadGEM2-ES genel sirkülasyon modeli sonuçlarınının HIRHAM5 (Christensen ve diğ., 2007) bölgesel iklim modeli ile alt ölçeklendirilerek elde edilen 0.11° (~12.5 km) yatay çözünürlüğe sahip günlük simülasyon sonuçları belirlenmiştir. RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre günlük simülasyon sonuçlarından elde edilen yıllık ortalama, maksimum, minimum sıcaklık ve toplam yağış miktarlarının 1971-2099 yılları arasındaki zaman serileri Edirne (Şekil 3.7 – Şekil 3.8), Kırklareli (Şekil 3.9 – Şekil 3.10) ve Tekirdağ (Şekil 3.11 – Şekil 3.12) istasyonları için gösterilmektedir. Bu zaman serilerinde 1971-2019 yılları arasındaki verilerin ölçüm ortalamalarını içermektedir. 2020 yılından 2099 yılına kadar olan veriler model verilerini ifade etmektedir. Ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık zaman serileri incelendiğinde 2000'li yıllardan itibaren sıcaklıklarda artış görülmektedir ve ilerleyen dönemlerde de hem iyimser hem de kötümser senaryolara göre sıcaklıklardaki artışın devam edeceği görülmektedir.

Şekil 3.7'de Edirne için 1971-2099 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış zaman serileri bulunmaktadır. Edirne'nin yıllık ortalama sıcaklığı 13.8°C; maksimum sıcaklığı 19.9°C; minimum sıcaklığı 8.5°C olarak ölçülmüştür. RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre 2020-2099 dönemindeki yıllık ortalama sıcaklık tahmini (değişim miktarları) sırasıyla 15.0°C (+1.2°C) ve 17.5°C (+3.7°C) olarak öngörülmektedir. Dönemsel olarak bakıldığında ise P1 döneminde RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla 14.4°C (+0.6°C) ve 15.9°C (+2.1°C), P2 döneminde RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla 15.0°C (+1.2°C) ve 17.1°C (+3.1°C), P3 döneminde RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla 15.5°C (+1.7°C) ve 18.9°C (+5.1°C) olarak tahmin edilmektedir. 2020-2099 döneminde öngörülen maksimum ve minimum yıllık ortalama sıcaklık (değişim miktarları) RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla 22.5°C (+2.6°C) ve 23.6°C (+3.7°C) ile 12.5°C (+4.0°C) ve 14.4°C (+5.9°C) olarak tahmin

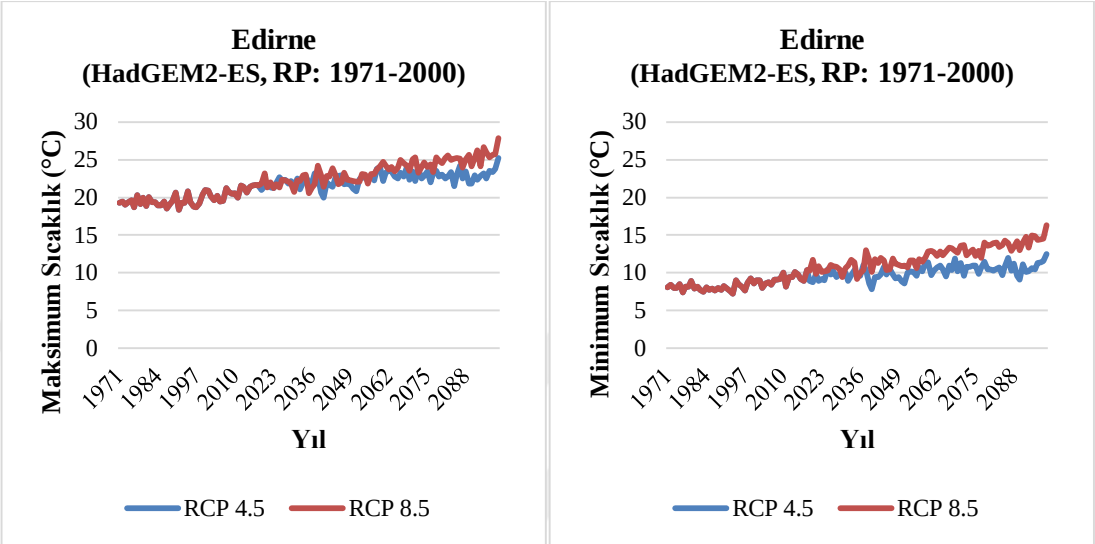
edilmektedir. Yıllık toplam yağış miktarı zaman serileri incelendiğinde ise Edirne'nin 1971-2019 arasındaki yıllık ortalama toplam yağış miktarı 583.7 mm olarak ölçülmüştür. İleriye yönelik RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları incelendiğinde ise 2020-2099 yılları arasındaki yıllık ortalama toplam yağış miktarı (değişim miktarları) sırasıyla 813.4 (+%39.4) ve 564.9 (-%3.2) mm olarak tahmin edilmektedir. Bu dönemdeki yıllık en yüksek ve en düşük yağış miktarı RCP 4.5 senaryosuna göre sırasıyla 1133.2 ve 993.2 mm ile RCP 8.5 için ise 487 ve 223.9 mm olarak tahmin edilmektedir. Dönemsel olarak incelendiğinde ise P1, P2 ve P3 dönemlerindeki yıllık ortalama toplam yağış RCP 4.5 senaryosunda sırasıyla 857.7, 755.4 ve 841.3 mm olarak tahmin edilmektedir. Bu durum RCP 4.5'a göre geçmiş ile karşılaştırıldığında P1 dönemi %46.9, P2 dönemi %29.4 ve P3 dönemi %44.1 daha nemli (yağışlı) geçeceğini göstermektedir. Yıllık toplam yağış miktarı (değişim miktarları) RCP 8.5 senaryosuna göre P1, P2 ve P3 dönemlerinde sırasıyla 571.7 (-%2.1), 535.6 (-%8.2), 590.4 (+%1.1) mm olarak tahmin edilmektedir.



Şekil 3.7 : Edirne İlinin HadGEM2-ES Modeli Tarafından RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilen Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yıllık Toplam Yağış Zaman Serileri.

Şekil 3.8'de Edirne iline ait ölçüm ve HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre elde edilmiş maksimum ve minimum sıcaklık zaman serileri bulunmaktadır. 2020-2099 yıllarındaki yıllık ortalama maksimum ve minimum sıcaklıklar (değişim miktarları) RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sırasıyla 22.5°C (+2.6°C) ve 23.6°C (+3.7°C); 10.2°C (+1.7°C) ve 12.3°C (+3.8°C) olarak tahmin edilmektedir. Dönemsel olarak incelendiğinde ise yıllık ortalama maksimum sıcaklık RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla P1 döneminde 21.9°C (+2.0°C) ve 22.0°C

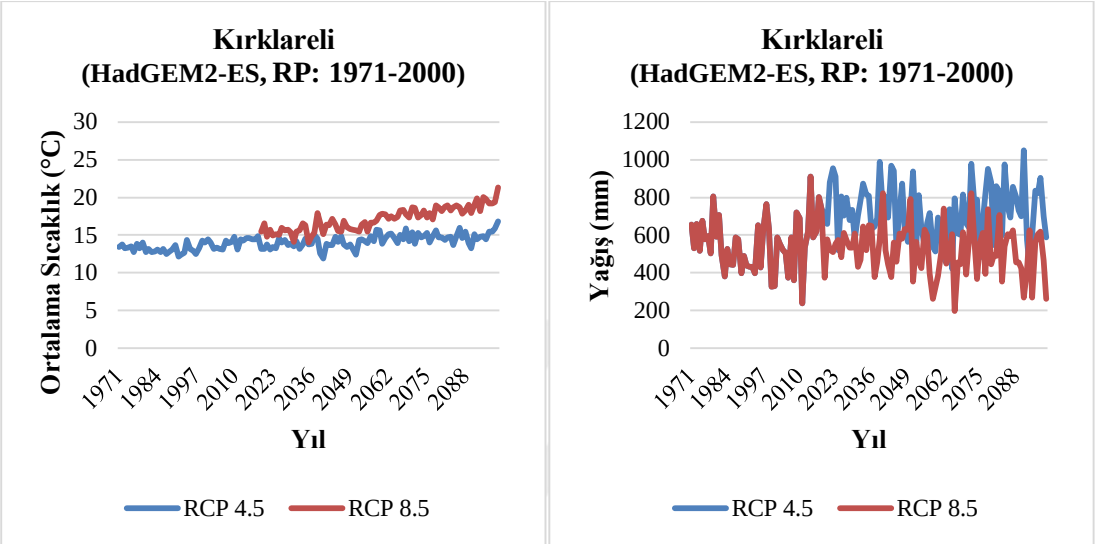
(+2.1°C); P2 döneminde 22.6°C (+2.7°C) ve 23.3°C (+3.4°C); P3 döneminde 23.0°C (+3.1°C) ve 25.1°C (+5.2°C) olarak tahmin edilmektedir. Yıllık ortalama minimum sıcaklık değerleri RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sırasıyla P1 döneminde 9.6°C (+1.1°C) ve 10.7°C (+2.2°C); P2 döneminde 10.2°C (+1.7°C) ve 11.9°C (+3.4°C); P3 döneminde ise 10.7°C (+2.2°C) ve 13.7°C (+5.2°C) olarak öngörülmektedir.



Şekil 3.8 : Edirne İlinin HadGEM2-ES Modeli Tarafından RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilen Yıllık Maksimum ve Minimum Sıcaklık Zaman Serileri.

Kırklareli'ye ait yıllık ortalama, maksimum, minimum sıcaklık ve toplam yağış miktarı zaman serileri Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da bulunmaktadır. Kırklareli'de 1971-2019 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklık 13.5°C ve toplam yağış 553.3 mm olarak ölçülmüştür. Bu dönemdeki minimum ve maksimum yıllık ortalama sıcaklık sırasıyla 12.2°C (1991 yılı) ve 14.8°C (2018 yılı) olarak ölçülmüştür. Yıllık toplam yağış miktarının en düşük olduğu 2011 yılında 237.4 mm, en yüksek olduğu 2014 yılında ise 909.4 mm olarak ölçülmüştür. Kırklareli'deki yıllık ortalama sıcaklık RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre yükselmektedir ve 2020-2099 dönemindeki tahmin edilen sıcaklık (değişim miktarları) sırasıyla 14.4°C (+0.9°C) ve 17.2°C (+3.7°C) olarak tahmin edilmektedir. Dönemsel olarak bakıldığında ise RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları yıllık ortalama sıcaklıklar P1, P2 ve P3 döneminde sırasıyla 13.7°C (+0.2°C) ve 15.6°C (+2.1°C); 14.4°C (+0.9°C) ve 16.8°C (+3.3°C); 14.9°C (+1.4°C) ve 18.7°C (+5.2°C) olarak tahmin edilmektedir. Yıllık toplam yağış miktarı incelendiğinde ise 2020-2099 dönemindeki RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sırasıyla 724.7 (+%29.6) ve 518.4 mm (-%7.3) olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre tahmin edilen en düşük ve en yüksek yıllık yağış

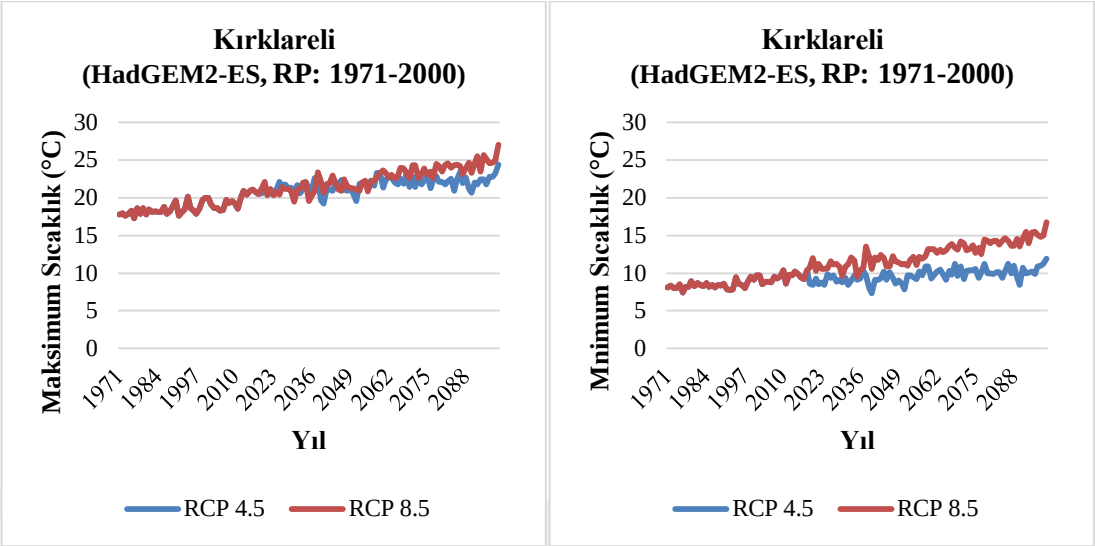
miktarları ise sırasıyla 412.8 ve 196.8 mm; 1048.3 ve 822.9 mm olarak öngörülmektedir. Dönemsel olarak incelendiğinde yıllık toplam yağış miktarı ise RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre P1 döneminde 757.6 (+%35.5) ve 556.2 mm (-%0.6); P2 döneminde 675.2 (+%20.7) ve 497.0 mm (-%11.1); P3 döneminde ise 752.1 (+%34.5) ve 513.2 mm (-%8.2) olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.9 : Kırklareli İlinin HadGEM2-ES Modeli Tarafından RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilen Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Toplam Yağış Zaman Serileri.

Kırklareli'nin 1971 yılından günümüze kadar olaran yıllık maksimum ve minimum sıcaaklık ölçümleri ve 2099 yılına kadar olan RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre elde edilen zaman serileri Şekil 3.10'da gösterilmektedir. 1971-2019 yılları arasındaki verilere göre yıllık maksimum ve minimum sıcaklıklar sırasıyla 18.8°C ve 8.8°C olarak ölçülmüştür. Maksimum ve minimum sıcaklık ortalamaları 2000li yıllardan itibaren yükseliş trendine girmiştir ve iyimser ve kötümser senaryolara göre sıcaklıkların artması ilerleyen yıllarda da devam edeceği öngörülmektedir. Maksimum ve minimum sıcaklık ortalamaları (değişim miktarları) 2020-2099 yıllarında RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sırasıyla 21.8°C (+2.0°C) ve 22.7°C (+3.9°C); 9.7°C (+0.9°C) ve 12.7°C (+3.9°C) olarak tahmin edilmektedir. İleriye yönelik dönemsel olarak tahmin edilen yıllık maksimum sıcaklık hesaplandığında ise RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre P1 döneminde 21.1°C (+2.3°C) ve 21.2°C (+3.4°C); P2 döneminde 21.8°C (+3.0°C) ve 22.4°C (+3.6°C); P3 döneminde ise 22.3°C (+3.5°C) ve 24.2°C (+5.4°C) olarak tahmin edilmektedir. Yıllık minimum sıcaklık ortalamaları RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre P1 döneminde 9.0°C (+0.2°C) ve 11.1°C (+2.3°C); P2

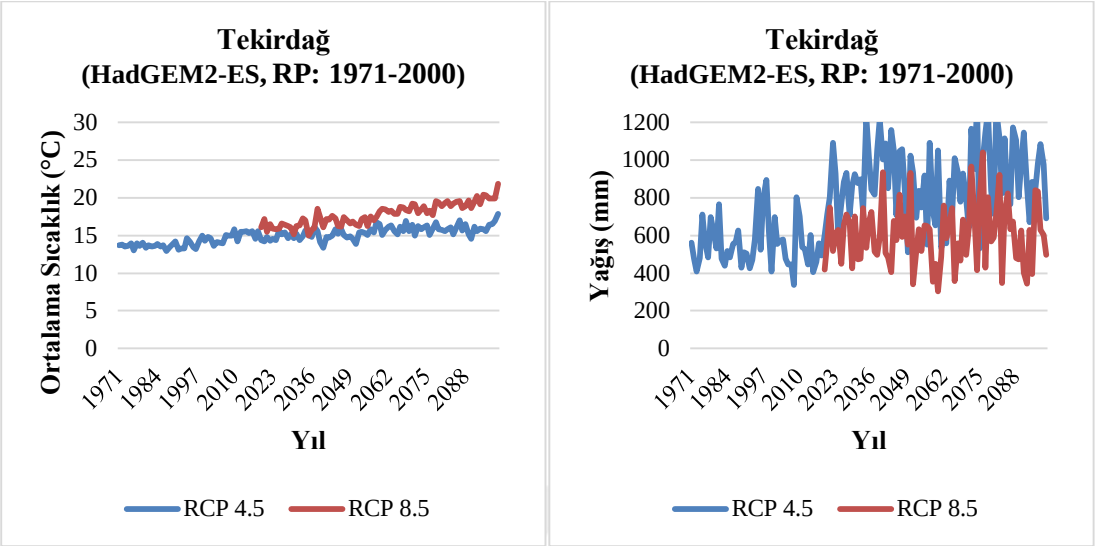
döneminde 9.7°C (+0.9°C) ve 12.3°C (+3.5°C); P3 döneminde ise 10.2°C (+1.4°C) ve 14.2°C (+5.4°C) olarak tahmin edilmektedir.



Şekil 3.10 : Kırklareli İlinin HadGEM2-ES Modeli Tarafından RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilen Yıllık Ortalama Maksimum ve Minimum Sıcaklık Zaman Serileri.

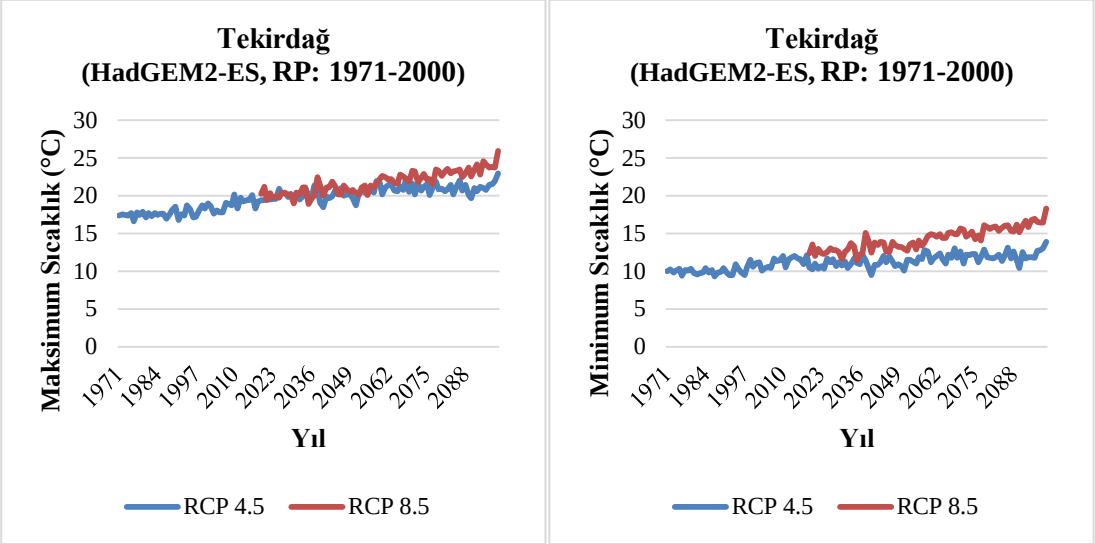
Tekirdağ'daki 1971-2099 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış zaman serileri Şekil 3.11'de bulunmaktadır. Tekirdağ'da 1971-2019 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklık 14.2°C, yıllık toplam yağış miktarı ise 553.1 mm olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama sıcaklığın 2000li yıllardan itibaren artış göstermiş olduğu ve sıcaklığın en yüksek olduğu 2010 yılında 15.8°C olarak ölçülmüştür. Yıllık toplam yağış miktarları incelendiğinde ise 1971-2019 yılları arasında ölçülen yıllık maksimum yağış miktarı 896.3 mm (1998 yılı), minimum yağış miktarı ise 338.6 mm (2008) olarak ölçülmüştür. Tekirdağ'da ileriye yönelik (2020-2099 yılları) yıllık ortalama sıcaklık verileri (değişim miktarları) ise RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sırasıyla 15.5°C (+1.3°C) ve 17.9°C (+3.7°C) olarak tahmin edilmektedir. Dönemsel olarak incelendiğinde ise RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında yıllık ortalama sıcaklık sırasıyla P1 döneminde 14.9°C (+0.7°C) ve 16.3°C (+2.1°C); P2 döneminde 15.5°C (+1.3°C) ve 17.5°C (+3.3°C); P3 döneminde ise 16.0°C (+1.8°C) ve 19.3°C (+5.1°C) olarak tahmin edilmektedir. Yıllık toplam yağış miktarları (değişim miktarları) incelendiğinde 2020-2099 yıllarındaki RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre 897.5 (+%61.4) ve 605.6 mm (+%8.9) olarak tahmin edilmektedir. İleriye yönelik dönemsel olarak incelendiğinde ise RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre yıllık toplam yağış miktarı sırasıyla P1 döneminde 900.5 (+%61.9) ve 611.3 (+%9.9) mm; P2 döneminde 842.3

(+%51.5) ve 569.5 mm (+%2.4); P3 döneminde ise 952.3 (+%71.2) ve 638.9 (+%14.9) mm olarak tahmin edilmektedir.



Şekil 3.11 : Tekirdağ İlinin HadGEM2-ES Modeli Tarafından RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilen Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Toplam Yağış Zaman Serileri.

Tekirdağ'daki 1971-2099 yılları arasındaki yıllık maksimum ve minimum sıcaklık zaman serileri Şekil 3.12'de bulunmaktadır. 1971-2019 yılları arasındaki yıllık maksimum ve minimum sıcaklık değerleri sırasıyla 18.1°C ve 10.4°C olarak ölçülmüştür. Özellikle 2000li yıllardan itibaren artış gösteren yıllık maksimum ve minimum sıcaklıkların sırasıyla en yüksek ölçüldüğü 2010 yılında 20.1°C ve 2018 yılında 12.1°C olarak ölçülmüştür.



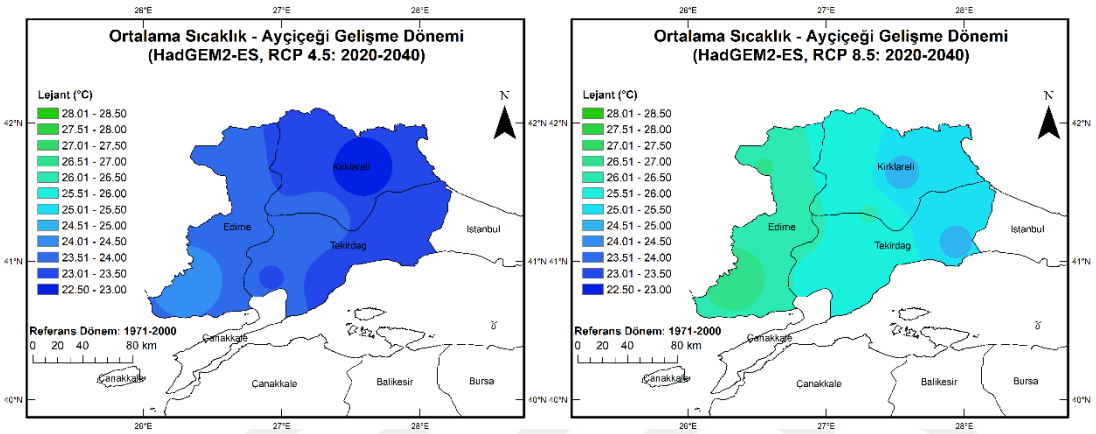
Şekil 3.12 : Tekirdağ İlinin HadGEM2-ES Modeli Tarafından RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilen Yıllık Ortalama Maksimum ve Minimum Sıcaklık Zaman Serileri.

İleriye yönelik yıllık maksimum ve minimum sıcaklıklar (değişim miktarları), RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre incelendiğinde ise 2020-2099 yılları arasındaki ortalama değerleri sırasıyla 20.6°C (+2.5°C) ve 21.8°C (+3.7°C); 11.6°C (+1.2°C) ve 14.3°C (+3.9°C) olarak öngörülmektedir. Tekirdağ'da ileriye yönelik maksimum sıcaklık değerleri (değişim miktarları) RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre dönemsel olarak incelendiğinde ise P1 döneminde 20.0°C (+1.9°C) ve 20.3°C (+2.2°C); P2 döneminde 20.6°C (+2.5°C) ve 21.5°C (+3.4°C); P3 döneminde ise 21.1°C (+3.0°C) ve 23.2°C (+5.1°C) olarak tahmin edilmektedir. Bu dönemlerdeki minimum sıcaklık değerleri (değişim miktarları) ise sırasıyla P1 döneminde 10.9°C (+0.5°C) ve 12.8°C (+2.4°C); P2 döneminde 11.6°C (+1.2°C) ve 14.0°C (+3.6°C); P3 döneminde ise 12.1°C (+1.7°C) ve 15.8°C (+5.4°C) olarak tahmin edilmektedir.

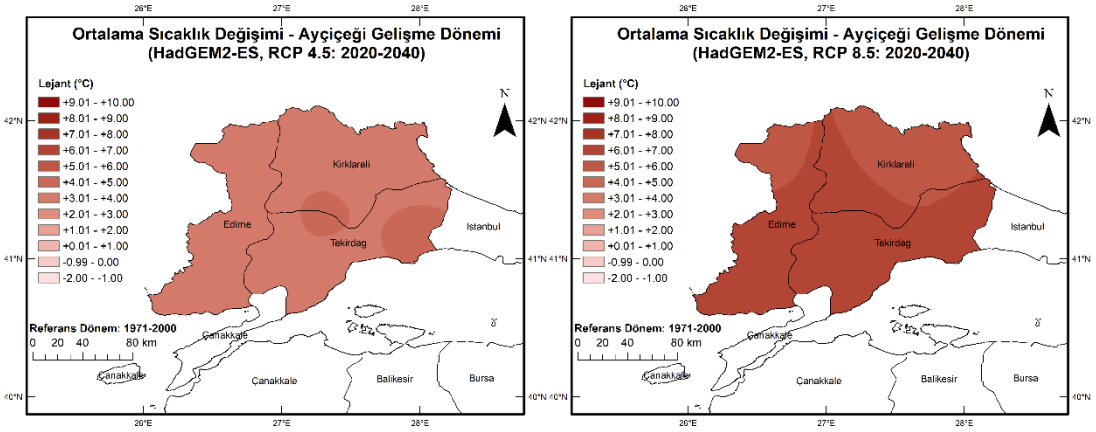
Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ merkez istasyonlarındaki zaman serileri incelendiğinde HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 ve 8.5 senaryo sonuçlarına göre ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri artış göstermektedir. Edirne için ileriye yönelik RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre yıllık ortalama sıcaklık değişim miktarları hesaplandığında ise 0.6°C ile 5.1°C, yıllık maksimum sıcaklık değişim miktarları 2.0°C ile 5.2°C, yıllık minimum sıcaklık değişim miktarları 1.1°C ile 5.3°C arasında değiştiği hesaplanmıştır. İleriye yönelik 2020-2099 yılları arasındaki yıllık toplam yağış miktarı 1971-2019 yılları arasındaki ölçüm değerlerine göre iyimser senaryoda %39 artış kötümser senaryoda ise %3 oranında azalış olabileceği hesaplanmıştır. Kırklareli için ileriye yönelik RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre yıllık ortalama sıcaklık değişim miktarları hesaplandığında ise 0.3°C ile 5.3°C, yıllık maksimum sıcaklık değişim miktarları 2.3°C ile 5.4°C, yıllık minimum sıcaklık değişim miktarları 0.2°C ile 5.4°C arasında değiştiği hesaplanmıştır. İleriye yönelik 2020-2099 yılları arasındaki yıllık toplam yağış miktarı 1971-2019 yılları arasındaki ölçüm değerlerine göre iyimser senaryoda %30 artış kötümser senaryoda ise %6 oranında azalış olabileceği hesaplanmıştır. Tekirdağ için ileriye yönelik RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre yıllık ortalama sıcaklık değişim miktarları hesaplandığında ise 0.7°C ile 3.3°C, yıllık maksimum sıcaklık değişim miktarları 1.9°C ile 5.1°C, yıllık minimum sıcaklık değişim miktarları 0.5°C ile 5.4°C arasında değiştiği hesaplanmıştır. İleriye yönelik 2020-2099 yılları arasındaki yıllık toplam yağış miktarı 1971-2019 yılları arasındaki ölçüm değerlerine göre iyimser senaryoda %61 artış kötümser senaryoda ise %9 oranında artış olabileceği hesaplanmıştır.

3.2.1 Ayçiçeği gelişme dönemi

Bu değerlerin yanında ayçiçeği bitkisinin gelişim dönemlerindeki ileriye yönelik üç farklı periyottaki (P1: 2020-2040, P2: 2041-2070, P3: 2071-2099) ortalama, maksimum, minimum hava sıcaklığı ve toplam yağış, efektif yağış miktarlarını ve 1971-2018 yıllarına göre değişim miktarları gösteren haritalar Şekil 3.13 ile Şekil 3.42 arasında gösterilmiştir. Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te ayçiçeği gelişme dönemindeki HadGEM2-ES modelin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre 2020-2040 döneminde elde edilmiş ortalama sıcaklık ve değişim miktarları verilmiştir.



Şekil 3.13 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Haritaları.

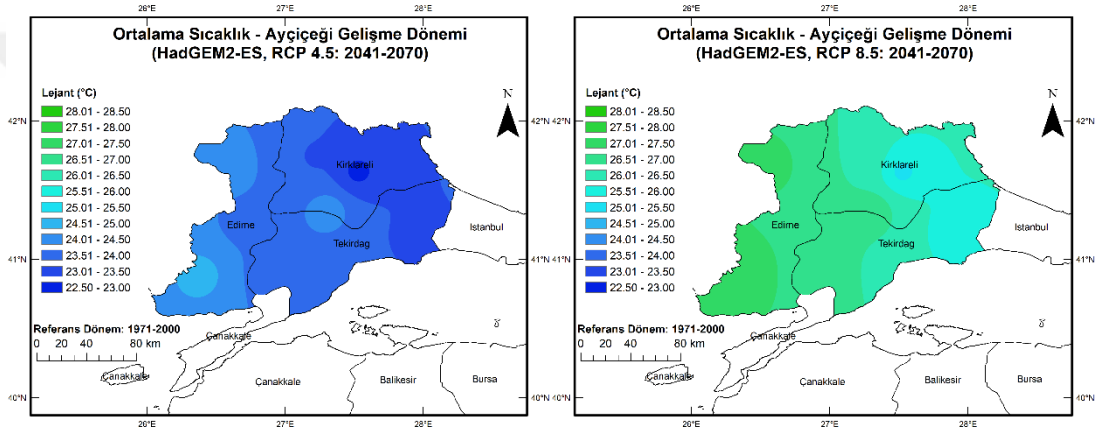


Şekil 3.14 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Değişim Haritaları.

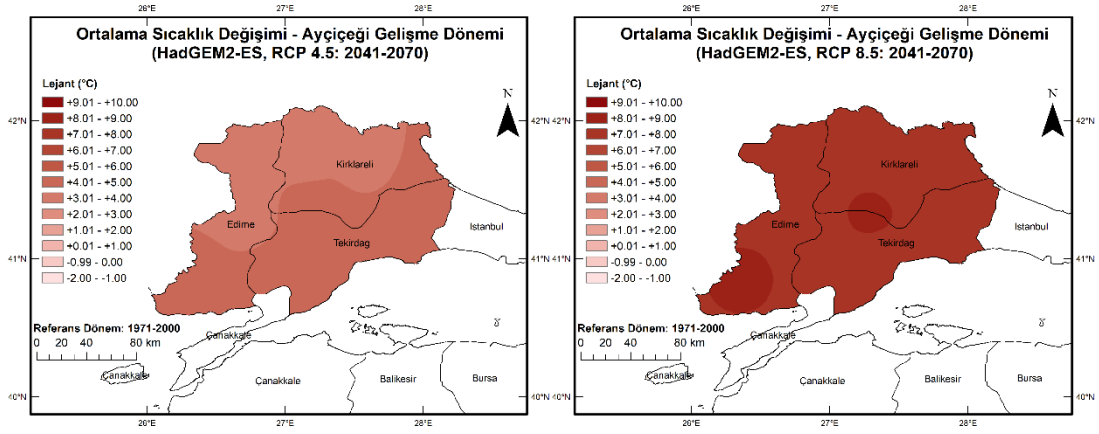
Trakya genelinde bu dönemdeki ortalama sıcaklık RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla 23.5°C ve 25.8°C olarak hesaplanmıştır. Özellikle Edirne ilinin güney kısımları bölgenin sıcak alanlarını ifade etmektedir. Kırklareli ilinin geneli bölgeye göre serin olduğu görülmektedir. Bölge genelindeki ortalama sıcaklık değişim

miktarları 1971-2019 yılları arasındaki ayçiçeği gelişme dönemindeki ölçümlere göre (19.8°C) RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sırasıyla 3.7°C ile 6.0°C olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da ayçiçeği gelişme dönemindeki HadGEM2-ES modelin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre 2041-2070 döneminde elde edilmiş ortalama sıcaklık ve değişim haritaları görülmektedir. Bu haritalar incelendiğinde ısınmanın devam ettiği görülmektedir. Trakya genelinde bu dönemdeki ortalama sıcaklık RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla 23.8°C ve 26.5°C olarak hesaplanmıştır. Bölge genelindeki ortalama sıcaklık değişimi RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sırasıyla 4.0°C ile 6.7°C olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.15 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Haritaları.

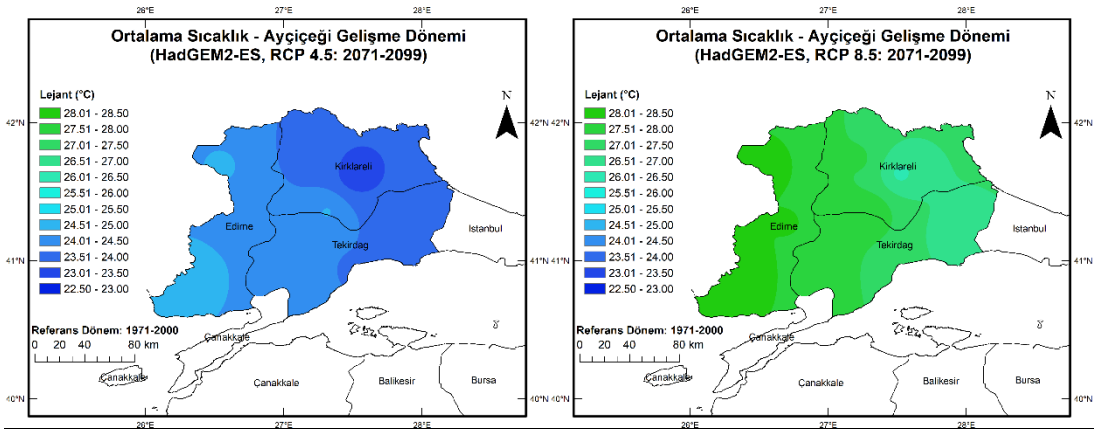


Şekil 3.16 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Değişim Haritaları.

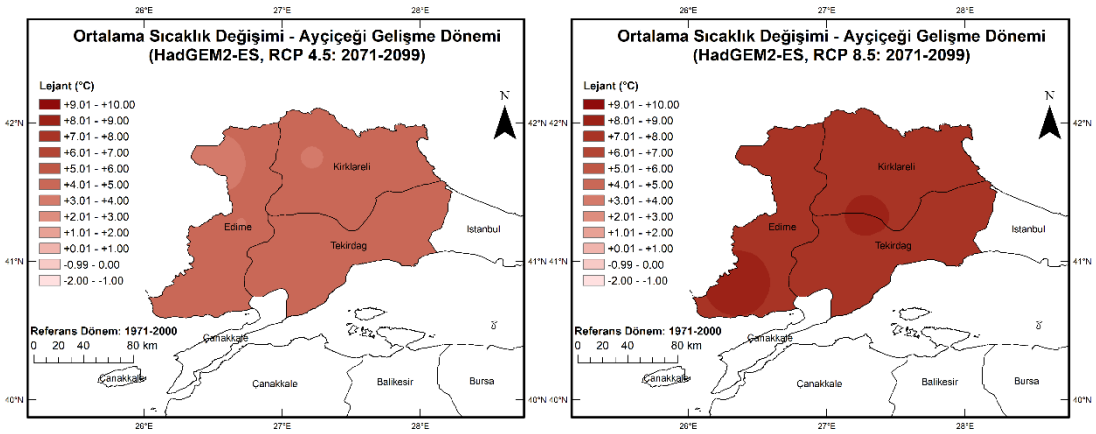
Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de ayçiçeği gelişme dönemindeki HadGEM2-ES modelin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre 2071-2099 döneminde elde edilmiş ortalama

sıcaklık ve değişim haritaları görülmektedir. Bu dönemde de ısınmanın devam ettiği görülmektedir. Trakya genelinde bu dönemdeki ortalama sıcaklık RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla 24.1°C ve 27.6°C olarak hesaplanmıştır. Bölge genelindeki ortalama sıcaklık değişim RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sırasıyla 4.3°C ile 7.8°C olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de ayçiçeği gelişme dönemindeki HadGEM2-ES modelin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre 2020-2040 döneminde elde edilmiş maksimum sıcaklık ve değişim haritaları görülmektedir. Trakya genelinde bu dönemdeki maksimum sıcaklık RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla 30.7°C ve 31.8°C olarak hesaplanmıştır. Bölge genelinde 1971-2019 yılları arasındaki ayçiçeği gelişme dönemindeki maksimum sıcaklık ortalaması 26.1°C olarak ölçülmüştür. Bölge genelindeki maksimum sıcaklık değişim miktarı RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sırasıyla 4.7°C ile 5.7°C olarak hesaplanmıştır. Bu haritalar incelendiğinde Edirne'deki maksimum sıcaklıklar Kırklareli ve Tekirdağ illerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

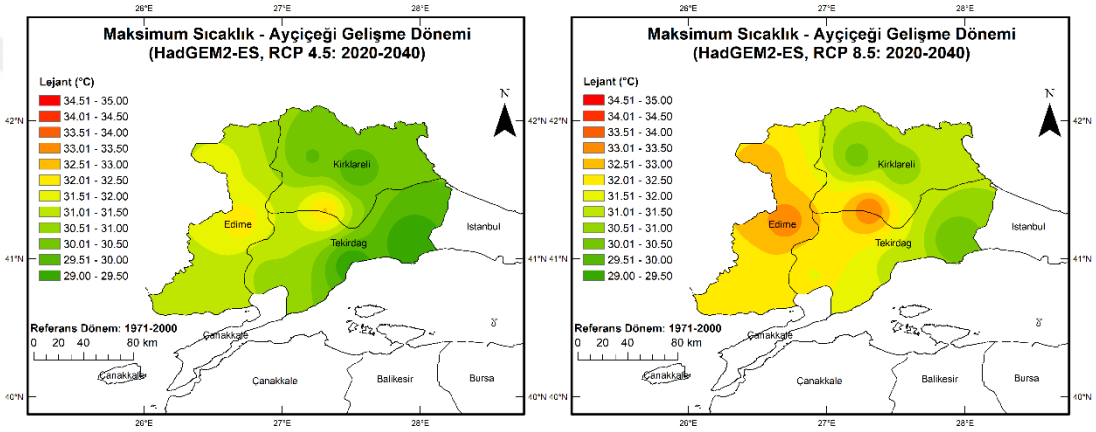
Şekil 3.21 ve Şekil 3.22'de ayçiçeği gelişme dönemindeki HadGEM2-ES modelin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre 2041-2070 döneminde elde edilmiş maksimum sıcaklık ve değişim haritaları görülmektedir. Trakya genelinde bu dönemdeki maksimum sıcaklık RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla 31.0°C ve 32.5°C olarak hesaplanmıştır. Bölge genelindeki maksimum sıcaklık değişim miktarları RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sırasıyla 5.0°C ile 6.4°C olarak hesaplanmıştır.



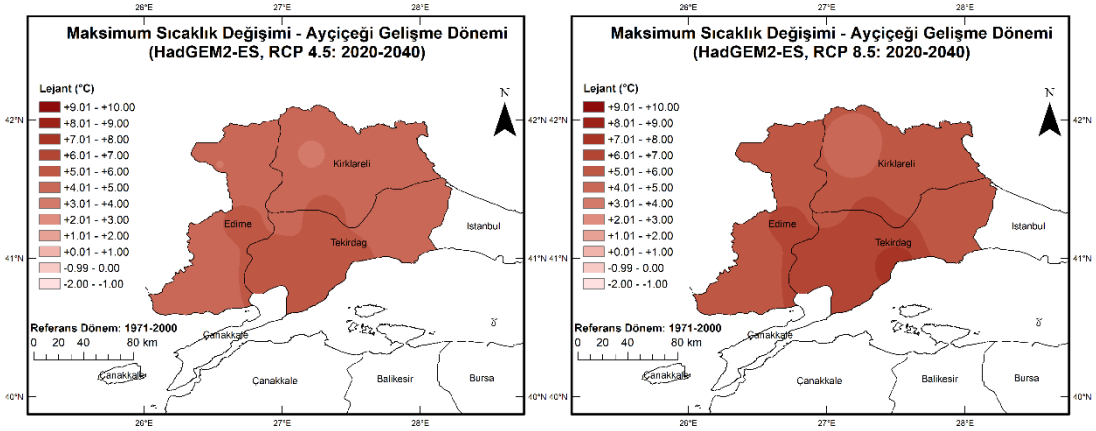
Şekil 3.17 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Haritaları.



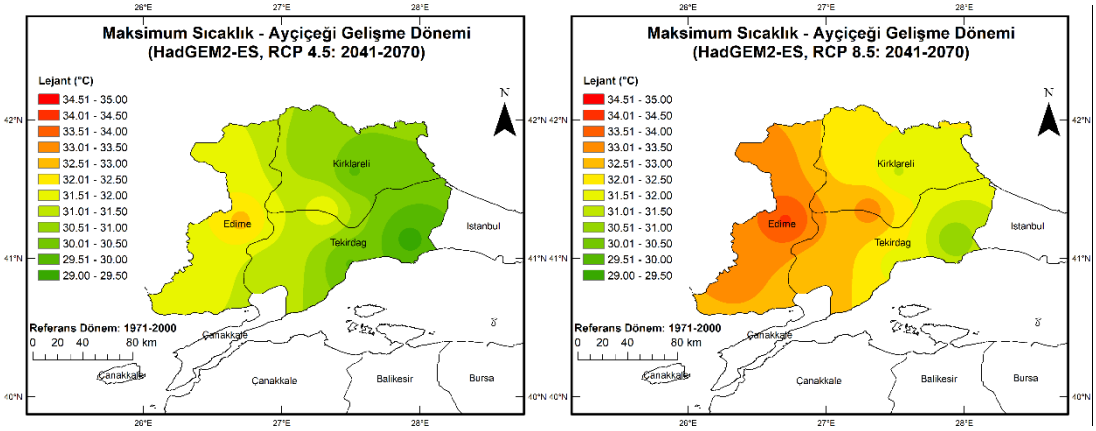
Şekil 3.18 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Değişim Haritaları.



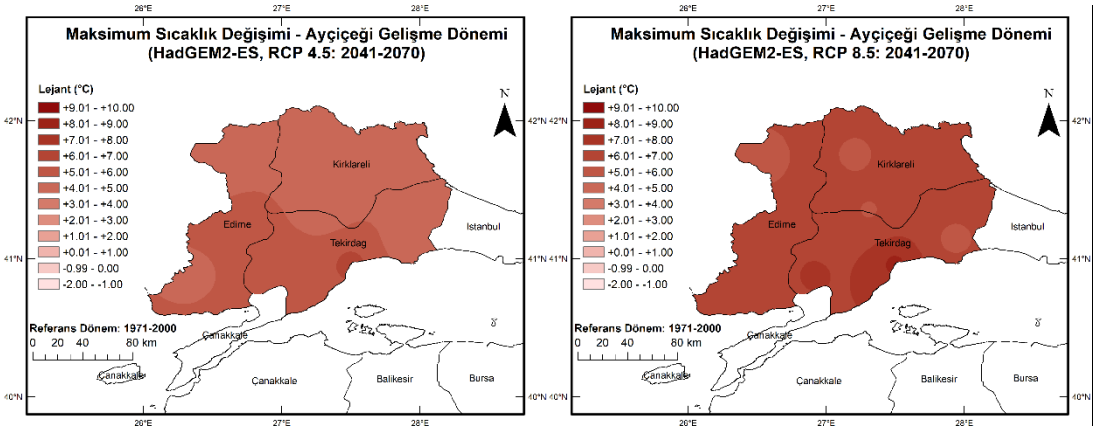
Şekil 3.19 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Haritaları.



Şekil 3.20 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Değişim Haritaları.



Şekil 3.21 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Haritaları.

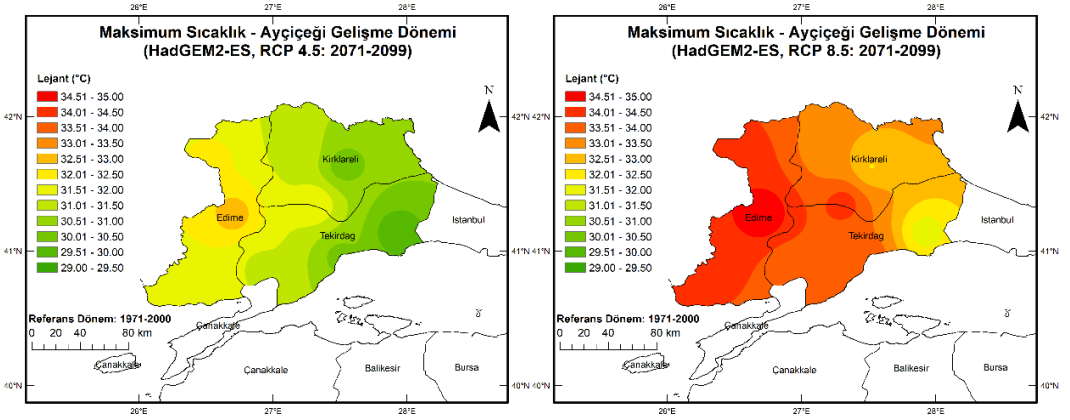


Şekil 3.22 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Değişim Haritaları.

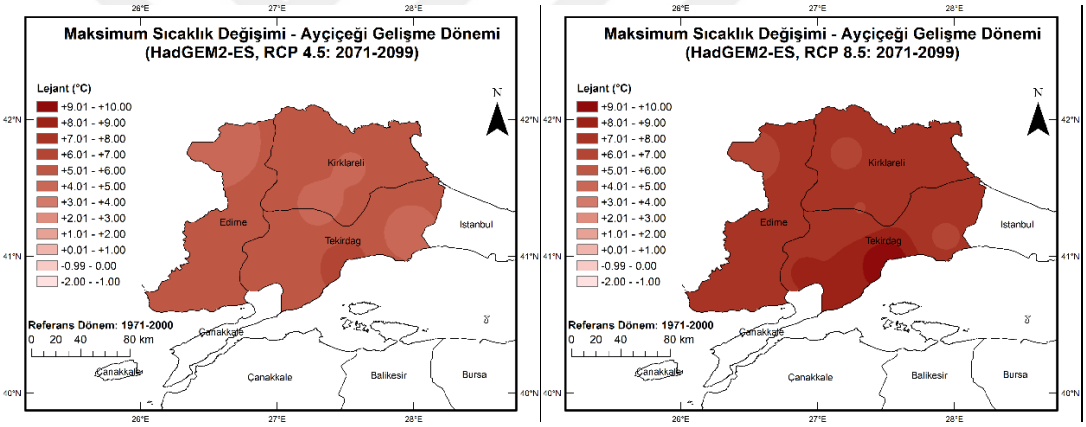
Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'te ayçiçeği gelişme dönemindeki HadGEM2-ES modelin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre 2071-2099 döneminde elde edilmiş maksimum sıcaklık ve değişim haritaları görülmektedir. Trakya genelinde bu dönemdeki maksimum sıcaklık RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla 31.3°C ve 33.6°C olarak hesaplanmıştır. Bölge genelindeki maksimum sıcaklık değişim miktarları RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sırasıyla 5.2°C ile 7.5°C olarak hesaplanmıştır. Bu değerler incelendiğinde RCP 8.5 senaryosundaki değişim miktarı RCP 4.5 senaryosuna göre daha fazla artmıştır.

Şekil 3.25 ve Şekil 3.26'da ayçiçeği gelişme dönemindeki HadGEM2-ES modelin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre 2020-2040 döneminde elde edilmiş minimum sıcaklık ve değişim haritaları görülmektedir. Trakya genelinde bu dönemdeki minsimum sıcaklık RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla 13.9°C ve 16.6°C olarak

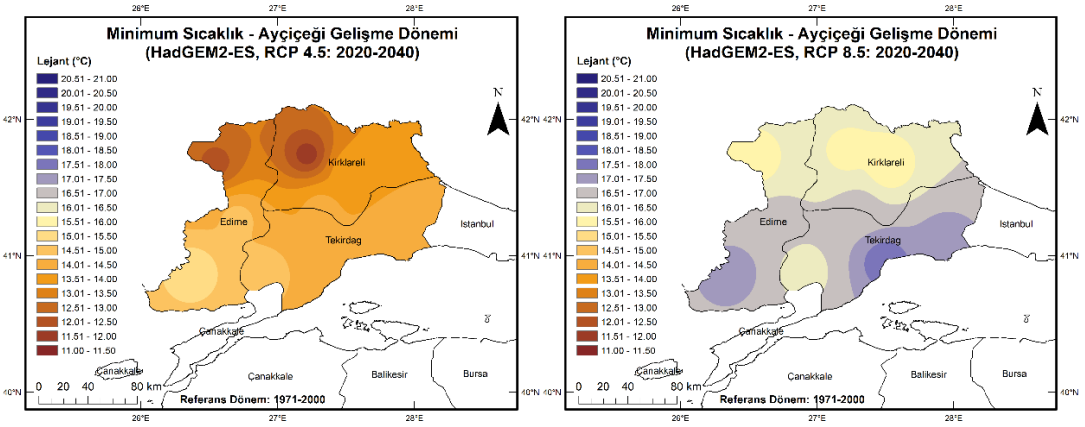
hesaplanmıştır. 1971-2019 yılları arasında bölge genelindeki minimum sıcaklık 13.7°C olarak ölçülmüştür. Minimum sıcaklık değişimi RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sırasıyla 0.3°C ile 2.9°C olarak hesaplanmıştır.



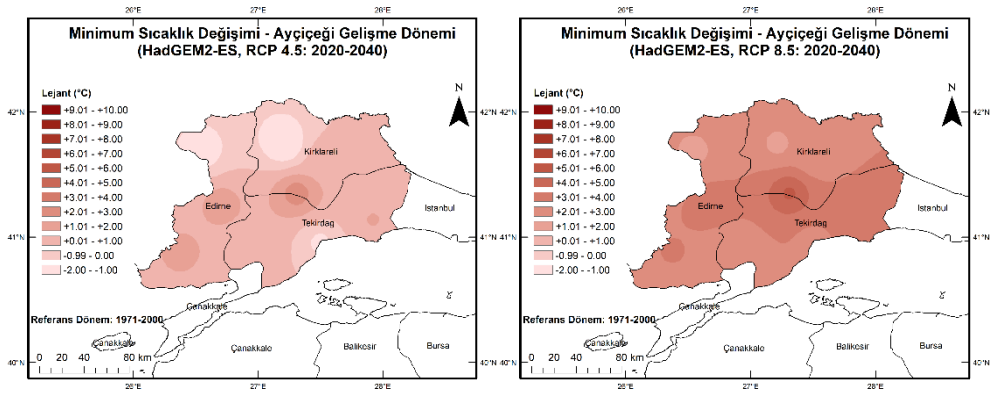
Şekil 3.23 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Haritaları.



Şekil 3.24 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Değişim Haritaları.

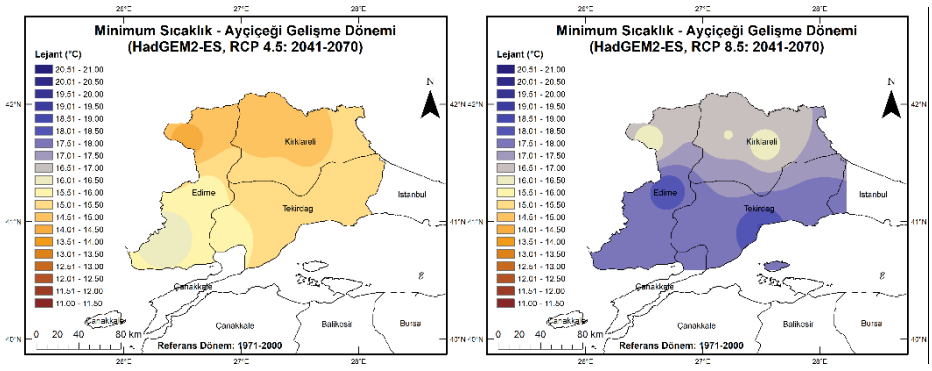


Şekil 3.25 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Haritaları.

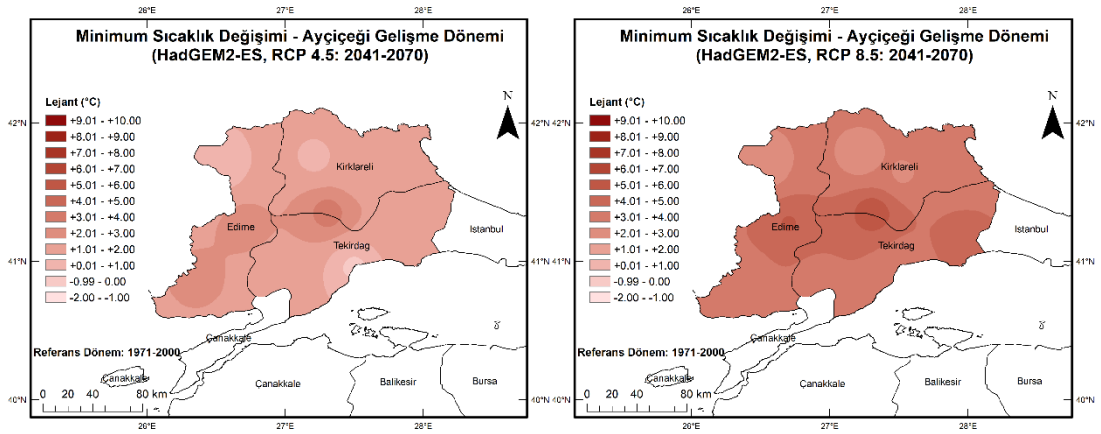


Şekil 3.26 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Değişim Haritaları.

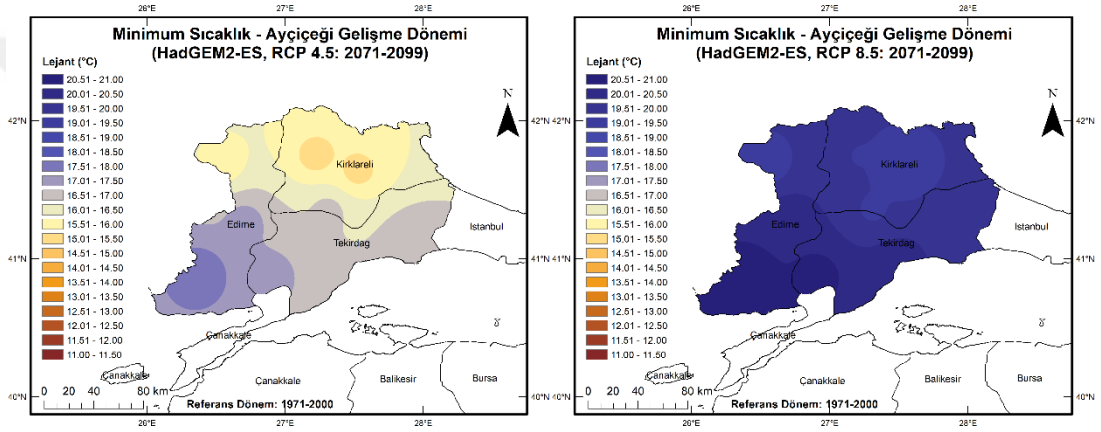
Şekil 3.27 ve Şekil 3.28'de ayçiçeği gelişme dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre P2 döneminde elde edilmiş minimum sıcaklık ve değişim haritaları görülmektedir. Trakya genelinde bu dönemdeki minimum sıcaklık RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla 15.3°C ve 17.4°C olarak hesaplanmıştır. Minimum sıcaklık değişim miktarları RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sırasıyla 1.6°C ile 3.7°C olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'da ayçiçeği gelişme dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre P3 döneminde elde edilmiş minimum sıcaklık ve değişim haritaları görülmektedir. Trakya genelinde bu dönemdeki minsimum sıcaklık RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla 16.5°C ve 19.9°C olarak hesaplanmıştır. Minimum sıcaklık değişim miktarları RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sırasıyla 2.8°C ile 6.2°C olarak hesaplanmıştır. Üç dönemdeki minimum sıcaklık değişim miktarları incelendiğinde ortalama sıcaklık ve maksimum sıcaklık değişim miktarlarına göre daha az yükselmiştir. Aynı zamanda RCP 8.5 senaryosundaki minimium sıcaklık artışları RCP 4.5 senaryosuna göre daha hızlı yükseldiği görülmektedir.



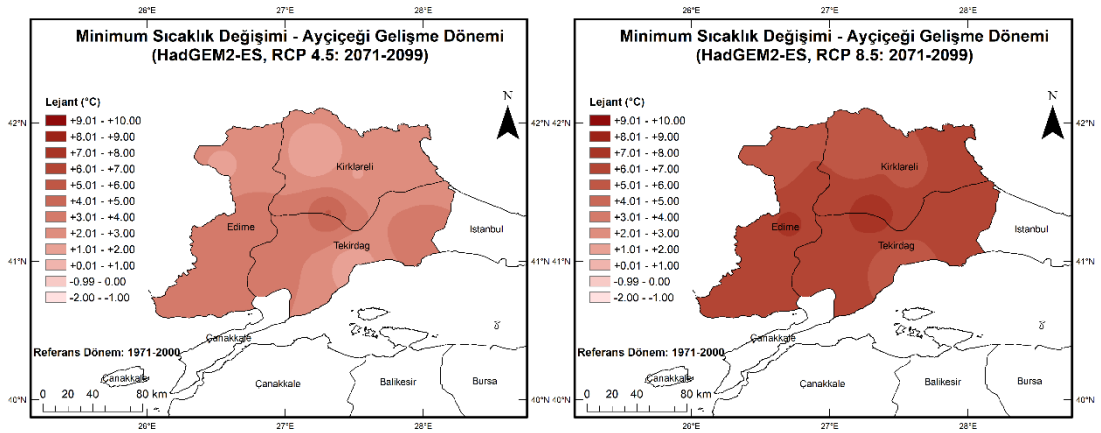
Şekil 3.27 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Haritaları.



Şekil 3.28 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Değişim Haritaları.



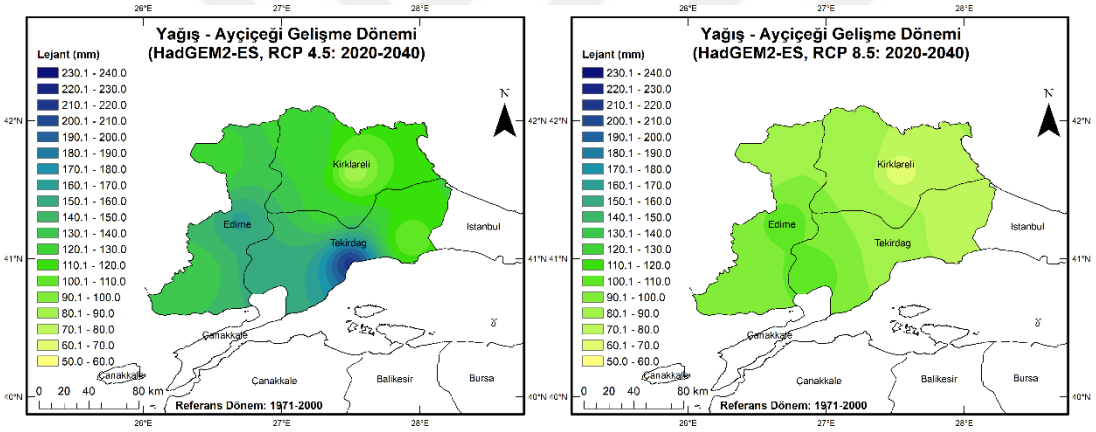
Şekil 3.29 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Haritaları.



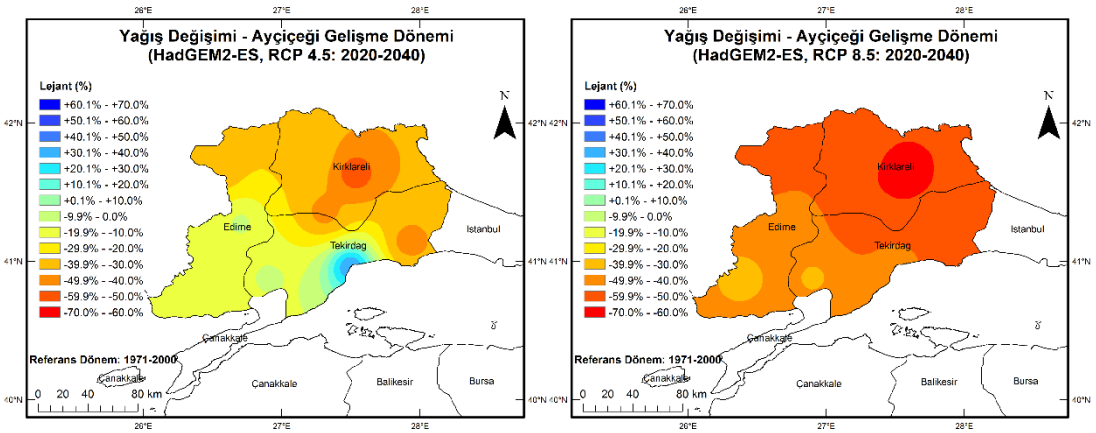
Şekil 3.30 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Değişim Haritaları.

Şekil 3.31 ve Şekil 3.32'de ayçiçeği gelişme dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre P1 döneminde elde edilmiş toplam yağış ve değişim

haritaları görülmektedir. Ayçiçeği gelişme döneminin büyük bölümü yaz aylarına geldiğinden dolayı yağış miktarı düşük olmaktadır. Bölge genelindeki ortalama yağış miktarı 1971-2019 yılları arasında toplam 182.0 mm olarak ölçülmüştür. Bu ölçümlere göre yağış miktarının en düşük olduğu yer 153.0 mm ile İpsala, en yüksek olduğu yer ise 219.5 mm ile Lüleburgaz olmuştur. P1 dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarındaki yağış miktarları incelendiğinde ise bölgeye düşen ortalama yağış miktarı sırasıyla 136.6 ile 88.2 mm olarak hesaplanmış olup ölçüm dönemine göre farkı sırasıyla %24.9 ile %51.6 olarak hesaplanmıştır. Haritalardan da görüldüğü üzere yağış değişkeni zor tahmin edilmektedir ve bunun yanında alansal-zamansal olarak oldukça değişkenlik göstermektedir. RCP 4.5 senaryosunda bölge genelindeki yağış değişimi %39.6 (Tekirdağ) ile -%56.2 (Pınarhisar) arasında değişmektedir. Bölge genelindeki değişim miktarları RCP 8.5 senaryosunda -%37.4 (Lüleburgaz) ile -%65.6 (Pınarhisar) arasında değişmektedir.

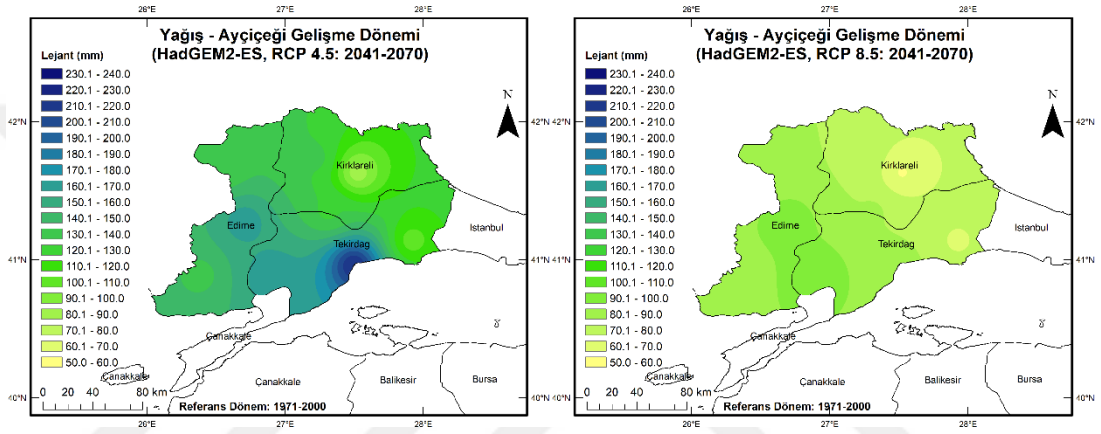


Şekil 3.31 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Haritaları.

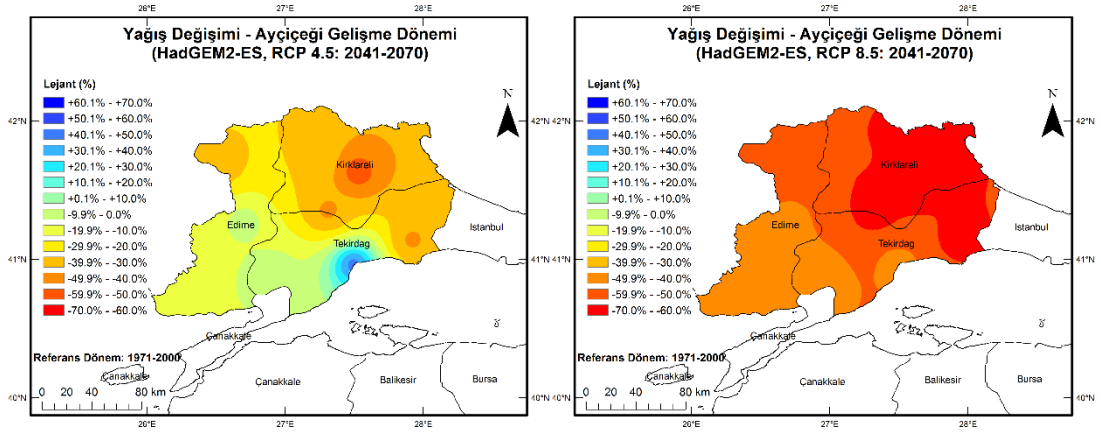


Şekil 3.32 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Değişim Haritaları.

Şekil 3.33 ve Şekil 3.34'te ayçiçeği gelişme dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre 2041-2070 döneminde elde edilmiş toplam yağış ve değişim haritaları görülmektedir. P2 dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarındaki yağış miktarları incelendiğinde ise bölgeye düşen ortalama yağış miktarı sırasıyla 141.5 ile 81.5 mm olarak hesaplanmış olup ölçüm dönemine göre farkı sırasıyla -%22.3 ile -%55.2 olarak hesaplanmıştır. RCP 4.5 senaryosunda bölge genelindeki yağış farkı %43.6 (Tekirdağ) ile -%55.0 (Pınarhisar) arasında değişmektedir. Bölge genelindeki değişim miktarları RCP 8.5 senaryosunda -%43.1 (Malkara) ile -%68.5 (Pınarhisar) arasında değişmektedir.



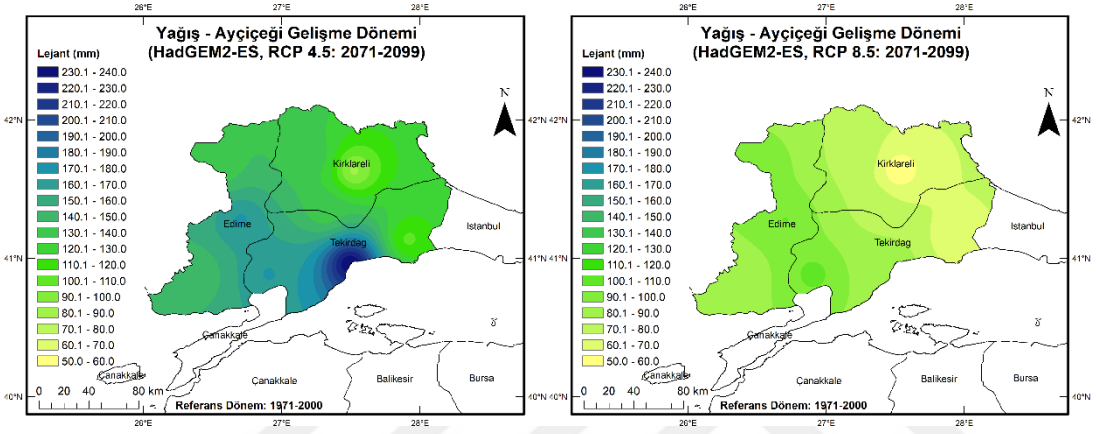
Şekil 3.33 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Haritaları.



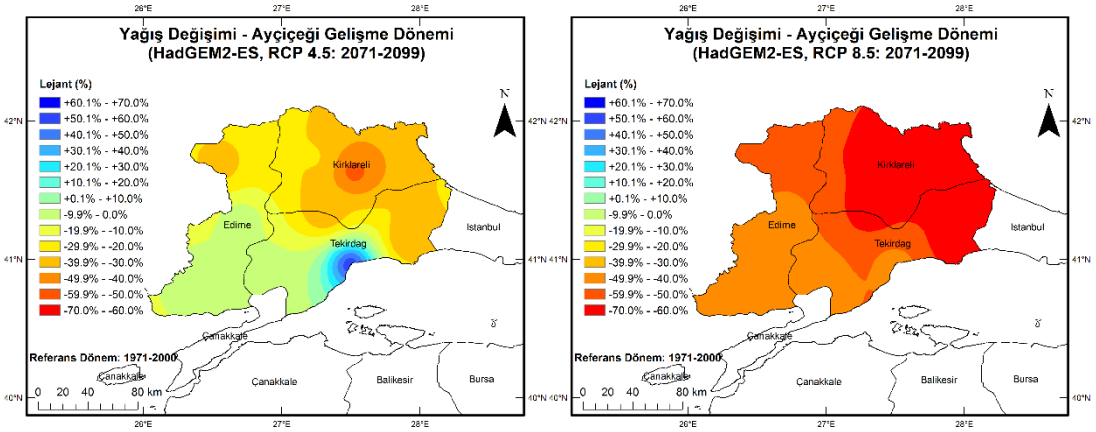
Şekil 3.34 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Değişim Haritaları.

Şekil 3.35 ve Şekil 3.36'da ayçiçeği gelişme dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre 2071-2099 döneminde elde edilmiş toplam yağış ve değişim haritaları görülmektedir. P3 dönemi RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarındaki yağış miktarları incelendiğinde ise bölgeye düşen ortalama yağış miktarı sırasıyla 146.8 ile

82.0 mm olarak hesaplanmış olup ölçüm dönemine göre farkı sırasıyla -%19.4 ile -%54.9 olarak belirlenmiştir. RCP 4.5 senaryosunda bölge genelindeki yağış farkı %55.4 (Tekirdağ) ile -%53.0 (Pınarhisar) arasında değişmektedir. Bölge genelindeki değişim miktarları RCP 8.5 senaryosunda -%41.3 (Malkara) ile -%71.3 (Pınarhisar) arasında değişmektedir. Ayçiçeği gelişme dönemindeki RCP 4.5 senaryosuna göre yağış miktarı ve değişim haritaları incelendiğinde Tekirdağ il merkezinde yağışların dönemsel olarak artış göstereceği öngörülmektedir. Bunun yanında bölge genelinde Pınarhisar civarında ise toplam yağış miktarının en fazla azalacağı belirlenmiştir.



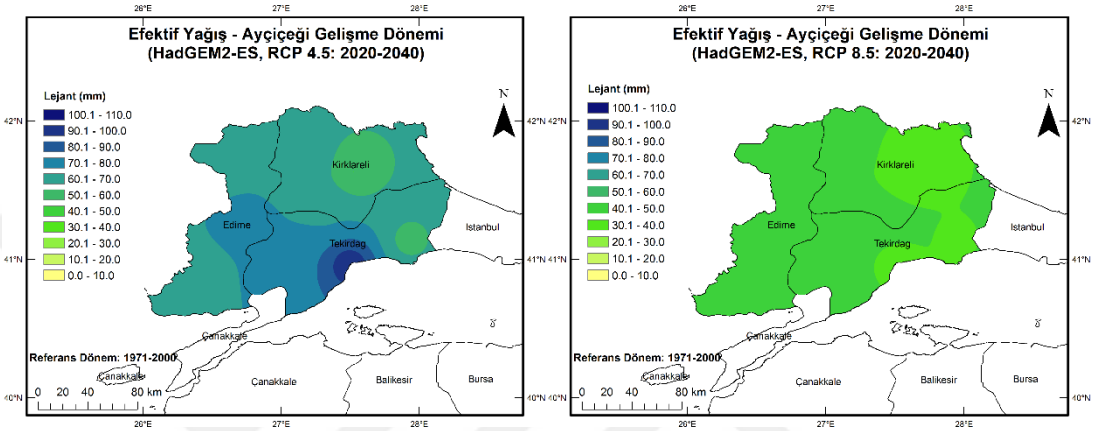
Şekil 3.35 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Haritaları.



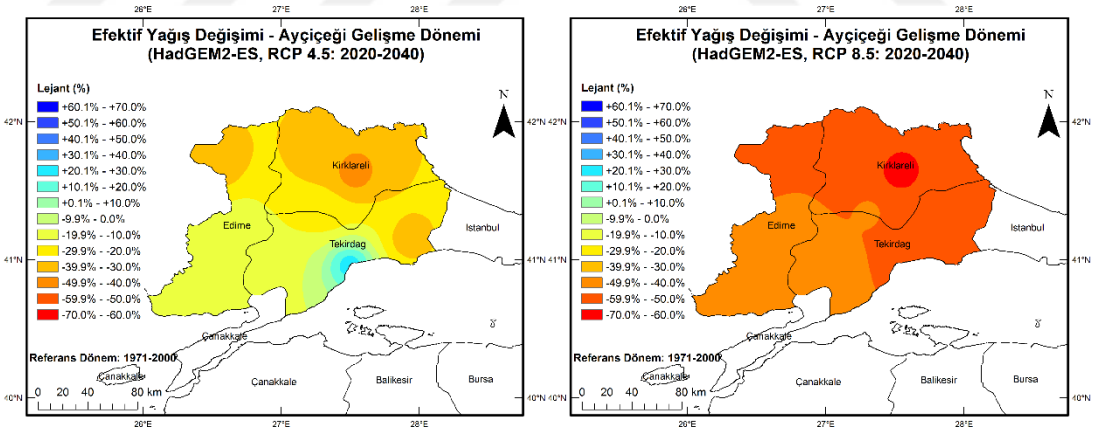
Şekil 3.36 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Değişim Haritaları.

Şekil 3.37 ve Şekil 3.38'de ayçiçeği gelişme dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre 2020-2040 dönemi için hesaplanmış efektif yağış ve değişim haritaları görülmektedir. 1971-2019 yılları arasında hesaplanmış efektif yağış miktarı 87.5 mm olarak hesaplanmıştır ve 75.2 mm (İpsala) ile 99.3 mm (Edirne) arasında değişmektedir. P1 dönemi RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarındaki efektif yağış

miktarı sırasıyla 72.2 ile 36.0 mm olarak hesaplanmış olup ölçüm dönemine göre farklı sırasıyla -%17.5 ile -%58.8 olarak belirlenmiştir. RCP 4.5 senaryosunda bölge genelindeki efektif yağış değişimi %26.0 (Tekirdağ: 97.3 mm) ile -%45.6 (Pınarhisar: 50.0 mm) arasında değişmektedir. Bölge genelindeki değişim miktarları RCP 8.5 senaryosunda -%40.0 (Malkara: 40.0 mm) ile -%63.1 (Pınarhisar: 33.9) arasında değişmektedir. Bu dönemde gerçekleşen yağış değişimlerinin efektif yağış değişimleri ile uyumlu olduğu görülmesine karşın değişim miktarı daha düşüktür.



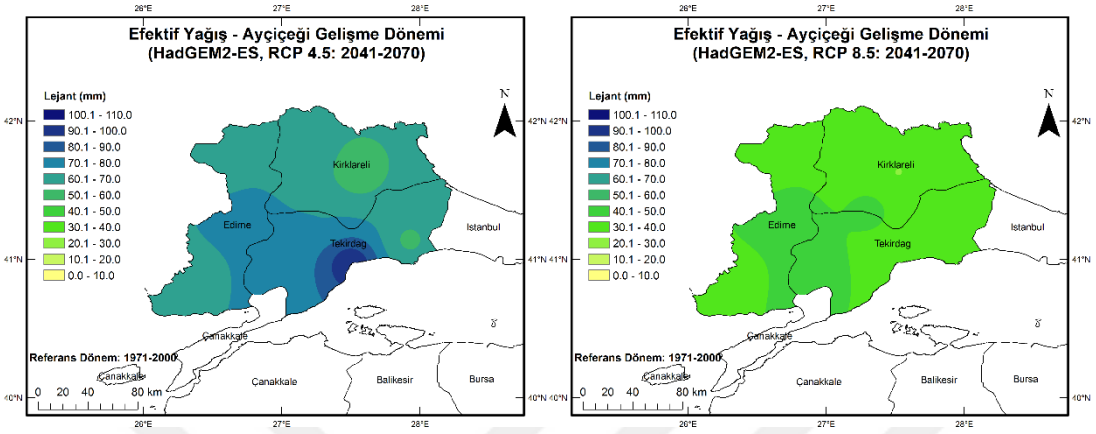
Şekil 3.37 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Haritaları.



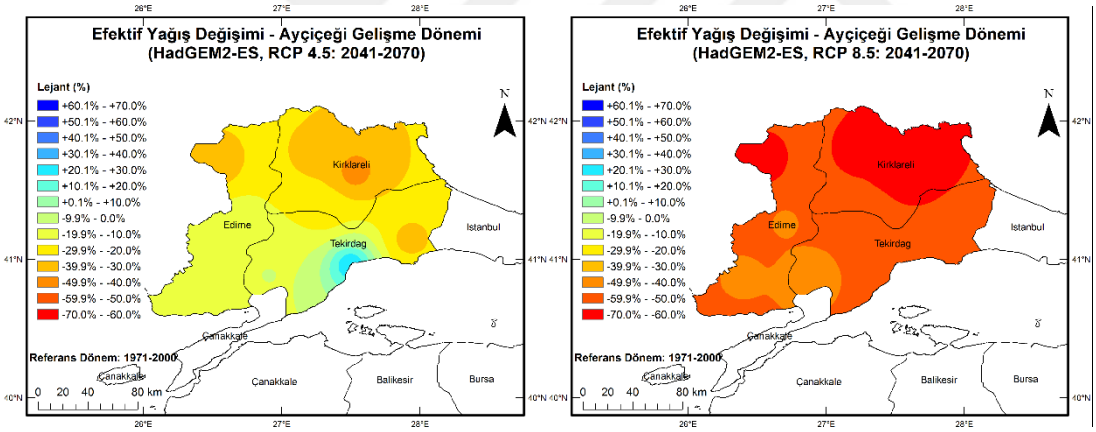
Şekil 3.38 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Değişim Haritaları.

Şekil 3.39 ve Şekil 3.40'ta ayçiçeği gelişme dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre 2041-2070 dönemi için hesaplanmış efektif yağış ve değişim haritaları görülmektedir. P2 dönemi RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarındaki efektif yağış miktarları sırasıyla 69.2 ile 38.2 mm olarak hesaplanmış olup ölçüm dönemine göre farklı sırasıyla -%20.9 ile -%56.3 olarak hesaplanmıştır. RCP 4.5 senaryosunda

bölge genelindeki efektif yağış değişimi %28.0 (Tekirdağ: 98.8 mm) ile -%44.5 (Pınarhisar: 51.1 mm) arasında değişmektedir. Bu dönemde bölge genelindeki değişim değerleri RCP 8.5 senaryosunda -%45.3 (Malkara: 44.2 mm) ile -%67.5 (Pınarhisar: 29.9 mm) arasında değişmektedir.



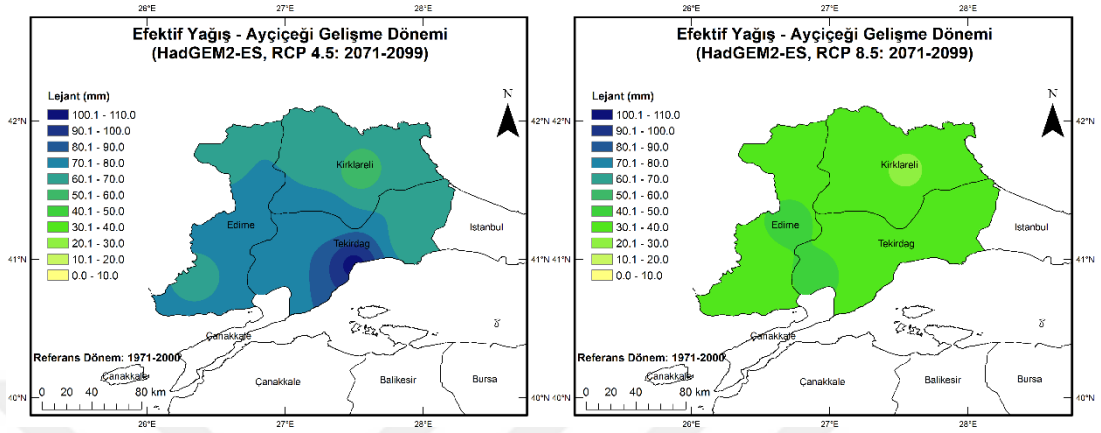
Şekil 3.39 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Haritaları.



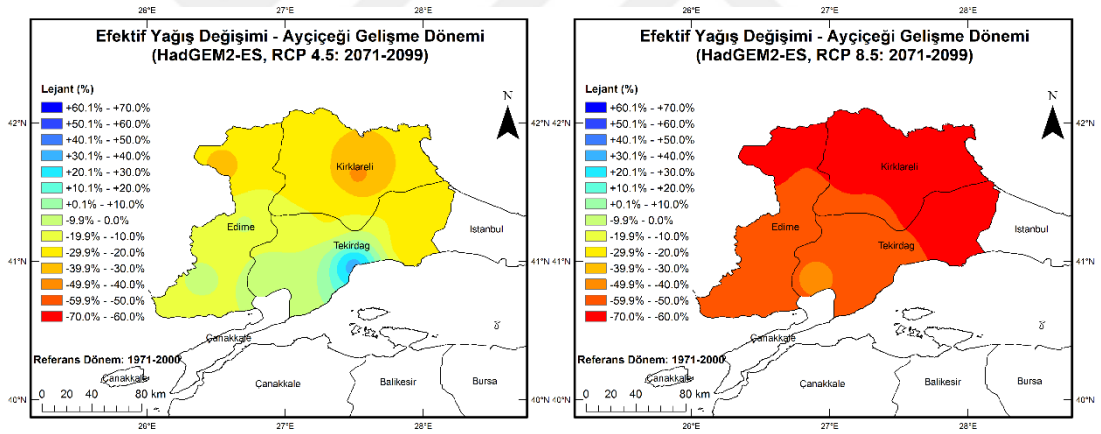
Şekil 3.40 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Değişim Haritaları.

Şekil 3.41 ve Şekil 3.42'de ayçiçeği gelişme dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre 2071-2099 dönemi için hesaplanmış efektif yağış ve değişim haritaları görülmektedir. P3 dönemi RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarındaki efektif yağış miktarları sırasıyla 72.2 ile 26.0 mm olarak hesaplanmış olup ölçüm dönemine göre farklı sırasıyla -%17.5 ile -%58.8 olarak hesaplanmıştır. RCP 4.5 senaryosunda bölge genelindeki efektif yağış değişimi %34.3 (Tekirdağ: 103.7 mm) ile -%44.5 (Pınarhisar: 53.5 mm) arasında değişmektedir. Bu dönemde bölge genelindeki değişim miktarları RCP 8.5 senaryosunda -%48.0 (Malkara: 42.0 mm) ile -%69.9 (Pınarhisar:

27.7 mm) arasında değişmektedir. Ayçiçeği gelişme dönemindeki efektif yağış miktarı ve değişim haritaları incelendiğinde Trakya genelinde RCP 4.5 senaryosunda Tekirdağ hariç tüm istasyonlarda efektif yağış miktarı azalmaktadır. RCP 8.5 senaryosunda ise tüm bölgede efektif yağış miktarı azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.41 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Haritaları.

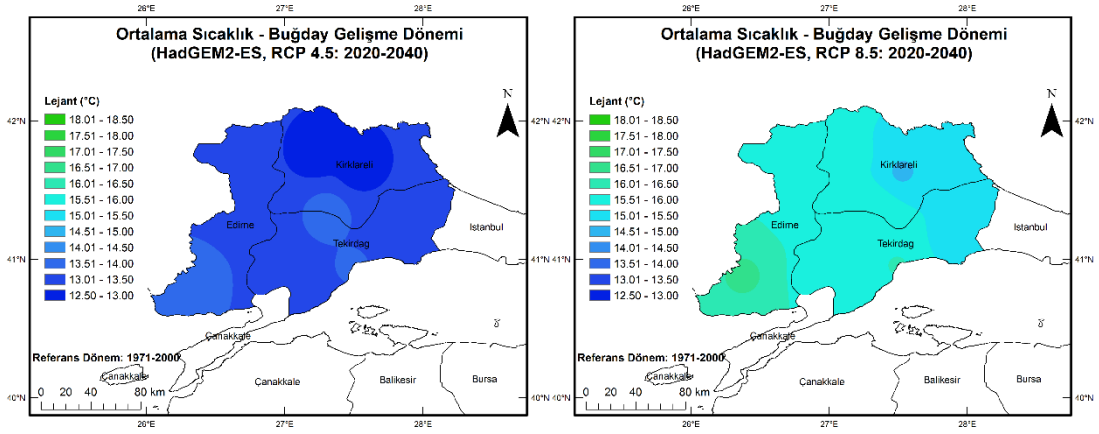


Şekil 3.42 : Ayçiçeği Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Değişim Haritaları.

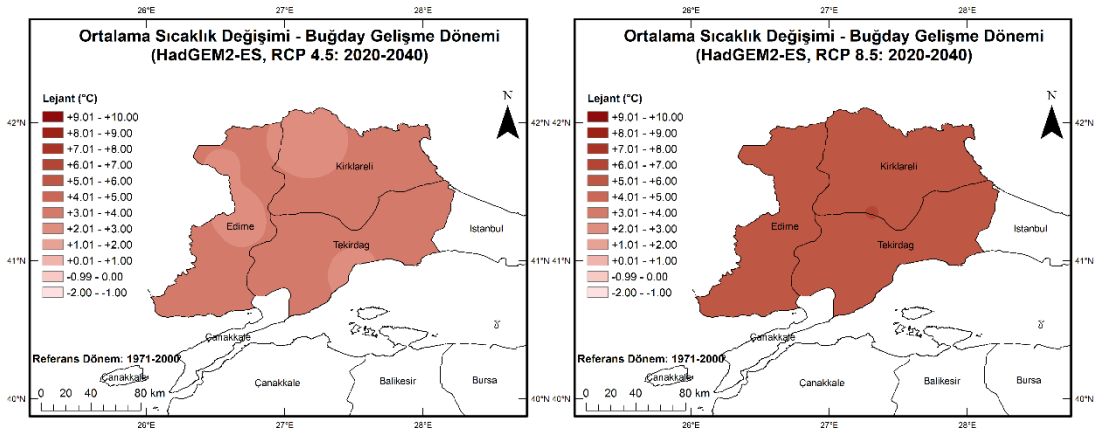
3.2.2 Buğday gelişme dönemi

Kışlık buğday bitkisinin gelişme döneminin bulunduğu ileriye yönelik 3 farklı periyottaki (P1: 2020-2040, P2: 2041-2070, P3: 2071-2099) ortalama, maksimum, minimum hava sıcaklığı ve toplam yağış, efektif yağış miktarlarını ve 1971-2019 yıllarına göre değişim miktarları Şekil 3.43-Şekil 3.72'de verilmiştir. Kışlık buğday bitkisinin gelişme döneminin büyük bir kısmı kış döneminde gerçekleştiği ve daha uzun olduğu için ayçiçeği bitkisi gelişme dönemindeki sıcaklıklara göre daha düşük, yağış miktarına bakıldığında ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Şekil 3.44 ve Şekil 3.45'te kışlık buğday bitkisinin 2020-2040 dönemine ait ortalama sıcaklık ve 1971-2019 yılları arasındaki buğday gelişme dönemine göre değişim haritaları bulunmaktadır. Buğday gelişme döneminin 1971-2019 yılları arasındaki ortalama sıcaklığı 10.2°C olarak ölçülmüştür ve ortalama sıcaklığın en yüksek olduğu yer 10.8°C ile Tekirdağ, en düşük olduğu yer ise 9.7°C ile Pınarhisar'dır. İleriye yönelik 2020-2040 dönemindeki ortalama sıcaklıklar incelendiğinde ise 2000li yıllardan itibaren yaşanan ısınma iyimser ve kötümser senaryolara göre devam etmektedir. P1 döneminde RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre bölge genelindeki ortalama sıcaklık sırasıyla 13.3°C ve 15.8°C'tır. Bu dönemdeki değişim miktarları RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında ise sırasıyla 3.1°C ve 5.6°C olarak hesaplanmıştır.



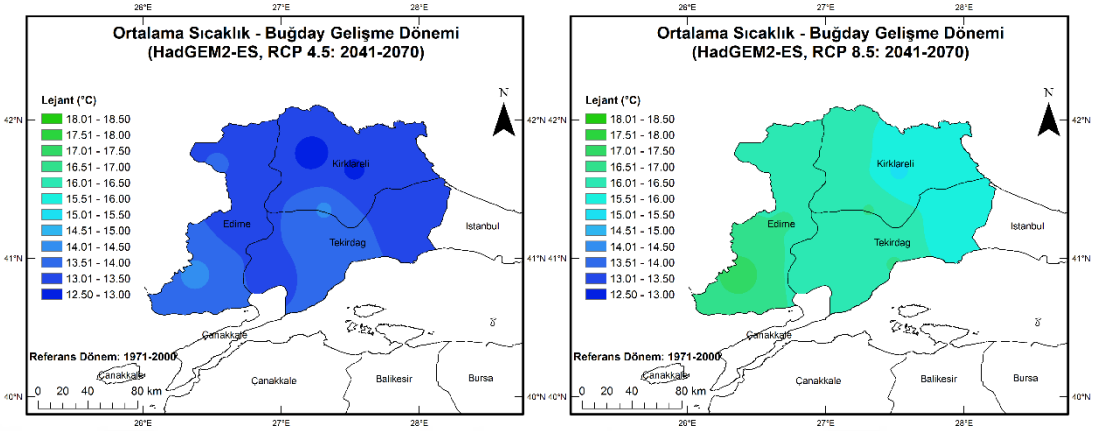
Şekil 3.43 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Haritaları.



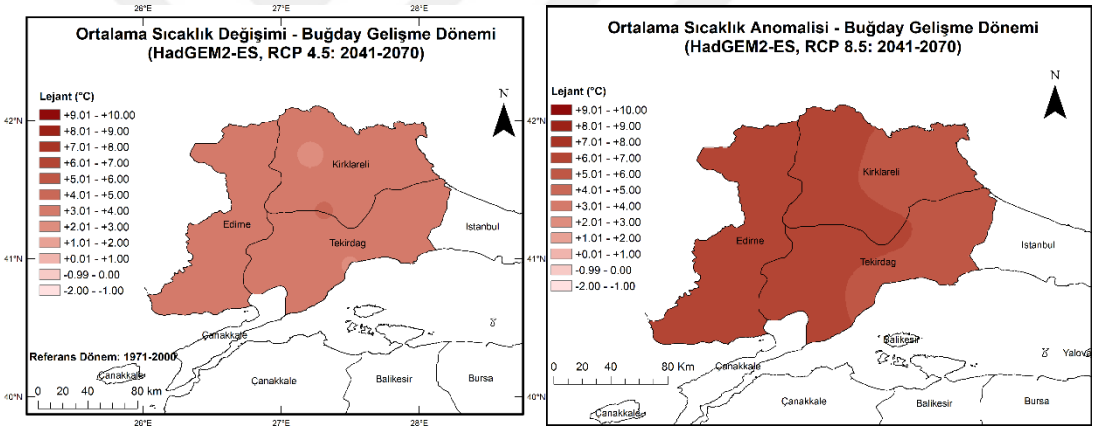
Şekil 3.44 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Değişim Haritaları.

Şekil 3.45 ve Şekil 3.46'da kışlık buğday bitkisinin 2041-2070 dönemine ait ortalama sıcaklık ve değişim haritaları bulunmaktadır. Bu dönemdeki ortalama sıcaklıklar RCP

4.5 ve 8.5 senaryolarına göre 13.5°C ve 16.3°C olarak belirlenmiştir. Ortalama sıcaklık değişim miktarları RCP 4.5 ve 8.5 senaryosunda sırasıyla 3.3°C ve 6.1°C olarak belirlenmiştir ve ısınmanın devam ettiği görülmektedir.



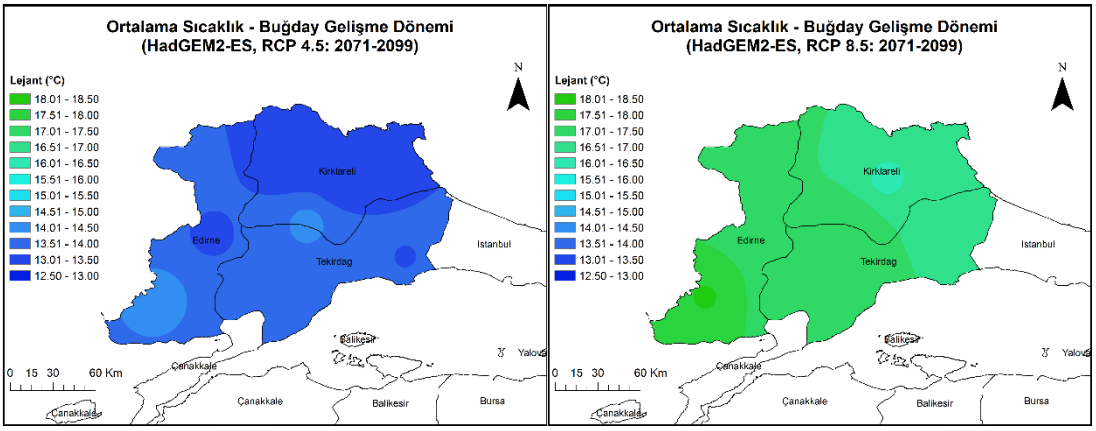
Şekil 3.45 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Haritaları.



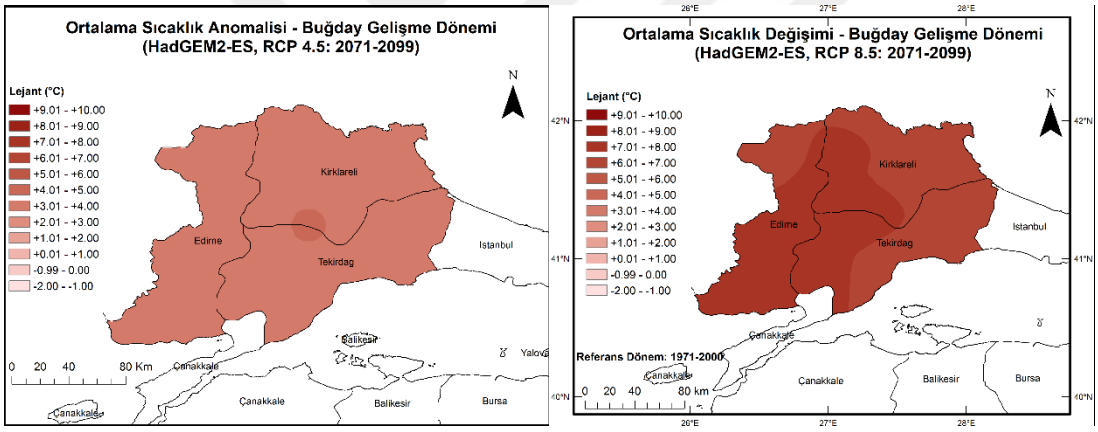
Şekil 3.46 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Değişim Haritaları.

Şekil 3.47 ve Şekil 3.48'de kışlık buğday bitkisinin 2071-2099 dönemine ait ortalama sıcaklık ve değişim haritaları bulunmaktadır. Bu dönemdeki ortalama sıcaklıklar RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre 13.6°C ve 17.2°C olarak hesaplanmıştır. Ortalama sıcaklık değişim miktarları RCP 4.5 ve 8.5 senaryosunda sırasıyla 3.4°C ve 7.0°C olarak belirlenmiştir. İyimser ve kötümser senaryodaki haritalar incelendiğinde kışlık buğday bitkisinin gelişme dönemindeki ortalama sıcaklıkların yükseldiği görülmektedir. Şekil 3.49 ve Şekil 3.50'de kışlık buğday bitkisinin 2020-2040 dönemine ait maksimum sıcaklık ve 1971-2019 yılları arasındaki buğday gelişme dönemine göre değişim haritaları bulunmaktadır. Buğday gelişme döneminin 1971-

2019 yılları arasındaki maskimum sıcaklık 15.1°C olarak ölçülmüştür ve maksimum sıcaklığın en yüksek olduğu yer 16.1°C ile Lüleburgaz, en düşük olduğu yer ise 14.4°C ile Çorlu olarak belirlenmiştir.



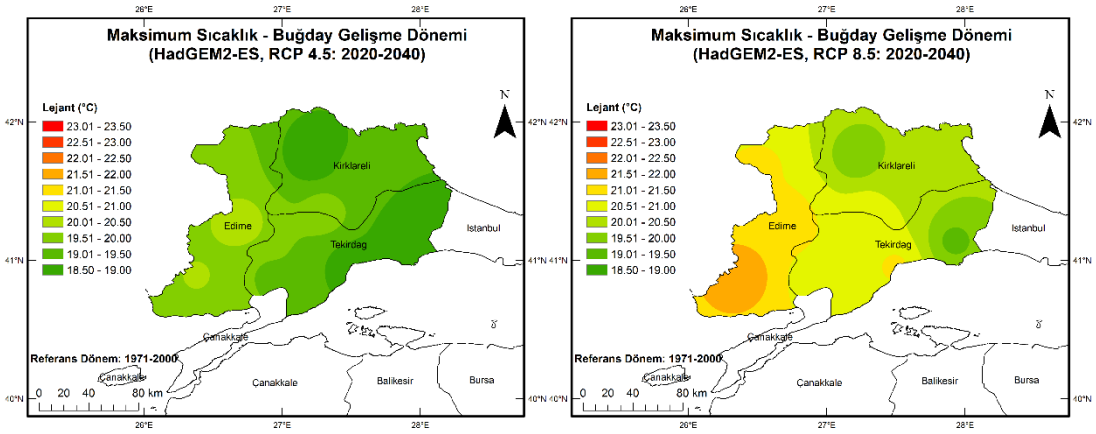
Şekil 3.47 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Haritaları.



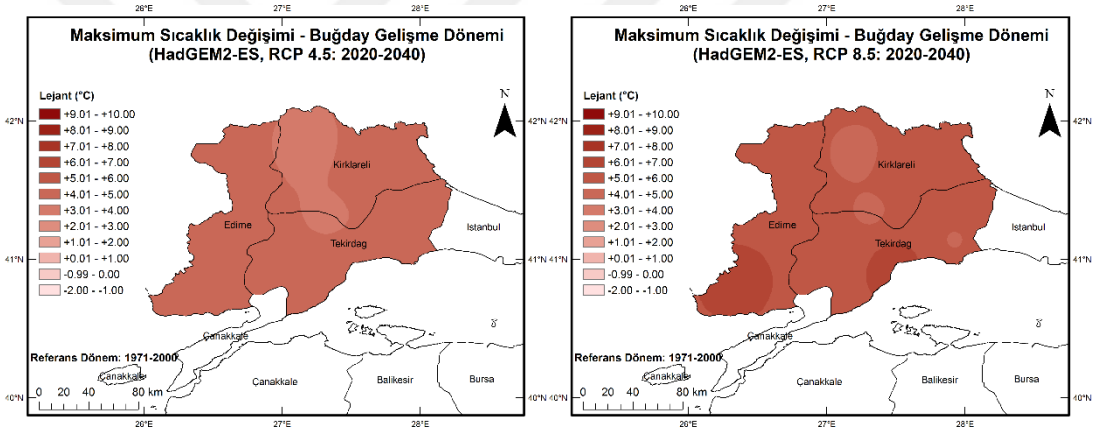
Şekil 3.48 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Ortalama Sıcaklık Değişim Haritaları.

2000li yıllardan itibaren yaşanan ısınma ilerleyen P1, P2 ve P3 dönemlerinde de devam edeceği tahmin edilmektedir. Maksimum sıcaklıklardaki artış ortalama sıcaklıklardaki artışa göre daha fazla olacağı tahmin edilmiştir ve P1 dönemindeki iyimser ve kötümser senaryolara göre değişim miktarları sırasıyla 4.2°C ve 5.5°C olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bu dönemde bölge genelindeki maksimum sıcaklıklar sırasıyla 19.4°C ile 20.7°C olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.51 ve Şekil 3.52'de kışlık buğday bitkisinin 2041-2070 dönemine ait maksimum sıcaklık ve değişim haritaları bulunmaktadır. P2 döneminde bölge genelindeki maksimum sıcaklıklar RCP 4.5 senaryosunda 18.7°C ile 21.1°C arasında değişmektedir ve ortalama 19.7°C olarak

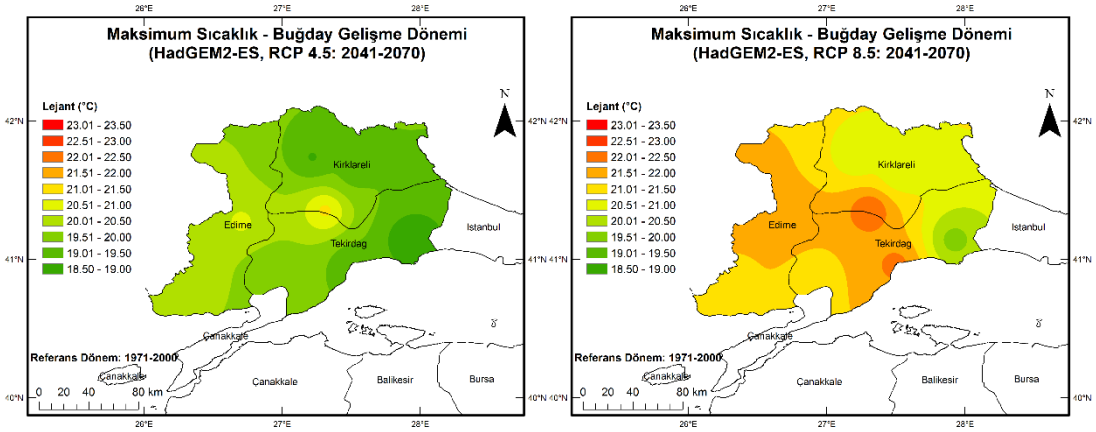
hesaplanmıştır. RCP 8.5 senaryosunda ise bu durum 19.9°C ile 22.4°C arasında değişmekle birlikte ortalama 21.3°C'a çıkmıştır.



Şekil 3.49 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Haritaları.

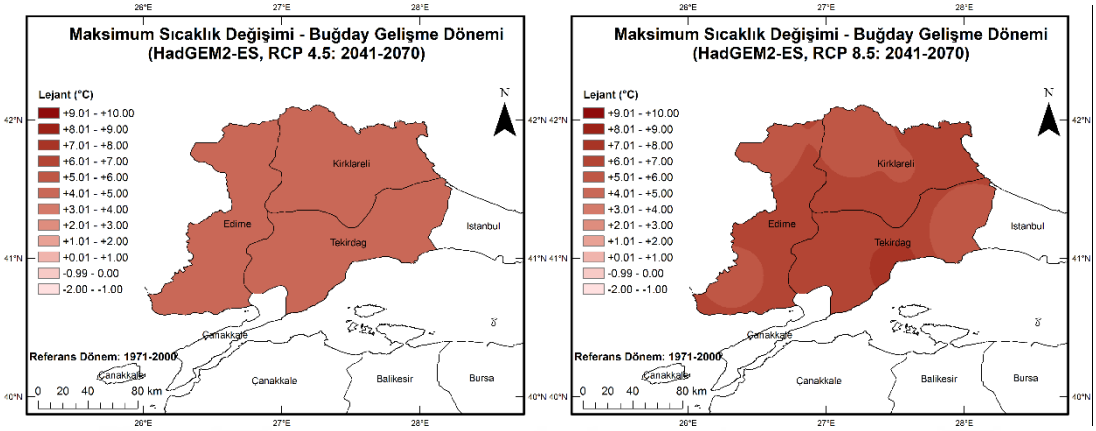


Şekil 3.50 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Değişim Haritaları.



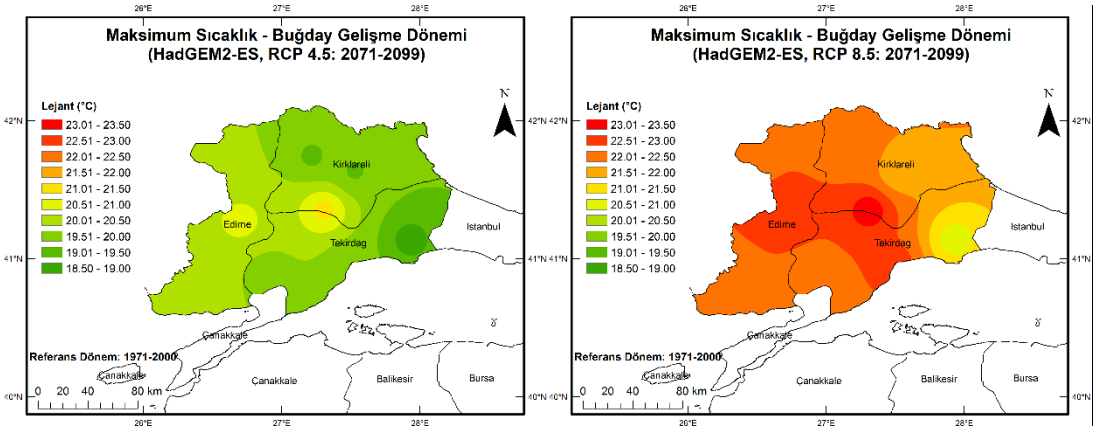
Şekil 3.51 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Haritaları.

Maksimum sıcaklıkların P2 dönemi RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre bölge genelindeki değişim miktarları incelendiğinde ise sırasıyla 4.6°C ve 6.2°C olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.52 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Değişim Haritaları.

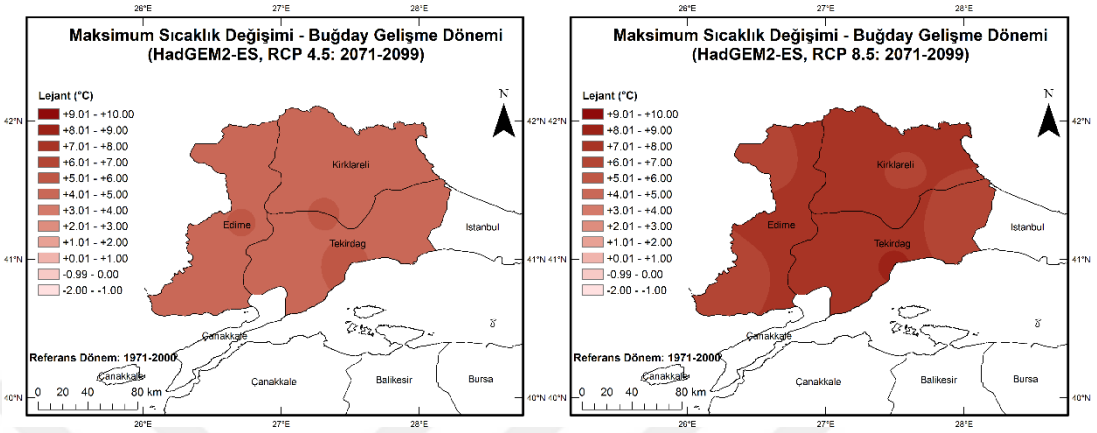
Şekil 3.53 ve Şekil 3.54'te kışlık buğday bitkisinin 2071-2099 dönemine ait maksimum sıcaklık ve değişim haritaları bulunmaktadır. P3 döneminde bölge genelindeki maksimum sıcaklıklar RCP 4.5 senaryosunda 18.8°C ile 21.2°C arasında değişmektedir ve ortalama 19.9°C olarak hesaplanmıştır. RCP 8.5 senaryosunda ise bu durum 20.7°C ile 23.3°C arasında değişmekle birlikte ortalama 22.3°C'a çıkacağı tahmin edilmektedir. Bununla birlikte maksimum sıcaklık değişim miktarları RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sırasıyla 4.8°C ve 7.1°C olarak hesaplanmıştır.



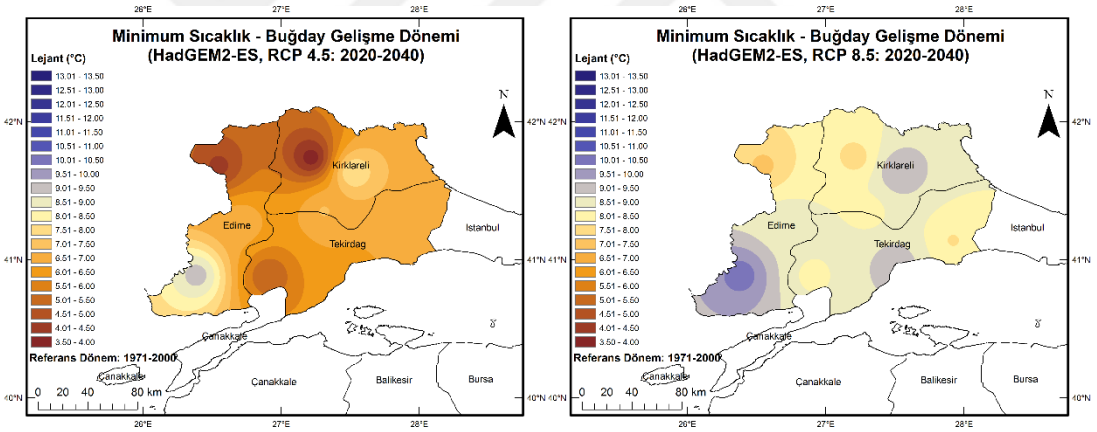
Şekil 3.53 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Haritaları.

Şekil 3.55 ve Şekil 3.56'da kışlık buğday bitkisinin 2020-2040 dönemine ait minimum sıcaklık ve 1971-2019 yılları arasındaki buğday gelişme dönemine göre değişim

haritaları bulunmaktadır. Buğday gelişme döneminin 1971-2019 yılları arasındaki minimum sıcaklık 5.7°C olarak ölçülmüştür ve minimum sıcaklığın en yüksek olduğu yer 7.3°C ile Tekirdağ, en düşük olduğu yer ise 4.3°C ile Lüleburgaz olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.54 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Maksimum Sıcaklık Değişim Haritaları.

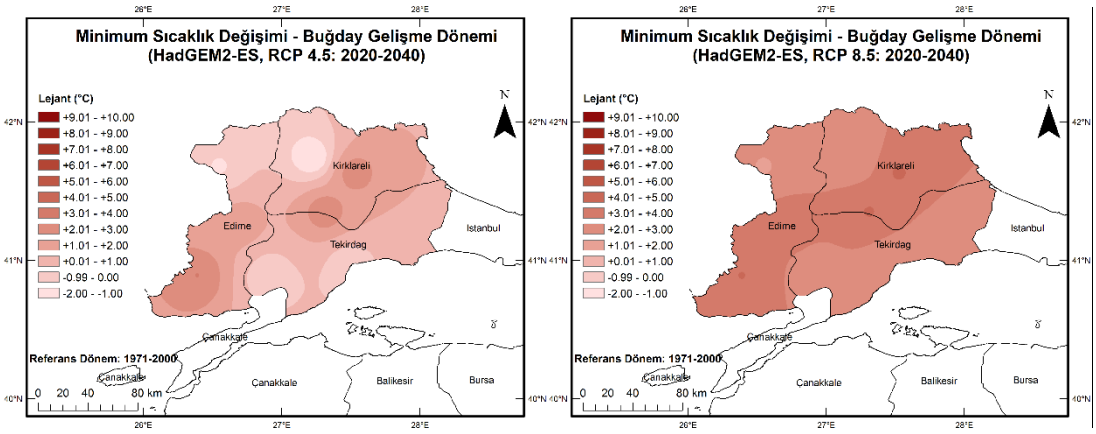


Şekil 3.55 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Haritaları.

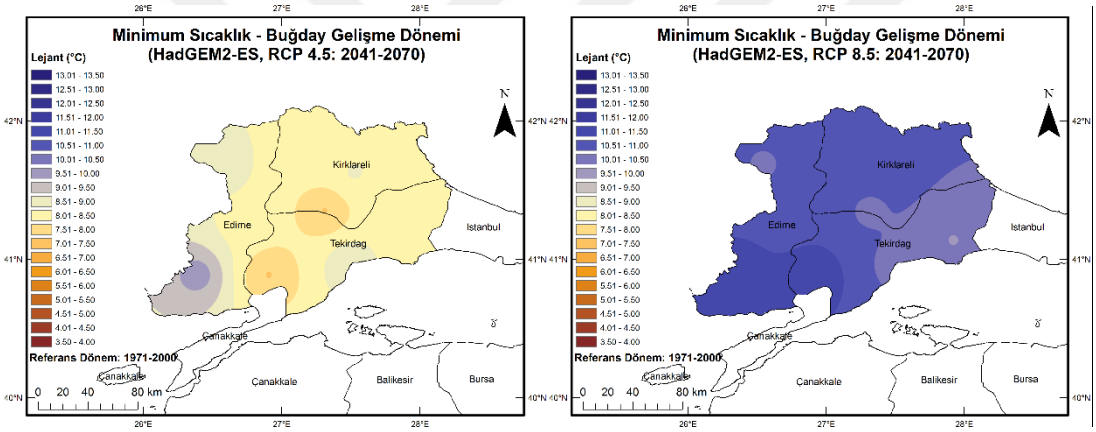
P1 dönemi RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre bölgedeki minimum sıcaklık ortalaması sırasıyla 6.4°C ile 8.6°C olarak belirlenmiştir. Minimum sıcaklıklardaki değişim miktarları ise sırasıyla 0.7°C ve 2.9°C olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3.57 ve Şekil 3.58'de kışlık buğday bitkisinin 2041-2070 dönemine ait minimum sıcaklık ve değişim haritaları gösterilmiştir. Bu haritalar incelendiğinde kışlık buğday gelişme dönemindeki minimum sıcaklık değerlerinin artışının devam ettiği görülmektedir. P2 döneminde RCP 4.5 senaryosu için belirlenen minimum sıcaklıkların bölgedeki ortalaması 8.4°C ve değişimi ise 2.7°C olarak hesaplanmıştır.

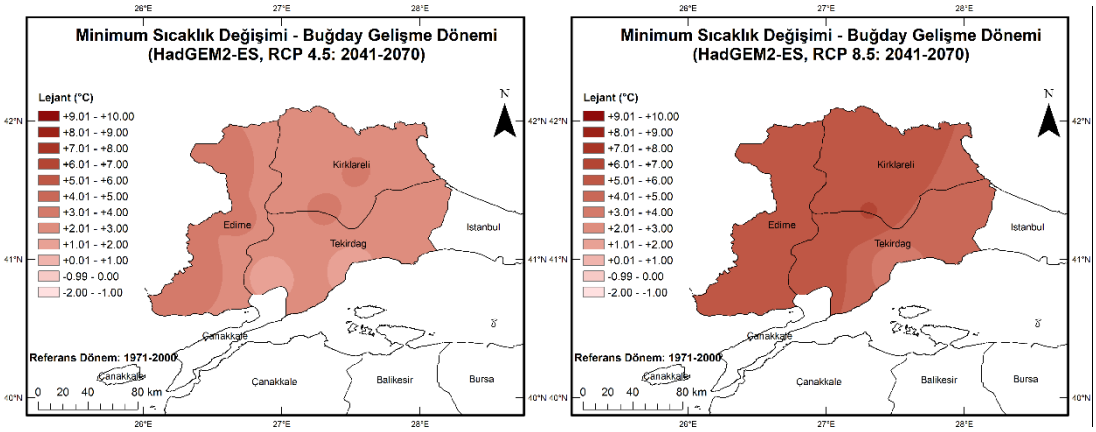
Bu dönemdeki RCP 8.5 senaryosuna göre minimum sıcaklık ortalaması ve değişim miktarları sırasıyla 10.7°C ve 5.0°C olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.56 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Değişim Haritaları.

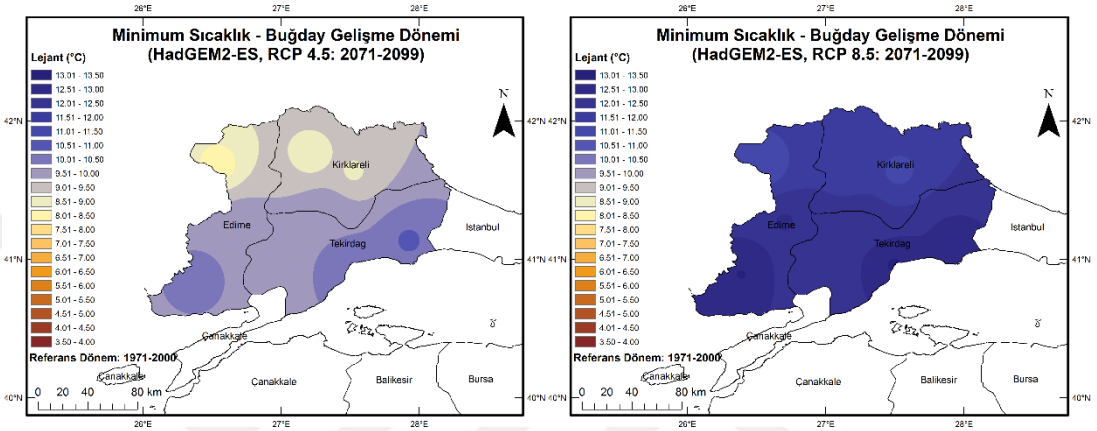


Şekil 3.57 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Haritaları.

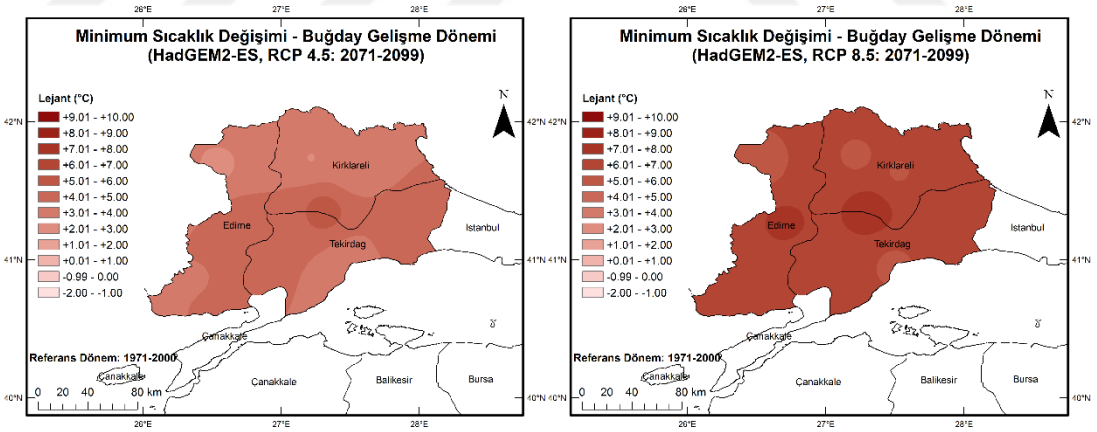


Şekil 3.58 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Değişim Haritaları.

Şekil 3.59 ve Şekil 3.60'ta kışlık buğday bitkisinin 2071-2099 dönemine ait minimum sıcaklık ve değişim haritaları gösterilmiştir. Bu dönemde RCP 4.5 senaryosunda bölgedeki minimum sıcaklıklar 8.2°C ile 10.6°C arasında değişmektedir ve ortalama 9.6°C olarak hesaplanmıştır. RCP 8.5 senaryosunda ise bölgedeki minimum sıcaklıklar 11.1°C ile 13.0°C arasında değişmektedir ve ortalama 12.2°C olarak hesaplanmıştır. Bölgedeki minimum sıcaklık değişim miktarları ise RCP 4.5 ve 8.8 senaryolarında sırasıyla 3.9°C ve 6.5°C olarak hesaplanmıştır.



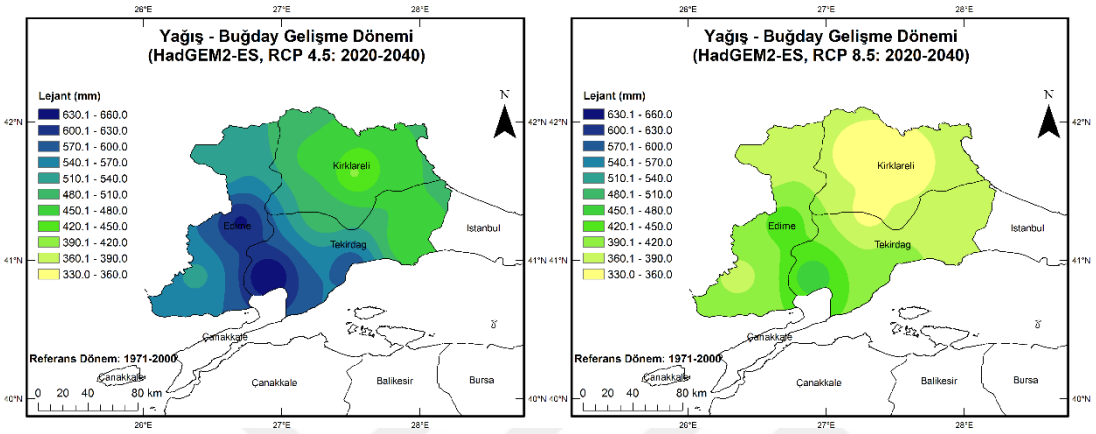
Şekil 3.59 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Haritaları.



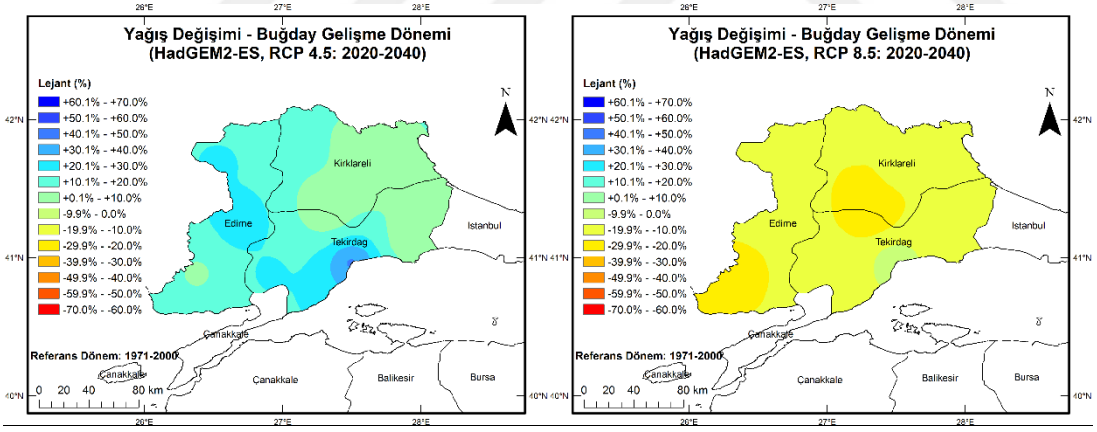
Şekil 3.60 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Minimum Sıcaklık Değişim Haritaları.

Şekil 3.61 ve Şekil 3.62'de kışlık buğday bitkisinin gelişme dönemi aylarındaki 2020-2040 yılları arasındaki toplam yağış ve 1971-2019 yılları arasındaki kışlık buğday gelişme döneminde gerçekleşen yağışlara göre hesaplanmış değişim haritaları bulunmaktadır. 1971-2019 yılları arasında kışlık buğday gelişme dönemi aylarında gerçekleşen yağış miktarı ortalaması 460.2 mm olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde en

düşük yağış miktarı 410.5 mm ile Pınarhisar'da, en yüksek yağış miktarı ise 544.9 mm ile Malkara'da ölçülmüştür. P1 dönemindeki toplam yağış miktarları RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla 529.3 mm ile %15 artış ve 387.4 mm ile %26.8 azalış belirlenmiştir. İyimser senaryoda yağış miktarı tüm lokasyonlardaki yağış miktarı artış göstermiştir ve %0.2 ile %40.7 arasında artışlar belirlenmiştir. Kötümser senaryoda ise tüm lokasyonlardaki yağış miktarında %2.7 ile %27.5 oranında azalmıştır.

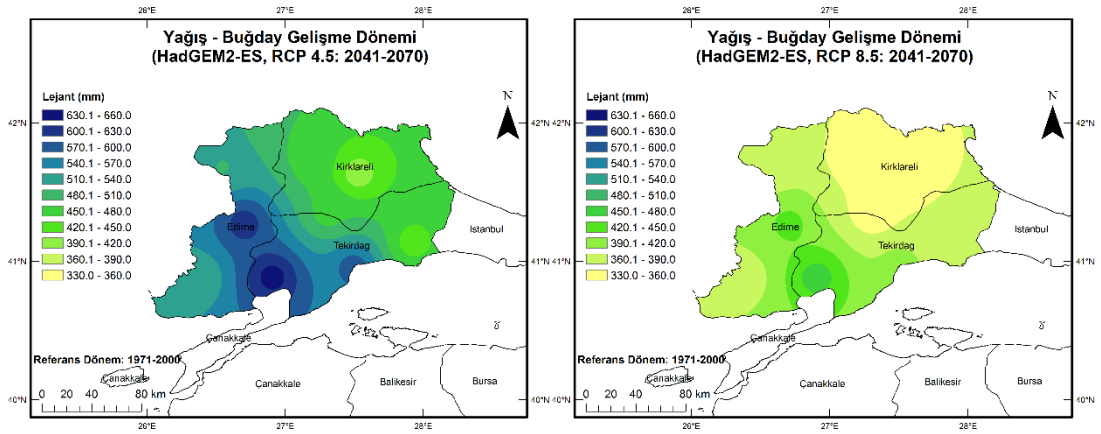


Şekil 3.61 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Toplam Yağış Haritaları.

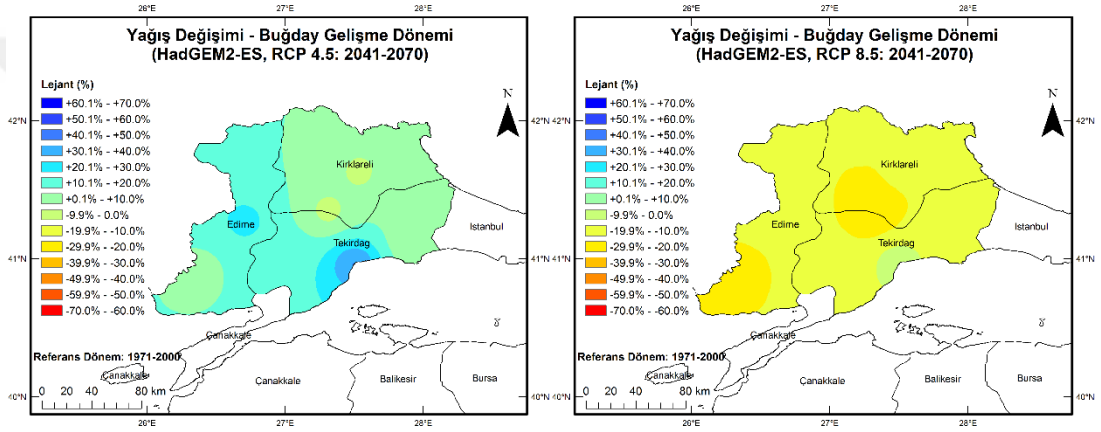


Şekil 3.62 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Değişim Haritaları.

Şekil 3.63 ve Şekil 3.64'te kışlık buğday bitkisinin gelişme dönemi aylarındaki 2041-2070 yılları arasındaki toplam yağış ve değişim haritaları bulunmaktadır. Ortalama düşen toplam yağış miktarları RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla 515.5 mm (%12.0 artış) ve 380.6 mm (%26.2 azalış) olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde RCP 4.5 senaryosunda yağış değişimleri -%2.8 ile %40.1, RCP 8.5 senaryosunda ise -%3.8 ile -%29.8 arasındadır.



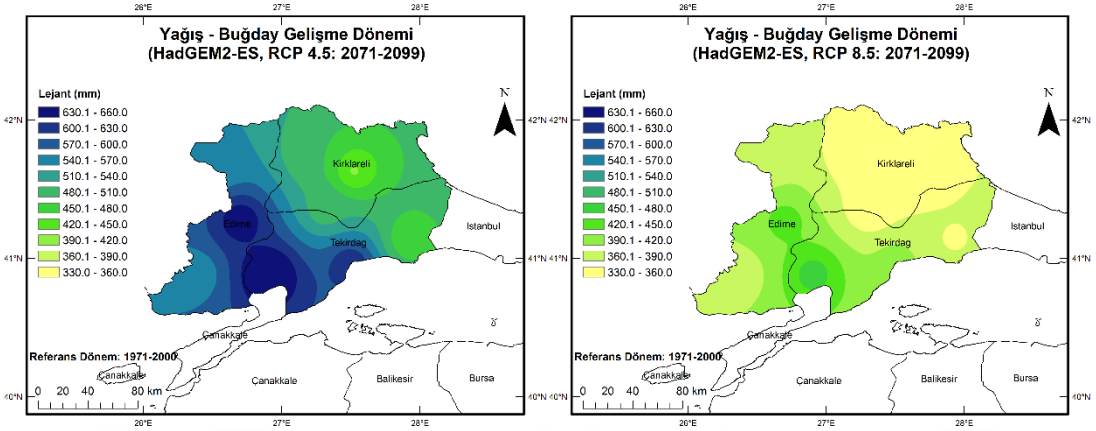
Şekil 3.63 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Toplam Yağış Haritaları.



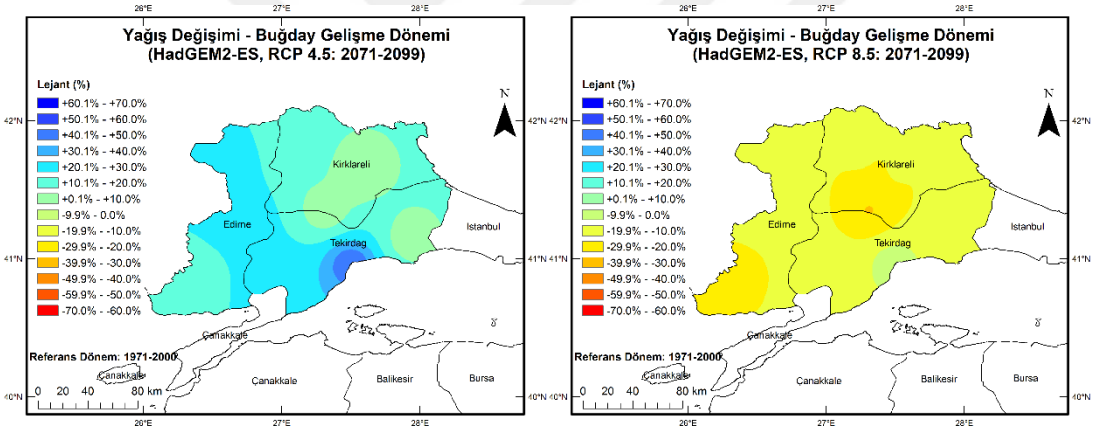
Şekil 3.64 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Değişim Haritaları.

Şekil 3.65 ve Şekil 3.66'da kışlık buğday bitkisinin gelişme dönemi aylarındaki 2071-2099 yılları arasındaki toplam yağış miktarı ve değişim haritaları bulunmaktadır. RCP 4.5 senaryosu yağış miktarı P2 dönemine göre bölge genelinde 515.5 mm iken P3 döneminde ise 545.5 mm olarak hesaplanmıştır ve yağış değişimi %12.0'dan %18.5'e çıkmıştır. Bu senaryoda bölgedeki tüm istasyonlarda yağış miktarında artış belirlenmiş olup %1.8 (Pınarhisar) ve %50 (Tekirdağ) arasında değişmektedir. RCP 8.5 senaryosunda ise bölgeye düşen yağış miktarında önemli bir değişiklik olmamıştır ve P3 döneminde %30.5 azalış ile 379.3 mm olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca bölgedeki yağış miktarında %2.9 (Tekirdağ) ve %30.9 (Lüleburgaz) oranında azalma meydana geleceği öngörülmektedir.

Kışlık buğdayın gelişim gösterdiği aylardaki P1, P2 ve P3 dönemlerinde hesaplanan efektif yağış miktarı ve değişim haritaları Şekil 3.67 ve Şekil 3.72 arasında gösterilmektedir.



Şekil 3.65 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Toplam Yağış Haritaları.

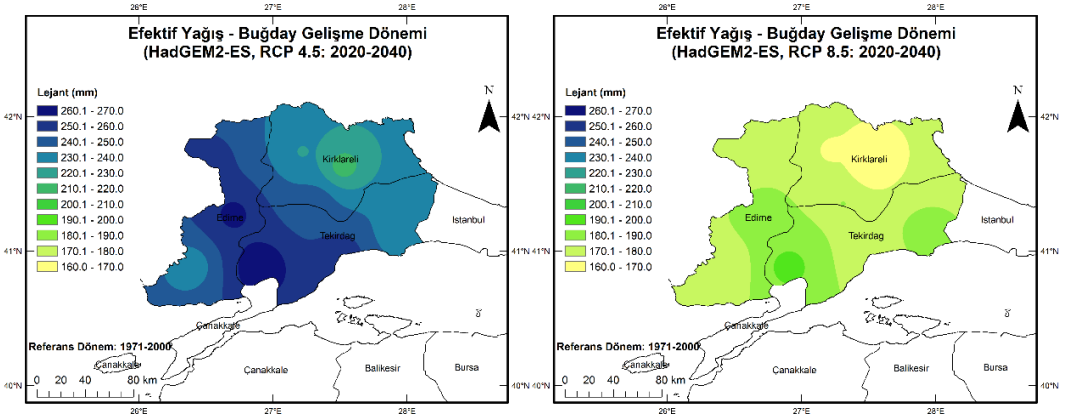


Şekil 3.66 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Yağış Değişim Haritaları.

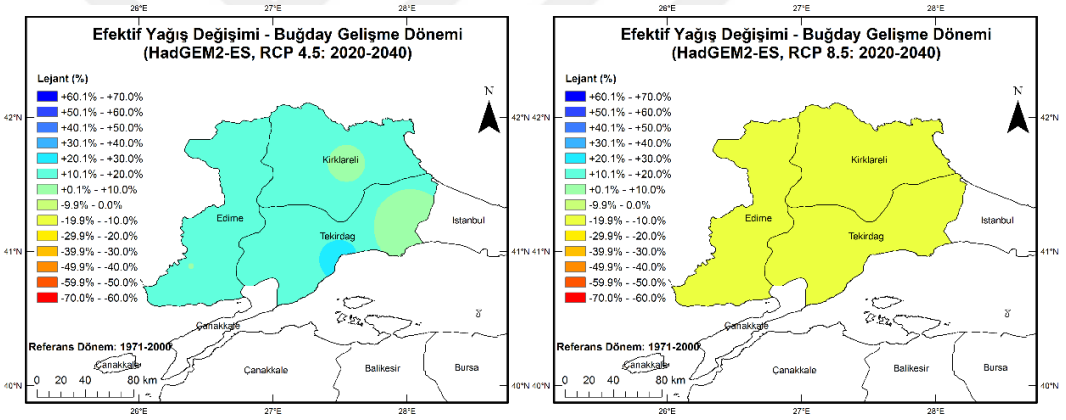
Şekil 3.67 ve Şekil 3.68'de P1 dönemi RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre efektif yağış miktarı ve değişim haritaları bulunmaktadır. Bu dönemde RCP 4.5 senaryosuna göre efektif yağış miktarı değişimi bölge genelinde %5.6 ile %23.9 oranında artış gösterdiği belirlenmiştir ve ortalama efektif yağış miktarı 244.6 mm (13.4 artış) olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde RCP 8.5 senaryosu incelendiğinde ise tüm lokasyonlarda %15.6 ile %19.8 oranında efektif yağış azalışı hesaplanmıştır. Bölge genelinde RCP 8.5 senaryosuna göre 177 mm ile %27.6 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 3.69 ve Şekil 3.70'te 2041-2070 dönemi RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre efektif yağış miktarı ve değişim haritaları bulunmaktadır. Bu dönemdeki efektif yağış

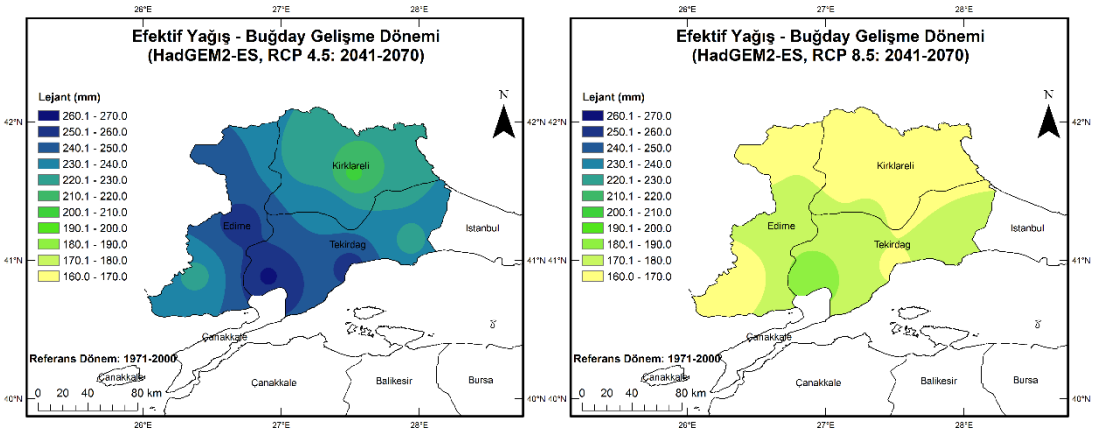
miktarı RCP 4.5 senaryosuna göre P2 dönemine göre azalmıştır ve bölge genelindeki efektif yağış toplamı %10.2 artışla 237.6 mm olarak hesaplanmıştır. RCP 8.5 senaryosu incelendiğinde ise %28.4 azalışla 170.2 mm olmuştur.



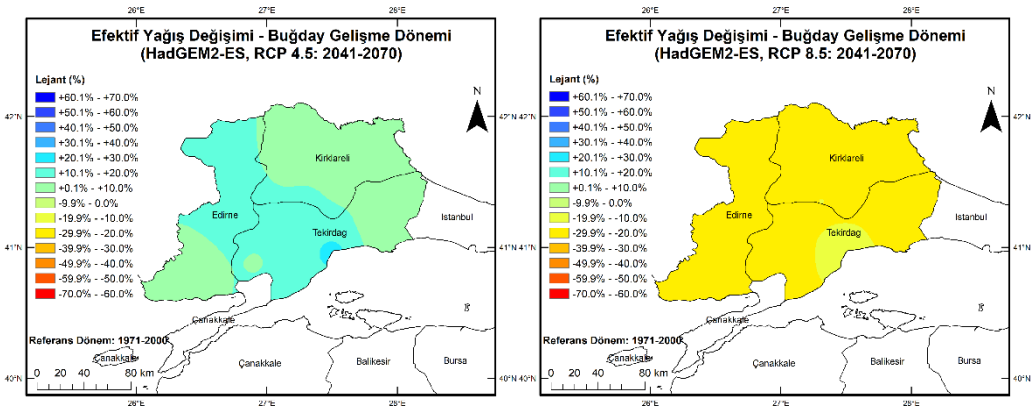
Şekil 3.67 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Haritaları.



Şekil 3.68 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2020-2040 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Değişim Haritaları.

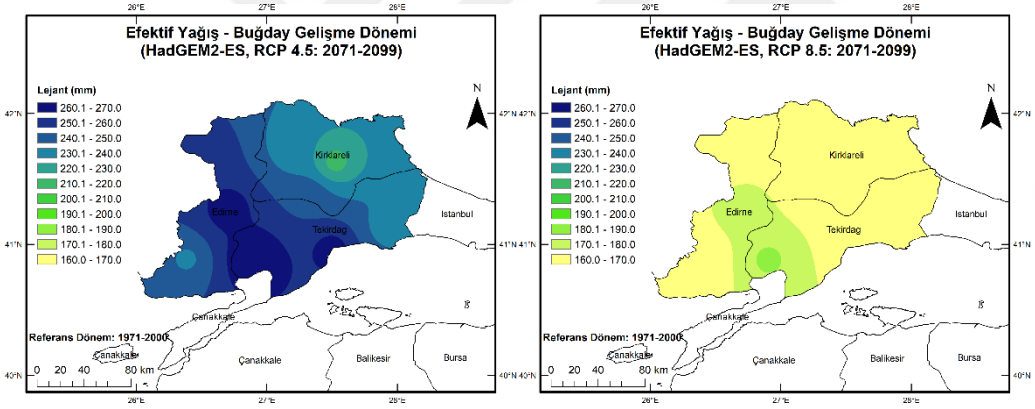


Şekil 3.69 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Haritaları.

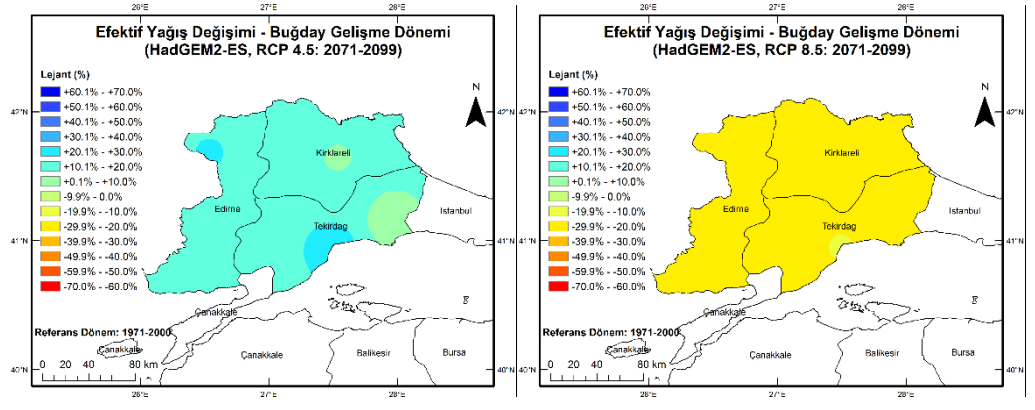


Şekil 3.70 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2041-2070 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Değişim Haritaları.

Şekil 3.71 ve Şekil 3.72'de 2071-2099 dönemi RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre efektif yağış miktarı ve değişim haritaları bulunmaktadır. Bu dönemde RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre belirlenmiş bölgenin ortalama efektif yağış miktarları %14.9 artış ile 247.8 mm ve %33.0 azalış ile 166.1 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.71 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Haritaları.



Şekil 3.72 : Buğday Gelişme Dönemi HadGEM2-ES Modeli Tarafından 2071-2099 Dönemi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre Elde Edilmiş Efektif Yağış Değişim Haritaları.

3.3 Su Ayak İzi Bulguları

HadGEM2-ES genel sirkülasyon modeli tarafından RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre elde edilmiş meteorolojik değişkenlere ait sonuçların HIRHAM5 bölgesel iklim modeli ile alt ölçeklendirilerek elde edilen meteorolojik değişkenler AquaCrop, DSSAT ve WOFOST modellerine girilerek ileriye yönelik ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin verimi ve su ayak izi (SAİ) miktarları belirlenmiştir.

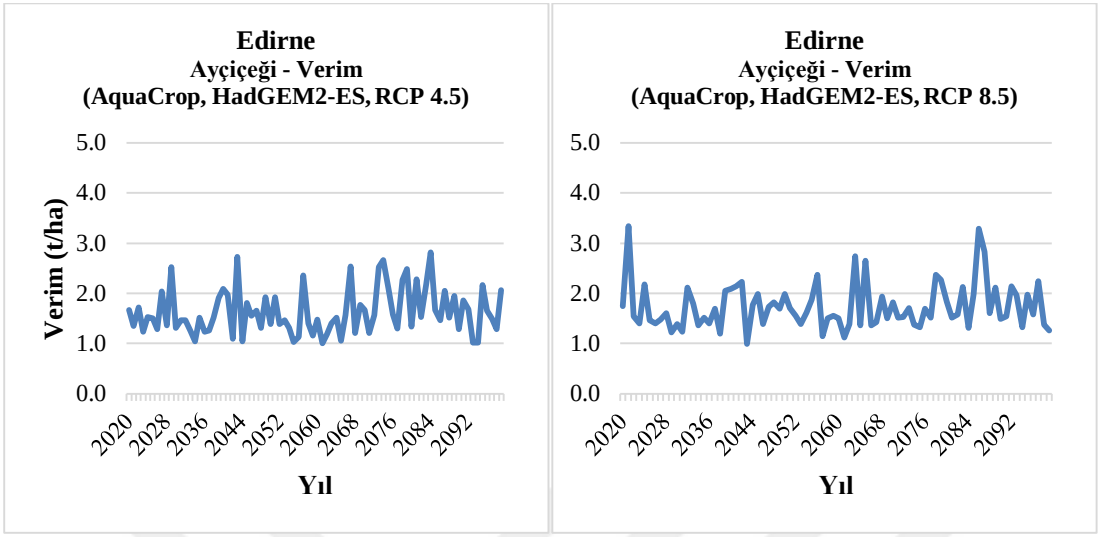
3.3.1 AquaCrop sonuçları

AquaCrop modelinde HadGEM2-ES modelinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre üretilmiş meteorolojik değişkenler Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinde ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin gelişiminin, veriminin ve SAİ'lerinin simülasyonu için kullanılmıştır.

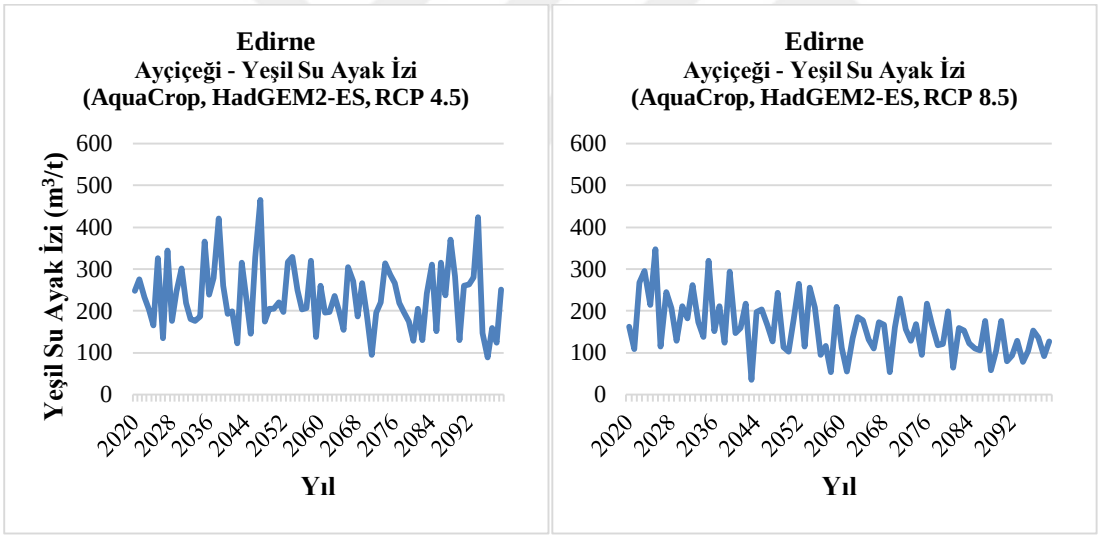
3.3.1.1 Ayçiçeği bitkisi sonuçları

AquaCrop modeli ile ayçiçeği bitkisinin HadGEM2-ES, RCP 4.5 ve 8.5 simülasyon sonuçları kullanılarak Edirne, Kırklareli ve Edirne illeri için 2020 yılından 2099 yılına kadar verim ve su ayak izi simülasyonları yapılmıştır. İleriye yönelik yapılan 80 yıllık dönemdeki verim ve SAİ miktarındaki zaman serileri Şekil 3.73 ve Şekil 3.78 arasında gösterilmektedir. Edirne için RCP 4.5 senaryosu verilerine göre AquaCrop simülasyonları incelendiğinde en düşük ve en yüksek ayçiçeği verimi 1.01 ve 2.82 t/ha olarak belirlenmiştir. RCP 8.5 senaryosuna göre verim değerleri ise 1.00 ve 3.34 t/ha arasında değişmektedir. RCP 4.5 senaryosunda gerçekleşen 13.4 mm ile en düşük efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim miktarı 1.10 t/ha; 133.1 ile en yüksek efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim miktarı 2.73 t/ha olarak belirlenmiştir. RCP 8.5 senaryosundaki verim değerleri incelendiğinde ise 3.5 mm ile en düşük efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim miktarı 1.00 t/ha; 76.2 ile en yüksek efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim miktarı 2.05 t/ha olarak belirlenmiştir (Şekil 3.73). AquaCrop modeli ile RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre simülasyonu yapılan ayçiçeği bitkisinin Edirne'deki SAİ miktarları Şekil 3.74'te bulunmaktadır. Yapılan simülasyonlara göre SAİ değerleri RCP 4.5 senaryosunda 89.4 ile 466.0 m^3/t; RCP 8.5 senaryosunda ise 34.9 ile 347.6 m^3/t arasında değişmektedir. RCP 4.5 senaryosunda en düşük ve en

yüksek efektif yağışın görüldüğü gelişme dönemlerdeki SAİ miktarı sırasıyla 122.4 ve 314.8 m^3/t olarak hesaplanmıştır.



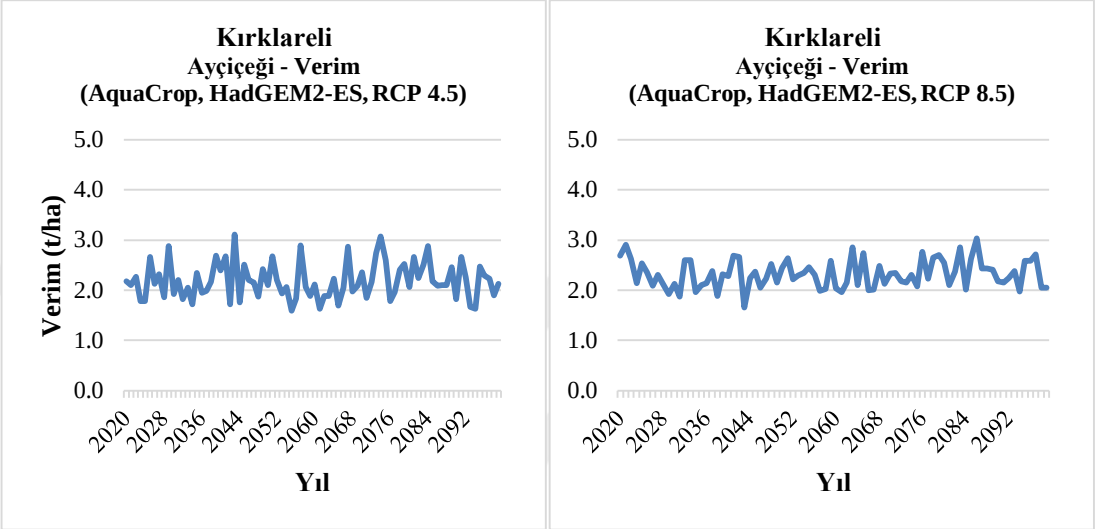
Şekil 3.73 : Edirne İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Verim Sonuçları Zaman Serileri.



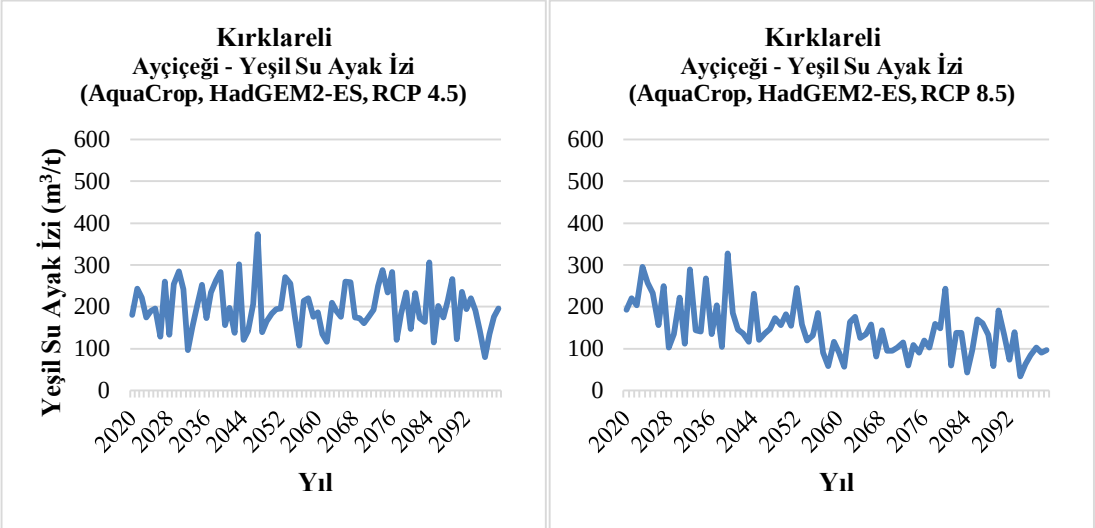
Şekil 3.74 : Edirne İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop SAİ Sonuçları Zaman Serileri.

Şekil 3.75 ve Şekil 3.76'da AquaCrop modeli RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre elde edilen veriler ile Kırklareli'de yetiştirilen ayçiçeği bitkisinin verim ve SAİ miktarının zaman serileri bulunmaktadır. RCP 4.5 senaryosunda gerçekleşen en düşük ve en yüksek verim 1.59 ve 3.11 t/ha; SAİ miktarı ise 80.5 ile 374.3 m^3/t arasında olduğu belirlenmiştir. RCP 8.5 senaryosunda ise gerçekleşen en düşük ve en yüksek verim 1.66 ve 3.04 t/ha; SAİ miktarı ise 33.9 ile 327.3 m^3/t arasındadır. Kırklareli'de RCP 4.5 senaryosunda ayçiçeği gelişme döneminde 19.4 mm ile en düşük gerçekleşen efektif yağış miktarındaki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 1.83 t/ha ve 95.9 m^3/t; 151.3

mm ile en yüksek efektif yağış miktarındaki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 3.11 t/ha ve 301.8 m^3/t olarak belirlenmiştir. RCP 8.5 senaryosundaki zaman serileri incelendiğinde ise 9.0 mm ile en düşük efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarları sırasıyla 1.98 t/ha ve 33.9 m^3/t; 98.2 mm ile en yüksek efektif yağış miktarının olduğu dönemdeki verim ve SAİ değerleri sırasıyla 2.54 t/ha ve 256.6 m^3/t olarak hesaplanmıştır.



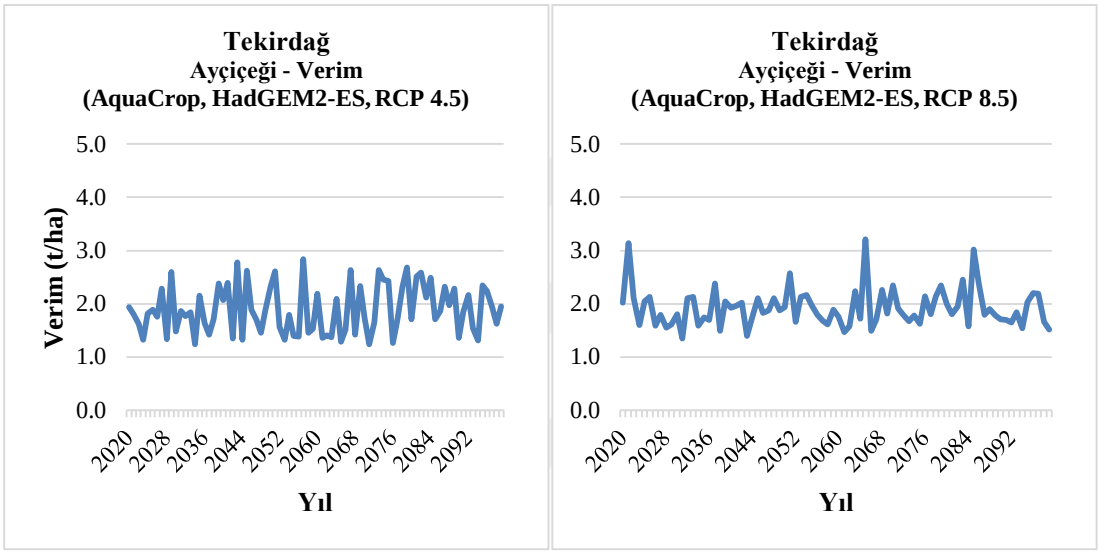
Şekil 3.75 : Kırklareli İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Verim Sonuçları Zaman Serileri.



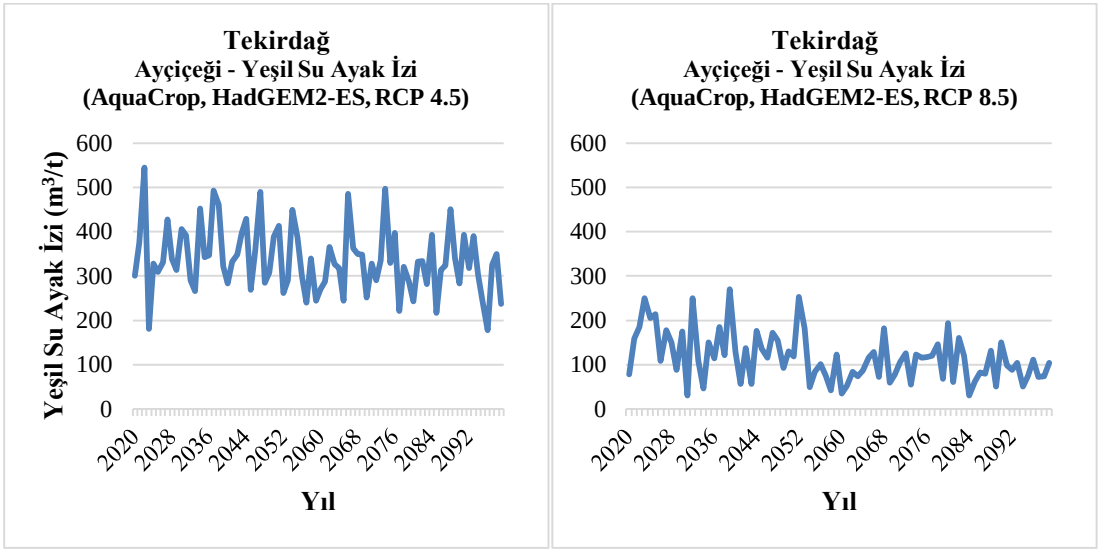
Şekil 3.76 : Kırklareli İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop SAİ Sonuçları Zaman Serileri.

Şekil 3.77 ve Şekil 3.78'de AquaCrop modeli RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre elde edilen veriler ile Kırklareli'de yetiştirilen ayçiçeği bitkisinin verim ve SAİ miktarının zaman serileri bulunmaktadır. Tekirdağ için RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları verilerine göre yapılan simülasyonlar incelendiğinde en düşük ve en yüksek verim sırasıyla 1.24 ve

2.84 t/ha; 1.35 ve 3.21 t/ha olarak belirlenmiştir. RCP 4.5 senaryosunda ayçiçeği gelişme döneminde gerçekleşen 30.0 mm ile en düşük efektif yağış miktarının olduğu zamandaki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 1.37 t/ha ve 180.1 m^3/t; 173.0 mm ile en yüksek efektif yağışın olduğu dönemde ise sırasıyla 2.77 t/ha ve 397.2 m^3/t olarak belirlenmiştir. RCP 8.5 senaryosuna göre 4.2 mm ile en düşük efektif yağış miktarının olduğu zamandaki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 1.35 t/ha ve 31.1 m^3/t; 93.0 mm ile en yüksek efektif yağışın olduğu dönemde ise sırasıyla 3.14 t/ha ve 159.5 m^3/t olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.77 : Tekirdağ İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Verim Sonuçları Zaman Serileri.



Şekil 3.78 : Tekirdağ İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop SAİ Sonuçları Zaman Serileri.

Çizelge 3.2'de HadGEM2-ES modelinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre AquaCrop modeli ile yapılan ayçiçeği bitki simülasyonları sonuçlarının ileriye yönelik üç farklı dönemdeki verim ortalamaları model kalibrasyonu yapılan dönemdeki gerçek verimlere göre karşılaştırılarak değişimleri hesaplanmıştır. Çizelge 3.3'te ise ayçiçeği bitkisinin dönemsel SAİ değişimleri bulunmaktadır. Edirne ve Tekirdağ illerindeki ayçiçeği verim miktarı dönemsel olarak sürekli azalış göstermektedir. Kırklareli'deki verim ise RCP 4.5 senaryosu 2071-2099 döneminde ve RCP 8.5 senaryosunun tüm dönemlerinde artış göstermiştir. RCP 4.5 senaryosunda verim değerlerinde Trakya genelinde %14.3 oranında azalmıştır. Dönemsel olarak incelendiğinde ise 2020-2040 (P1) zaman aralığında %17.2, 2041-2070 (P2) zaman aralığında %17.0, 2071-2099 (P3) zaman aralığında ise %8.7 oranında azalmıştır. RCP 8.5 senaryosuna göre yapılan simülasyonlar incelendiğinde ise bölge genelindeki ayçiçeği verimi %10.1 azalmıştır. P1 döneminde ise %11.8, P2 döneminde %10.7 ve P3 döneminde ise %7.8 oranında azalmıştır.

Çizelge 3.2 : Ayçiçeği Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre Verim Değişimi.

AQUACROP						
AYÇİÇEĞİ	RCP 4.5			RCP 8.5		
Verim (%)	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ
2020-2040	↓ -%28.3	↓ -%3.8	↓ -%19.5	↓ -%21.8	↑ %1.9	↓ -%15.5
2041-2070	↓ -%28.5	↓ -%4.1	↓ -%18.5	↓ -%20.3	↑ %2.2	↓ -%13.9
2071-2099	↓ -%16.4	↑ %0.8	↓ -%10.5	↓ -%15.8	↑ %6.5	↓ -%14.2

Çizelge 3.3 : Ayçiçeği Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre SAİ Değişimi.

AQUACROP						
AYÇİÇEĞİ	RCP 4.5			RCP 8.5		
Su Ayak İzi (%)	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ
2020-2040	↓ -%24.6	↓ -%55.7	↑ %15.8	↓ -%42.5	↓ -%57.3	↓ -%50.7
2041-2070	↓ -%34.3	↓ -%58.3	↑ %9.5	↓ -%57.7	↓ -%70.4	↓ -%65.1
2071-2099	↓ -%37.5	↓ -%58.1	↑ %3.4	↓ -%63.0	↓ -%75.9	↓ -%67.9

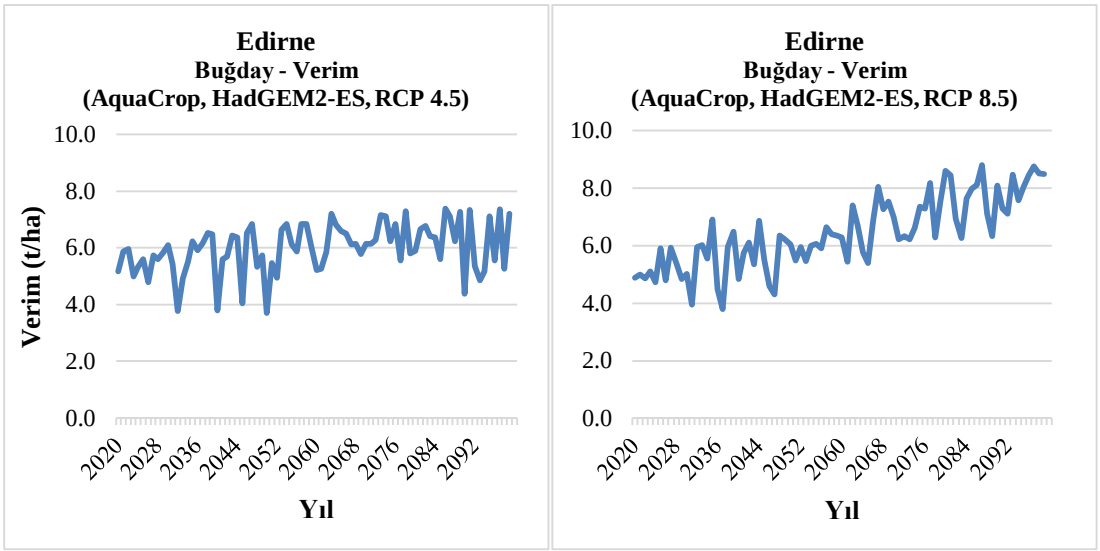
AquaCrop model sonuçlarına göre hesaplanan SAİ miktarı değişimleri dönemsel olarak incelendiğinde RCP 4.5 senaryosunda Tekirdağ'da SAİ miktarı artış göstermektedir. Bunun dışında tüm lokasyon ve dönemlerde SAİ miktarı azalmıştır. Bölgedeki SAİ miktarındaki değişim RCP 4.5 senaryosunda P1, P2 ve P3 zaman aralıklarında sırasıyla %21.5, %27.7 ve %30.7 oranında azalmıştır. RCP 8.5

senaryosunda ise bölgedeki dönemsel değişim miktarı sırasıyla %50.2, %64.4 ve %68.9 olarak hesaplanmıştır.

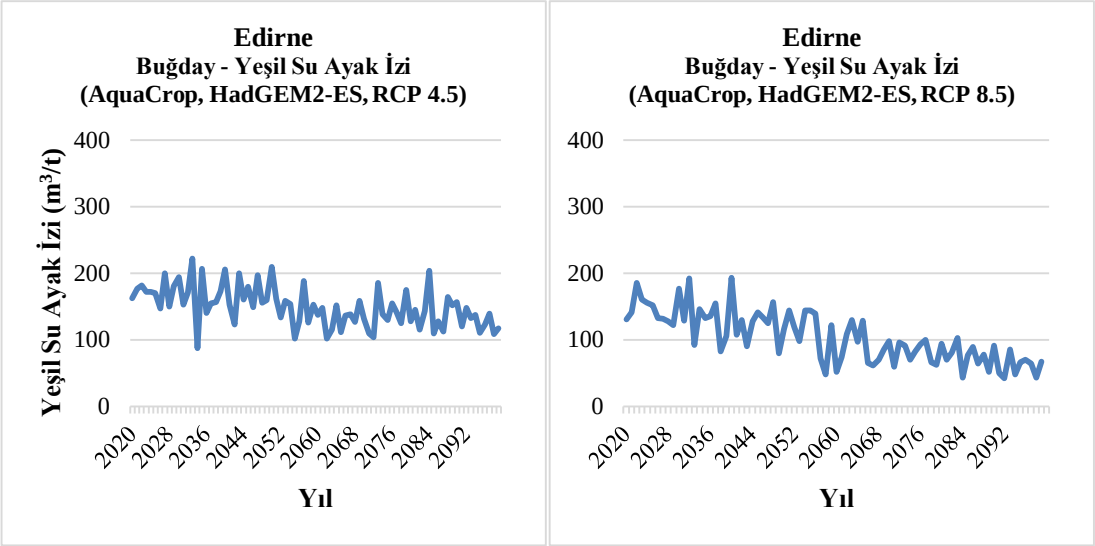
3.3.1.2 Kışlık buğday bitkisi sonuçları

AquaCrop modeli ile kışlık buğday bitkisinin HadGEM2-ES modelinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryo verileri kullanılarak Edirne, Kırklareli ve Edirne illeri için 2020 yılından 2099 yılına kadar verim ve SAİ simülasyonları yapılmıştır. İleriye yönelik yapılan 80 yıllık dönemdeki verim ve SAİ zaman serileri Şekil 3.79 ve Şekil 3.84 arasında gösterilmektedir. Şekil 3.79 ve Şekil 3.80'de RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre Edirne için yapılan buğday bitkisinin verim ve SAİ zaman serileri bulunmaktadır. RCP 4.5 senaryosunda belirlenmiş maksimum ve minimum verim ve SAİ miktarı sırasıyla 7.38 ile 3.70 t/ha ve 222.1 ile 87.1 m^3/t'dur. Efektif yağış miktarının 194.1 mm ile en düşük olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 5.18 t/ha ve 137.2 m^3/t; 518.8 mm olduğu gelişme döneminde ise 624 t/ha ve 207.0 m^3/t olarak belirlenmiştir.

Şekil 3.79 ve Şekil 3.84 arasında RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre Kırklareli için yapılan buğday bitkisinin verim ve SAİ zaman serileri bulunmaktadır. RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında gerçekleşen maksimum ve minimum verim miktarları sırasıyla 5.59 ve 4.07 t/ha; 6.78 ve 4.32 t/ha olarak belirlenmiştir. SAİ miktarları incelendiğinde ise RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla 237.7 ve 103.5 m^3/t; 202.9 ve 43.0 m^3/t olarak belirlenmiştir.

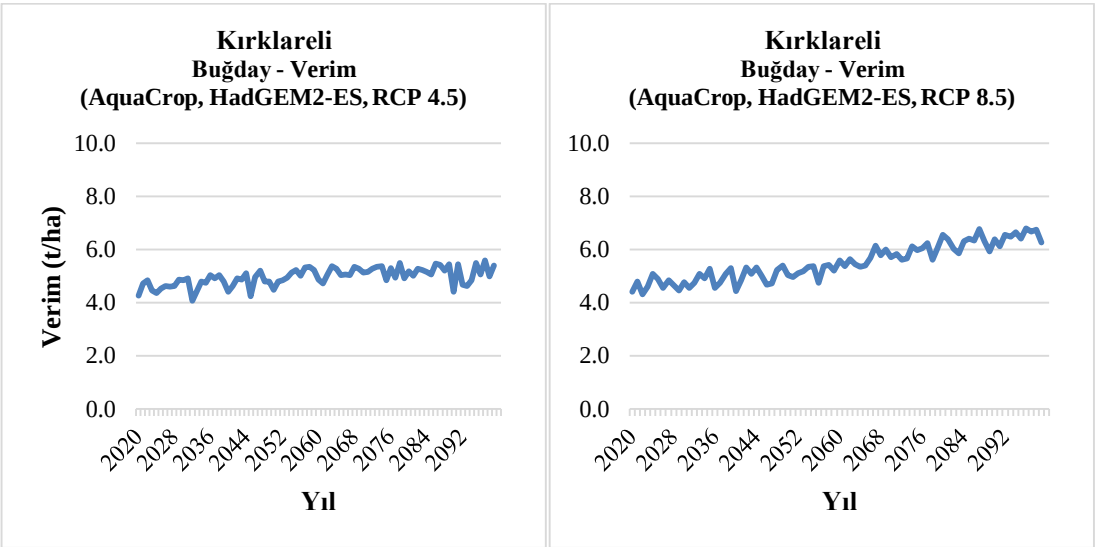


Şekil 3.79 : Edirne İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Verim Sonuçları Zaman Serileri.

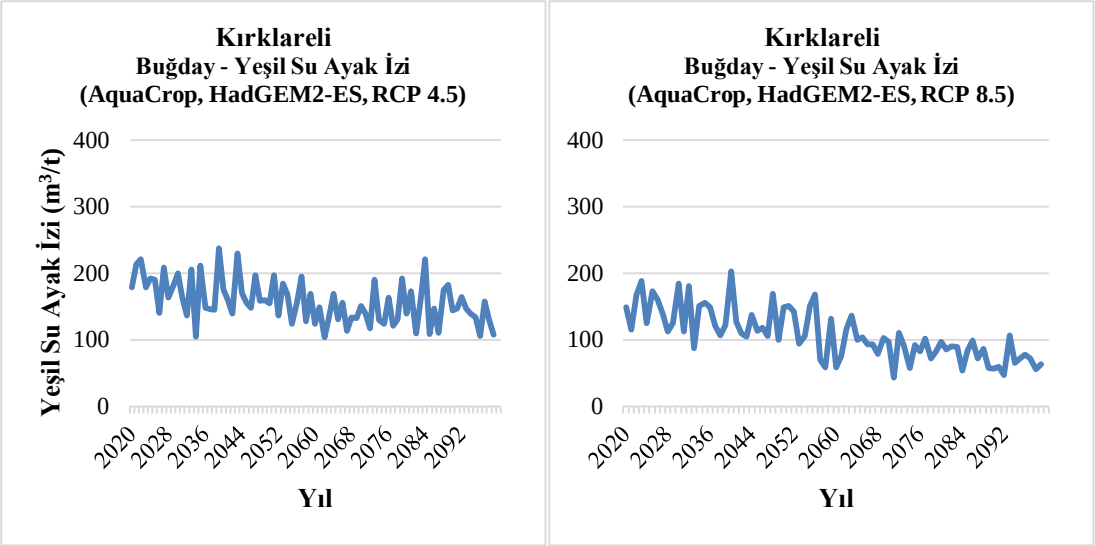


Şekil 3.80 : Edirne İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop SAİ Sonuçları Zaman Serileri.

RCP 4.5 senaryosuna göre Kırklareli'de buğday gelişme döneminde gerçekleşen 156.0 mm ile en düşük efektif yağış miktarı olduğundaki verim ve SAİ miktarları sırasıyla 4.83 t/ha ve 123.8 m^3/t; efektif yağışın 448.2 mm ile en yüksek olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 4.437 t/ha ve 205.8 m^3/t'dur. RCP 8.5 senaryosu incelendiğinde ise 319.0 mm ile en yüksek efektif yağışın olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarları sırasıyla 5.22 t/ha ve 169.1 m^3/t; efektif yağışın 78.5 mm ile en düşük olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 6.56 t/ha ve 47.1 m^3/t'dur.

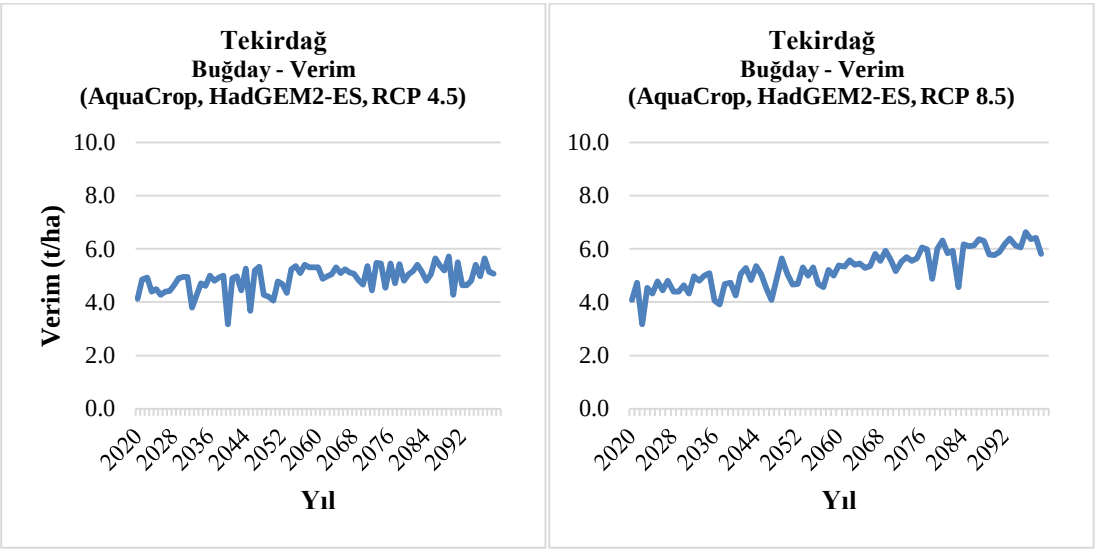


Şekil 3.81 : Kırklareli İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Verim Sonuçları Zaman Serileri.



Şekil 3.82 : Kırklareli İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop SAİ Sonuçları Zaman Serileri.

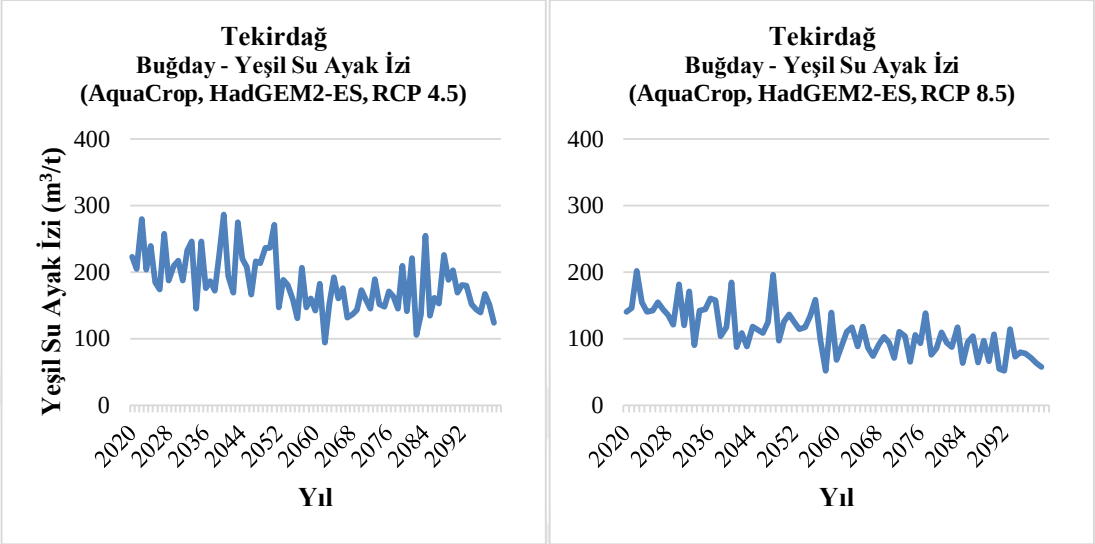
Şekil 3.83 ve Şekil 3.84'te Tekirdağ'daki RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre yapılan simülasyonlardan elde edilen verim ve SAİ zaman serileri bulunmaktadır. Verim zaman serileri incelendiğinde RCP 4.5 ve 8.5 zaman serilerindeki en yüksek ve en düşük verim değerleri sırasıyla 5.71 ile 3.16 t/ha ve 6.63 ile 3.16 t/ha olarak belirlenmiştir. RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarındaki en yüksek ve en düşük SAİ miktarları ise sırasıyla 286.4 ve 93.9 m^3/t; 202.1 ve 52.0 m^3/t olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.83 : Tekirdağ İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Verim Sonuçları Zaman Serileri.

RCP 4.5 senaryosundaki 156.9 mm ile en düşük efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarları sırasıyla 4.54 t/ha ve 148.4 m^3/t; 447.2 mm ile en yüksek olduğu dönemdeki verim ve SAİ ise sırasıyla 4.60 ve 246.0 m^3/t

olarak belirlenmiştir. RCP 8.5 senaryosunda 104.4 mm en düşük efektif yağışın ile gerçekleştiği dönemdeki verim ve SAİ değerleri sırasıyla 4.88 t/ha ve 75.7 m^3/t; 331.8 mm ile en yüksek olduğu dönemdeki verim 4.87 t/ha, SAİ ise 196.2 m^3/t olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.84 : Tekirdağ İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop SAİ Sonuçları Zaman Serileri.

Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'te AquaCrop modeli ile buğday bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre yapılan simülasyonların verim ve SAİ miktarlarındaki değişim miktarı dönemsel olarak gösterilmektedir. RCP 4.5 senaryosuna göre buğday verimi iyimser (P1 dönemi Kırklareli hariç) ve kötümser senaryolarda da tüm bölge genelinde yükseleceği tahmin edilmiştir. Bu değerlere göre RCP 4.5 senaryosunda P1, P2 ve P3 dönemlerinde buğday verimi sırasıyla %10.6, %19.6 ve %24.5 oranında artmıştır. RCP 8.5 senaryosundaki artış ise sırasıyla %9.5, %25.3 ve %48.3 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.4 : Buğday Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre Verim Değişimi.

AQUACROP						
BUĞDAY	RCP 4.5			RCP 8.5		
Verim (%)	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ
2020-2040	%13.4	-%0.3	%18.8	%8.7	%2.1	%17.8
2041-2070	%23.4	%7.3	%28.1	%27.3	%14.4	%34.3
2071-2099	%30.4	%10.4	%32.7	%56.4	%33.9	%54.6

Dönemlere göre SAİ değişimleri incelendiğinde (Çizelge 3.40) RCP 4.5 senaryosu simülasyonlarında P1, P2 ve P3 dönemlerinde sırasıyla %58.7, %64.6 ve %66.9 azaldığı, RCP 8.5 senaryo sonuçlarına göre ise dönemsel olarak sırasıyla %68.5, %76.1 ve %82.5 oranlarında azaldığı hesaplanmıştır.

Çizelge 3.5 : Buğday Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre AquaCrop Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre SAİ Değişimi.

AQUACROP						
BUĞDAY	RCP 4.5			RCP 8.5		
Su Ayak İzi (%)	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ
2020-2040	-%62.2	-%61.9	-%51.9	-%68.7	-%69.2	-%67.7
2041-2070	-%67.3	-%67.0	-%59.5	-%76.5	-%76.5	-%75.4
2071-2099	-%69.4	-%68.8	-%62.4	-%83.7	-%83.3	-%80.4

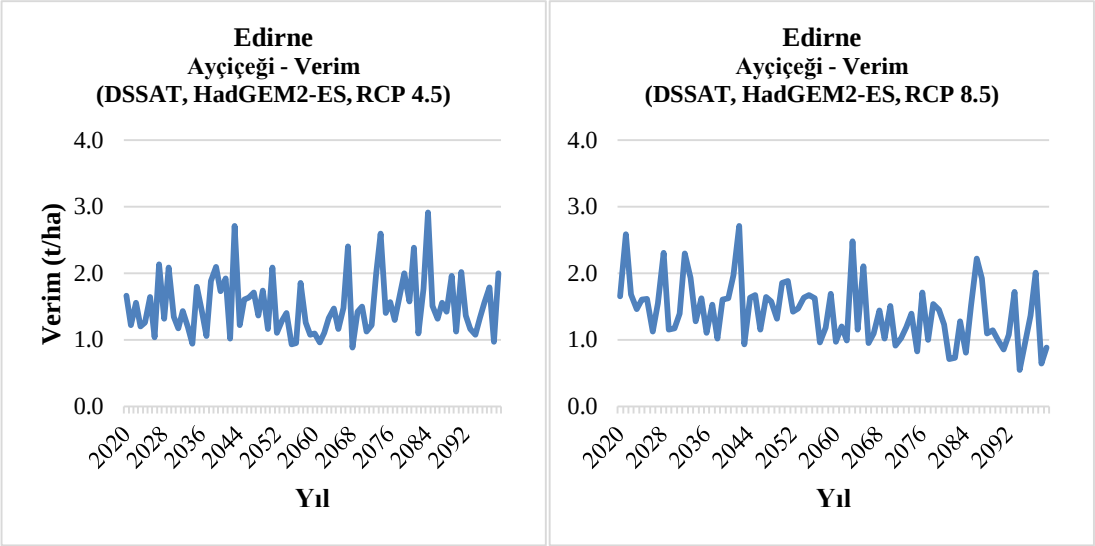
3.3.2 DSSAT sonuçları

DSSAT modeli tarafından HadGEM2-ES modelinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre üretilmiş meteorolojik değişkenlerin Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinde ayçiçeği ve kışlık buğday bitkileri için simülasyonlar yapılmıştır.

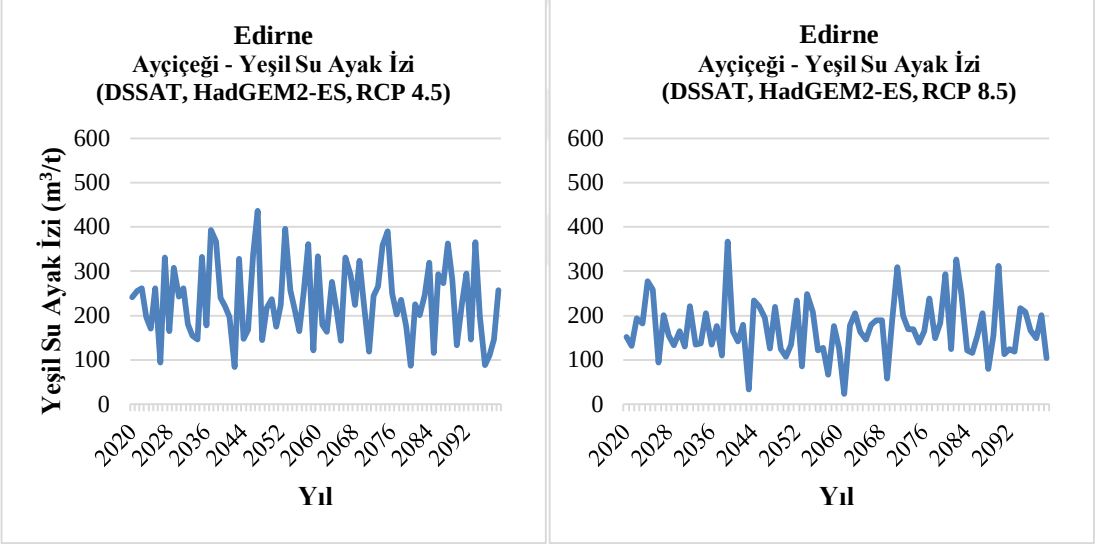
3.3.2.1 Ayçiçeği bitkisi sonuçları

DSSAT modeli ile Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinde RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre ayçiçeği bitkisi simülasyonları yapılmıştır. Simülasyonlardan elde edilen verim ve hesaplanan SAİ zaman serileri Şekil 3.85 ve Şekil 3.90 arasındadır. Şekil 3.85 ve Şekil 3.86'da DSSAT modeli ile RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları ile Edirne için yapılan ayçiçeği bitkisi simülasyonlardan elde edilen verim ve SAİ zaman serileri bulunmaktadır. RCP 4.5 senaryo sonuçlarına göre en düşük ve en yüksek ayçiçeği verimi sırasıyla 0.88 ve 2.92 t/ha; RCP 8.5 senaryosunda ise bu durum 0.55 ve 2.72 t/ha olarak belirlenmiştir. Simülasyon sonuçlarından elde edilerek hesaplanan RCP 4.5 senaryosundaki en düşük ve en yüksek SAİ değerleri sırasıyla 84.5 ve 435.8 m^3/t; RCP 8.5 senaryosunda ise 23.3 ve 367.2 m^3/t olarak belirlenmiştir. RCP 4.5 senaryosunda en düşük efektif yağış miktarının (13.4 mm) olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ değerleri sırasıyla 1.02 t/ha ve 84.5 m^3/t; en yüksek efektif yağış miktarının olduğu (132.7 mm) gelişme döneminde ise 2.92 t/ha ve 319.6 m^3/t olarak belirlenmiştir.

Kırklareli için RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre yapılan ayçiçeği simülasyonlarından elde edilen verim ve SAİ zaman serileri Şekil 3.87 ve Şekil 3.88'de bulunmaktadır. RCP 4.5 senaryosundan elde edilen en düşük ve en yüksek verim miktarları sırasıyla 1.31 ve 2.73 t/ha; RCP 8.5 senaryosunda ise 1.10 ve 2.64 t/ha olarak hesaplanmıştır. Bu simülasyonlardan elde edilen sonuçlarla hesaplanan en düşük ve en yüksek SAİ miktarı RCP 4.5 senaryosunda sırasıyla 71.9 ve 436.9 m^3/t; RCP 8.5 senaryosunda ise 25.3 ve 381.2 m^3/t olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.85 : Edirne İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Verim Sonuçları Zaman Serileri.

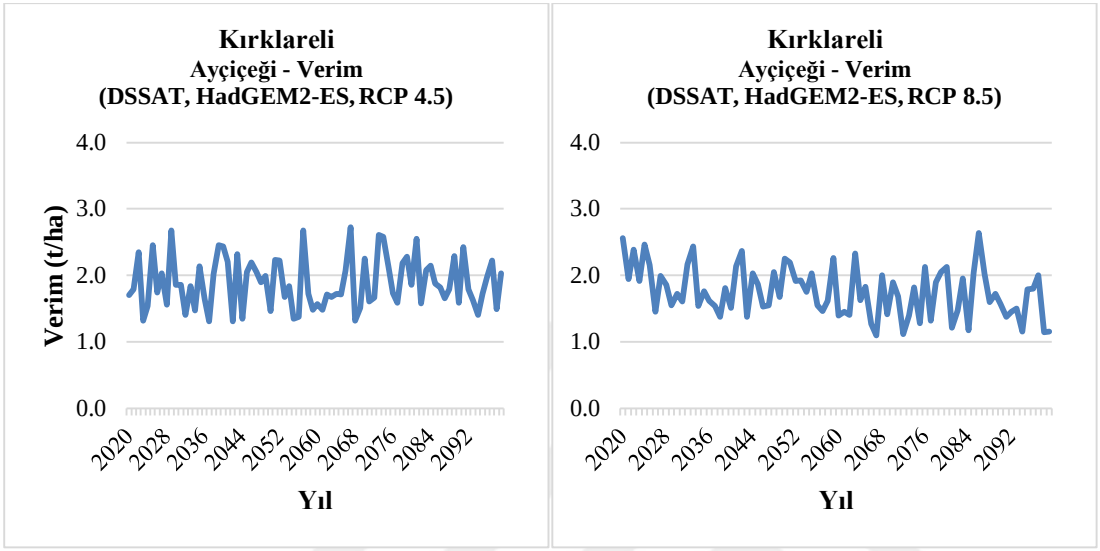


Şekil 3.86 : Edirne İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT SAİ Sonuçları Zaman Serileri.

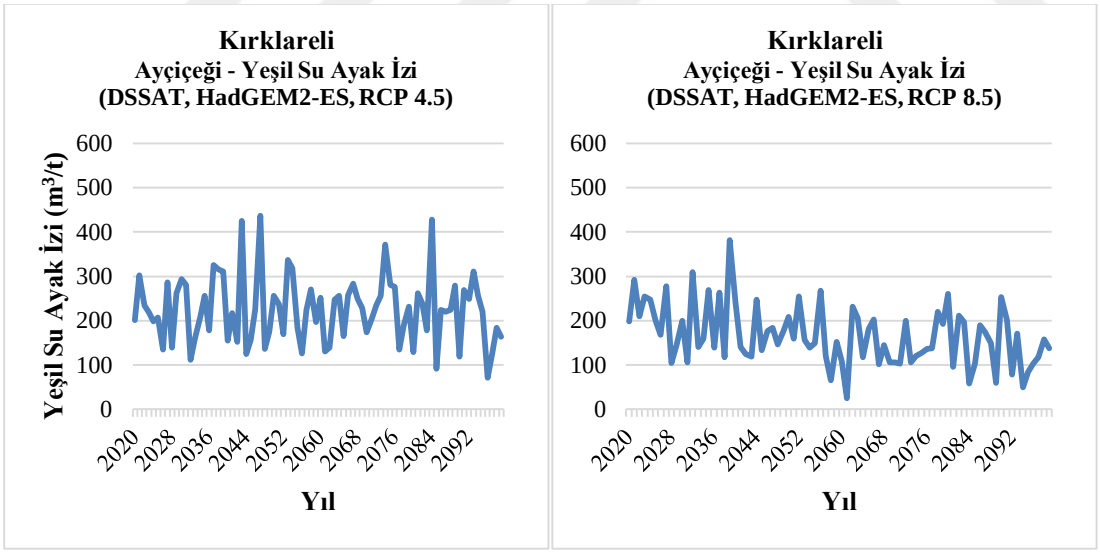
Kırklareli'de RCP 4.5 senaryosunda 19.9 mm ile gerçekleşen düşük efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 1.41 t/ha ve 111.1 m^3/t; en yüksek efektif yağış miktarının (155.8 mm) olduğu gelişme döneminde ise 2.32 t/ha ve 424.9 m^3/t olarak belirlenmiştir. RCP 8.5 senaryosunda 9.0 mm ile en düşük efektif yağışın olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 1.16 t/ha ve 49.9 m^3/t; efektif yağışın 94.6 mm ile en yüksek olduğu gelişme döneminde ise 2.17 t/ha ve 309.5 m^3/t olarak belirlenmiştir.

Tekirdağ'da yetiştirilen ayçiçeği bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre yapılan DSSAT simülasyonlarından elde edilen verim ve SAİ zaman serileri Şekil 3.89 ve

Şekil 3.90'da bulunmaktadır. RCP 4.5 senaryosunda elde edilen verim değerleri en düşük ve en yüksek sırasıyla 1.56 ve 3.05 t/ha; RCP 8.5 senaryosunda ise 1.74 ve 3.14 t/ha olarak belirlenmiştir. Simülasyon sonuçlarından hesaplanan en düşük ve en yüksek SAİ değerleri RCP 4.5 senaryosunda sırasıyla 154.5 ve 608.7 m^3/t; RCP 8.5 senaryosunda sırasıyla 15.0 ve 221.5 m^3/t olarak hesaplanmıştır.



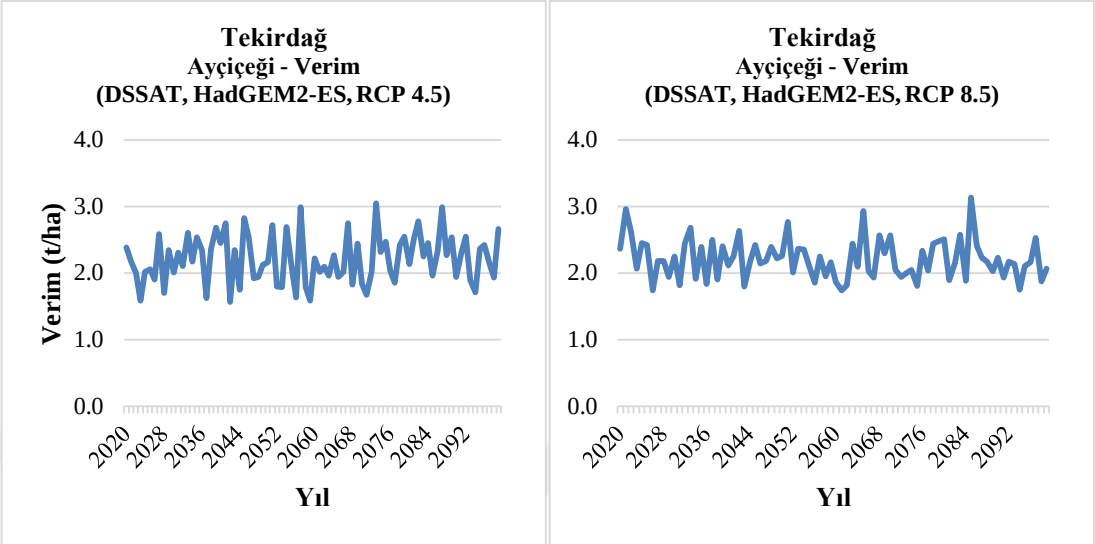
Şekil 3.87 : Kırklareli İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Verim Sonuçları Zaman Serileri.



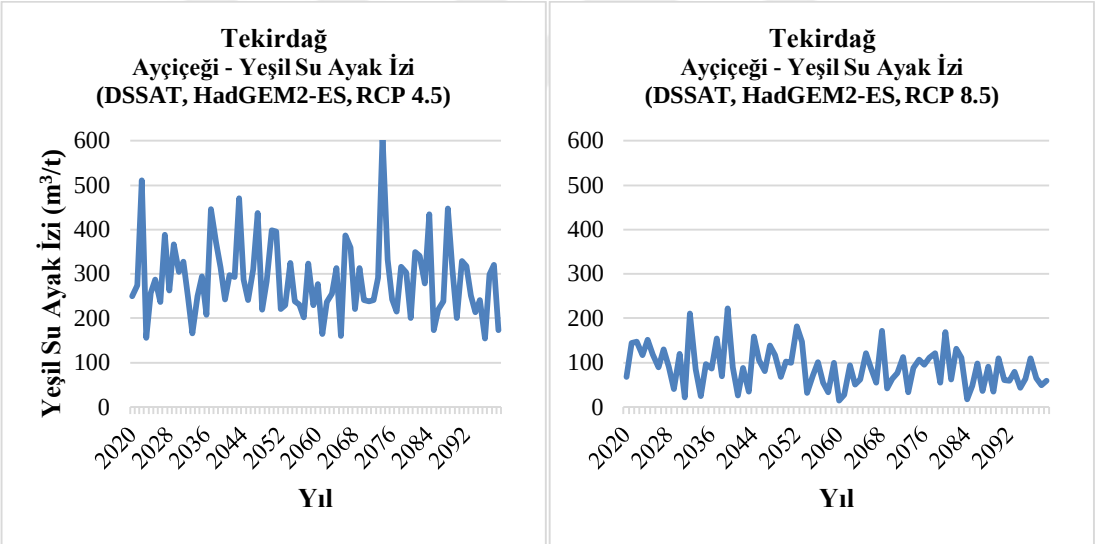
Şekil 3.88 : Kırklareli İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT SAİ Sonuçları Zaman Serileri.

Tekirdağ'da RCP 4.5 senaryosunda en düşük efektif yağış miktarının (43.4 mm) olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ değerleri sırasıyla 1.58 t/ha ve 156.3 m^3/t; en yüksek efektif yağışın (184.8 mm) olduğu gelişme dönemde ise 2.32 t/ha ve 608.7 m^3/t olarak belirlenmiştir. RCP 8.5 senaryosu incelendiğinde ise en düşük efektif yağış

miktarının (4.4 mm) olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ değerleri sırasıyla 1.82 t/ha ve 21.9 m^3/t; en yüksek efektif yağış miktarının (89.9 mm) olduğu gelişme döneminde ise 2.96 t/ha ve 144.1 m^3/t olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.89 : Tekirdağ İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Verim Sonuçları Zaman Serileri.



Şekil 3.90 : Tekirdağ İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT SAİ Sonuçları Zaman Serileri.

Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7'de DSSAT modeli ile RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları verileri ile ayçiçeği bitkisi için yapılan simülasyonların dönemsel olarak verim ve SAİ değişimleri bulunmaktadır. Simülasyon yapılan illerde ayçiçeği verimleri Tekirdağ'da birer dönem hariç RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında düşüş tespit edilmiştir. Bölge genelinde RCP 4.5 senaryosundaki verim değişimi P1, P2 ve P3 dönemlerinde sırasıyla %16.3, %18.5 ve %11.9; RCP 8.5 senaryosunda ise sırasıyla %14.0, %17.3

ve %24.6 oranlarında azaldığı belirlenmiştir. Dönemsel olarak SAİ değişimleri incelendiğinde ise (Çizelge 3.7) tüm dönemlerde SAİ miktarlarının azaldığı tespit edilmiştir. Bölge genelinde RCP 4.5 senaryosundaki verim değişimi P1, P2 ve P3 dönemlerinde sırasıyla %29.7, %30.7 ve %32.0; RCP 8.5 senaryosunda ise sırasıyla %56.7, %65.4 ve %64.2 oranlarında azaldığı hesaplanmıştır.

Çizelge 3.6 : Ayçiçeği Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre Verim Değişimi.

DSSAT						
AYÇİÇEĞİ	RCP 4.5			RCP 8.5		
Verim (%)	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ
2020-2040	↓ -%30.7	↓ -%15.7	↓ -%2.5	↓ -%26.0	↓ -%16.2	↑ %0.2
2041-2070	↓ -%33.3	↓ -%17.9	↓ -%4.3	↓ -%30.1	↓ -%20.7	↓ -%1.1
2071-2099	↓ -%24.8	↓ -%13.3	↑ %2.3	↓ -%44.1	↓ -%26.6	↓ -%3.0

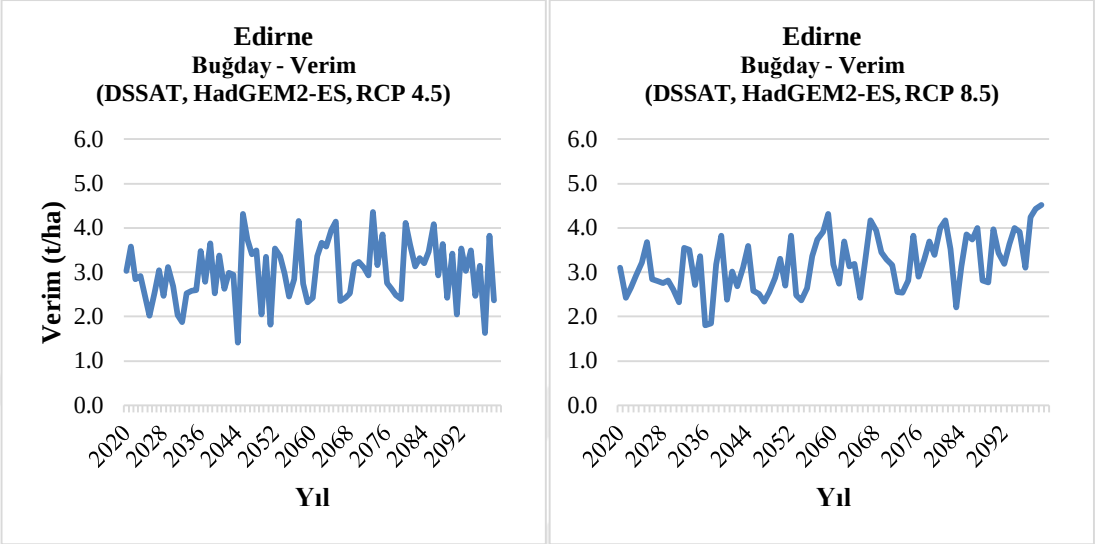
Çizelge 3.7 : Ayçiçeği Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre SAİ Değişimi.

DSSAT						
AYÇİÇEĞİ	RCP 4.5			RCP 8.5		
Su Ayak İzi (%)	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ
2020-2040	↓ -%33.3	↓ -%51.1	↓ -%4.9	↓ -%50.3	↓ -%54.7	↓ -%64.9
2041-2070	↓ -%33.1	↓ -%51.7	↓ -%7.5	↓ -%56.8	↓ -%66.7	↓ -%72.7
2071-2099	↓ -%36.1	↓ -%52.4	↓ -%7.4	↓ -%49.2	↓ -%68.9	↓ -%74.4

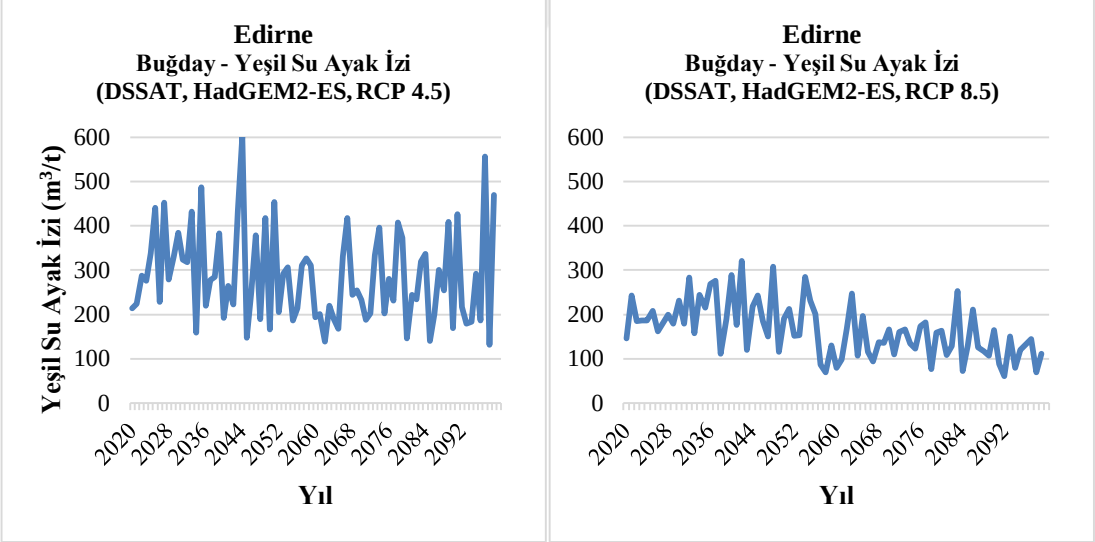
3.3.2.2 Kışlık buğday bitkisi sonuçları

DSSAT modeli ile HadGEM2-ES modelinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için üretilen veriler ile yapılan simülasyonlardan elde edilen verim ve SAİ zaman serileri Şekil 3.91 ile Şekil 3.96 arasında gösterilmektedir. Şekil 3.91 ve Şekil 3.92'de Edirne için RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre kışlık buğday için yapılan simülasyonlardan elde edilen verim ve SAİ zaman serileri bulunmaktadır. Edirne için yapılan simülasyonlarda RCP 4.5 senaryosu için en düşük ve en yüksek verim miktarı sırasıyla 1.41 ve 4.36 t/ha; SAİ miktarı sırasıyla 131.7 ve 602.1 m^3/t olarak belirlenmiştir. RCP 8.5 senaryosu simülasyon sonuçlarına göre en düşük ve en yüksek verim miktarı sırasıyla 1.81 ve 4.51 t/ha; SAİ miktarı sırasıyla 61.4 ve 321.1 m^3/t olarak belirlenmiştir. Edirne için yapılan RCP 4.5 simülasyonu incelendiğinde ise 194.1 mm ile en düşük efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 3.45 t/ha ve 183.9 m^3/t; 529.2 mm ile efektfi yağışın en yüksek olduğu gelişme döneminde ise bu değerler sırasıyla 4.36 t/ha ve 333.2 m^3/t olarak belirlenmiştir. RCP 8.5 simülasyonu

incelendiğinde ise 88.8 mm ile en düşük efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 4.00 t/ha ve 80.3 m^3/t; 376.2 mm ile efektfi yağışın en yüksek olduğu gelişme döneminde ise bu değerler sırasıyla 2.56 t/ha ve 307.3 m^3/t olarak belirlenmiştir.



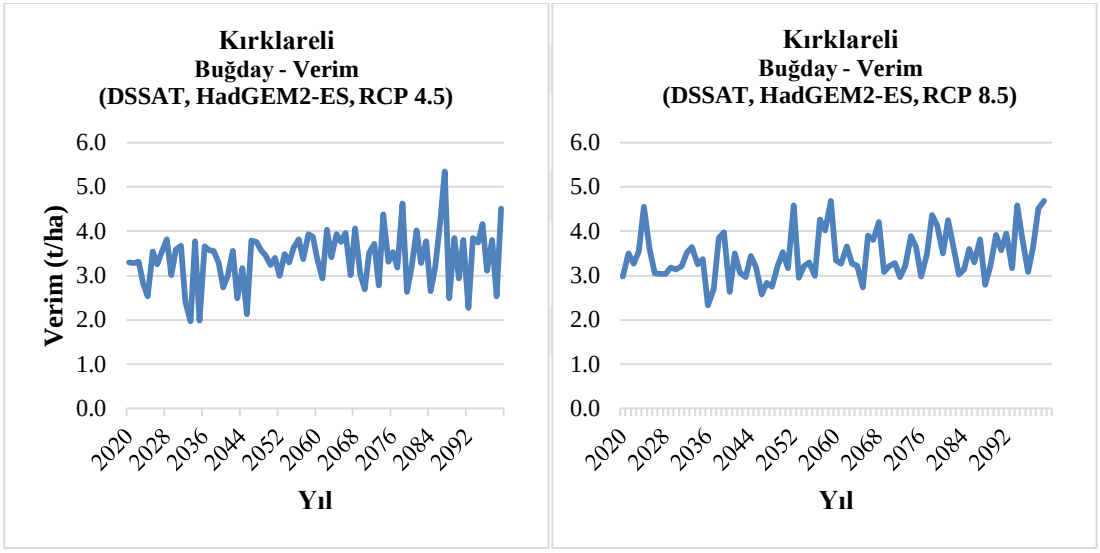
Şekil 3.91 : Edirne İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Verim Sonuçları Zaman Serileri.



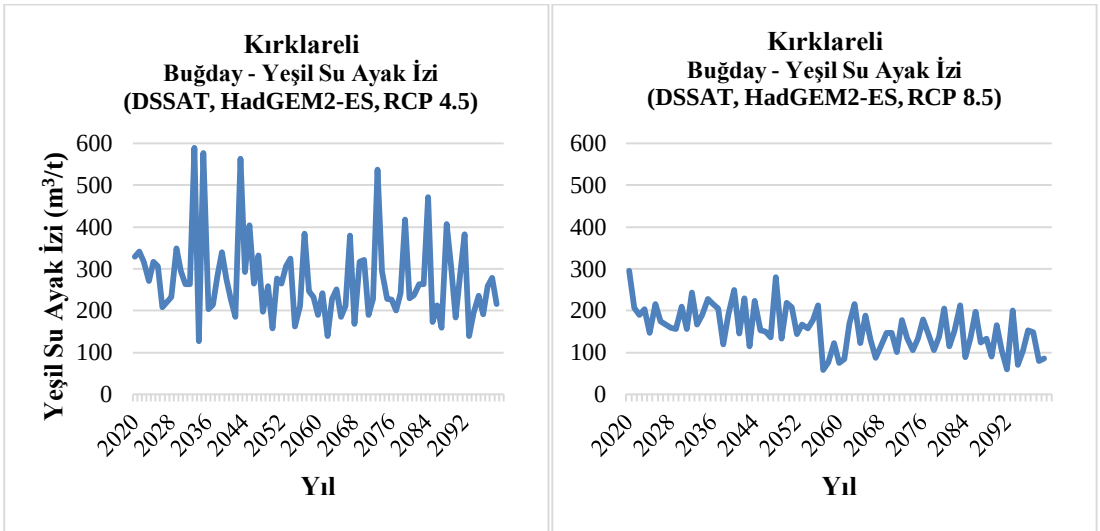
Şekil 3.92 : Edirne İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT SAİ Sonuçları Zaman Serileri.

Şekil 3.93 ve Şekil 3.94'te Kırklareli'nin RCP 4.5 ve 8.5 senaryosuna ait verileri kullanılarak yapılan simülasyonlardan elde edilen verim ve hesaplanan SAİ değerlerine ait zaman serileri bulunmaktadır. Verim değerleri incelendiğinde en yüksek ve en düşük miktarlar RCP 4.5 senaryosunda sırasıyla 1.97 ve 5.34 t/ha; RCP 8.5 senaryosunda ise 2.33 ve 4.69 t/ha olarak tahmin edilmiştir. SAİ zaman serileri

incelendiğinde ise en düşük ve en yüksek miktarlar sırasıyla RCP 4.5 senaryosunda 126.6 ve 589.1 m^3/t; RCP 8.5 senaryosunda ise 58.2 ve 295.3 m^3/t olarak hesaplanmıştır. İyimser senaryoda Kırklareli'de yaşanabilecek en düşük efektif yağış miktarının (170.6 mm) olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 4.04 t/ha ve 138.9 m^3/t; en yüksek efektif yağış miktarının (468.4 mm) olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 2.78 t/ha ve 538.0 m^3/t'dur. Kötümser senaryo incelendiğinde ise 85.6 ile en düşük efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarları sırasıyla 3.95 t/ha ve 60.1 m^3/t; 360.1 ile en yüksek efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarları sırasıyla 3.04 t/ha ve 167.0 m^3/t olarak belirlenmiştir.

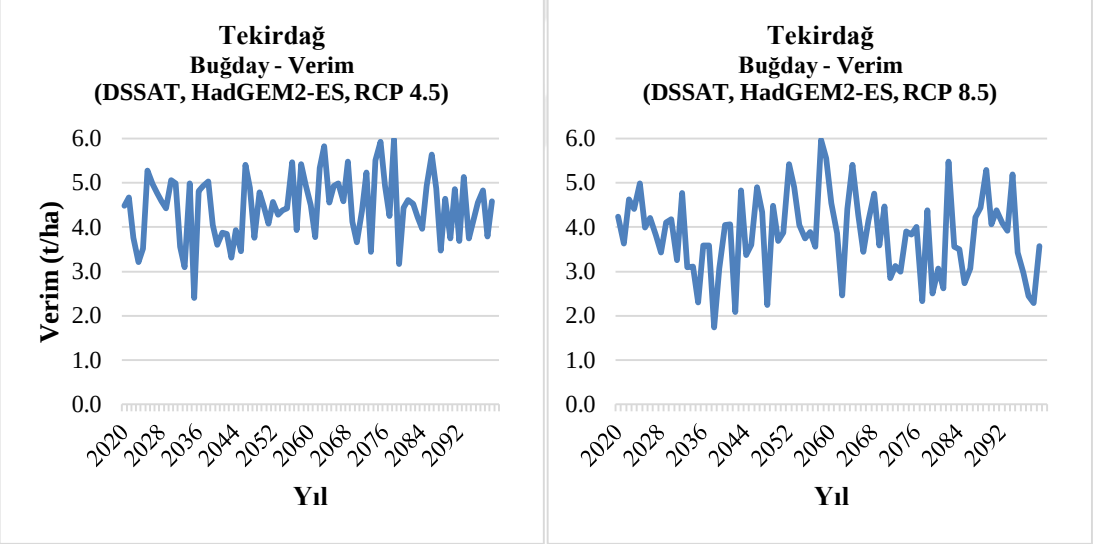


Şekil 3.93 : Kırklareli İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Verim Sonuçları Zaman Serileri.



Şekil 3.94 : Kırklareli İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT SAİ Sonuçları Zaman Serileri.

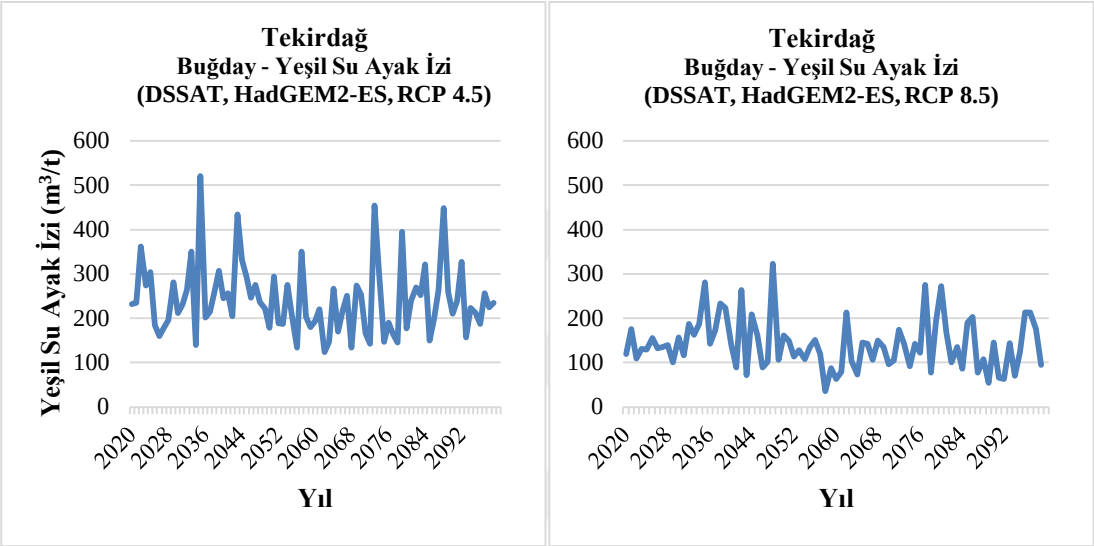
Şekil 3.95 ve Şekil 3.96'da DSSAT modeli ile RCP 4.5 ve 8.5 senaryo verilerine göre yapılmış kışlık buğday simülasyonlarından elde edilen verim ve SAİ zaman serileri bulunmaktadır. En düşük ve en yüksek verim miktarları RCP 4.5 senaryosunda sırasıyla 2.40 ve 5.98 t/ha; RCP 8.5 senaryosunda ise 1.74 ve 5.96 t/ha olarak belirlenmiştir. En düşük ve en yüksek SAİ değerleri incelendiğinde RCP 4.5 senaryosunda sırasıyla 123.0 ve 520.5 m^3/t; RCP 8.5 senaryosunda ise 36.3 ve 323.3 m^3/t olarak hesaplanmıştır. RCP 4.5 senaryosunda en düşük efektif yağışın (188.3 mm) olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarları sırasıyla 5.92 t/ha ve 146.2 m^3/t; en yüksek efektif yağışın (473.0 mm) olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ değerleri sırasıyla 2.40 t/ha ve 520.5 m^3/t olarak hesaplanmıştır. RCP 8.5 senaryosunda ise en düşük efektif yağışın (114.1 mm) olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarları sırasıyla 5.19 t/ha ve 70.5 m^3/t; en yüksek efektif yağışın (360.1 mm) olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ değerleri sırasıyla 3.82 t/ha ve 135.3 m^3/t olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.95 : Tekirdağ İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Verim Sonuçları Zaman Serileri.

Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9'da DSSAT modeli ile RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre yapılmış kışlık buğday simülasyon sonuçlarının dönemsel olarak verim ve SAİ değişim yüzdeleri bulunmaktadır. Buğday verimlerinin RCP 4.5 senaryosundaki değişim miktarlarına bakıldığında Edirne ve Kırklareli'de verim miktarının azaldığı; Tekirdağ'da ise verim artışı belirlenmiştir. İyimser senaryoya göre verim değişimleri P1, P2 ve P3 dönemlerinde sırasıyla %21.4, %15.4 ve %15.0 azalmıştır. RCP 8.5 senaryosu incelendiğinde ise Tekirdağ P2 dönemi hariç verimler azalmıştır. Kötümser

senaryoda P1, P2 ve P3 dönemlerindeki verim miktarı sırasıyla %24.2, %18.7 ve %18.7 oranında azaldığı hesaplanmıştır. Buğday bitkisinin SAİ değişim oranlarına bakıldığında RCP 4.5 senaryosunda genel olarak artış (%26.8), RCP 8.5 senaryosunda ise genel olarak azalış (%25.8) tespit edilmiştir. İyimser senaryodaki SAİ değişimleri P1, P2 ve P3 dönemlerinde sırasıyla %35.5, %20.3 ve %24.5 oranlarında artmıştır. Kötümser senaryodaki SAİ değişimleri ise P1, P2 ve P3 dönemlerinde sırasıyla %13.3, %29.0 ve %35.4 azaldığı hesaplanmıştır.



Şekil 3.96 : Tekirdağ İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT SAİ Sonuçları Zaman Serileri.

Çizelge 3.8 : Buğday Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre Verim Değişimi.

DSSAT						
BUĞDAY	RCP 4.5			RCP 8.5		
Verim (%)	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ
2020-2040	-%43.2	-%32.3	%11.2	-%40.8	-%29.1	-%2.8
2041-2070	-%37.0	-%26.7	%17.4	-%35.1	-%27.4	%6.3
2071-2099	-%35.7	-%27.1	%17.8	-%28.2	-%22.1	-%5.8

Çizelge 3.9 : Buğday Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre DSSAT Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre SAİ Değişimi.

DSSAT						
BUĞDAY	RCP 4.5			RCP 8.5		
Verim (%)	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ
2020-2040	%56.3	%6.2	%43.9	%3.5	-%31.2	-%12.2
2041-2070	%38.2	-%6.1	%29.0	-%15.1	-%45.9	-%26.0
2071-2099	%41.4	-%4.9	%37.0	-%32.9	-%52.3	-%20.9

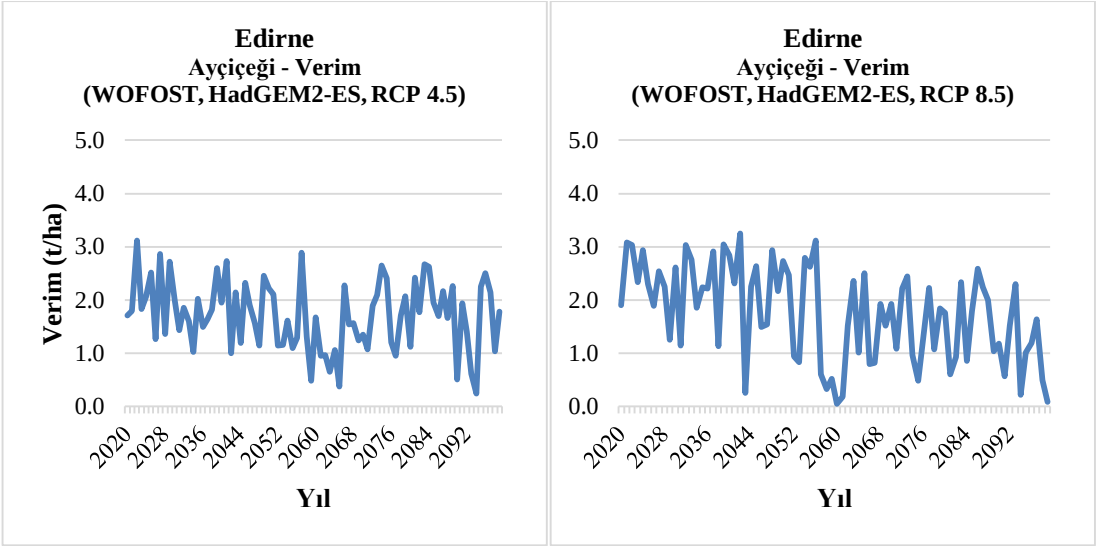
3.3.3 WOFOST sonuçları

WOFOST modeli ile HadGEM2-ES modelinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için edilmiş verileri kullanılarak ayçiçeği ve kışlık buğday bitkileri için 2020 yılından 2099 yılına kadar simülasyonları Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ için tamamlanmıştır.

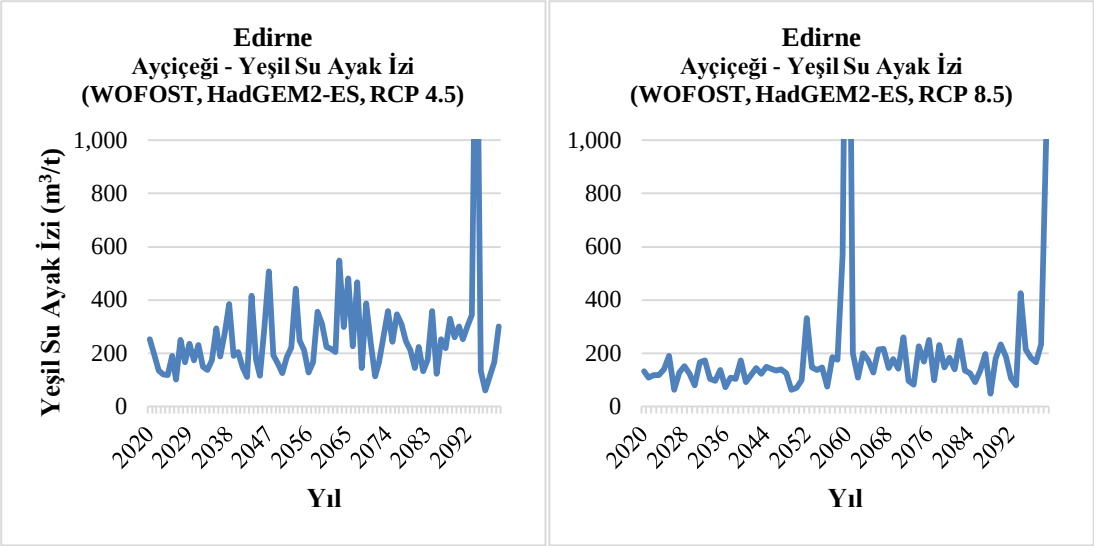
3.3.3.1 Ayçiçeği bitkisi sonuçları

WOFOST modeli ile RCP 4.5 ve 8.5 senaryoların göre Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ için ayçiçeği bitkisi simülasyonlarından elde edilen verim ve SAİ zaman serileri Şekil 3.97- Şekil 3.102 arasında gösterilmiştir.

Edirne için RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları incelendiğinde iyimser senaryodaki en düşük ve en yüksek verim miktarı sırasıyla 0.30 ve 3.12 t/ha; kötümser senaryoda bu durum 0.05 ve 3.25 t/ha olarak belirlenmiştir (Şekil 3.97). İyimser senaryodaki en düşük ve en yüksek SAİ değerleri ise sırasıyla 60.5 ve 548.4 m^3/t; kötümser senaryoda ise 47.5 ve 568.4 m^3/t olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.98, uç değerler hariç). Ayrıca, RCP 4.5 senaryosunda en düşük efektif yağışın (13.4 mm) olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ değerleri sırasıyla 1.00 t/ha ve 110.0 m^3/t; en yüksek efektif yağışın (132.7 mm) olduğu gelişme dönemindeki değerler sırasıyla 2.62 t/ha ve 359.2 m^3/t olarak belirlenmiştir. RCP 8.5 senaryosunda en düşük efektif yağışın (3.5 mm) olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ değerleri sırasıyla 0.25 t/ha ve 122.4 m^3/t; en yüksek efektif yağışın (76.2 mm) olduğu gelişme dönemindeki değerler sırasıyla 3.04 t/ha ve 173.9 m^3/t olarak belirlenmiştir.

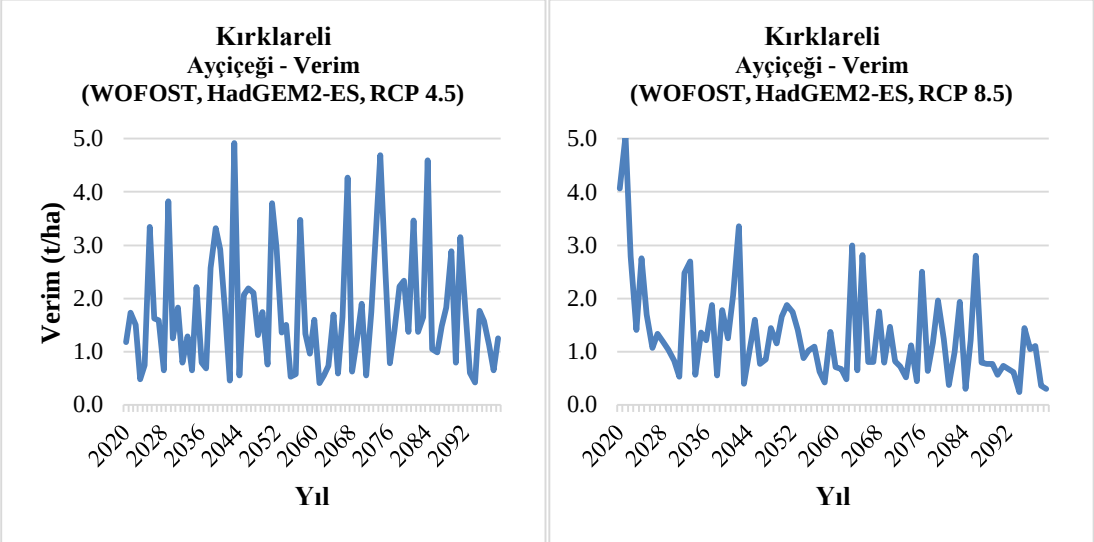


Şekil 3.97 : Edirne İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Verim Sonuçları Zaman Serileri.



Şekil 3.98 : Edirne İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST SAİ Sonuçları Zaman Serileri.

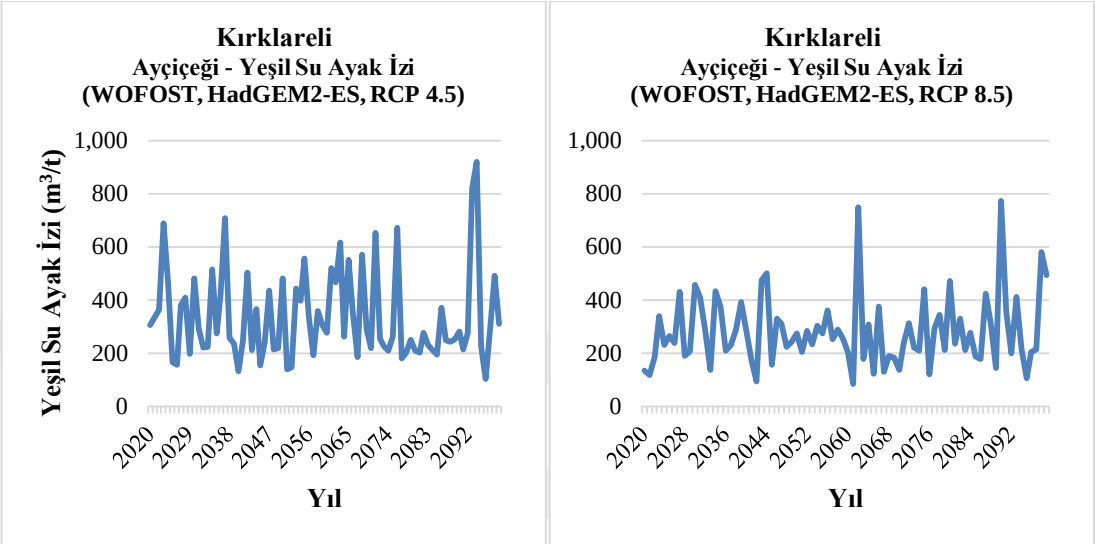
Kırklareli için iyimser ve kötümser senaryolara göre yapılan simülasyonlardan elde edilen verim ve SAİ zaman serileri sırasıyla Şekil 3.99 ve Şekil 3.100'de verilmektedir. İyimser senaryodaki en düşük ve en yüksek verim miktarı sırasıyla 0.41 ve 4.92 t/ha; kötümser senaryodaki verim miktarları ise 0.23 ve 5.05 t/ha arasındadır. RCP 4.5 senaryosundaki en düşük ve en yüksek SAİ değerleri sırasıyla 104.6 ve 918.9 m^3/t; RCP 8.5 senaryosunda ise bu durum sırasıyla 85.0 ve 771.9 m^3/t olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.99 : Kırklareli İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Verim Sonuçları Zaman Serileri.

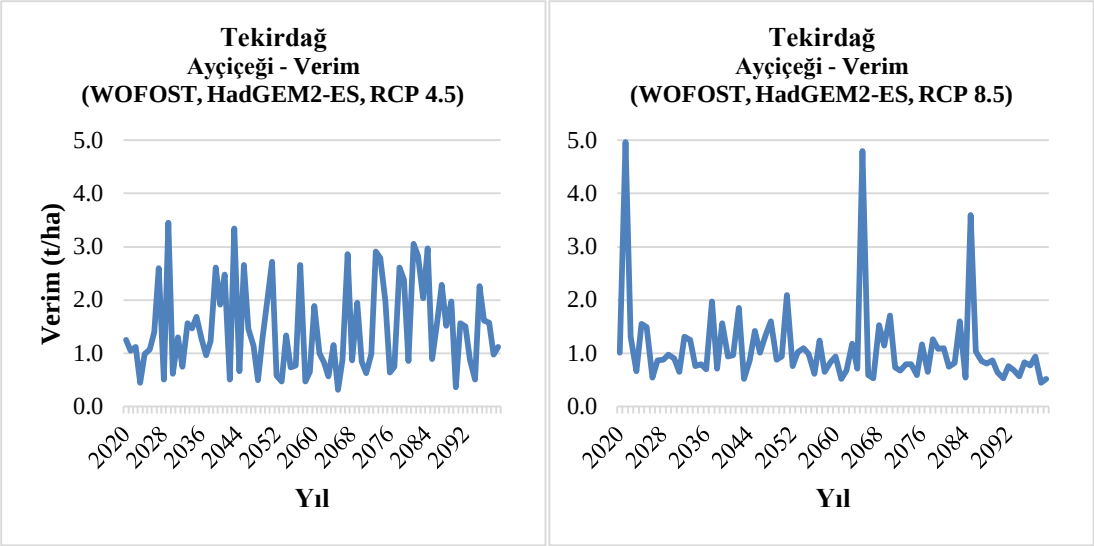
RCP 4.5 senaryosunda 19.9 mm ile en düşük efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ değerleri sırasıyla 0.79 t/ha ve 222.2 m^3/t; en yüksek efektif

yağış miktarının olduğu (155.8 mm) dönemde ise sırasıyla 4.92 t/ha ve 211.7 m^3/t olarak hesaplanmıştır. RCP 8.5 senaryo sonuçları incelendiğinde ise en düşük efektif yağışın (9.0 mm) olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 0.23 t/ha ve 214.0 m^3/t; en yüksek efektif yağışın (94.6 mm) olduğu gelişme dönemde ise sırasıyla 2.48 ve 285.1 m^3/t olarak hesaplanmıştır.

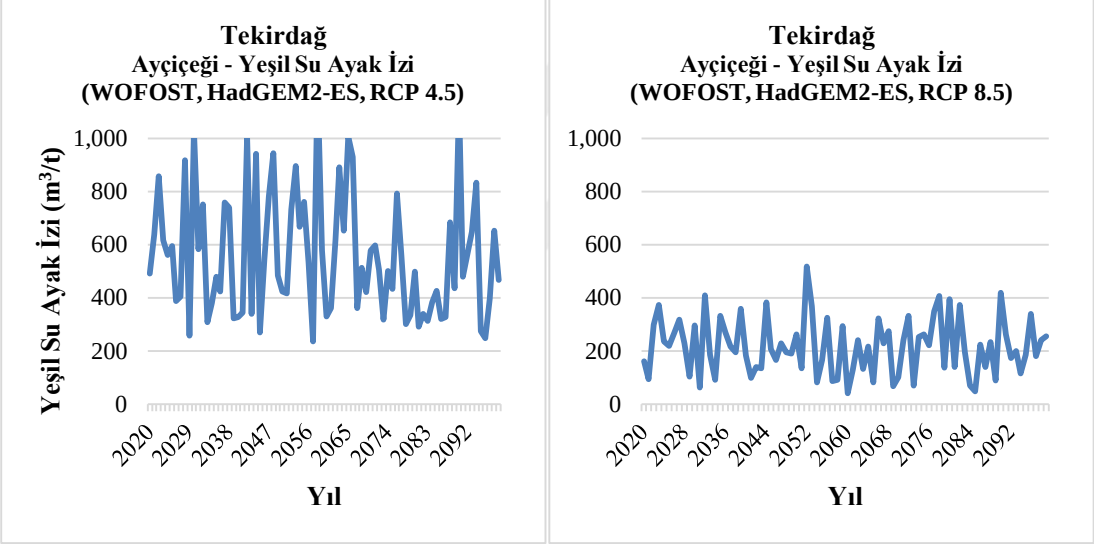


Şekil 3.100 : Tekirdağ İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST SAİ Sonuçları Zaman Serileri.

WOFOST modeli ile Tekirdağ'da iyimser ve kötümser senaryo verileri ile yapılan simülasyonlardan elde edilen verim ve SAİ zaman serileri sırasıyla Şekil 3.101 ve Şekil 3.102'de bulunmaktadır. RCP 4.5 senaryosundan elde edilen en düşük ve en yüksek verim değerleri sırasıyla 0.31 ve 3.46 t/ha; RCP 8.5 senaryosuna göre verim miktarları ise 0.45 ile 4.97 t/ha arasında değişmektedir. SAİ değerleri incelendiğinde ise en düşük ve en yüksek değerler RCP 4.5 senaryosunda sırasıyla 235.4 ve 1208.4 m^3/t; RCP 8.5 senaryosunda ise sırasıyla 41.9 ve 518.3 m^3/t olarak hesaplanmıştır. RCP 4.5 senaryosunda gerçekleşen en düşük efektif yağışın (43.4 mm) olduğu gelişme döneminde verim ve SAİ değerleri sırasıyla 0.45 t/ha ve 615.9 m^3/t; en yüksek efektif yağışın (184.8 mm) olduğu gelişme döneminde verim ve SAİ değerleri sırasıyla 2.79 t/ha ve 501.0 m^3/t olarak hesaplanmıştır. RCP 8.5 senaryosunda ise gerçekleşen en düşük efektif yağışın (4.4 mm) olduğu gelişme döneminde verim ve SAİ değerleri sırasıyla 0.65 t/ha ve 62.2 m^3/t; en yüksek efektif yağışın (97.9 mm) olduğu gelişme döneminde verim ve SAİ değerleri sırasıyla 1.26 t/ha ve 406.1 m^3/t olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.101 : Tekirdağ İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Verim Sonuçları Zaman Serileri.



Şekil 3.102 : Tekirdağ İli Ayçiçeği Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST SAİ Sonuçları Zaman Serileri.

WOFOST modeli ile RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre ayçiçeği bitkisi için yapılmış simülasyonlardan elde edilen verim ve SAİ değişim oranlarının dönemsel değerleri sırasıyla Çizelge 3.10 ve Çizelge 3.11'de bulunmaktadır. İyimser ve kötümser senaryolara göre yapılan simülasyonlardan elde edilen verim değerleri incelendiğinde ayçiçeği verim değişim miktarı Edirne'de RCP 8.5 senaryosu P1 dönemi hariç (+%9.3) tüm dönemlerde düşmüştür. İyimser senaryodaki verim değerleri incelendiğinde P1, P2 ve P3 dönemlerindeki verim miktarı sırasıyla %24.5, %32.2 ve %20.9 oranında azalmıştır. Kötümser senaryodaki verim miktarı dönemlere göre sırasıyla %18.7, %37.4 ve %50.7 oranında azaldığı tahmin edilmiştir.

Çizelge 3.11'de SAİ değişim oranları incelendiğinde ise Tekirdağ'da RCP 4.5 senaryosunda SAİ miktarı artmıştır ve 2020-2099 yılları arasındaki ortalama artış %80.9 olarak hesaplanmıştır. SAİ değişim miktarı RCP 4.5 senaryosunda P1, P2 ve P3 dönemlerinde sırasıyla %4.2, %16.9 ve %1.8 oranında artış gösterdiği; RCP 8.5 senaryosunda ise dönemsel olarak SAİ miktarı %43.4, %37.1 ve %35.0 oranında azaldığı hesaplanmıştır.

Çizelge 3.10 : Ayçiçeği Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre Verim Değişimi.

WOFOST						
AYÇİÇEĞİ	RCP 4.5			RCP 8.5		
Verim (%)	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ
2020-2040	-%9.8	-%25.6	-%38.0	%9.3	-%20.3	-%45.3
2041-2070	-%29.5	-%26.0	-%41.2	-%21.7	-%42.4	-%48.0
2071-2099	-%18.4	-%18.2	-%26.2	-%35.9	-%56.7	-%59.5

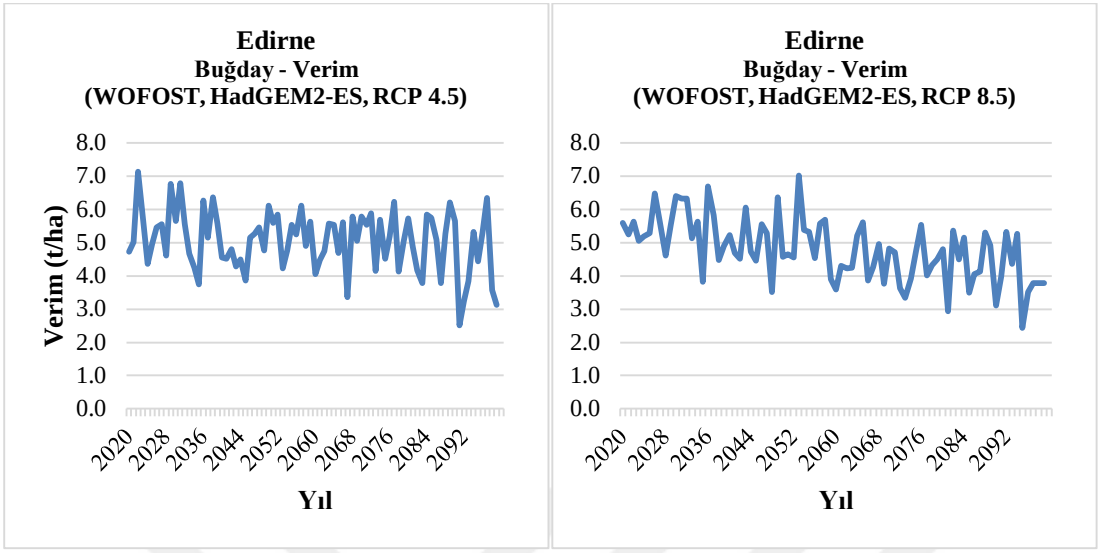
Çizelge 3.11 : Ayçiçeği Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre SAİ Değişimi.

WOFOST						
AYÇİÇEĞİ	RCP 4.5			RCP 8.5		
Su Ayak İzi (%)	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ
2020-2040	-%44.1	-%25.9	%82.7	-%65.8	-%40.2	-%24.2
2041-2070	-%25.8	-%26.5	%102.8	-%32.1	-%43.3	-%36.0
2071-2099	-%20.6	-%31.2	%57.2	-%43.2	-%35.3	-%26.6

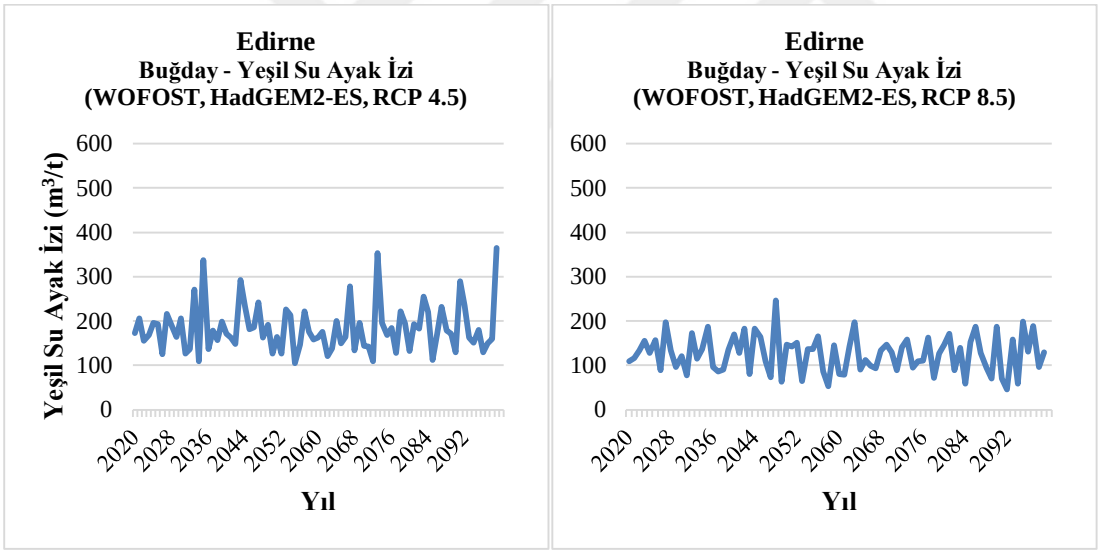
3.3.3.2 Kışlık buğday bitkisi sonuçları

WOFOST modeli ile kışlık buğday bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 senaryo verilerine göre yapılan simülasyon sonuçlarından elde edilen verim ve SAİ zaman serileri Şekil 3.103 ile Şekil 3.108 arasında gösterilmiştir. Edirne için RCP 4.5 senaryosu incelendiğinde en düşük ve en yüksek verim miktarı sırasıyla 2.52 ve 7.13 t/ha; RCP 8.5 senaryosunda ise 2.43 ve 7.02 t/ha olarak belirlenmiştir. Edirne'de en düşük ve en yüksek SAİ değerleri incelendiğinde RCP 4.5 senaryosunda sırasıyla 105.1 ve 364.9 m^3/t; RCP 8.5 senaryosunda ise sırasıyla 46.1 ve 245.9 m^3/t olarak hesaplanmıştır. İyimser senaryoda 193.9 mm ile en düşük efektif yağışın olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ değerleri sırasıyla 5.33 t/ha ve 151.2 m^3/t; 527.1 mm ile en yüksek efektif yağışın olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ değerleri sırasıyla 4.14 t/ha ve 353.9 m^3/t olarak hesaplanmıştır. Kötümser senaryoda 84.8 mm ile en düşük efektif yağışın olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ değerleri sırasıyla 5.26 t/ha ve 58.1 m^3/t;

376.2 mm ile en yüksek efektif yağışın olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ değerleri sırasıyla 3.51 t/ha ve 245.9 m^3/t olarak hesaplanmıştır.



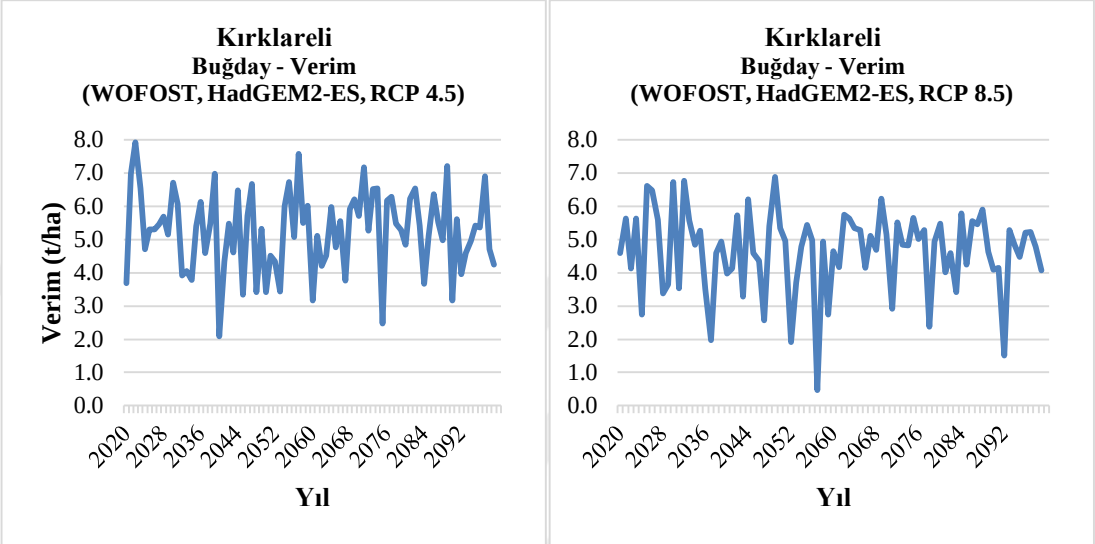
Şekil 3.103 : Edirne İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Verim Sonuçları Zaman Serileri.



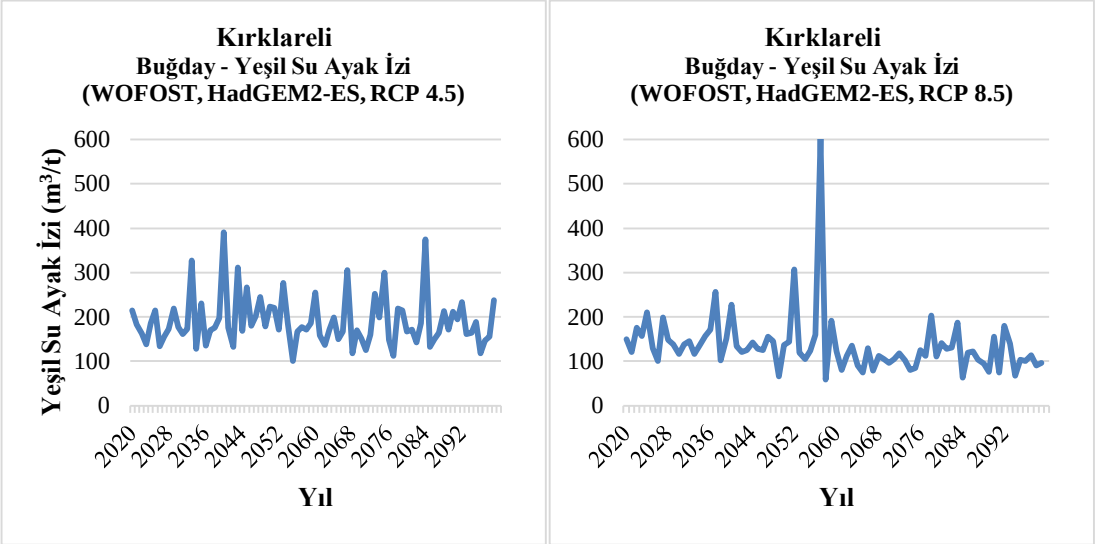
Şekil 3.104 : Edirne İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST SAİ Sonuçları Zaman Serileri.

Kırklareli için yapılan simülasyonlar incelendiğinde ise RCP 4.5 senaryosunda en düşük ve en yüksek verim değerleri sırasıyla 2.09 ve 7.93 t/ha; RCP 8.5 senaryosunda ise 0.48 ve 6.89 t/ha olarak tahmin edilmiştir. Simülasyonlardan elde edilen değerlerden hesaplanan en düşük ve en yüksek SAİ değerleri RCP 4.5 senaryosunda sırasıyla 101.1 ve 390.8 m^3/t; RCP 8.5 senaryosunda ise 58.9 ve 601.0 m^3/t olarak belirlenmiştir. İyimser senaryoda 170.5 mm ile en düşük efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 4.20 t/ha ve 136.9 m^3/t;

467.9 mm ile en yüksek efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 6.51 t/ha ve 252.8 m^3/t olarak belirlenmiştir. Kötümser senaryoda 103.7 mm ile en düşük efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 0.48 t/ha ve 601.0 m^3/t; 360.1 mm ile en yüksek efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 5.59 t/ha ve 198.9 m^3/t olarak belirlenmiştir.



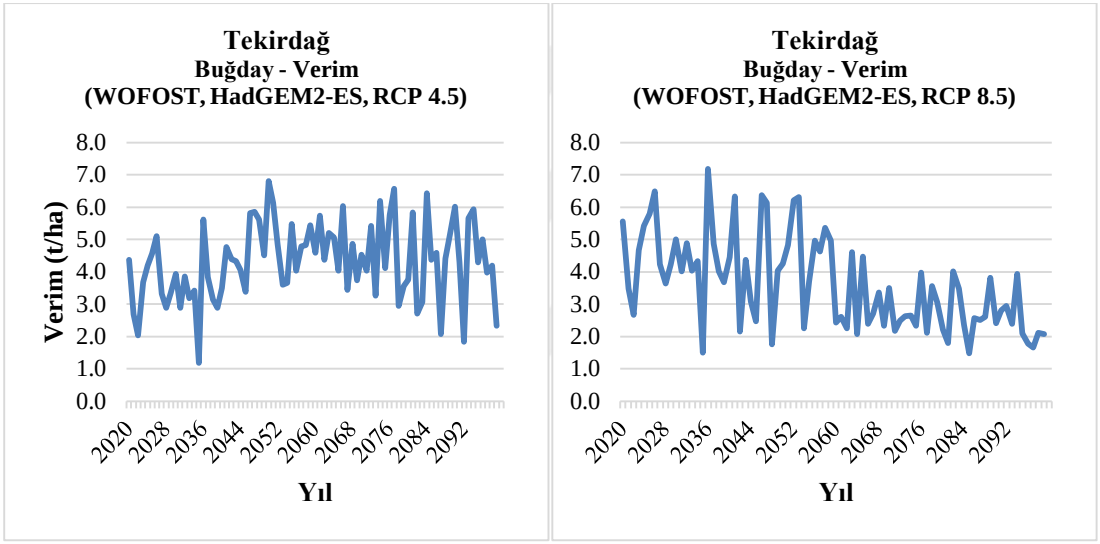
Şekil 3.105 : Kırklareli İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Verim Sonuçları Zaman Serileri.



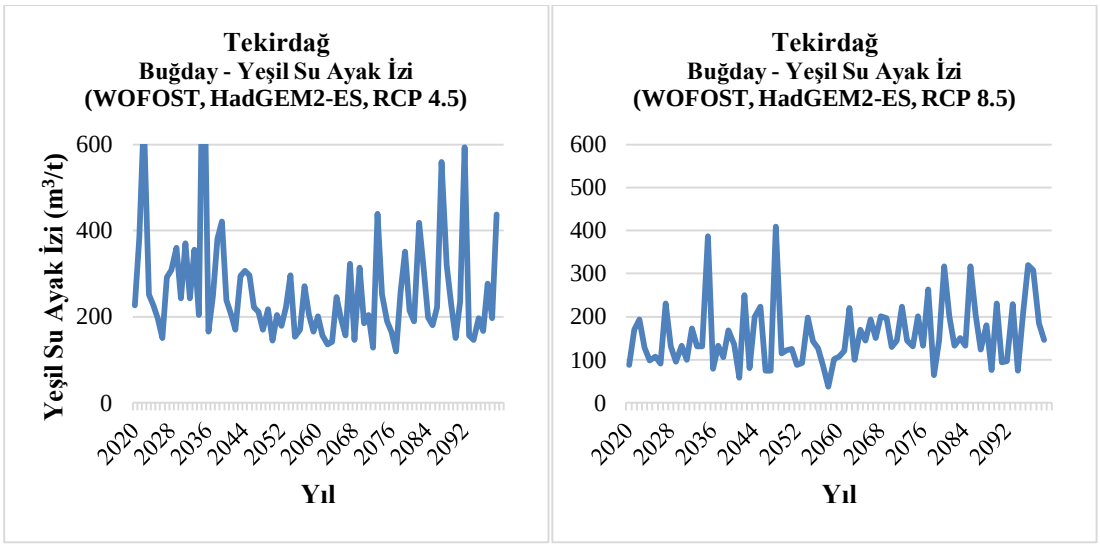
Şekil 3.106 : Kırklareli İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST SAİ Sonuçları Zaman Serileri.

Tekirdağ için yapılan simülasyonlar incelendiğinde ise RCP 4.5 senaryosunda en düşük ve en yüksek verim değerleri sırasıyla 1.19 ve 6.80 t/ha; RCP 8.5 senaryosunda ise 1.48 ve 7.17 t/ha olarak belirlenmiştir. Simülasyonlardan elde edilen değerlerden

hesaplanan en düşük ve en yüksek SAİ değerleri RCP 4.5 senaryosunda sırasıyla 119.9 ve 941.5 m^3/t; RCP 8.5 senaryosunda ise 37.5 ve 409.6 m^3/t olarak belirlenmiştir. İyimser senaryoda 187.9 mm ile en düşük efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 4.11 t/ha ve 189.7 m^3/t; 476.0 mm ile en yüksek efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 1.19 t/ha ve 941.5 m^3/t olarak belirlenmiştir. Kötümser senaryoda 108.5 mm ile en düşük efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 3.55 t/ha ve 65.3 m^3/t; 360.1 mm ile en yüksek efektif yağış miktarının olduğu gelişme dönemindeki verim ve SAİ miktarı sırasıyla 4.24 t/ha ve 231.2 m^3/t olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.107 : Tekirdağ İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Verim Sonuçları Zaman Serileri.



Şekil 3.108 : Tekirdağ İli Buğday Bitkisi HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Verim Sonuçları Zaman Serileri.

Çizelge 3.12 ve Çizelge 3.13'te WOFOST modeli ile Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ için RCP 4.5 ve 8.5 senaryo verileri kullanılarak yapılan simülasyonlardan elde edilen verim ve SAİ değerlerinin dönemsel olarak değişimleri bulunmaktadır. İyimser senaryodaki verim değerleri incelendiğinde genel olarak yükseliş tespit edilmiştir. Bununla birlikte P1, P2 ve P3 dönemlerinde verim miktarı sırasıyla %5.9, %13.2 ve %9.2 oranında artmıştır. Kötümser senaryoda ise verim miktarı P1döneminde %10.4 artış, P2 ve P3 dönemlerinde sırasıyla %1.5 ve %14.8 azalmıştır. SAİ değişimi incelendiğinde iyimser senaryoda P1, P2 ve P3 dönemlerinde sırasıyla %16.7, %32.6, %24.1 oranında; kötümser senaryoda ise dönemsel olarak sırasıyla %50.8, %52.0 ve %50.1 oranında azaldığı hesaplanmıştır.

Çizelge 3.12 : Buğday Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre Verim Değişimi.

WOFOST						
BUĞDAY	RCP 4.5			RCP 8.5		
Verim (%)	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ
2020-2040	%10.3	%14.8	-%7.3	%11.9	%1.6	%17.6
2041-2070	%4.4	%11.1	%24.2	-%0.4	-%2.0	-%2.2
2071-2099	-%1.1	%13.8	%14.9	-%13.3	%0.2	-%31.4

Çizelge 3.13 : Buğday Bitkisi için RCP 4.5 ve 8.5 Senaryolarına Göre WOFOST Modeli ile Yapılan Simülasyon Sonuçlarının Dönemlere Göre SAİ Değişimi.

WOFOST						
BUĞDAY	RCP 4.5			RCP 8.5		
Verim (%)	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ
2020-2040	-%39.4	-%42.4	%31.7	-%57.0	-%53.6	-%41.8
2041-2070	-%41.0	-%43.0	-%13.9	-%58.6	-%57.8	-%39.5
2071-2099	-%36.2	-%43.0	%6.8	-%58.6	-%65.3	-%26.4

3.4 Kuraklık İndeks Sonuçları

Trakya'da ileriye yönelik kuraklık durumunun belirlenebilmesi için HadGEM2-ES modelinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları için üretilmiş veriler yardımıyla hesaplanan SPEI, PDSI ve sc-PDSI indekslerinden yararlanılarak ileriye yönelik ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin gelişme dönemlerindeki kuraklık durumu incelenmiştir.

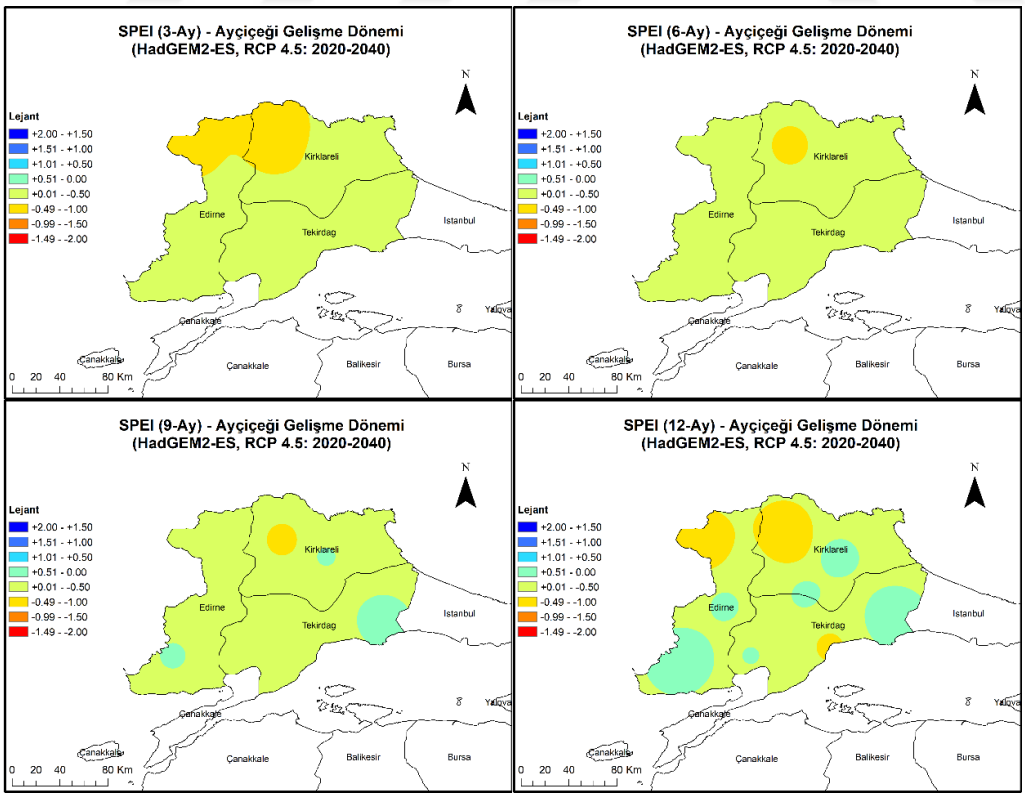
3.4.1 SPEI indeksi sonuçları

Trakya'da kuraklığın belirlenebilmesi için model verilerinin düzeltildiği tüm lokasyonlarda SPEI indeks hesaplaması yapılmıştır. SPEI indeksi hesaplanırken 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemlerde sonuçlar aktarılmaktadır. HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 ve

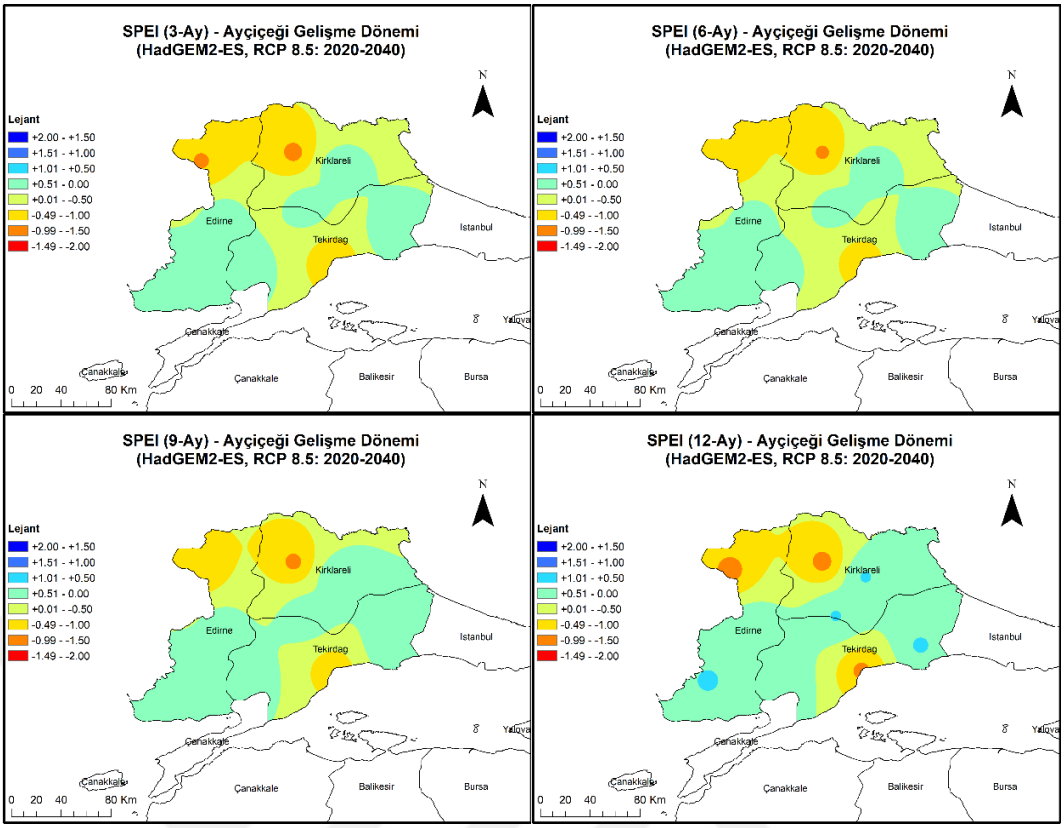
8.5 senaryoları için hesaplanan sonuçlara ait 2020-2099 yılları arasındaki aylık zaman serileri Ek B'de bulunmaktadır. SPEI indeksi ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin gelişme dönemlerinde 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler için 2020-2099 yılları arası üç farklı dönemde (P1: 2020-2040, P2: 2041-2070, P3: 2071-2099) hesaplanmış olup haritalandırılmıştır.

3.4.1.1 Ayçiçeği bitkisi gelişme dönemi

Ayçiçeği bitkisi gelişme dönemindeki SPEI indeksi ileriye yönelik üç farklı dönem için RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre haritalandırılmıştır. Şekil 3.109 ve Şekil 3.110 arasında ayçiçeği bitkisinin gelişim gösterdiği aylarda P1 dönemindeki RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre hesaplanan SPEI indeksi 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemlerde incelenmiştir. P1 döneminde RCP 4.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI-3, SPEI-6, SPEI-9 ve SPEI-12 değerleri sırasıyla 0.17, 0.30, 0.39 ve 0.31 olarak normal civarı olarak belirlenmiştir. Bu dönemde RCP 8.5 senaryosuna göre hesaplanan indeks değerleri sırasıyla 0.32, 0.33, 0.39 ve 0.46 olarak yine normal civarı olarak hesaplanmıştır. SPEI indeksi sonuçlarına göre P1 döneminde ayçiçeği bitkisinin gelişim gösterdiği aylarda iyimser ve kötümser senaryolara göre kuraklık durumu normal civarında olarak belirlenmiştir.



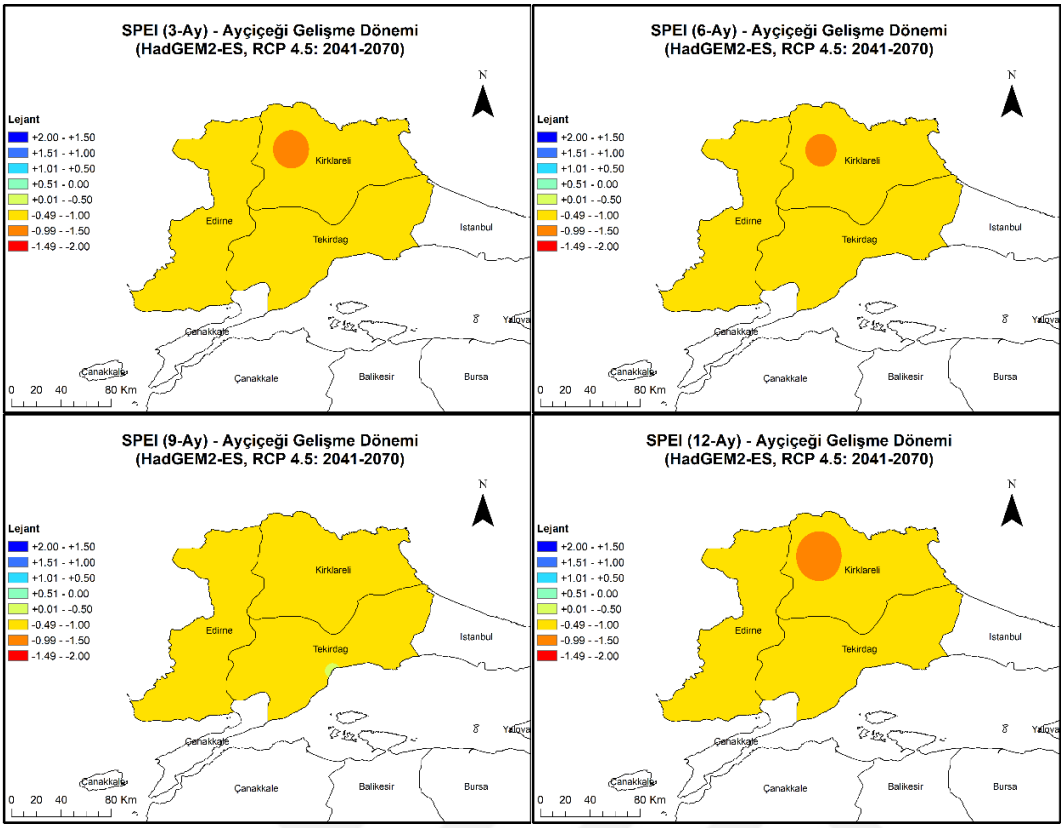
Şekil 3.109 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 Senaryosu 2020-2040 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları.



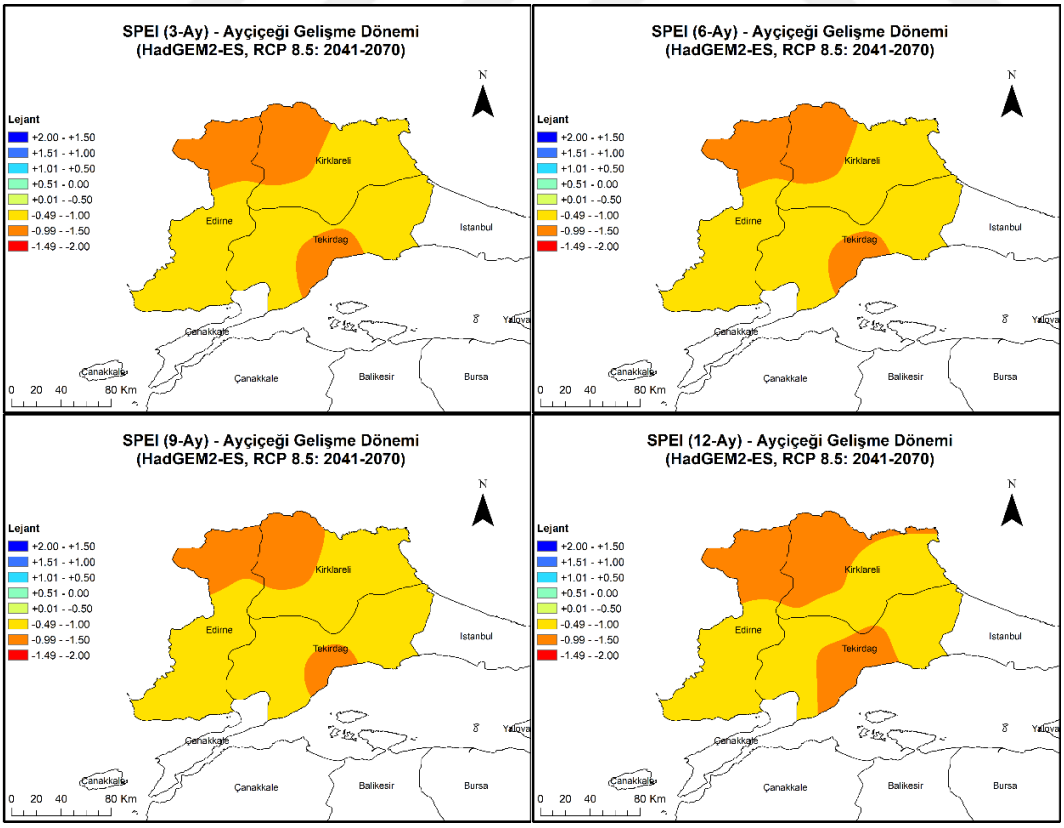
Şekil 3.110 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 Senaryosu 2020-2040 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları.

Şekil 3.111 ve Şekil 3.112'de ayçiçeği bitkisinin gelişim gösterdiği aylarda 2041-2070 dönemindeki RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre hesaplanan SPEI indeksi 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemlerde haritalandırılmıştır. P2 dönemindeki kuraklık durumu P1 dönemine göre biraz daha artmış olsa da hala normal civarındadır. Bu dönemde RCP 4.5 senaryosuna göre SPEI indeksinin bölge genelindeki ortalaması sırasıyla -0.22 (-0.65; -0.09), -0.21 (-0.61;-0.12), -0.17 (-0.49;0.01), -0.29 (-0.67;-0.18) olarak hesaplanmıştır. P2 dönemindeki RCP 8.5 senaryosuna göre ise SPEI indeksinin bölge genelindeki ortalama değerleri sırasıyla -0.46, -0.44, -0.41 ve -0.52 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre kuraklık durumu RCP 4.5 senaryosuna göre artmış olsa da risk oluşturacak bir durum olmadığı ve normal civarındaki kategoride bulunmaktadır.

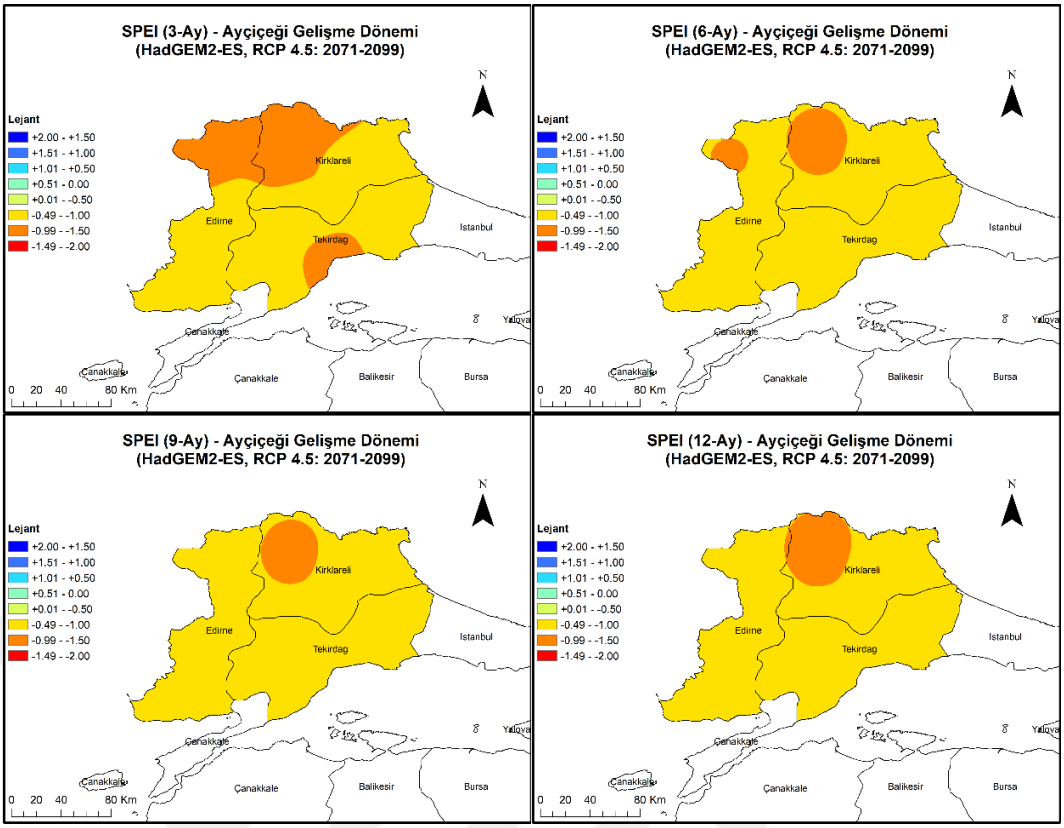
Şekil 3.113 ve Şekil 3.114'te ayçiçeği bitkisinin gelişim gösterdiği aylarda 2071-2099 dönemindeki RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre hesaplanan SPEI indeksi 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemlerde haritalandırılmıştır. Bu dönemde RCP 4.5 senaryosuna göre SPEI indeksinin bölge genelindeki ortalaması sırasıyla -0.47 (-0.85; -0.28), -0.33 (-0.73;-0.15), -0.35 (-0.69;0.21), -0.36 (-0.73;-0.21) olarak hesaplanmıştır.



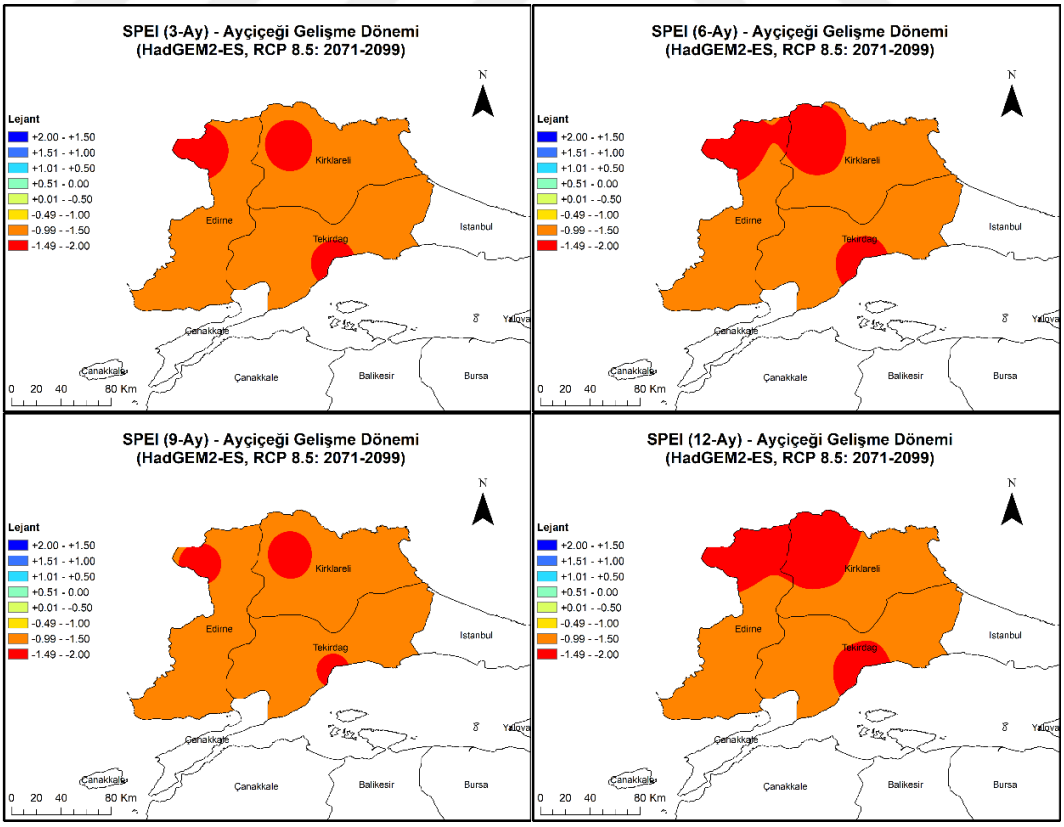
Şekil 3.111 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 Senaryosu 2041-2070 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları.



Şekil 3.112 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 Senaryosu 2041-2070 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları.



Şekil 3.113 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 Senaryosu 2071-2099 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları.

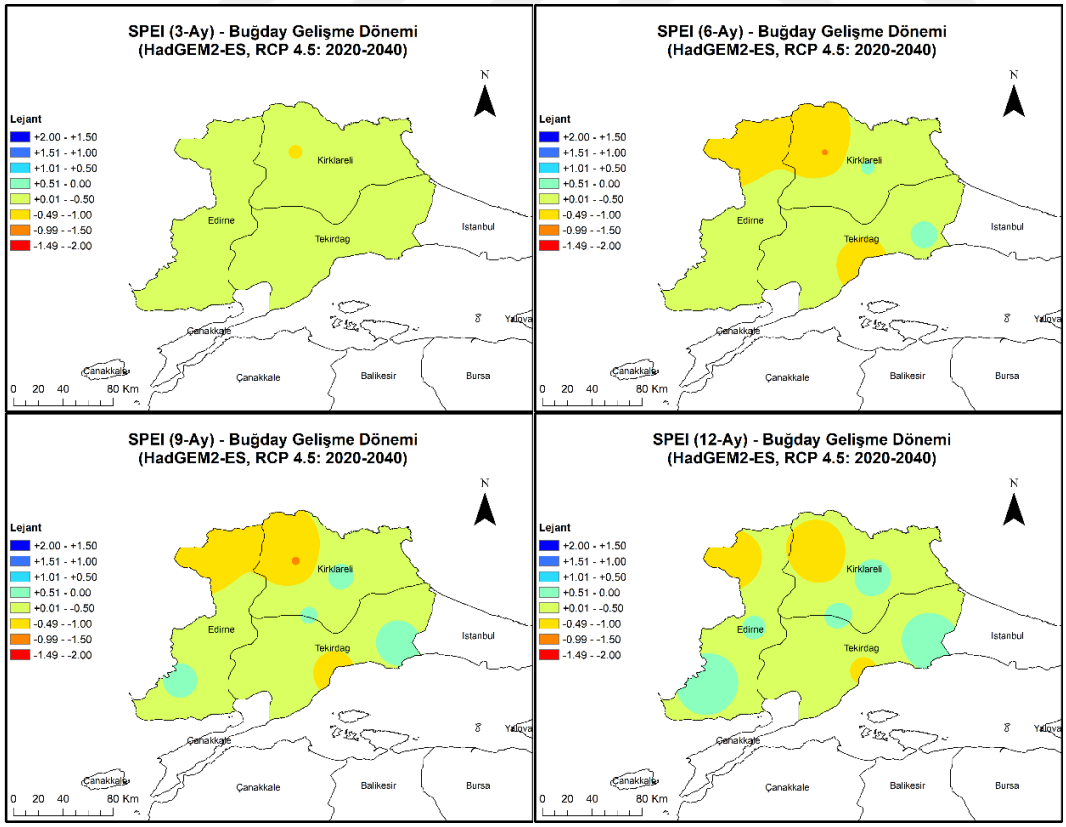


Şekil 3.114 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 Senaryosu 2071-2099 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları.

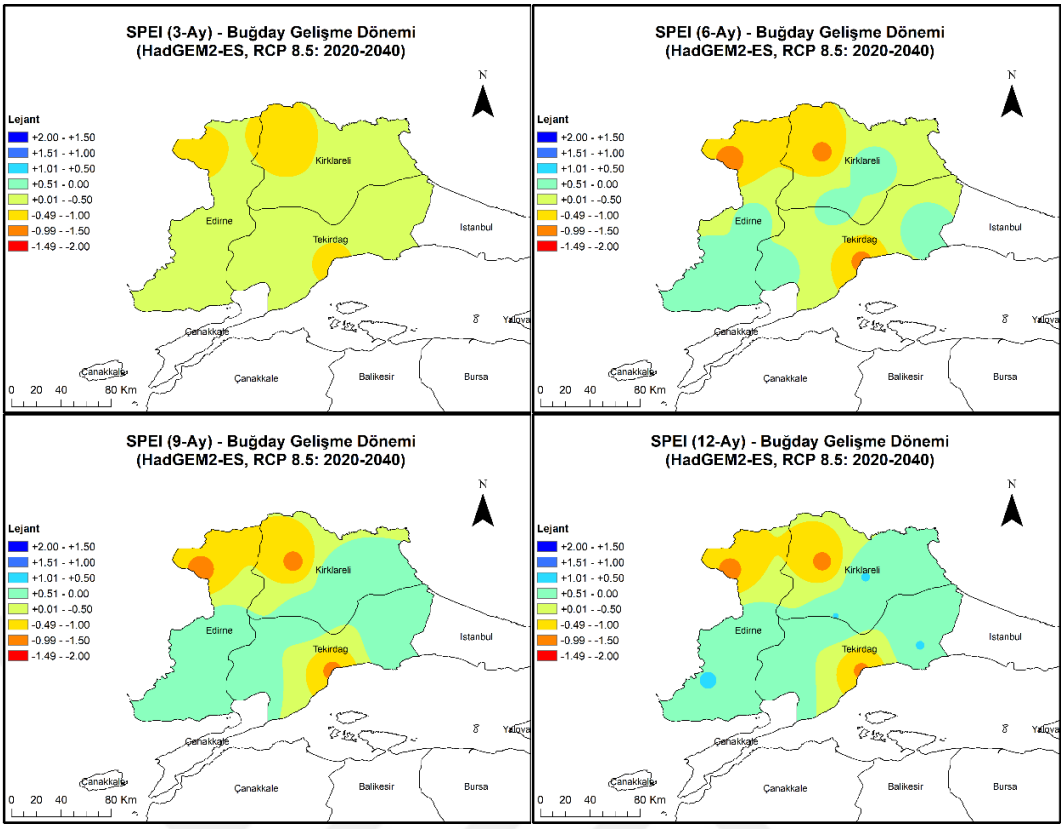
SPEI indeksinin 2071-2099 yılları arasındaki bölge genelindeki ortalaması RCP 8.5 senaryosuna göre sırasıyla -0.86, -0.91, -0.83, -0.94 olarak hesaplanmıştır. Bu dönemdeki RCP 8.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI haritalarına bakılacak olursa genel olarak orta derecede kurak ve birkaç mikro bölgede şiddetli kuraklık görülme riskleri bulunduğu belirlenmiştir.

3.4.1.2 Kışlık buğday bitkisi gelişme dönemi

Kışlık buğday bitkisinin gelişim gösterdiği aylarda SPEI indeksi 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemlerde 2020-2099 yılları arasında üç farklı dönem (P1: 2020-2040, P2: 2041-2070, P3: 2071-2099) RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre haritalandırılmıştır. Şekil 3.115 ve Şekil 3.116'da 2020-2040 döneminde RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre buğday bitkisinin gelişim gösterdiği aylardaki SPEI indeks haritaları bulunmaktadır. RCP 4.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI indeksinin kışlık buğday gelişme dönemindeki ortalaması sırasıyla 0.29, 0.19, 0.24 ve 0.30 olarak hesaplanmıştır. Yine bu dönemde RCP 8.5 senaryosuna göre hesaplanan bölgedeki SPEI indeks ortalaması sırasıyla 0.22, 0.26, 0.40 ve 0.45 olarak hesaplanmıştır. P1 dönemindeki SPEI indeksi değerlerine bakıldığında kuraklık durumunun normal civarı olduğu belirlenmiştir.



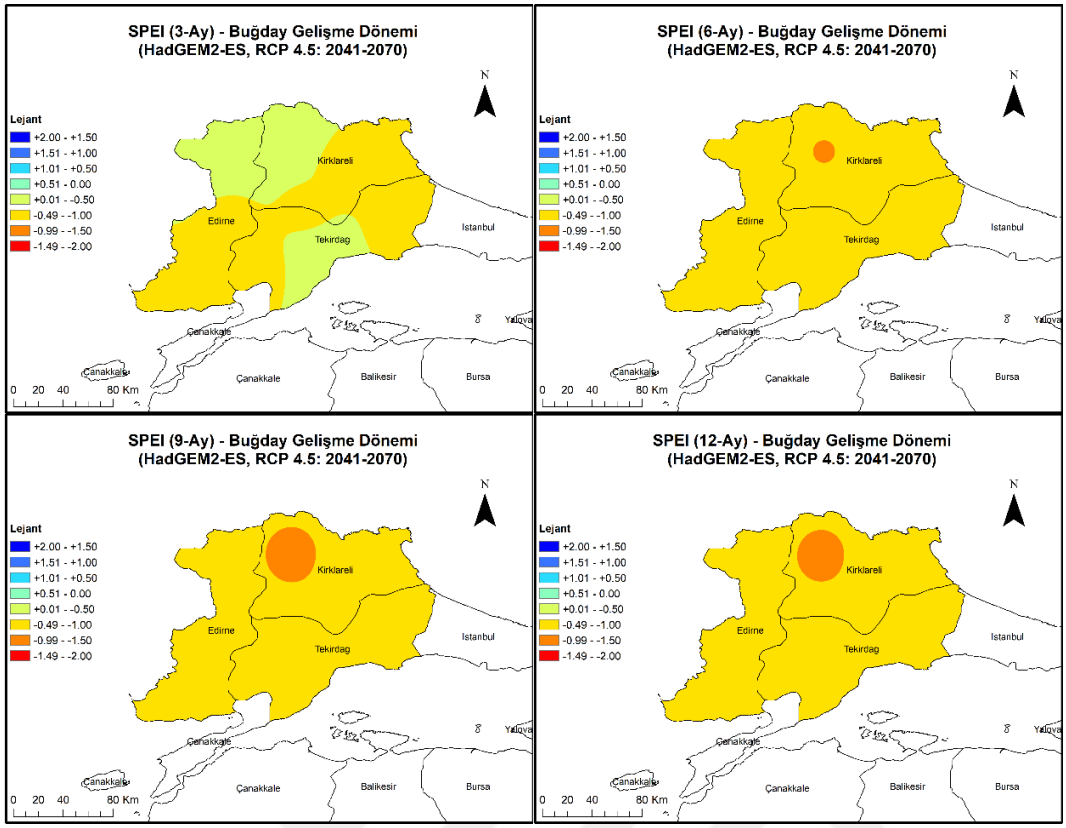
Şekil 3.115 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 Senaryosu 2020-2040 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları.



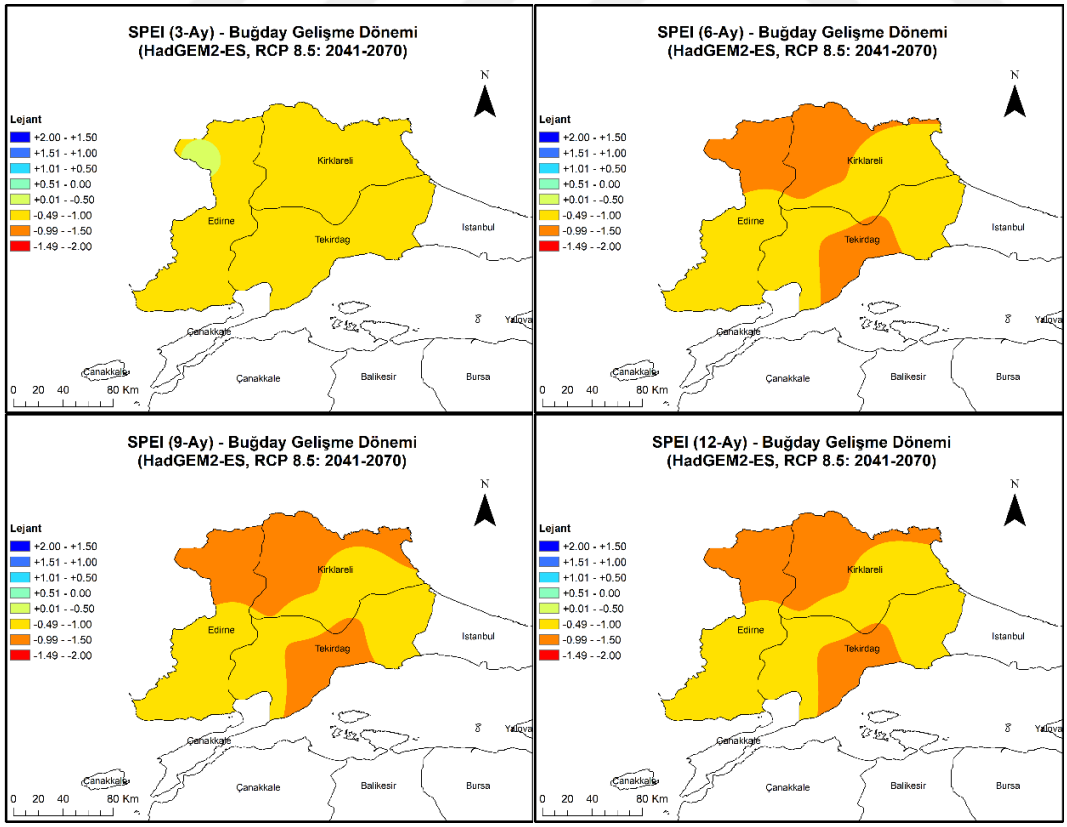
Şekil 3.116 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 Senaryosu 2020-2040 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları.

Şekil 3.117 ve Şekil 3.118'de 2041-2070 döneminde RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre buğday bitkisinin gelişim gösterdiği aylardaki SPEI indeks haritaları bulunmaktadır. Haritalar incelendiğinde kuraklık durumu artmış olmasına karşın hala normal civarı değerlere sahip olduğu görülmektedir. P2 döneminde RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre hesaplanan SPEI indeksi değerlerinin bölgedeki ortalaması RCP 4.5 senaryosunda sırasıyla 0.02, -0.27, -0.30 ve -0.30, RCP 8.5 senaryosunda ise sırasıyla -0.12, -0.52, -0.54 ve -0.53 olarak hesaplanmıştır.

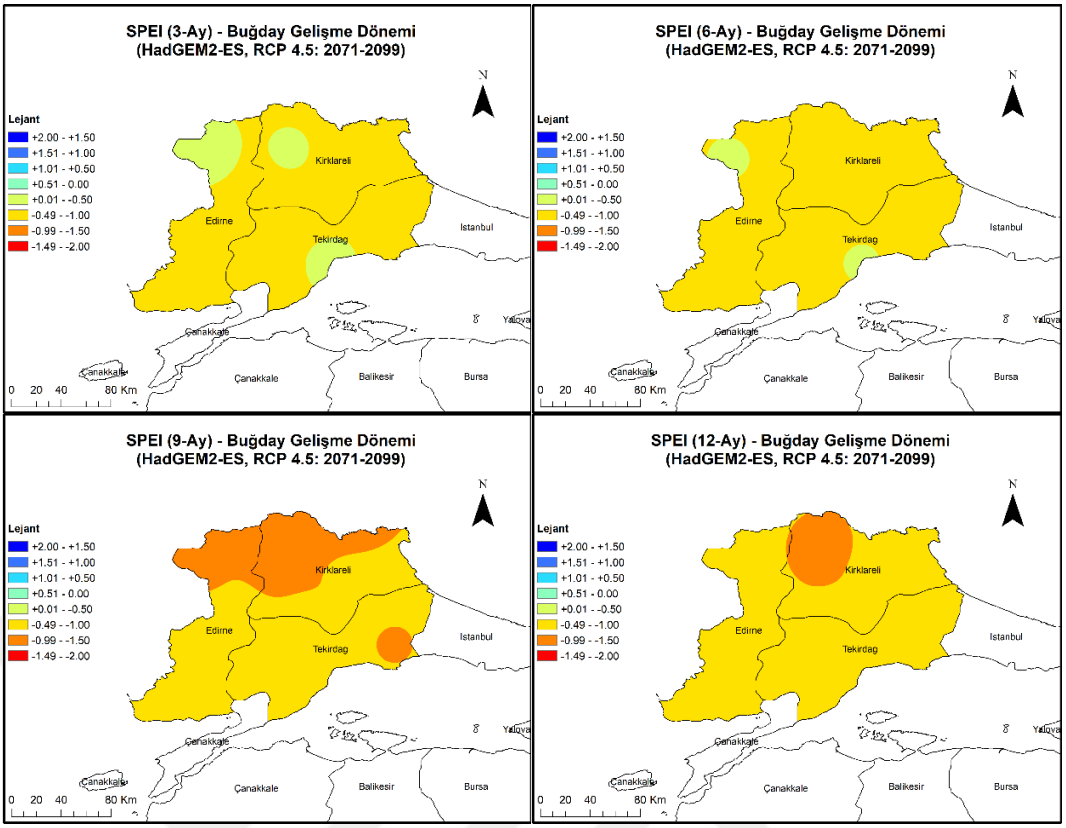
Şekil 3.119 ve Şekil 3.120'de 2071-2099 döneminde RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre buğday bitkisinin gelişim gösterdiği aylardaki SPEI indeks haritaları bulunmaktadır. P3 döneminde RCP 4.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI indeks haritalarında kuraklık normal civarındadır. Ancak, bu dönemde RCP 8.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI indeks haritaları incelendiğinde ise SPEI-6, SPEI-9 ve SPEI-12 indeks haritalarının bazı bölümlerinde orta şiddetli kurak olan bölgeler bulunmaktadır. Bu dönemde hesaplanan SPEI indeksi bölge genelinde RCP 4.5 senaryosuna göre sırasıyla -0.12, -0.22, -0.46 ve -0.35, RCP 8.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI indeks değerleri ise sırasıyla 0.02, -0.75, -0.92, -0.96 olarak hesaplanmıştır.



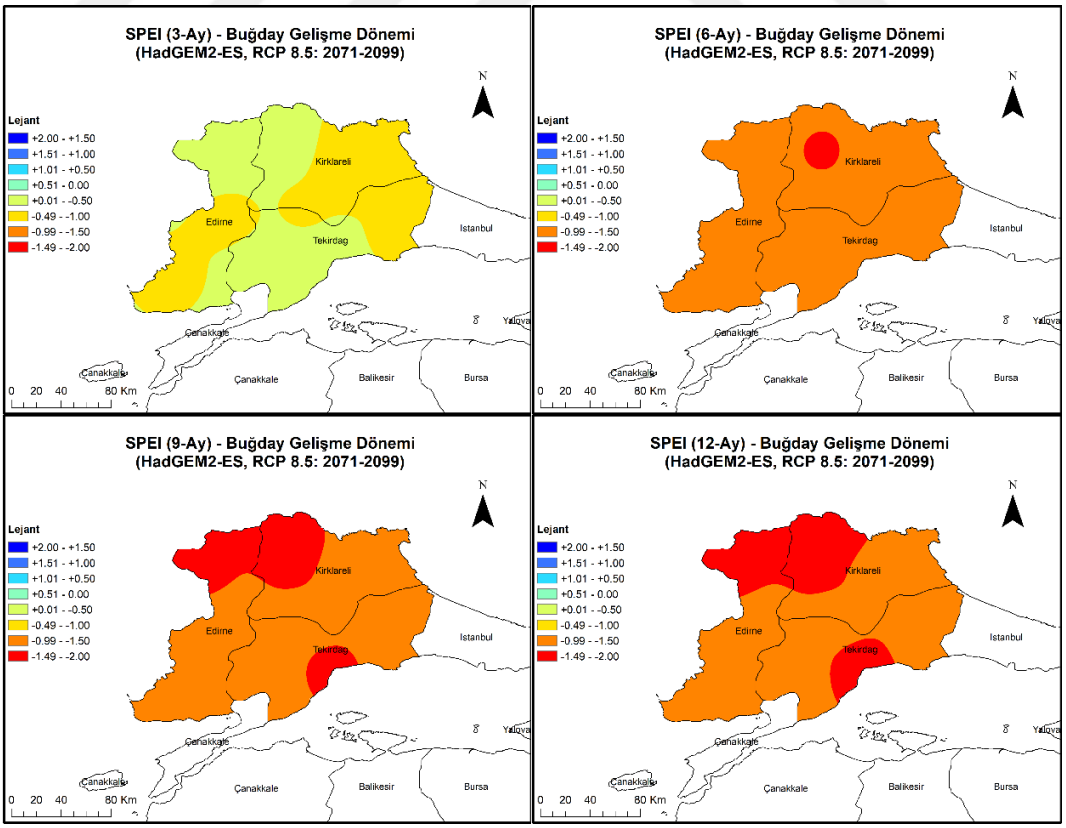
Şekil 3.117 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 Senaryosu 2041-2070 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları.



Şekil 3.118 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 Senaryosu 2041-2070 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları.



Şekil 3.119 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 4.5 Senaryosu 2071-2099 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları.



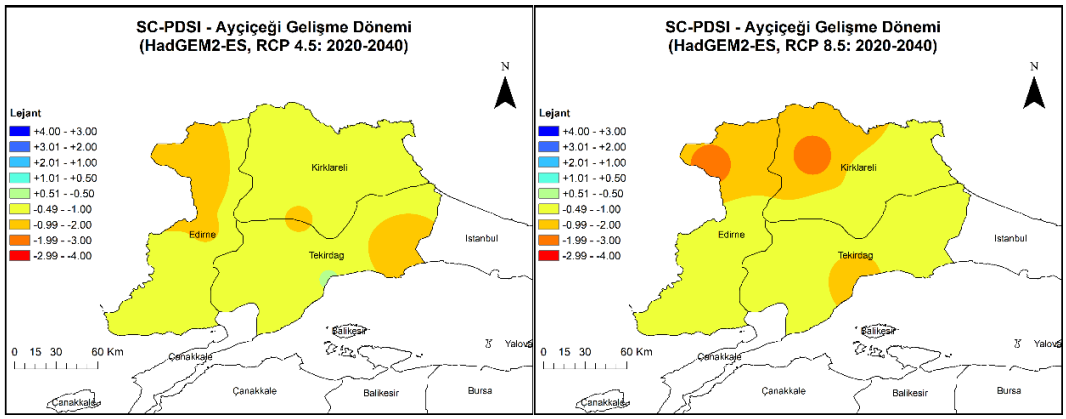
Şekil 3.120 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES modeli RCP 8.5 Senaryosu 2071-2099 Dönemi Sonuçları SPEI İndeksi (3, 6, 9 ve 12 ay) Haritaları.

3.4.2 PDSI ve sc-PDSI sonuçları

SPEI indeksi yanında bölgesel olarak kuraklık durumunun irdelenmesi için PDSI ve sc-PDSI indeksi değerleri hesaplanmıştır. PDSI sonuçları bir lokasyondaki kuraklık durumu belirlenirken kullanılabilir bir indeks olarak karşımıza çıkmaktadır. Bölgedeki diğer lokasyonlar ile karşılaştırılabilir bir indeks değildir. Her lokasyon için hesaplanan ve zaman serileri çizdirilen PDSI ve sc-PDSI indeksi şekilleri Ek C'de bulunmaktadır. Noktasal olarak PDSI değerleri irdelenmesi gerekmektedir. Bunun için kendinden kalibre PDSI (sc-PDSI) indeksi geliştirilmiştir. Bu yüzden bir bölgenin kuraklık durumu belirlenirken sc-PDSI indeks sonuçları kullanılmaktadır ve diğer lokasyonlarda hesaplanan sc-PDSI değerleri ile karşılaştırılabilir bir indekstir.

3.4.2.1 Ayçiçeği bitkisi gelişme dönemi

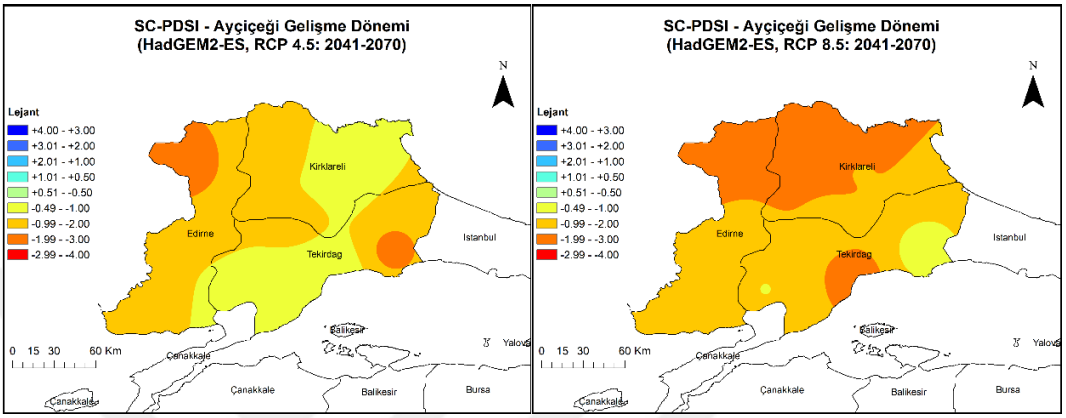
Trakya'daki kuraklığın ayçiçeği bitkisinin gelişim gösterdiği aylardaki durumu HadGEM2-ES modeli tarafından RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına hesaplanan sc-PDSI indeks değerleri Şekil 3.121-Şekil 3.123'te sunulmuştur. 2020-2040 döneminde bölgedeki sc-PDSI ortalama değeri RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında sırasıyla -0.31 ve -0.39 (normal civarı) olarak hesaplanmıştır. P1 dönemindeki RCP 4.5 senaryosunda Edirne'de -0.98, Çorlu'da -0.89, Tekirdağ'da -0.61 ve Uzunköprü'de -0.52 hesaplanmış olup çok az kuraklık sınıfına girmektedir. Tekirdağ'da ise 0.57 olarak hesaplanan sc-PDSI değeri çok az nemli olarak belirlenmiştir. Bu dönemdeki RCP 8.5 haritası incelendiğinde ise Edirne ve Kırklareli'de sc-PDSI sırasıyla -1.15 ve -1.24 (biraz kurak) olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.121 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryoları 2020-2040 Dönemi Sonuçları sc-PDSI Haritaları.

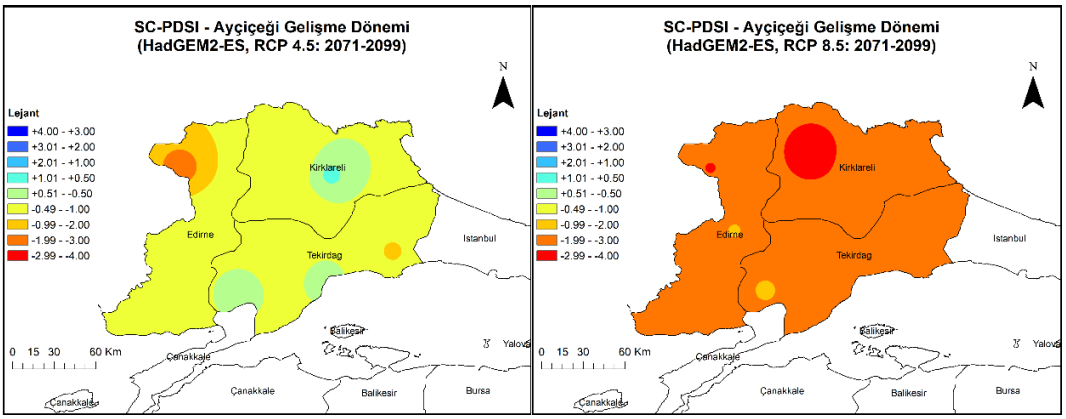
Şekil 3.122'de P2 dönemindeki ayçiçeği bitkisinin gelişim gösterdiği aylardaki sc-PDSI indeksinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre haritaları bulunmaktadır. Bu

haritaların ortalama sc-PDSI değerleri sırasıyla -0.59 ve -0.98 olarak hesaplanmış olup çok az kurak olduğu belirlenmiştir. Ancak RCP 8.5 senaryosundaki kurak alanlar RCP 4.5'a göre daha fazla olduğu görülmektedir. RCP 4.5 senaryosunda Edirne ve Çorlu'da sırasıyla -1.49 ve -1.15 olarak hesaplanmıştır. RCP 8.5 senaryosunda ise Edirne ve Kırklareli'de sırasıyla -1.71 ve -1.92 olarak hesaplanmıştır ve biraz kurak dönem tespit edilmiştir.



Şekil 3.122 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryoları 2041-2070 Dönemi Sonuçları sc-PDSI Haritaları.

Şekil 3.123'te P3 dönemindeki ayçiçeği bitkisinin gelişim gösterdiği aylardaki sc-PDSI indeksinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre haritaları gösterilmektedir. RCP 4.5 senaryosu haritasına bakıldığında bölgenin ufak bir bölümünde hafif kuraklık görülmektedir. Bu dönemdeki ortalama RCP 4.5 senaryosuna göre ortalama sc-PDSI 0.07 (normal civarı) olarak hesaplanmıştır. RCP 8.5 haritasında ise bölgenin büyük kısmı biraz kurak (ortalama: -1.48) olarak hesaplanmıştır. Kırklareli (-2.37) ve Edirne'de (-2.01) ise orta şiddetli kuraklık görülmektedir.



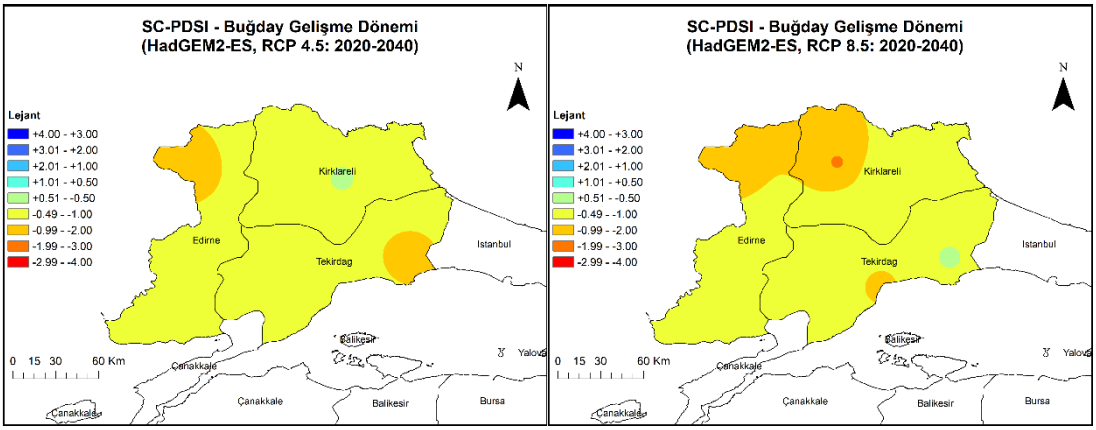
Şekil 3.123 : Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryoları 2071-2099 Dönemi Sonuçları sc-PDSI Haritaları.

3.4.2.2 Kışlık buğday bitkisi gelişme dönemi

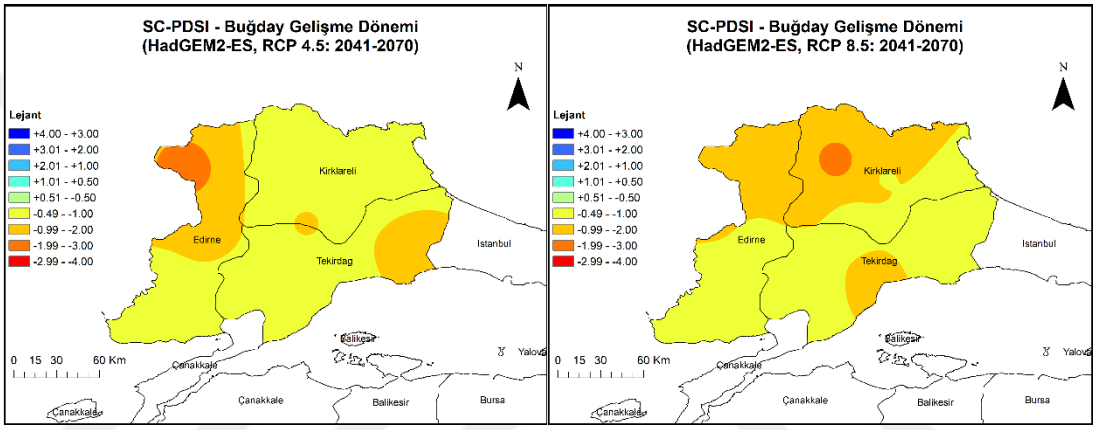
Trakya'da buğday bitkisinin gelişim gösterdiği aylardaki HadGEM2-ES modelinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarındaki veriler ile P1, P2 ve P3 dönemleri için hesaplanmış sc-PDSI haritaları ise Şekil 3.124 ile 3.126 arasındadır. Şekil 3.124'te 2020-2040 dönemindeki RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre elde edilmiş sc-PDSI haritaları gösterilmektedir. Bu dönemdeki RCP 4.5 haritası incelendiğinde Çorlu (-0.73) ve Edirne'de (-0.86) çok az kuraklık tespit edilmiştir. Bunun yanında Pınarhisar'da (0.60) ise çok az nemli bir durum görülmektedir. Bu dönemdeki RCP 8.5 senaryosuna göre hesaplanmış sc-PDSI haritası incelendiğinde ise Kırklareli -1.03 değeri ile Edirne ve Tekirdağ'da sırasıyla -0.84 ve -0.61 olarak hesaplanmıştır. Bölge genelinde ise genellikle normal civarı bir durum görülmektedir.

Şekil 3.125'te P2 dönemindeki RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre elde edilmiş sc-PDSI haritaları gösterilmektedir. Bu haritalarda Trakya'nın büyük kısmı normal civarında olduğu görülmektedir. RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre hesaplanmış haritaların ortalama değerleri sırasıyla -0.36 (normal civarı) ve -0.49 (çok az kurak) olarak hesaplanmıştır. RCP 4.5 haritasında en düşük sc-PDSI değeri Edirne'de -1.25 olarak hesaplanmış ve biraz kuraklık durumu görülmektedir. RCP 8.5 haritasında ise en düşük sc-PDSI değeri Kırklareli'de -1.14 olarak hesaplanmış olup biraz kuraklık tespit edilmiştir.

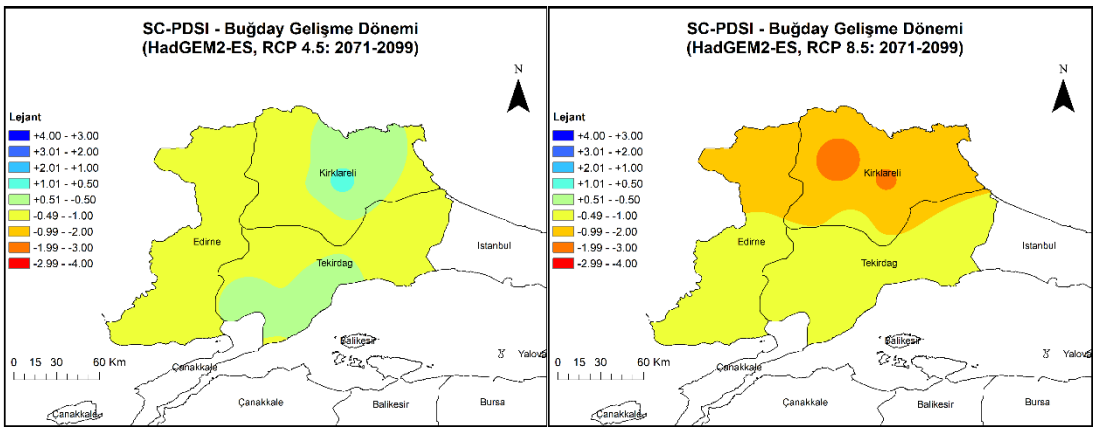
Şekil 3.126'da 2071-2099 dönemindeki RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre elde edilmiş sc-PDSI haritaları gösterilmektedir. RCP 4.5 haritasında genel olarak normal civarı görünse de Kırkleli ve Tekirdağ illerinin belli kısımlarında çok hafif nemli alanlar bulunmaktadır. Bu senaryodaki en yüksek sc-PDSI değeri 1.11 (biraz nemli) ile Pınarhisar'da hesaplanmıştır. Bu dönemde RCP 8.5 senaryosuna göre hesaplanmış sc-PDSI haritasına bakıldığında bölgenin kuzey kısmı ile güney kısmı ayrışmaktadır ve kuzey kısmının ortalaması -0.93 (çok az kurak) iken güney kısmının ortalaması ise -0.28 (normal civarı) olarak hesaplanmıştır. Kırklareli (-1.16) ve Pınarhisar'da (-1.04) ise biraz kuraklık görülmektedir.



Şekil 3.124 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryoları 2020-2040 Dönemi Sonuçları sc-PDSI Haritaları.



Şekil 3.125 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryoları 2041-2070 Dönemi Sonuçları sc-PDSI Haritaları.



Şekil 3.126 : Kışlık Buğday Gelişme Dönemindeki HadGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryoları 2071-2099 Dönemi Sonuçları sc-PDSI Haritaları.

4. SONUÇLAR

Tez çalışmasında ülkemizin önemli tarımsal ürünlerinden ve Trakya'da yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan ayçiçeği ve kışlık buğday bitkilerinin 2014-2018 yılları arasındaki gelişme dönemlerinde, verim ve su ayak izi (SAİ) miktarları belirlenmiş olup, elde edilen gerçek veriler üç farklı bitki gelişimi simülasyonu modeli (AquaCrop, DSSAT ve WOFOST) sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Trakya'da genel olarak ayçiçeği ve buğday bitkileri kuru koşullarda yetiştirilmektedir. Bu sebeple, bitkilerin yeşil SAİ miktarı, aynı zamanda toplam SAİ miktarını vermektedir. Bu ölçüm döneminde, Trakya'daki ayçiçeği ve buğday bitkilerinin ortalama gerçek verimleri sırasıyla; 2.21 ve 4.46 t/ha olarak ölçülmüştür. Ayçiçeği bitkisi verim tahmininde ortalama bağıl hata, (RE) AquaCrop'ta %4.7, DSSAT'ta -%0.3, WOFOST ise %7.3; normalize kök ortalama karesel hata (NRMSE) değerleri, AquaCrop'ta %5.5, DSSAT'ta %5.3, WOFOST'ta %7.3; ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) değerleri, AquaCrop'ta %4.7, DSSAT'ta %4.7, WOFOST'ta %7.2 olarak tahmin etmiştir. Buğday bitkisi için yapılan verim tahmininde ortalama RE, AquaCrop'ta %4.7, DSSAT'ta -%0.3, WOFOST %7.3; NRMSE değerleri AquaCrop'ta %3.3, DSSAT'ta %7.9, WOFOST'ta %5.7; MAPE değerleri AquaCrop'ta %3.2, DSSAT'ta %6.3, WOFOST'ta %5.6 olarak belirlenmiştir. Ayçiçeği ve buğday bitki için yapılan hata değerleri modellerin oldukça iyi bir şekilde verimi tahmin ettiğini göstermektedir.

Toprak su dengesi (TSD) yöntemi ve arazi verileri ile elde edilen evapotranspirasyon (ET) ve verim değerleri kullanılarak SAİ değerleri hesaplanmıştır. Ayçiçeği bitkisinin Trakya'daki ortalama SAİ değeri, TSD yöntemi ile 377 m^3/t olarak belirlenmiştir. Model sonuçları incelendiğinde ise, AquaCrop, DSSAT ve WOFOST modelleri, ayçiçeği SAİ miktarını sırasıyla 388.6, 444.9 ve 453.1 m^3/t olarak tahmin etmişlerdir. Buğday bitkisinin Trakya'daki ortalama SAİ değeri, TSD yöntemi ile 452.7 m^3/t olarak hesaplanmıştır. Model sonuçları incelendiğinde, Trakya'daki buğday SAİ sonuçları sırasıyla 359.0, 218.3 ve 291.7 m^3/t olarak modellenmiştir. Modeller tarafından tahmin edilen verimler arasındaki farklılıklar, bitkinin gelişimini

hesaplamada kullanılan eşitlikler ve dikkate alınan değişkenler, katsayılardan kaynaklanabilir. Bunun yanında, SAİ hesaplamalarındaki farklılıkların en önemli sebebi ise, AquaCrop, DSSAT ve WOFOST modellerinin ET'yi farklı eşitlikler kullanarak (sırasıyla Penman-Monteith, Priestly-Taylor ve Penman) hesaplamasıdır. Bu da yeşil SAİ hesabında $ET_{yeşil}$ miktarına etki etmektedir.

Ayçiçeği ve buğday bitkileri için belirlenen SAİ'ler diğer çalışmalardaki değerler ile karşılaştırıldığında; Trakya'da Gobin ve diğ. (2017) tarafından yapılan araştırmada buğday bitkisi için elde edilen SAİ değerlerinin (650 m^3/t) bu çalışmada elde SAİ değerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Trakya'da SAİ konusunda başka bir araştırma çalışması bulunmadığından, sonuçlarımız, ülkemizde diğer bölgelerde yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, Muratoğlu (2019) tarafından yukarı Dicle Havzasında yapılan çalışmada belirlenen ayçiçeği bitkisinin yeşil SAİ miktarının bizim değerlerimizin yaklaşık iki katı olduğu (780 m^3/t); buğday bitkisinin ise yaklaşık 2.4 katı olduğu (1078 m^3/t) hesaplanmıştır. Bu farklılıkların nedenlerinden biri, kullanılan modellerin farklı olması, bir diğer ise bitkilerin SAİ miktarları belirlenirken sadece verim değil, aynı zamanda bölgenin iklimi, toprak özellikleri, bitki kültürtipi ve toprak yönetimi (sulama vb.) gibi faktörlerin etkilemesi olabilir (Yeşilköy ve Şaylan, 2020). Buna karşın, Santos ve diğ. (2017) tarafından Türkiye için belirlenen buğday ve ayçiçeği bitkilerinin ortalama SAİ değerlerinin, Trakya'da elde ettiğimiz sonuçlardan sırasıyla %71.3 (130 m^3/t) ve %31 daha az (260 m^3/t) olduğu belirlenmiştir.

Buna ilave olarak, ayçiçeği ve buğday bitkisi için elde ettiğimiz SAİ değerleri dünyada bu konuda yapılan araştırma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çin'de Luan ve diğ. (2018) tarafından belirlenen buğday bitkisinin SAİ değerleri, bizim değerlerimizin 1.96 ile 2.72 katı olarak (888-1231 m^3/t) hesaplanmıştır. Bunun sebebi, bölgede yoğun miktarda yapılan sulamanın SAİ miktarını arttırmasıdır. Garofalo ve diğ. (2019), AquaCrop modeli ile İtalya ve Almanya'da kışlık buğday bitkisinin 2050 yılına kadar SAİ değerlerinde, tez çalışmasındaki gibi bir azalış trendi olduğunu belirlemişlerdir. Ababaei ve Etedali (2017) tarafından İran'da (buğday verimi 101.1 kg/da) yetiştirilen buğdayın SAİ değerleri (1282 ile 4166 m^3/t arasında) bizim sonuçlarımızdan oldukça yüksektir. Bunun nedeni İran'da dikkate alınan yerdeki verim değerinin, Trakya'daki ortalama verimin %23'ü kadar olmasından kaynaklanmaktadır.

Meteorolojik faktörlerdeki değişimlerin verim ve SAİ değerlerine etkisinin belirlenmesi amacıyla ayçiçeği ve buğday bitkileri için modeller kullanılarak hassasiyet analizleri yapılmıştır. Bu amaçla sıcaklık, yağış ve toplam güneş (global solar) radyasyonu değişkenleri, tekli ve ikili kombinasyonlar şeklinde değiştirilip, modellerin meteorolojik değişkenlere olan hassasiyeti verim ve SAİ açısından değerlendirilmiştir. AquaCrop, DSSAT ve WOFOST modelleri, sadece sıcaklık artışı ve sadece yağış azalışı gerçekleştiğinde buna ayçiçeği veriminde azalma olarak tepki vermişlerdir. Bu sonuçlar, Şaylan ve diğ. (2012) tarafından yapılan hassasiyet analizleri ile benzerdir. Buğday bitkisi için yapılan hassasiyet analizleri Çaldağ ve Şaylan (2005) ve Kassie ve diğ. (2016) tarafından DSSAT modeli ile yapılmış hassasiyet analizi sonuçlarına benzer sonuçlar vermiştir ve sadece sıcaklık artışının buğday verimini yükselttiği belirlenmiştir.

Meteorolojik değişkenlere ait ileriye yönelik elde edilen zaman serileri 2020-2040 (P1), 2041-2070 (P2) ve 2071-2099 (P3) dönemleri için ayçiçeği ve buğday bitkilerinin gelişim gösterdiği aylar için incelenmiştir. Trakya genelinde ayçiçeği bitkisinin gelişim gösterdiği aylarda 1971-2019 yılları arasında ölçülmüş ortalama hava sıcaklığı 19.8°C; maksimum hava sıcaklığı 26.1°C; minimum hava sıcaklığı 13.7°C; yağış miktarı 182.0 mm; efektif yağış miktarı 87.5 mm olarak ölçülmüştür. Ayçiçeği bitkisinin gelişim gösterdiği aylardaki RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sıcaklık (ortalama, maksimum ve minimum) ve yağış (toplam ve efektif) değişimleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : İklim Projeksiyonu Senaryolarına Göre Ayçiçeği Gelişme Dönemindeki Meteorolojik Faktörlerdeki Değişim Miktarları.

Değişim Miktarı	**2020-2040**		**2041-2070**		**2071-2099**	
	RCP 4.5	**RCP 8.5**	**RCP 4.5**	**RCP 8.5**	**RCP 4.5**	**RCP 8.5**
Ort. Sıcaklık	+3.7°C	+6.1°C	+4.1°C	+6.8°C	+4.3°C	+7.8°C
Maks. Sıcaklık	+4.7°C	+5.7°C	+5.0°C	+6.4°C	+5.2°C	+7.5°C
Min. Sıcaklık	+0.3°C	+2.9°C	+1.6°C	+3.7°C	+2.8°C	+6.2°C
Yağış	-%22.8	-%50.8	-%20.0	-%54.4	-%16.9	-%54.2
Efektif Yağış	-%20.9	-%51.0	-%19.5	-%55.9	-%16.1	-%58.5

Bu sonuçlar göstermektedir ki, ayçiçeği gelişme dönemi için 2100 yılına kadar iyimser (RCP 4.5) ve kötümser (RCP 8.5) senaryolara göre sıcaklıkların Trakya Bölgesinde artacağı; yağış miktarının da azalacağı öngörülmektedir.

Buğday bitkisinin gelişim gösterdiği aylarda 1971-2019 yılları arasında ölçülmüş ortalama hava sıcaklığı 10.2°C; maksimum hava sıcaklığı 15.1°C; minimum hava sıcaklığı 5.7°C; yağış miktarı 460.2 mm; efektif yağış miktarı 215.7 mm olarak ölçülmüştür. Buğday'ın gelişim döneminde, RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre sıcaklık (ortalama, maksimum ve minimum) ve yağış (toplam ve efektif) değişimleri Çizelge 4.2'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2 : İklim Projeksiyonu Senaryolarına Göre Buğday Gelişme Dönemindeki Meteorolojik Faktörlerdeki Değişim Miktarları.

Değişim Miktarı	**2020-2040**		**2041-2070**		**2071-2099**	
	RCP 4.5	**RCP 8.5**	**RCP 4.5**	**RCP 8.5**	**RCP 4.5**	**RCP 8.5**
Ort. Sıcaklık	+3.1°C	+5.6°C	+3.3°C	+6.1°C	+3.4°C	+7.0°C
Maks. Sıcaklık	+4.2°C	+5.5°C	+4.6°C	+6.2°C	+4.8°C	+7.1°C
Min. Sıcaklık	+0.7°C	+2.9°C	+2.7°C	+5.0°C	+3.9°C	+6.5°C
Yağış	+%15.0	-%15.6	+%12.0	-%17.1	+%18.4	-%17.4
Efektif Yağış	+%13.5	-%17.6	+%10.2	-%21.1	+%14.9	-%23.0

Buğday bitkisi gelişme dönemi için 2100 yılına kadar iyimser (RCP 4.5) ve kötümser (RCP 8.5) senaryolara göre sıcaklıkların Trakya Bölgesinde artacağı; yağış miktarının ise iyimser senaryoda artabileceği, kötümser seneryoda azalabileceği öngörülmektedir.

İleriye yönelik RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarından elde edilen günlük meteorolojik veriler kullanılarak, AquaCrop, DSSAT ve WOFOST modelleri ayçiçeği ve kışlık buğday için simülasyonlar yapılmıştır.

AquaCrop modelinin Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illeri için RCP 4.5 senaryosuna göre yapılan simülasyonlar incelendiğinde ayçiçeği bitkisinin verimdeki değişim P1, P2 ve P3 dönemlerinde sırasıyla -%17.2, -%17.0 ve -%8.7; RCP 8.5 senaryosunda ise -%11.8, -%10.7 ve -%7.8 olmuştur. Sonuç olarak, AquaCrop modeli 2020 yılından 2100 yılına kadar olan zaman aralığında, iyimser ve kötümser senaryolara göre, yaklaşık olarak %8 ile %17 arasında ayçiçeği veriminde azalma meydana gelebileceğini tahmin etmiştir.

Ayçiçeği bitkisinin SAİ miktarındaki değişimi P1, P2 ve P3 dönemlerindeki RCP 4.5 senaryosuna göre -%21.5, -%27.7 ve -%30.7; RCP 8.5 senaryosunda ise -%50.2, -%64.4 ve -%68.9 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, gelecekte iyimser ve kötümser

senaryolara göre Trakya'da ayçiçeği SAİ değerlerinin yaklaşık %22 ile %69 arasında azalabileceği modellenmiştir.

AquaCrop modelinin buğday simülasyonlarına göre verim artışı RCP 4.5 senaryosunda P1, P2 ve P3 dönemlerinde sırasıyla %10.6, %19.6 ve %24.5; RCP 8.5 senaryosu simülasyonunda ise sırasıyla %9.5, %28.3 ve %48.3 olmuştur. Buğday bitkisinin SAİ değişim miktarı ise RCP 4.5 senaryosunda dönemsel olarak sırasıyla -%58.7, -%64.6 ve -%66.9; RCP 8.5 senaryosunda ise -%68.5, -%76.1 ve -%82.5 olarak hesaplanmıştır. AquaCrop modeliyle yapılan bu analiz, bize gelecekte Trakya'da buğday veriminin yaklaşık %10 ile %48 arasında artabileceğini, SAİ değerinin de %59 ile %83 arasında azalabileceğini göstermektedir.

DSSAT modelinin Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illeri için RCP 4.5 senaryosuna göre yapılan simülasyonlar incelendiğinde ayçiçeği bitkisinin verim miktarındaki ortalama değişimi P1, P2 ve P3 dönemlerinde sırasıyla -%16.3, -%18.5 ve -%11.9; RCP 8.5 senaryosunda ise -%14.0, -%17.3 ve -%24.6 olarak hesaplanmıştır. Ayçiçeği bitkisinin SAİ miktarındaki değişim P1, P2 ve P3 dönemlerinde RCP 4.5 senaryosuna göre -%29.7, -%30.7 ve -%32.0; RCP 8.5 senaryosunda ise -%56.7, -%65.4 ve -%64.2 olarak hesaplanmıştır.

DSSAT modelinin buğday simülasyonlarından elde edilen verim değişim miktarları RCP 4.5 senaryosunda P1, P2 ve P3 dönemlerinde sırasıyla -%21.4, -%15.4 ve -%15.0; RCP 8.5 senaryosu simülasyonunda ise sırasıyla -%24.2, -%18.7 ve %18.7 olmuştur. Buğday bitkisinin SAİ değişim miktarı ise RCP 4.5 senaryosunda dönemsel olarak sırasıyla %35.5, %20.3 ve %24.5; RCP 8.5 senaryosunda ise -%13.3, -%29.0 ve -%35.4 olarak hesaplanmıştır.

WOFOST modelinin Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illeri için RCP 4.5 senaryosuna göre yapılan simülasyonlar incelendiğinde ayçiçeği bitkisinin verim miktarındaki ortalama değişimi P1, P2 ve P3 dönemlerinde sırasıyla -%24.5, -%32.2 ve -%20.9; RCP 8.5 senaryosunda ise -%18.7, -%37.4 ve -%50.7 olarak hesaplanmıştır. Ayçiçeği bitkisinin SAİ miktarındaki değişimi P1, P2 ve P3 dönemlerindeki RCP 4.5 senaryosuna göre %4.2, %16.9 ve %1.8; RCP 8.5 senaryosunda ise -%43.4, -%37.1 ve -%35.0 olarak hesaplanmıştır.

WOFOST modelinin buğday simülasyonlarından elde edilen verim değişim miktarları RCP 4.5 senaryosunda P1, P2 ve P3 dönemlerinde sırasıyla %5.9, %13.2 ve %9.2;

RCP 8.5 senaryosu simülasyonunda ise sırasıyla %10.4, -%1.5 ve -%14.8 olmuştur. Buğday bitkisinin SAİ değişim miktarı ise RCP 4.5 senaryosunda dönemsel olarak sırasıyla -%16.7, -%32.6 ve -%24.1; RCP 8.5 senaryosunda ise -%50.8, -%52.0 ve -%50.1 olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, Trakya'da dikkate alınan bu illerdeki ayçiçeği verimlerinde, iyimser senaryoya göre 2020 yılından 2100 yılına kadar olan dönemde genel olarak verimde azalma meydana gelebileceği belirlenmiştir. Aynı dönem için uygulanan kötümser senaryoda da genel olarak ayçiçeği veriminde meydana gelecek azalmanın, artarak devam edeceği modellenmiştir. Verim için elde edilen bu sonuçların Şaylan ve diğ. (2012) tarafından elde edilenler ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Trakya'da ayçiçeği SAİ değerlerinin gelecekteki durumu incelendiğinde ise; genel olarak hem iyimser hem de kötümser senaryolarda SAİ değerlerinin azaldığı (Tekirdağ hariç) belirlenmiştir.

Kışlık buğday bitkisinin 2020 yılından 2100 yılına kadar olan zaman aralığında veriminde iyimser senaryoya göre, genel olarak bir artış belirlenirken, kötümser senaryoda ise, modeller hem artış hem de azalış sonuçları vermişlerdir. Buğday bitkisinin SAİ değerleri incelendiğinde Trakya'da gelecekte iyimser senaryoya göre Tekirdağ dışındaki illerde genel olarak bir azalma beklenmektedir. Kötümser senaryoya göre ise, Trakya'da buğdayın SAİ değerinde genel olarak azalma meydana olabileceği modellenmiştir.

Tez çalışmasında, gelecekte olası iklim değişikliğinin, SAİ miktarına etkileri ülkemizde ilk defa Trakya için yapılmıştır. Bu durum, 1 kg ayçiçeği ve buğday üretiminde kullanılacak olan yeşil su miktarının azalacağını belirlenmiştir. Ancak, bölge genelinde gelecekte ayçiçeği veriminde azalma söz konusu olabilir. Sonuçlarımızın ülkemizdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırma imkanı bulunmamaktadır. Çünkü bu kapsamda bu bitkiler için çalışma yapılmamıştır. Ancak, diğer ülkelerde buğday ve arpa bitkilerinin verim ve SAİ değerlerine iklim değişlikliğinin etkileri konusunda Garofalo ve diğ. (2019) ve Masud ve diğ. (2018) tarafından yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Tez çalışmasında iklim değişikliğinin verim ve SAİ üzerine etkileri ile ilgili sonuçlar yurt dışında yapılan bu araştırmaların sonuçları ile benzerlik göstermiştir.

Elde ettiğimiz bu sonuçlar aşağıdaki durumların gelecekte ortaya çıkabileceğini ve/veya araştırılması gerektiğini göstermektedir:

- Trakya'da yetiştiriciliği yapılan ayçiçeğinin aynı gelişme döneminde kalması durumunda sulama suyuna ihtiyacının artacağı öngörülmektedir. Bu da tarımda daha fazla sulama amaçlı su kullanımı demektir. Ayrıca, gelecekte meydana gelmesi tahmin edilen iklim değişikliğine bu bitkinin uyum sağlayaıp sağlamayacağı ekim tarihi ve yapılan tarımsal faaliyetlerdeki değişikler açısından incelenmesinde yarar vardır. Bunlara ilave olarak, sulama suyunun daha etkin kullanılması için, sulama yöntem ve teknolojisinin geliştirilmesi ile sulama zamanının iyi planlanması gereklidir. Ayrıca üreticilerin sulama zamanı ve miktarı konusunda yönlendirilmesinde yarar vardır. Üreticilerin sulama zamanına karar verebilmesi için, en azından tarlalarında toprak su içeriğini ölçmelerinin faydası olacaktır.
- Buğday bitkisinin gelişme döneminde iyimser ve kötümser senaryolarda sıcaklık artışları tahmin edilmiştir. Efektif yağış miktarları ise iyimser senaryoda bölge genelinde %13'lük artış, kötümser senaryoda ise %21'lik azalış tahmin edilmektedir. Bu bilgiler ışığında buğday bitkisinin verim miktarlarının artacağı ve azalacağı dönemler olacaktır. Bu sebeple, ilerleyen yıllarda bölgede buğday veriminin düşme ihtimaline karşın kuraklığa dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi yararlı olabilir. Aynı zamanda yukarıda da belirtildiği gibi, buğdayın ekim zamanı ve yapılan tarımsal faaliyetlerdeki değişikliklere uyum sağlayıp sağlamayacağı da ayrıca araştırılmalıdır.
- Trakya'daki kuraklık durumunun belirlenebilmesi için SPEI, PDSI ve sc-PDSI indekslerinden faydalanılmıştır. İyimser senaryoda, ayçiçeği ve buğday gelişme dönemleri için belirlenen SPEI'ya göre, Trakya'da (Tekirdağ hariç) 2020 yılından 2100 yılına kadar olan zaman aralığında genel olarak orta derecede bir kuraklık olacağı hesaplanmıştır. Kötümser senaryoda ise, kuraklık şiddetinin zaman ile normalden şiddetli kuraklığa doğru ilerleyeceği belirlenmiştir.
- Sc-PDSI'ya göre ayçiçeği bitkisinin gelişme döneminde iyimser senaryoya göre Trakya'da bilhassa 2041-2070 yılları arasında orta derecede kuraklık olabileceği belirlenmiştir. Kötümser senaryoda ise 2020-2070 dönemi arasında hafif ve orta

derecede, 2071-2100 yılları arasında ise genellikle orta derecede kuraklık yaşanabileceği öngörülmektedir.

- Sc-PDSI sonuçlarına göre buğday bitkisinin gelişme döneminde iyimser senaryoda 2100 yılına kadar bölgenin büyük kısmının kuraklık durumunun, hafif kurak ve hafif nemli arasında değişebileceği; kötümser senaryoda göre ise hafif kuraklık etkisinde olabileceği tahmin edilmiştir.

Kuraklık ile ilgili elde edilen bu sonuçlar, Trakya'daki kuraklık durumunu inceleyen diğer araştırmacıların sonuçları ile karşılaştırılmış ve tez bulgularının diğer araştırmalarla (Lu ve diğ., 2019; Spinoni ve diğ., 2019; Touma ve diğ., 2015) benzer olduğu olduğu tespit edilmiştir.

- Tüm bu önerilerin yanı sıra, bitki gelişimi simülasyonu modellerinin ülkemizde daha iyi bir şekilde uygulanabilmesi için, tarımsal meteorolojik veri tabanının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu modeller, genel olarak şehirler içerisinde kalmış meteoroloji istasyonlarındaki ölçümler vasıtasıyla çalıştırılmaktadır ve tarımsal ekosistemdeki klimatolojik özellikler ile farklılıklar olmaktadır. Bu sebeple tarım alanlarımızdaki meteorolojik koşulları daha iyi takip edebilecek özel tarımsal meteorolojik sistemlerin yaygınlaştırılmasında yarar vardır.
- Ayrıca, tarımsal (meteorolojik, toprak, bitki, tarımsal faaliyetler) veri tabanın varlığı ülkemiz için kritik öneme sahip bitkiler için ülkemize özgün bitki gelişimi simülasyonu modellerinin geliştirilmesinin temellerini atacaktır.

KAYNAKLAR

Ababaei, B., & Etedali, H. R. (2017). Water footprint assessment of main cereals in Iran. *Agricultural Water Management*, *179*, 401-411.

Abbasi, A., Khalili, K., Behmanesh, J., & Shirzad, A. (2019). Drought monitoring and prediction using SPEI index and gene expression programming model in the west of Urmia Lake. *Theoretical and Applied Climatology*, *138*(1-2), 553-567.

Ahams, I. C., Paterson, W., Garcia, S., Rushforth, R., Ruddell, B. L., & Mejia, A. (2017). Water Footprint of 65 Mid-to Large-Sized US Cities and Their Metropolitan Areas. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, *53*(5), 1147-1163.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *FAO, Rome*, *300*(9), D05109.

Alley, W. M. (1984). The Palmer drought severity index: limitations and assumptions. *Journal of climate and applied meteorology*, 23(7), 1100-1109.

Alvarez, A., Morabito, J. A., & Schilardi, C. (2016). Green and blue water footprint of corn (Zea mayz) production in central and northeastern provinces of Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo*, *48*(1), 161-177.

Andarzian, ., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M. E., Barati, M. A., & Rahnama, A. (2011). Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management*, *100*(1), 1-8.

Asseng, S., Van Keulen, H., & Stol, W. (2000). Performance and application of the APSIM Nwheat model in the Netherlands. *European journal of agronomy*, 12(1), 37-54.

Asseng, S., Turner, N. C., Botwright, T., & Condon, A. G. (2003). Evaluating the impact of a trait for increased specific leaf area on wheat yields using a crop simulation model. *Agronomy Journal*, 95(1), 10-19.

Asseng, S., Jamieson, P. D., Kimball, B., Pinter, P., Sayre, K., Bowden, J. W., & Howden, S. M. (2004). Simulated wheat growth affected by rising temperature, increased water deficit and elevated atmospheric CO_2. *Field Crops Research*, 85(2-3), 85-102.

Ayala, L. M., van Eupen, M., Zhang, G., Pérez-Soba, M., Martorano, L. G., Lisboa, L. S., & Beltrao, N. E. (2016). Impact of agricultural expansion on water footprint in the Amazon under climate change scenarios. *Science of the Total Environment*, *569*, 1159-1173.

Barbosa, E. A. A., Matsura, E. E., dos Santos, L. N. S., Gonçalves, I. Z., Nazário, A. A., & Feitosa, D. R. C. (2017). Water footprint of sugarcane irrigated with treated sewage and freshwater under subsurface drip irrigation, in Southeast Brazil. *Journal of Cleaner Production*, *153*, 448-456.

Bassu, S., Asseng, S., Motzo, R., & Giunta, F. (2009). Optimising sowing date of durum wheat in a variable Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 111(1-2), 109-118.

Bergström, S., Carlsson, B., Gardelin, M., Lindström, G., Pettersson, A., & Rummukainen, M. (2001). Climate change impacts on runoff in Sweden assessments by global climate models, dynamical downscaling and hydrological modelling. *Climate research*, 16(2), 101-112.

Beyaztas, U., Arikan, B. B., Beyaztas, B. H., & Kahya, E. (2018). Construction of prediction intervals for Palmer Drought Severity Index using bootstrap. *Journal of Hydrology*, *559*, 461-470.

Beyaztas, U., & Yaseen, Z. M. (2019). Drought interval simulation using functional data analysis. *Journal of Hydrology*, *579*, 124141.

Bocchiola, D. (2015). Impact of potential climate change on crop yield and water footprint of rice in the Po valley of Italy. *Agricultural Systems*, *139*, 223-237.

Bocchiola, D., Nana, E., & Soncini, A. (2013). Impact of climate change scenarios on crop yield and water footprint of maize in the Po valley of Italy. *Agricultural Water Management*, 116, 50-61.

Bonamente, E., Rinaldi, S., Nicolini, A., & Cotana, F. (2017). National water footprint: Toward a comprehensive approach for the evaluation of the sustainability of water use in Italy. *Sustainability*, *9*(8), 1341.

Boogaard, H. L., Van Diepen, C. A., Rotter, R. P., Cabrera, J. M. C. A., & Van Laar, H. H. (1998). *WOFOST 7.1; user's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5* (No. 52). SC-DLO.

Boyacıoğlu, H. (2018). Internal (blue) water footprint of municipal consumption: a case study for Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, *190*(7), 403.

Cakar, B., Aydin, S., Varank, G., & Ozcan, H. K. (2020). Assessment of environmental impact of FOOD waste in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, *244*, 118846.

Çaldağ, B., & Şaylan, L. (2005). Sensitivity analysis of the CERES-wheat model for variations in CO_2 and meteorological factors in Northwest Turkey. *International journal of environment and pollution*, *23*(3), 300-313.

Casolani, N., Pattara, C., & Liberatore, L. (2016). Water and carbon footprint perspective in Italian durum wheat production. *Land Use Policy*, *58*, 394-402.

Cavus, Y., & Aksoy, H. (2019). Critical drought severity/intensity-duration-frequency curves based on precipitation deficit. *Journal of Hydrology*, 124312.

Ceglar, A., Van der Wijngaart, R., De Wit, A., Lecerf, R., Boogaard, H., Seguini, L., ... & Baruth, B. (2019). Improving WOFOST model to simulate winter wheat phenology in Europe: Evaluation and effects on yield. *Agricultural systems*, *168*, 168-180.

Cha, K., Son, M., Hong, S., An, S., & Part, S. (2017). Method to assess water footprint, a case study for white radishes in Korea. *International Soil and Water Conservation Research*, *5*(2), 151-157.

Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2011). The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, *70*(4), 749-758.

Chen, J., Brissette, F. P., Chaumont, D., & Braun, M. (2013). Finding appropriate bias correction methods in downscaling precipitation for hydrologic impact studies over North America. *Water Resources Research*, 49(7), 4187-4205.

Chouchane, H., Krol, M. S., & Hoekstra, A. Y. (2018). Virtual water trade patterns in relation to environmental and socioeconomic factors: A case study for Tunisia. *Science of the total environment*, *613*, 287-297.

Christensen, O. B., Drews, M., Christensen, J. H., Dethloff, K., Ketelsen, K., Hebestadt, I., & Rinke, A. (2007). The HIRHAM regional climate model. Version 5 (beta).

Collins, W. J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Halloran, P., Hinton, T., ... & Martin, G. (2011). Development and evaluation of an Earth-System model–HadGEM2. *Geosci. Model Dev. Discuss*, *4*(2), 997-1062.

Corbeels, M., Chirat, G., Messad, S., & Thierfelder, C. (2016). Performance and sensitivity of the DSSAT crop growth model in simulating maize yield under conservation agriculture. *European journal of agronomy*, *76*, 41-53.

Dabanlı, İ., Mishra, A. K., & Şen, Z. (2017). Long-term spatio-temporal drought variability in Turkey. *Journal of Hydrology*, *552*, 779-792.

Dabanli, İ. (2018). Drought hazard, vulnerability, and risk assessment in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, *11*(18), 538.

Dai, A. (2011). Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index during 1900–2008. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D12).

Denis, D. M., Kumar, M., Srivastava, S., Suryavanshi, S., Denis, A. F., Singh, R., ... & Mishra, H. (2016). A high resolution assessment of water footprint of wheat to understand yield and water use heterogeneity. *Water resources management*, *30*(8), 2641-2649.

Diani, K., Kacimi, I., Zemzami, M., Tabyaoui, H., & Haghighi, A. T. (2019). Evaluation of meteorological drought using the Standardized Precipitation Index (SPI) in the High Ziz River basin, Morocco. *Limnological Review*, *19*(3), 125-135.

De Miguel, Á., Kallache, M., & García-Calvo, E. (2015). The water footprint of agriculture in Duero River Basin. *Sustainability*, *7*(6), 6759-6780.

de Wit, A., Duveiller, G., & Defourny, P. (2012). Estimating regional winter wheat yield with WOFOST through the assimilation of green area index retrieved from MODIS observations. *Agricultural and forest meteorology*, *164*, 39-52.

de Wit, A., Boogaard, H., Fumagalli, D., Janssen, S., Knapen, R., van Kraalingen, D., ... & van Diepen, K. (2019). 25 years of the WOFOST cropping systems model. *Agricultural systems*, *168*, 154-167.

Deryng, D., Elliott, J., Folberth, C., Müller, C., Pugh, T. A., Boote, K. J., ... & Khabarov, N. (2016). Regional disparities in the beneficial effects of rising CO_2 concentrations on crop water productivity. *Nature Climate Change*, *6*(8), 786-790.

Dogan, S., Berktay, A., & Singh, V. P. (2012). Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, *470*, 255-268.

Dolganova, I., Mikosch, N., Berger, M., Núñez, M., Müller-Frank, A., & Finkbeiner, M. (2019). The Water Footprint of European Agricultural Imports: Hotspots in the Context of Water Scarcity. *Resources*, *8*(3), 141.

Duarte, R., Pinilla, V., & Serrano, A. (2014). The water footprint of the Spanish agricultural sector: 1860–2010. *Ecological Economics*, *108*, 200-207.

Elbeltagi, A., Deng, J., Wang, K., & Hong, Y. (2020). Crop Water footprint estimation and modeling using an artificial neural network approach in the Nile Delta, Egypt. *Agricultural Water Management*, *235*, 106080.

Feng, L., Chen, B., Hayat, T., Alsaedi, A., & Ahmad, B. (2017). Dynamic forecasting of agricultural water footprint based on Markov Chain-a case study of the Heihe River Basin. *Ecological modelling*, *353*, 150-157.

Ficklin, D. L., Letsinger, S. L., Gholizadeh, H., & Maxwell, J. T. (2015). Incorporation of the Penman–Monteith potential evapotranspiration method into a Palmer Drought Severity Index tool. *Computers & geosciences*, *85*, 136-141.

Garofalo, P., Ventrella, D., Kersebaum, K. C., Gobin, A., Trnka, M., Giglio, L., ... & Castellini, M. (2019). Water footprint of winter wheat under climate change: Trends and uncertainties associated to the ensemble of crop models. *Science of The Total Environment*, *658*, 1186-1208.

Gao, X., Zhao, Q., Zhao, X., Wu, P., Pan, W., Gao, X., & Sun, M. (2017). Temporal and spatial evolution of the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in the Loess Plateau under climate change from 2001 to 2050. *Science of the Total Environment*, 595, 191-200.

Gilardelli, C., Confalonieri, R., Cappelli, G. A., & Bellocchi, G. (2018). Sensitivity of WOFOST-based modelling solutions to crop parameters under climate change. *Ecological modelling*, *368*, 1-14.

Gobin, A., Kersebaum, K. C., Eitzinger, J., Trnka, M., Hlavinka, P., Takáč, J., ... & Lalić, B. (2017). Variability in the water footprint of arable crop production across European regions. *Water*, 9(2), 93.

Guarin, J. R., Asseng, S., Martre, P., & Bliznyuk, N. (2018). Testing a crop model with extreme low yields from historical district records. *Field Crops Research.*

Guarin, J. R., Emberson, L., Simpson, D., Hernandez-Ochoa, I. M., Rowland, D., & Asseng, S. (2019). Impacts of tropospheric ozone and climate change on Mexico wheat production. *Climatic Change*, 155(2), 157-174.

Gudmundsson, L., Bremnes, J. B., Haugen, J. E., & Engen-Skaugen, T. (2012). Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations: a comparison of methods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3383-3390.

Gutiérrez, J. M., Maraun, D., Widmann, M., Huth, R., Hertig, E., Benestad, R., ... & San Martin, D. (2019). An intercomparison of a large ensemble of statistical downscaling methods over Europe: Results from the VALUE perfect predictor cross-validation experiment. *International journal of climatology*, *39*(9), 3750-3785.

Gürbüz, M. A., Kayalı, E., Bahar, E., Öz, T. A., & Kurşun, İ. (2019). Trakya topraklarının veri tabanının oluşturulması ve bazı toprak özellikleri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 7(1), 28-36.

Hadjikakou, M., Chenoweth, J., & Miller, G. (2013). Estimating the direct and indirect water use of tourism in the eastern Mediterranean. *Journal of environmental management*, *114*, 548-556.

Haider, S., & Ullah, K. (2020). Projected crop water requirement over agro-climatically diversified region of Pakistan. *Agricultural and Forest Meteorology*, *281*, 107824.

Hernandez-Ochoa, I. M., Asseng, S., Kassie, B. T., Xiong, W., Robertson, R., Pequeno, D. N. L., ... & Hoogenboom, G. (2018). Climate change impact on Mexico wheat production. *Agricultural and Forest Meteorology*, *263*, 373-387.

Heo, J. H., Ahn, H., Shin, J. Y., Kjeldsen, T. R., & Jeong, C. (2019). Probability distributions for a quantile mapping technique for a bias correction of precipitation data: A case study to precipitation data under climate change. *Water*, 11(7), 1475.

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Mekonnen, M. M., & Aldaya, M. M. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. Routledge.

Hogeboom, R. J., Knook, L., & Hoekstra, A. Y. (2018). The blue water footprint of the world's artificial reservoirs for hydroelectricity, irrigation, residential and industrial water supply, flood protection, fishing and recreation. *Advances in water resources*, *113*, 285-294.

Hoogenboom, G., Porter, C. H., Shelia, V., Boote, K. J., Singh, U., White, J. W., ... & Asseng, S. (2017). Decision support system for agrotechnology transfer (DSSAT) version 4.7 (https://DSSAT. net). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida.

Hussain, J., Khaliq, T., Ahmad, A., & Akhtar, J. (2018). Performance of four crop model for simulations of wheat phenology, leaf growth, biomass and yield across planting dates. *PloS one*, 13(6).

Iturbide, M., Bedia, J., Herrera, S., Baño-Medina, J., Fernández, J., Frías, M. D., ... & Gutiérrez, J. M. (2019). The R-based climate4R open framework for reproducible climate data access and post-processing. *Environmental Modelling & Software*, *111*, 42-54.

Jamieson, P. D., Porter, J. R., & Wilson, D. R. (1991). A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field crops research*, *27*(4), 337-350.

Jawad, T. K., Al-Taai, O. T., & Al-Timimi, Y. K. (2018). Evaluation of Drought Characteristics in Iraq using SC-PDSI. *Science Journal of University of Zakho*, *6*(3), 94-99.

Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., ... & Ritchie, J. T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European journal of agronomy*, 18(3-4), 235-265.

Jones, J. W., He, J., Boote, K. J., Wilkens, P., Porter, C. H., & Hu, Z. (2011). Estimating DSSAT cropping system cultivar-specific parameters using Bayesian techniques. *Methods of introducing system models into agricultural research*, (methods of introd), 365-394.

Joseph, J., Ghosh, S., Pathak, A., & Sahai, A. K. (2018). Hydrologic impacts of climate change: Comparisons between hydrological parameter uncertainty and climate model uncertainty. *Journal of Hydrology*, *566*, 1-22.

Kadiyala, M. D. M., Jones, J. W., Mylavarapu, R. S., Li, Y. C., & Reddy, M. D. (2015). Identifying irrigation and nitrogen best management practices for aerobic rice–maize cropping system for semi-arid tropics using CERES-rice and maize models. *Agricultural Water Management*, *149*, 23-32.

Karandish, F., & Hoekstra, A. (2017). Informing national food and water security policy through water footprint assessment: the case of Iran. *Water*, *9*(11), 831.

Kassie, B. T., Asseng, S., Porter, C. H., & Royce, F. S. (2016). Performance of DSSAT-Nwheat across a wide range of current and future growing conditions. *European Journal of Agronomy*, 81, 27-36.

Kersebaum, K. C., Kroes, J., Gobin, A., Takáč, J., Hlavinka, P., Trnka, M., ... & Dalla Marta, A. (2016). Assessing uncertainties of water footprints using an ensemble of crop growth models on winter wheat. *Water*, 8(12), 571.

Keskin, M. E., Terzi, O., Taylan, E. D., & Küçükyaman, D. (2009). Meteorological drought analysis using data-driven models for the Lakes District, Turkey. *Hydrological sciences journal*, *54*(6), 1114-1124.

Kroes, J. G., & Supit, I. (2011). Impact analysis of drought, water excess and salinity on grass production in The Netherlands using historical and future climate data. *Agriculture, ecosystems & environment*, *144*(1), 370-381.

Lalić, B., Sremac, A. F., Eitzinger, J., Stričević, R., Thaler, S., Maksimović, I., ... & Dekić, L. (2018). Seasonal forecasting of green water components and crop yield of summer crops in Serbia and Austria. *The Journal of agricultural science*, *156*(5), 658-672.

Lamastra, L., Suciu, N. A., Novelli, E., & Trevisan, M. (2014). A new approach to assessing the water footprint of wine: An Italian case study. *Science of the total environment*, *490*, 748-756.

Liang, Y., Wang, Y., Yan, X., Liu, W., Jin, S., & Han, M. (2018). Projection of drought hazards in China during twenty-first century. *Theoretical and Applied Climatology*, *133*(1-2), 331-341.

Li, H., Sheffield, J., & Wood, E. F. (2010). Bias correction of monthly precipitation and temperature fields from Intergovernmental Panel on Climate Change AR4 models using equidistant quantile matching. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *115*(D10).

Li, X., He, B., Quan, X., Liao, Z., & Bai, X. (2015). Use of the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) to characterize the drying trend in southwest China from 1982–2012. *Remote Sensing*, 7(8), 10917-10937.

Li, Z., He, J., Xu, X., Jin, X., Huang, W., Clark, B., ... & Li, Z. (2018). Estimating genetic parameters of DSSAT-CERES model with the GLUE method for winter wheat (Triticum aestivum L.) production. *Computers and electronics in agriculture*, 154, 213-221.

Liu, B., Asseng, S., Liu, L., Tang, L., Cao, W., & Zhu, Y. (2016). Testing the responses of four wheat crop models to heat stress at anthesis and grain filling. *Global change biology*, 22(5), 1890-1903.

Liu, W., Antonelli, M., Liu, X., & Yang, H. (2017). Towards improvement of grey water footprint assessment: With an illustration for global maize cultivation. *Journal of Cleaner Production*, *147*, 1-9.

Lu, Y., Cai, H., Jiang, T., Sun, S., Wang, Y., Zhao, J., ... & Sun, J. (2019). Assessment of global drought propensity and its impacts on agricultural water use in future climate scenarios. *Agricultural and Forest Meteorology*, *278*, 107623.

Luan, X., Wu, P., Sun, S., Wang, Y., & Gao, X. (2018). Quantitative study of the crop production water footprint using the SWAT model. *Ecological Indicators*, *89*, 1-10.

Luo, P., Yang, Y., Wang, H., Gu, Y., Xu, J., & Li, Y. (2018). Water footprint and scenario analysis in the transformation of Chongming into an international eco-island. *Resources, Conservation and Recycling*, *132*, 376-385.

Macadam, I., Argüeso, D., Evans, J. P., Liu, D. L., & Pitman, A. J. (2016). The effect of bias correction and climate model resolution on wheat simulations forced with a regional climate model ensemble. *International Journal of Climatology*, 36(14), 4577-4591.

Malik, W., & Dechmi, F. (2019). DSSAT modelling for best irrigation management practices assessment under Mediterranean conditions. *Agricultural water management*, 216, 27-43.

Malik, W., & Dechmi, F. (2020). Modelling agricultural nitrogen losses to enhance the environmental sustainability under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, *230*, 105966.

Marano, R. P., & Filippi, R. A. (2015). Water Footprint in paddy rice systems. Its determination in the provinces of Santa Fe and Entre Ríos, Argentina. *Ecological indicators*, *56*, 229-236.

Marcos-Garcia, P., Lopez-Nicolas, A., & Pulido-Velazquez, M. (2017). Combined use of relative drought indices to analyze climate change impact on meteorological and hydrological droughts in a Mediterranean basin. *Journal of Hydrology*, *554*, 292-305.

Marcos, R., Llasat, M. C., Quintana-Seguí, P., & Turco, M. (2018). Use of bias correction techniques to improve seasonal forecasts for reservoirs—A case-study in northwestern Mediterranean. *Science of the total environment*, *610*, 64-74.

Masud, M. B., McAllister, T., Cordeiro, M. R., & Faramarzi, M. (2018). Modeling future water footprint of barley production in Alberta, Canada: Implications for water use and yields to 2064. *Science of the Total Environment*, *616*, 208-222.

Mehrabi, F., & Sepaskhah, A. R. (2019). Winter Wheat Yield and DSSAT Model Evaluation in a Diverse Semi-Arid Climate and Agronomic Practices. *International Journal of Plant Production*, 1-23.

Mehr, A. D., Sorman, A. U., Kahya, E., & Hesami Afshar, M. (2020). Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, *65*(2), 254-268.

Mehr, A. D., & Vaheddoost, B. (2020). Identification of the trends associated with the SPI and SPEI indices across Ankara, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, *139*(3-4), 1531-1542.

Marston, L., & Konar, M. (2017). Drought impacts to water footprints and virtual water transfers of the Central Valley of California. *Water Resources Research*, *53*(7), 5756-5773.

Mkhabela, M. S., & Bullock, P. R. (2012). Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. *Agricultural Water Management*, *110*, 16-24.

Mostafa, A. N., Wheida, A., El Nazer, M., Adel, M., El Leithy, L., Siour, G., ... & Saad-Hussein, A. (2019). Past (1950–2017) and future (− 2100) temperature and precipitation trends in Egypt. *Weather and Climate Extremes*, *26*, 100225.

Muratoglu, A. (2019). Water footprint assessment within a catchment: A case study for Upper Tigris River Basin. *Ecological Indicators*, *106*, 105467.

Nam, W. H., Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Tadesse, T., & Wilhite, D. A. (2015). Drought hazard assessment in the context of climate change for South Korea. *Agricultural Water Management*, *160*, 106-117.

Nana, E., Corbari, C., & Bocchiola, D. (2014). A model for crop yield and water footprint assessment: Study of maize in the Po valley. *Agricultural Systems*, *127*, 139-149.

Ngai, S. T., Tangang, F., & Juneng, L. (2017). Bias correction of global and regional simulated daily precipitation and surface mean temperature over Southeast Asia using quantile mapping method. *Global and Planetary Change*, *149*, 79-90.

Nouri, H., Stokvis, B., Galindo, A., Blatchford, M., & Hoekstra, A. Y. (2019). Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: the effect of soil mulching and drip irrigation. *Science of the total environment*, *653*, 241-252.

Nyathi, M. K., Van Halsema, G. E., Annandale, J. G., & Struik, P. C. (2018). Calibration and validation of the AquaCrop model for repeatedly harvested leafy vegetables grown under different irrigation regimes. *Agricultural water management*, *208*, 107-119.

Ogunrinde, A. T., Oguntunde, P. G., Olasehinde, D. A., Fasinmirin, J. T., & Akinwumiju, A. S. (2020). Drought spatiotemporal characterization using self-calibrating Palmer Drought Severity Index in the northern region of Nigeria. *Results in Engineering*, *5*, 100088.

O'Leary, G. J., Christy, B., Nuttall, J., Huth, N., Cammarano, D., Stöckle, C., ... & Farre-Codina, I. (2015). Response of wheat growth, grain yield and water use to elevated CO_2 under a Free-Air CO_2 Enrichment (FACE) experiment and modelling in a semi-arid environment. *Global change biology*, 21(7), 2670-2686.

Paff, K., & Asseng, S. (2019). Comparing the effects of growing conditions on simulated Ethiopian tef and wheat yields. *Agricultural and forest meteorology*, 266, 208-220.

Palmer, W. C. (1965). Meteorological drought. US Weather Bureau Research Paper 45, 58 pp. *Office of Climatology, US Department of Commerce, Washington DC.*

Palosuo, T., Kersebaum, K. C., Angulo, C., Hlavinka, P., Moriondo, M., Olesen, J. E., ... & Trnka, M. (2011). Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: a comparison of eight crop growth models. *European Journal of Agronomy*, 35(3), 103-114.

Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. *Mathematical and Physical Sciences*, 193(1032), 120-145.

Perea, R. G., Poyato, E. C., Montesinos, P., Morillo, J. G., & Díaz, J. R. (2016). Influence of spatio temporal scales in crop water footprinting and water use management: Evidences from sugar beet production in Northern Spain. *Journal of Cleaner Production*, *139*, 1485-1495.

Polong, F., Chen, H., Sun, S., & Ongoma, V. (2019). Temporal and spatial evolution of the standard precipitation evapotranspiration index (SPEI) in the Tana River Basin, Kenya. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(1-2), 777-792.

Priestley, C. H. B., & Taylor, R. J. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly weather review*, 100(2), 81-92.

Qin, L., Jin, Y., Duan, P., & He, H. (2016). Field-based experimental water footprint study of sunflower growth in a semi-arid region of China. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *96*(9), 3266-3273.

Qian, B., Wang, H., He, Y., Liu, J., & De Jong, R. (2016). Projecting spring wheat yield changes on the Canadian Prairies: effects of resolutions of a regional climate model and statistical processing. *International Journal of Climatology*, 36(10), 3492-3506.

Qian, Y., Dong, H., Geng, Y., Zhong, S., Tian, X., Yu, Y., ... & Moss, D. A. (2018). Water footprint characteristic of less developed water-rich regions: case of Yunnan, China. *Water research*, *141*, 208-216.

Ribeiro, A. F., Russo, A., Gouveia, C. M., & Páscoa, P. (2019). Copula-based agricultural drought risk of rainfed cropping systems. *Agricultural Water Management*, *223*, 105689.

Rinaldi, M., Garofalo, P., Rubino, P., & Steduto, P. (2011). Processing tomatoes under different irrigation regimes in Southern Italy: agronomic and economic assessments in a simulation case study. *J Agrometeorol*, 3(3), 39-56.

Rodriguez, C. I., de Galarreta, V. R., & Kruse, E. E. (2015). Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina. *Journal of Cleaner Production*, *90*, 91-96.

Rolla, A. L., Nuñez, M. N., Guevara, E. R., Meira, S. G., Rodriguez, G. R., & de Zárate, M. I. O. (2018). Climate impacts on crop yields in Central Argentina. Adaptation strategies. *Agricultural Systems*, *160*, 44-59.

Santos, N., Hess, S., & Jaghdani, T. J. (2017). Turkey. Water along the food chain. Towards water-smart agrifood policies: the case of red meat processing. *Turkey. Water along the food chain. Towards water-smart agrifood policies: the case of red meat processing.*

Scherer, L., de Koning, A., & Tukker, A. (2019). BRIC and MINT countries' environmental impacts rising despite alleviative consumption patterns. *Science of the Total Environment*, *665*, 52-60.

Senatore, A., Hejabi, S., Mendicino, G., Bazrafshan, J., & Irannejad, P. (2019). Climate conditions and drought assessment with the Palmer Drought Severity Index in Iran: evaluation of CORDEX South Asia climate projections (2070–2099). *Climate dynamics*, *52*(1-2), 865-891.

Shi, R., Ukaew, S., Archer, D. W., Lee, J. H., Pearlson, M. N., Lewis, K. C., & Shonnard, D. R. (2017). Life cycle water footprint analysis for rapeseed derived jet fuel in North Dakota. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, *5*(5), 3845-3854.

Shrestha, S., Chapagain, R., & Babel, M. S. (2017). Quantifying the impact of climate change on crop yield and water footprint of rice in the Nam Oon Irrigation Project, Thailand. *Science of the Total Environment*, *599*, 689-699.

Singh, V. P., Guo, H., & Yu, F. X. (1993). Parameter estimation for 3-parameter log-logistic distribution (LLD3) by Pome. Stochastic *Hydrology and Hydraulics*, 7(3), 163-177.

Soriano, E., Mediero, L., & Garijo, C. (2019). Selection of Bias Correction Methods to Assess the Impact of Climate Change on Flood Frequency Curves. *Water*, 11(11), 2266.

Starks, P. J., Steiner, J. L., Neel, J. P., Turner, K. E., Northup, B. K., Gowda, P. H., & Brown, M. A. (2019). Assessment of the standardized precipitation and evaporation index (SPEI) as a potential management tool for grasslands. *Agronomy*, 9(5), 235.

Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., & Fereres, E. (2009). AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3), 426-437.

Soler, C. M. T., Sentelhas, P. C., & Hoogenboom, G. (2007). Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. *European Journal of Agronomy*, *27*(2-4), 165-177.

Spinoni, J., Barbosa, P., Bucchignani, E., Cassano, J., Cavazos, T., Christensen, J. H., ... & Giorgi, F. (2020). Future global meteorological drought hot spots: A study based on CORDEX Data. *Journal of Climate*, *33*(9), 3635-3661.

Sutterlüty, A., Hesser, F., Schwarzbauer, P., Schuster, K. C., Windsperger, A., & Stern, T. (2017). A Delphi approach to understanding varying expert viewpoints in sustainability communication: The case of water footprints of bio-based fiber resources. *Journal of Industrial Ecology*, *21*(2), 412-422.

Şaylan, L., Çaldağ, B., & Bakanoğulları, F. (2012). İklim Değişiminin Bitki Gelişimine Olası Etkilerinin Bitki Gelişimi Modelleri İle İncelenmesi. *TÜBİTAK 108O567 No'lu Proje Sonuç Raporu, Istanbul, Mart.*

Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., & Kaymaz, Z. (2012). Buğday Bitkisinin CO_2, H_2O ve Enerji Akılarının Belirlenmesi. *TÜBİTAK 109R006 No'lu COST Projesi Sonuç Raporu, Istanbul, Ağustos.*

Tariq, M., Ahmad, S., Fahad, S., Abbas, G., Hussain, S., Fatima, Z., ... & Adnan, M. (2018). The impact of climate warming and crop management on phenology of sunflower-based cropping systems in Punjab, Pakistan. *Agricultural and Forest Meteorology*, *256*, 270-282.

Tatli, H., & Türkeş, M. (2011). Empirical orthogonal function analysis of the Palmer drought indices. *Agricultural and Forest Meteorology*, *151*(7), 981-991.

Teng, J., Potter, N. J., Chiew, F. H. S., Zhang, L., Wang, B., Vaze, J., & Evans, J. P. (2015). How does bias correction of regional climate model precipitation affect modelled runoff?. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(2), 711-728.

Teutschbein, C., & Seibert, J. (2012). Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of hydrology*, 456, 12-29.

Themeßl, J. M., Gobiet, A., & Leuprecht, A. (2011). Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models. *International Journal of Climatology*, 31(10), 1530-1544.

Tirivarombo, S., Osupile, D., & Eliasson, P. (2018). Drought monitoring and analysis: standardised precipitation evapotranspiration index (SPEI) and standardised precipitation index (SPI). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, *106*, 1-10.

Tosunoğlu, F., & Onof, C. (2017). Joint modelling of drought characteristics derived from historical and synthetic rainfalls: Application of Generalized Linear Models and Copulas. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *14*, 167-181.

Touma, D., Ashfaq, M., Nayak, M. A., Kao, S. C., & Diffenbaugh, N. S. (2015). A multi-model and multi-index evaluation of drought characteristics in the 21st century. *Journal of Hydrology*, *526*, 196-207.

Trenberth, K. E., Dai, A., Van Der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., & Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4(1), 17-22.

Tsakmakis, I. D., Zoidou, M., Gikas, G. D., & Sylaios, G. K. (2018). Impact of irrigation technologies and strategies on cotton water footprint using AquaCrop and CROPWAT models. *Environmental Processes*, 5(1), 181-199.

Url-1 <*https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr*>, erişim tarihi 01.04.2020.

Van Diepen, C. V., Wolf, J., Van Keulen, H., & Rappoldt, C. (1989). WOFOST: a simulation model of crop production. *Soil use and management*, 5(1), 16-24.

Valiantzas, J. D. (2013). Simplified forms for the standardized FAO-56 Penman–Monteith reference evapotranspiration using limited weather data. *Journal of Hydrology*, 505, 13-23.

van der Laan, M., Jarmain, C., Bastidas-Obando, E., Annandale, J. G., Fessehazion, M., & Haarhoff, D. (2019). Are water footprints accurate enough to be useful? A case study for maize (Zea mays L.). *Agricultural water management*, *213*, 512-520.

Vanuytrecht, E., Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., Heng, L. K., ... & Moreno, P. M. (2014). AquaCrop: FAO's crop water productivity and yield response model. *Environmental Modelling & Software*, *62*, 351-360.

Vasilaki, V., Katsou, E., Ponsá, S., & Colón, J. (2016). Water and carbon footprint of selected dairy products: A case study in Catalonia. *Journal of Cleaner Production*, *139*, 504-516.

Ventrella, D., Giglio, L., Garofalo, P., & Dalla Marta, A. (2018). Regional assessment of green and blue water consumption for tomato cultivated in Southern Italy. *The Journal of Agricultural Science*, *156*(5), 689-701.

Vilvert, E., Lana, M., Zander, P., & Sieber, S. (2018). Multi-model approach for assessing the sunflower food value chain in Tanzania. *Agricultural Systems*, *159*, 103-110.

Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7), 1696-1718.

Vicente-Serrano, S. M., Van der Schrier, G., Beguería, S., Azorin-Molina, C., & Lopez-Moreno, J. I. (2015). Contribution of precipitation and reference evapotranspiration to drought indices under different climates. *Journal of Hydrology*, *526*, 42-54.

Wang, X., Li, X., Fischer, G., Sun, L., Tan, M., Xin, L., & Liang, Z. (2015a). Impact of the changing area sown to winter wheat on crop water footprint in the North China Plain. *Ecological Indicators*, *57*, 100-109.

Wang, K. Y., Li, Q. F., Yang, Y., Zeng, M., Li, P. C., & Zhang, J. X. (2015b). Analysis of spatio-temporal evolution of droughts in Luanhe River Basin using different drought indices. *Water Science and Engineering*, 8(4), 282-290.

Wang, R., Peng, W., Liu, X., Wu, W., Chen, X., & Zhang, S. (2018). Responses of Water Level in China's Largest Freshwater Lake to the Meteorological Drought Index (SPEI) in the Past Five Decades. *Water*, *10*(2), 137.

Wang, M., Gu, Q., Jia, X., & Ge, J. (2019). An assessment of the impact of Pacific Decadal Oscillation on autumn droughts in North China based on the Palmer drought severity index. *International Journal of Climatology*, *39*(14), 5338-5350.

Wells, N., Goddard, S., & Hayes, M. J. (2004). A self-calibrating Palmer drought severity index. *Journal of Climate*, 17(12), 2335-2351.

Wessolek, G., & Asseng, S. (2006). Trade-off between wheat yield and drainage under current and climate change conditions in northeast Germany. *European Journal of Agronomy*, 24(4), 333-342.

World Meteorological Organization. (2012). Standardized precipitation index user guide. *World Meteorological Organization,* (1090).

World Meteorological Organization (2016). Handbook of drought indicators and indices. Integrated Drought Management Programme (IDMP), No:1173.

Xinchun, C., Mengyang, W., Rui, S., La, Z., Dan, C., Guangcheng, S., ... & Shuhai, T. (2018). Water footprint assessment for crop production based on field measurements: A case study of irrigated paddy rice in East China. *Science of the Total Environment*, *610*, 84-93.

Xing, H. M., Xu, X. G., Li, Z. H., Chen, Y. J., Feng, H. K., Yang, G. J., & Chen, Z. X. (2017). Global sensitivity analysis of the AquaCrop model for winter wheat under different water treatments based on the extended Fourier amplitude sensitivity test. *Journal of Integrative Agriculture*, *16*(11), 2444-2458.

Xu, Z., Chen, X., Wu, S. R., Gong, M., Du, Y., Wang, J., ... & Liu, J. (2019). Spatial-temporal assessment of water footprint, water scarcity and crop water productivity in a major crop production region. *Journal of cleaner production*, *224*, 375-383.

Yan, H., Wang, S. Q., Lu, H. Q., Yu, Q., Zhu, Z. C., Myneni, R. B., ... & Shugart, H. H. (2014). Development of a remotely sensing seasonal vegetation-based Palmer Drought Severity Index and its application of global drought monitoring over 1982–2011. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(15), 9419-9440.

Yan, L., Jin, J., & Wu, P. (2020). Impact of parameter uncertainty and water stress parameterization on wheat growth simulations using CERES-Wheat with GLUE. *Agricultural Systems*, *181*, 102823.

Yang, J. M., Yang, J. Y., Liu, S., & Hoogenboom, G. (2014). An evaluation of the statistical methods for testing the performance of crop models with observed data. *Agricultural Systems*, *127*, 81-89.

Yeşilköy, S., & Şaylan, L. (2020). Assessment and Modelling of Crop Yield and Water Footprint of Winter Wheat by AquaCrop. *Italian Journal of Agrometeorology*, (1), 3-14.

Yu, H., Zhang, Q., Xu, C. Y., Du, J., Sun, P., & Hu, P. (2019). Modified palmer drought severity index: model improvement and application. *Environment international*, *130*, 104951.

Zarei, A. R. (2019). Analysis of changes trend in spatial and temporal pattern of drought over south of Iran using standardized precipitation index (SPI). *SN Applied Sciences*, *1*(5), 465.

Zhao, H., Gao, G., An, W., Zou, X., Li, H., & Hou, M. (2017). Timescale differences between SC-PDSI and SPEI for drought monitoring in China. *Physics and Chemistry of the Earth*, Parts A/B/C, 102, 48-58.

Zhang, Y., Li, Y., Ge, J., Li, G., Yu, Z., & Niu, H. (2018). Correlation analysis between drought indices and terrestrial water storage from 2002 to 2015 in China. *Environmental Earth Sciences*, *77*(12), 462.

Zhang, B., AghaKouchak, A., Yang, Y., Wei, J., & Wang, G. (2019). A water-energy balance approach for multi-category drought assessment across globally diverse hydrological basins. *Agricultural and forest meteorology*, *264*, 247-265.

Zhong, Z., He, B., Guo, L., & Zhang, Y. (2019). Performance of Various Forms of the Palmer Drought Severity Index in China from 1961 to 2013. *Journal of Hydrometeorology*, 20(9), 1867-1885.

Zhuo, L., Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016a). Benchmark levels for the consumptive water footprint of crop production for different environmental conditions: a case study for winter wheat in China.

Zhuo, L., Mekonnen, M. M., Hoekstra, A. Y., & Wada, Y. (2016b). Inter-and intra-annual variation of water footprint of crops and blue water scarcity in the Yellow River basin (1961–2009). *Advances in water resources*, *87*, 29-41.

Zhuo, L., & Hoekstra, A. Y. (2017). The effect of different agricultural management practices on irrigation efficiency, water use efficiency and green and blue water footprint. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, *4*(2), 185-194.

EKLER

EK A: Hassasiyet Analizi Çizelgeleri
EK B: SPEI İndeks Zaman Serileri
EK C: PDSI ve sc-PDSI İndeksleri Zaman Serileri

Çizelge A.1 : AquaCrop Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Edirne AquaCrop Ayçiçeği Verim Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	-%5.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%19.5	-%38.0	-%43.3	-%46.5	-%49.4	%8.2	-%8.3	-%12.2
T+2		-%13.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%27.6	-%42.1	-%46.4	-%49.4	-%52.2	-%0.6	-%17.1	-%19.9
T+3			-%21.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%40.6	-%45.6	-%48.9	-%51.9	-%54.7	-%8.3	-%25.1	-%28.5
T+4				-%27.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%43.6	-%48.3	-%51.4	-%54.0	-%56.8	-%13.8	-%31.2	-%33.7
T+5					-%35.2	%0.0	%0.0	%0.0	-%47.6	-%51.8	-%53.7	-%56.7	-%59.4	-%23.0	-%37.1	-%39.5
T+6						-%39.9	%0.0	%0.0	-%50.7	-%54.0	-%56.6	-%58.9	-%61.5	-%30.1	-%42.4	-%49.6
T+7							-%50.0	%0.0	-%54.0	-%56.2	-%58.9	-%61.1	-%63.9	-%37.8	-%51.3	-%52.9
T-1								%7.2	-%6.7	-%30.4	-%36.7	-%41.0	-%44.1	%20.2	%3.4	%0.5
P (-%10)									-%13.5	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%17.2	-%20.3
P (-%20)										-%34.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%36.6	-%38.3
P (-%30)											-%40.4	%0.0	%0.0	%0.0	-%41.7	-%42.8
P (-%40)												-%44.1	%0.0	%0.0	-%45.4	-%46.4
P (-%50)													-%47.0	%0.0	-%48.3	-%49.3
P (+%10)														%13.2	%9.8	%6.7
R_g (+%2)															-%2.7	%0.0
R_g (+%4)																-%6.4

Çizelge A.2 : AquaCrop Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Edirne AquaCrop Ayçiçeği Su Ayak İzi Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	%6.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%20.7	%46.1	%48.7	%43.2	%34.4	-%4.3	%13.5	%17.1
T+2		%19.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%35.6	%58.6	%58.4	%51.8	%42.8	%6.6	%25.7	%31.0
T+3			%33.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%64.5	%70.1	%67.1	%60.3	%51.0	%18.0	%40.9	%48.2
T+4				%46.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%74.6	%80.1	%76.6	%68.3	%59.0	%27.5	%54.8	%61.0
T+5					%64.8	%0.0	%0.0	%0.0	%90.3	%94.4	%86.2	%79.2	%69.9	%45.2	%70.2	%77.2
T+6						%78.4	%0.0	%0.0	%103.1	%104.6	%98.7	%89.3	%79.4	%61.6	%86.5	%112.2
T+7							%114.9	%0.0	%118.7	%115.5	%110.5	%100.5	%91.2	%82.9	%121.0	%129.0
T-1								-%8.7	%1.2	%28.3	%31.1	%27.7	%21.0	-%15.9	-%4.4	-%0.7
P (-%10)									%11.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%17.3	%22.3
P (-%20)										%38.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%42.4	%47.0
P (-%30)											%40.4	%0.0	%0.0	%0.0	%44.6	%47.8
P (-%40)												%36.2	%0.0	%0.0	%39.9	%42.5
P (-%50)													%28.3	%0.0	%31.6	%34.2
P (+%10)														-%9.5	-%6.2	-%2.7
R_g (+%2)															%3.3	%0.0
R_g (+%4)																%8.5

Çizelge A.3 : AquaCrop Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Kırklareli AquaCrop Ayçiçeği Verim Değişimi (%)	**T+1**	**T+2**	**T+3**	**T+4**	**T+5**	**T+6**	**T+7**	**T-1**	**P (-%10)**	**P (-%20)**	**P (-%30)**	**P (-%40)**	**P (-%50)**	**P (+%10)**	**R_g (+%2)**	**R_g (+%4)**
T+1	-%6.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%15.2	-%22.4	-%33.4	-%42.9	-%52.6	%3.3	-%9.6	-%12.3
T+2		-%12.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%20.4	-%27.4	-%38.0	-%46.5	-%55.3	-%3.0	-%14.7	-%17.1
T+3			-%17.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%24.6	-%31.7	-%41.2	-%49.1	-%57.4	-%8.8	-%20.1	-%22.4
T+4				-%21.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%28.4	-%35.8	-%44.1	-%51.6	-%59.4	-%13.7	-%23.9	-%26.1
T+5					-%27.4	%0.0	%0.0	%0.0	-%34.6	-%41.3	-%48.1	-%54.9	-%61.6	-%19.1	-%30.1	-%32.3
T+6						-%31.4	%0.0	%0.0	-%38.5	-%44.5	-%51.3	-%57.6	-%63.9	-%23.2	-%33.7	-%35.7
T+7							-%36.3	%0.0	-%42.5	-%48.1	-%54.5	-%60.5	-%66.2	-%29.6	-%38.5	-%40.5
T-1								%6.8	-%3.6	-%11.2	-%23.8	-%35.0	-%44.8	%15.2	%4.2	%1.5
P (-%10)									-%8.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%12.3	-%14.7
P (-%20)										-%17.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%19.7	-%21.7
P (-%30)											-%28.7	%0.0	%0.0	%0.0	-%30.8	-%32.9
P (-%40)												-%39.3	%0.0	%0.0	-%40.8	-%42.4
P (-%50)													-%48.6	%0.0	-%51.0	-%52.1
P (+%10)														%9.0	%6.6	%4.1
R_g (+%2)															-%3.3	%0.0
R_g (+%4)																-%6.1

Çizelge A.4 : AquaCrop Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Kırklareli AquaCrop Ayçiçeği Su Ayak İzi Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	%4.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%5.3	%6.0	%8.0	%22.9	%25.8	%3.5	%6.5	%9.1
T+2		%10.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%11.5	%13.2	%16.4	%37.1	%36.2	%8.7	%13.0	%15.3
T+3			%16.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%17.9	%20.1	%26.3	%47.3	%44.6	%14.7	%19.8	%22.7
T+4				%22.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%25.2	%28.4	%46.4	%62.5	%54.7	%20.2	%26.1	%29.6
T+5					%30.6	%0.0	%0.0	%0.0	%33.9	%38.1	%61.2	%73.6	%64.9	%28.5	%35.1	%38.9
T+6						%36.9	%0.0	%0.0	%41.0	%46.7	%68.9	%81.3	%72.0	%33.8	%41.7	%45.2
T+7							%49.9	%0.0	%55.3	%63.6	%92.4	%98.4	%88.2	%46.2	%54.7	%60.4
T-1								-%4.7	-%4.2	-%4.0	-%2.7	%9.9	%13.9	-%4.7	-%2.5	-%0.6
P (-%10)									%1.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%3.2	%4.0
P (-%20)										%0.3	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%2.5	%5.0
P (-%30)											%1.8	%0.0	%0.0	%0.0	%4.4	%7.3
P (-%40)												%15.0	%0.0	%0.0	%18.7	%0.3
P (-%50)													%18.8	%0.0	%22.0	%25.7
P (+%10)														-%1.5	%0.3	%2.1
R_g (+%2)															%0.9	%0.0
R_g (+%4)																%3.2

Çizelge A.5 : AquaCrop Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Tekirdağ AquaCrop Ayçiçeği Verim Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	-%3.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%8.7	-%14.1	-%18.7	-%27.1	-%30.8	%1.3	-%5.4	-%7.4
T+2		-%7.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%12.8	-%17.5	-%22.5	-%30.5	-%34.3	-%2.5	-%9.8	-%11.7
T+3			-%10.5	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%15.6	-%20.8	-%25.5	-%33.5	-%37.0	-%5.5	-%12.8	-%14.7
T+4				-%15.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%19.9	-%25.4	-%29.5	-%37.4	-%40.3	-%10.5	-%17.8	-%19.6
T+5					-%19.1	%0.0	%0.0	%0.0	-%24.0	-%28.8	-%33.2	-%40.3	-%43.0	-%14.4	-%20.8	-%23.1
T+6						-%23.1	%0.0	%0.0	-%27.7	-%32.5	-%40.4	-%43.5	-%45.8	-%18.3	-%25.6	-%27.5
T+7							-%26.9	%0.0	-%31.2	-%36.0	-%43.4	-%46.3	-%48.4	-%21.7	-%29.0	-%31.2
T-1								%4.1	-%0.6	-%5.8	-%11.4	-%19.2	-%23.4	%8.9	%2.3	%0.5
P (-%10)									-%4.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%6.3	-%8.6
P (-%20)										-%10.3	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%12.1	-%14.3
P (-%30)											-%15.1	%0.0	%0.0	%0.0	-%16.6	-%18.5
P (-%40)												-%23.4	%0.0	%0.0	-%24.9	-%26.7
P (-%50)													-%27.1	%0.0	-%28.4	-%30.2
P (+%10)														%4.8	%3.2	%1.2
R_g (+%2)															-%1.6	%0.0
R_g (+%4)																-%3.7

Çizelge A.6 : AquaCrop Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Tekirdağ AquaCrop Ayçiçeği Su Ayak İzi Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	%4.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%3.0	%1.9	-%1.4	-%3.5	-%13.1	%4.8	%7.0	%9.2
T+2		%9.5	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%7.9	%6.6	%3.3	%1.3	-%8.4	%9.9	%12.5	%15.4
T+3			%13.5	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%12.2	%11.5	%8.0	%5.7	-%3.9	%14.1	%16.9	%19.2
T+4				%20.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%19.6	%19.2	%14.9	%12.4	%2.1	%21.2	%24.1	%27.4
T+5					%26.7	%0.0	%0.0	%0.0	%26.6	%25.7	%21.4	%18.6	%7.2	%27.0	%30.1	%38.3
T+6						%34.5	%0.0	%0.0	%34.1	%32.9	%35.8	%26.0	%12.8	%33.6	%39.5	%42.0
T+7							%42.5	%0.0	%41.8	%41.0	%44.0	%33.0	%18.4	%40.7	%47.4	%53.0
T-1								-%4.8	-%6.5	-%8.4	-%10.4	-%13.1	-%21.3	-%5.0	-%2.9	-%0.3
P (-%10)									-%1.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.3	%2.8
P (-%20)										-%3.3	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%0.8	%1.9
P (-%30)											-%6.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%4.3	-%1.8
P (-%40)												-%8.4	%0.0	%0.0	-%6.6	-%4.2
P (-%50)													-%17.3	%0.0	-%15.8	-%13.5
P (+%10)														%0.6	%2.5	%5.0
R_g (+%2)															%1.9	%0.0
R_g (+%4)																%4.6

Çizelge A.7 : AquaCrop Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Edirne AquaCrop Buğday Verim Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	%7.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%4.0	%1.1	-%2.4	-%6.6	-%11.2	%8.3	%6.2	%5.7
T+2		%11.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%9.0	%5.6	%1.5	-%2.7	-%11.7	%14.4	%11.1	%10.4
T+3			%14.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%11.8	%7.9	%3.7	-%0.8	-%15.0	%17.5	%14.1	%13.5
T+4				%17.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%13.7	%9.6	%5.1	-%2.1	-%29.3	%20.3	%16.6	%16.1
T+5					%19.3	%0.0	%0.0	%0.0	%15.3	%10.6	%5.7	-%9.0	-%43.1	%22.7	%18.5	%17.5
T+6						%19.5	%0.0	%0.0	%15.6	%11.2	%5.7	-%19.2	-%51.3	%18.6	%18.6	%18.1
T+7							%20.2	%0.0	%15.8	%10.9	-%5.6	-%30.9	-%62.9	%19.2	%19.2	%18.5
T-1								-%6.2	-%8.4	-%10.8	-%13.4	-%15.8	-%19.3	-%4.0	-%6.6	-%7.1
P (-%10)									-%1.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%2.3	-%2.0
P (-%20)										-%3.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%4.8	-%5.1
P (-%30)											-%7.6	%0.0	%0.0	%0.0	-%8.3	-%8.3
P (-%40)												-%11.0	%0.0	%0.0	-%11.9	-%12.2
P (-%50)													-%15.2	%0.0	-%16.0	-%16.4
P (+%10)														%2.6	%1.9	%1.5
R_g (+%2)															-%0.3	%0.0
R_g (+%4)																-%0.5

Çizelge A.8 : AquaCrop Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Edirne AquaCrop Buğday Su Ayak İzi Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	-%1.5	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%2.6	-%4.3	-%5.6	-%7.7	-%10.2	%0.9	-%0.5	%0.1
T+2		-%1.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%2.7	-%4.0	-%5.0	-%7.2	-%5.2	%0.2	-%0.5	%0.2
T+3			-%0.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%1.7	-%2.5	-%3.5	-%5.5	%2.7	%0.8	%0.5	%1.3
T+4				%0.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%1.0	%0.2	-%0.8	-%0.7	%28.9	%2.3	%2.3	%2.9
T+5					%3.2	%0.0	%0.0	%0.0	%3.2	%2.7	%2.0	%11.2	%66.3	%3.8	%4.2	%5.5
T+6						%6.6	%0.0	%0.0	%6.1	%5.5	%5.4	%30.0	%99.4	%7.7	%7.7	%4.5
T+7							%8.8	%0.0	%8.8	%8.8	%21.1	%55.8	%167.4	%10.0	%10.0	%11.0
T-1								%0.5	-%0.9	-%2.7	-%4.3	-%8.2	-%10.9	%2.0	%1.2	%2.0
P (-%10)									-%1.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%1.7	-%1.8
P (-%20)										-%4.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%3.7	-%3.2
P (-%30)											-%5.7	%0.0	%0.0	%0.0	-%4.7	-%4.7
P (-%40)												-%8.5	%0.0	%0.0	-%7.4	-%6.9
P (-%50)													-%10.3	%0.0	-%9.5	-%9.1
P (+%10)														%0.8	%1.8	%2.2
R_g (+%2)															-%0.1	%0.0
R_g (+%4)																%0.6

Çizelge A.9 : AquaCrop Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Kırklareli AquaCrop Buğday Verim Değişimi (%)	**T+1**	**T+2**	**T+3**	**T+4**	**T+5**	**T+6**	**T+7**	**T-1**	**P (-%10)**	**P (-%20)**	**P (-%30)**	**P (-%40)**	**P (-%50)**	**P (+%10)**	**R_g (+%2)**	**R_g (+%4)**
T+1	%5.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%1.1	-%13.5	-%26.4	-%38.0	-%46.4	%8.8	%4.9	%4.5
T+2		%9.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%1.9	-%11.3	-%28.6	-%41.8	-%48.3	%14.5	%9.0	%8.4
T+3			%10.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%2.3	-%13.1	-%25.9	-%44.2	-%50.4	%17.0	%9.5	%8.8
T+4				%10.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%2.5	-%14.0	-%25.9	-%45.6	-%51.9	%19.9	%10.1	%9.4
T+5					%12.5	%0.0	%0.0	%0.0	%3.4	-%12.2	-%23.2	-%47.8	-%53.0	%19.5	%11.9	%11.5
T+6						%12.1	%0.0	%0.0	%0.9	-%13.4	-%26.9	-%49.7	-%55.2	%19.2	%10.9	%10.4
T+7							%11.7	%0.0	%0.1	-%18.9	-%30.7	-%51.2	-%58.0	%19.0	%11.2	%10.6
T-1								-%8.1	-%9.3	-%13.8	-%25.7	-%37.4	-%40.5	-%7.2	-%7.6	-%7.4
P (-%10)									-%4.5	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%4.8	-%5.2
P (-%20)										-%11.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%12.3	-%12.8
P (-%30)											-%18.1	%0.0	%0.0	%0.0	-%18.6	-%19.4
P (-%40)												-%26.9	%0.0	%0.0	-%27.2	-%28.0
P (-%50)													-%33.4	%0.0	-%34.3	-%35.1
P (+%10)														%0.4	%0.2	-%0.1
R_g (+%2)															-%0.5	%0.0
R_g (+%4)																-%0.6

Çizelge A.10 : AquaCrop Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Kırklareli AquaCrop Buğday Su Ayak İzi Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	-%1.5	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.7	%9.4	%23.2	%38.3	%48.8	-%1.1	-%0.9	-%0.4
T+2		-%2.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.6	%10.9	%31.5	%51.3	%59.3	-%3.0	-%1.6	-%0.9
T+3			%0.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%4.2	%17.9	%31.2	%63.3	%71.5	-%1.7	%1.5	%2.6
T+4				%3.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%7.6	%22.3	%35.3	%72.7	%81.7	-%0.9	%4.1	%5.1
T+5					%4.0	%0.0	%0.0	%0.0	%9.7	%23.9	%34.5	%85.1	%90.3	%2.2	%4.9	%5.5
T+6						%6.9	%0.0	%0.0	%15.7	%28.7	%44.3	%96.4	%103.6	%4.9	%8.2	%6.3
T+7							%9.5	%0.0	%17.5	%41.0	%55.7	%107.2	%119.8	%7.3	%10.3	%11.3
T-1								%4.3	%1.7	%1.7	%12.5	%25.3	%26.1	%6.2	%3.9	%4.2
P (-%10)									%0.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.9	%1.3
P (-%20)										%3.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%4.4	%4.9
P (-%30)											%5.6	%0.0	%0.0	%0.0	%6.5	%7.7
P (-%40)												%13.2	%0.0	%0.0	%13.9	%15.1
P (-%50)													%16.5	%0.0	%18.3	%19.9
P (+%10)														%3.2	%3.6	%4.1
R_g (+%2)															%0.6	%0.0
R_g (+%4)																%0.7

Çizelge A.11 : AquaCrop Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Tekirdağ AquaCrop Buğday Verim Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	%2.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.7	-%3.6	-%5.5	-%10.2	-%14.9	%4.2	%1.6	%0.5
T+2		%6.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%2.4	-%0.8	-%4.8	-%8.9	-%12.9	%7.9	%4.9	%3.8
T+3			%9.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%8.0	%4.8	%1.0	-%2.7	-%14.5	%12.3	%8.3	%7.4
T+4				%15.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%11.7	%8.5	%3.7	-%3.9	-%17.5	%17.2	%14.5	%13.5
T+5					%20.8	%0.0	%0.0	%0.0	%16.6	%12.9	-%5.8	-%13.1	-%22.5	%22.2	%19.2	%17.8
T+6						%23.4	%0.0	%0.0	%13.4	%6.7	-%10.8	-%16.6	-%32.9	%25.8	%21.9	%20.9
T+7							%25.6	%0.0	%10.7	-%0.2	-%15.3	-%31.6	-%40.8	%26.8	%24.6	%23.6
T-1								-%3.0	-%4.2	-%6.9	-%10.2	-%14.1	-%18.2	-%1.3	-%3.6	-%4.8
P (-%10)									-%1.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%2.4	-%3.8
P (-%20)										-%5.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%6.5	-%8.2
P (-%30)											-%9.4	%0.0	%0.0	%0.0	-%10.2	-%11.9
P (-%40)												-%13.6	%0.0	%0.0	-%14.3	-%16.0
P (-%50)													-%17.9	%0.0	-%18.6	-%20.2
P (+%10)														%1.5	%0.8	-%0.4
R_g (+%2)															-%0.7	%0.0
R_g (+%4)																-%1.9

Çizelge A.12 : AquaCrop Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Tekirdağ AquaCrop Buğday Su Ayak İzi Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	%2.3	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.1	-%2.3	-%5.8	-%7.2	-%8.3	%3.6	%3.6	%5.0
T+2		%1.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%1.5	-%1.9	-%2.9	-%3.7	-%5.9	%3.2	%3.0	%4.3
T+3			%1.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%0.4	-%3.6	-%4.7	-%5.8	-%8.1	%2.9	%3.6	%4.9
T+4				-%1.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%1.4	-%4.4	-%3.9	-%5.2	-%8.7	%1.0	%0.3	%1.6
T+5					-%2.8	%0.0	%0.0	%0.0	-%3.3	-%5.4	-%3.9	-%7.1	-%9.2	-%0.9	-%0.4	%1.5
T+6						-%1.9	%0.0	%0.0	-%2.8	-%5.9	-%5.5	-%7.9	-%11.9	-%0.9	-%0.3	-%1.8
T+7							-%1.0	%0.0	-%1.0	-%4.2	-%5.3	-%9.7	-%11.2	%1.2	%0.2	%1.7
T-1								-%2.6	-%4.7	-%8.0	-%9.4	-%11.1	-%14.0	-%1.1	-%1.4	%0.3
P (-%10)									-%2.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%1.0	%0.9
P (-%20)										-%4.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%3.0	-%0.8
P (-%30)											-%5.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%3.8	-%1.9
P (-%40)												-%7.0	%0.0	%0.0	-%6.1	-%3.8
P (-%50)													-%8.6	%0.0	-%7.8	-%5.8
P (+%10)														%1.4	%2.3	%3.9
R_g (+%2)															%0.7	%0.0
R_g (+%4)																%2.7

Çizelge A.13 : DSSAT Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Edirne DSSAT Ayçiçeği Verim Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	-%6.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%15.2	-%22.4	-%33.4	-%42.9	-%52.6	%3.3	-%9.6	-%12.3
T+2		-%12.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%20.4	-%27.4	-%38.0	-%46.5	-%55.3	-%3.0	-%14.7	-%17.1
T+3			-%17.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%24.6	-%31.7	-%41.2	-%49.1	-%57.4	-%8.8	-%20.1	-%22.4
T+4				-%21.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%28.4	-%35.8	-%44.1	-%51.6	-%59.4	-%13.7	-%23.9	-%26.1
T+5					-%27.4	%0.0	%0.0	%0.0	-%34.6	-%41.3	-%48.1	-%54.9	-%61.6	-%19.1	-%30.1	-%32.3
T+6						-%31.4	%0.0	%0.0	-%38.5	-%44.5	-%51.3	-%57.6	-%63.9	-%23.2	-%33.7	-%35.7
T+7							-%36.3	%0.0	-%42.5	-%48.1	-%54.5	-%60.5	-%66.2	-%29.6	-%38.5	-%40.5
T-1								%6.8	-%3.6	-%11.2	-%23.8	-%35.0	-%44.8	%15.2	%4.2	%1.5
P (-%10)									-%8.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%12.3	-%14.7
P (-%20)										-%17.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%19.7	-%21.7
P (-%30)											-%28.7	%0.0	%0.0	%0.0	-%30.8	-%32.9
P (-%40)												-%39.3	%0.0	%0.0	-%40.8	-%42.4
P (-%50)													-%48.6	%0.0	-%51.0	-%52.1
P (+%10)														%9.0	%6.6	%4.1
R_g (+%2)															-%3.3	%0.0
R_g (+%4)																-%6.1

Çizelge A.14 : DSSAT Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Edirne DSSAT Ayçiçeği Su Ayak İzi Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	-%7.3	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%9.1	-%10.6	-%14.4	-%16.6	-%21.8	-%5.2	-%1.9	%3.2
T+2		-%4.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%4.7	-%5.5	-%8.7	-%16.3	-%21.4	-%2.3	-%6.9	-%9.2
T+3			-%2.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%4.2	-%3.5	-%11.7	-%48.3	-%16.1	-%38.1	-%2.2	-%2.7
T+4				%0.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.7	%0.7	-%1.7	-%4.5	-%11.4	%2.7	%2.1	%2.2
T+5					%3.2	%0.0	%0.0	%0.0	%1.8	%2.6	-%1.7	-%5.4	-%9.2	%3.6	%7.0	%10.9
T+6						%22.3	%0.0	%0.0	%19.1	%19.5	%14.2	%10.9	%7.7	%18.1	%17.0	%13.1
T+7							%31.8	%0.0	%31.3	%33.1	%20.4	%28.1	%22.4	%29.4	%34.3	%40.3
T-1								%8.3	%0.2	-%1.9	%0.2	-%5.9	-%11.6	%7.0	%6.9	%5.8
P (-%10)									-%3.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%3.4	%2.8
P (-%20)										-%5.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%3.7	%0.5
P (-%30)											-%8.8	%0.0	%0.0	%0.0	-%3.6	-%10.1
P (-%40)												-%9.8	%0.0	%0.0	-%9.4	-%14.8
P (-%50)													-%14.9	%0.0	-%13.6	-%20.3
P (+%10)														%0.7	%1.5	%4.9
R_g (+%2)															%3.7	%0.0
R_g (+%4)																%2.7

Çizelge A.15 : DSSAT Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Kırklareli DSSAT Ayçiçeği Verim Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	-%5.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%10.2	-%16.3	-%23.1	-%26.7	-%28.9	%2.3	-%6.6	-%7.0
T+2		-%8.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%11.6	-%18.9	-%27.4	-%29.3	-%32.1	-%3.4	-%8.7	-%12.1
T+3			-%13.3	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%22.4	-%25.3	-%29.7	-%32.8	-%34.7	-%7.7	-%13.3	-%16.9
T+4				-%18.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%19.4	-%31.7	-%33.6	-%34.0	-%40.2	-%12.2	-%20.8	-%21.9
T+5					-%20.4	%0.0	%0.0	%0.0	-%24.4	-%28.9	-%31.5	-%35.6	-%41.9	-%19.1	-%25.0	-%25.3
T+6						-%25.3	%0.0	%0.0	-%30.4	-%29.0	-%30.6	-%37.1	-%39.4	-%23.3	-%26.1	-%27.4
T+7							-%29.7	%0.0	-%32.8	-%37.7	-%40.2	-%41.6	-%47.2	-%7.0	-%30.3	-%28.0
T-1								%3.0	-%1.4	-%4.0	-%6.1	-%14.0	-%19.1	%12.3	%0.8	%0.4
P (-%10)									-%6.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%10.2	-%16.3
P (-%20)										-%10.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%15.4	-%13.3
P (-%30)											-%17.8	%0.0	%0.0	%0.0	-%17.3	-%21.1
P (-%40)												-%20.3	%0.0	%0.0	-%23.9	-%25.0
P (-%50)													-%25.2	%0.0	-%25.7	-%32.6
P (+%10)														%6.6	-%2.7	-%1.7
R_g (+%2)															-%1.7	%0.0
R_g (+%4)																-%3.7

Çizelge A.16 : DSSAT Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Kırklareli DSSAT Ayçiçeği Su Ayak İzi Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	-%0.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%1.5	-%4.4	-%2.6	-%9.0	-%16.7	-%1.1	%1.5	%1.9
T+2		%3.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.4	-%0.7	%3.0	-%5.8	-%13.0	%5.8	%4.3	%8.6
T+3			%10.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%15.2	%8.6	%6.6	-%0.7	-%9.7	%10.6	%10.1	%15.1
T+4				%16.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%10.4	%19.2	%12.7	-%0.7	-%1.9	%16.7	%21.0	%22.7
T+5					%20.3	%0.0	%0.0	%0.0	%17.9	%14.5	%9.1	%1.7	%0.6	%26.8	%27.9	%28.6
T+6						%28.3	%0.0	%0.0	%27.7	%14.7	%7.5	%3.9	-%3.7	%34.3	%29.7	%32.2
T+7							%36.1	%0.0	%32.3	%31.1	%24.5	%12.1	%9.6	%45.6	%37.5	%33.1
T-1								-%6.6	-%10.0	-%15.7	-%20.1	-%21.7	-%26.3	-%10.3	-%5.2	-%4.6
P (-%10)									-%5.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%1.3	%6.4
P (-%20)										-%10.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%5.9	-%7.4
P (-%30)											-%9.1	%0.0	%0.0	%0.0	-%9.4	-%5.0
P (-%40)												-%16.0	%0.0	%0.0	-%12.0	-%11.0
P (-%50)													-%20.8	%0.0	-%20.1	-%12.0
P (+%10)														-%5.4	%4.4	%3.0
R_g (+%2)															-%3.2	%0.0
R_g (+%4)																-%1.1

Çizelge A.17 : DSSAT Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Tekirdağ DSSAT Ayçiçeği Verim Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	%3.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%1.1	-%4.1	-%4.2	-%12.5	-%17.1	%6.0	%5.5	%1.3
T+2		%7.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%3.4	%0.6	-%5.1	-%13.3	-%17.7	%10.2	%5.9	%3.2
T+3			%1.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%3.2	-%6.6	-%7.3	-%18.2	-%24.4	%6.7	%0.9	%4.5
T+4				-%2.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%4.2	-%10.0	-%12.7	-%16.6	-%24.6	%5.6	-%4.4	-%7.2
T+5					-%6.8	%0.0	%0.0	%0.0	-%7.3	-%13.9	-%14.4	-%28.9	-%29.0	-%1.5	-%9.6	-%12.5
T+6						-%11.0	%0.0	%0.0	-%8.7	-%14.1	-%20.0	-%25.1	-%34.9	-%5.6	-%8.5	-%14.9
T+7							-%15.8	%0.0	-%14.7	-%21.5	-%31.3	-%35.1	-%38.9	-%41.8	-%18.3	-%23.7
T-1								-%6.8	-%8.3	-%12.5	-%15.1	-%19.2	-%19.8	-%2.6	-%10.6	-%7.2
P (-%10)									-%2.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%5.5	-%7.6
P (-%20)										-%7.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%9.6	-%10.4
P (-%30)											-%11.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%12.8	-%13.8
P (-%40)												-%15.7	%0.0	%0.0	-%17.0	-%14.9
P (-%50)													-%16.9	%0.0	-%18.4	-%17.1
P (+%10)														%0.3	%-0.9	-%2.5
R_g (+%2)															%-1.5	%0.0
R_g (+%4)																-%2.0

Çizelge A.18 : DSSAT Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Tekirdağ DSSAT Ayçiçeği Su Ayak İzi Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	-%4.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%6.5	-%8.2	-%17.1	-%21.3	-%28.4	-%0.7	-%5.9	-%2.0
T+2		-%8.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%9.4	-%12.8	-%16.9	-%20.6	-%28.1	-%5.0	-%6.7	-%3.9
T+3			-%4.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%4.2	-%7.3	-%15.9	-%16.0	-%21.8	-%2.7	-%7.3	-%7.2
T+4				-%1.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%4.8	-%5.1	-%11.3	-%18.5	-%22.6	-%2.4	-%1.4	%3.7
T+5					%2.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%3.4	-%2.9	-%11.2	-%16.5	-%18.6	%4.3	%4.7	%7.9
T+6						%5.6	%0.0	%0.0	-%3.0	-%3.6	-%5.9	-%12.4	-%20.8	%7.3	%2.7	%11.2
T+7							%11.5	%0.0	%3.5	%5.1	%9.0	%0.8	-%27.1	%24.9	%18.8	%22.9
T-1								%8.1	%3.1	%0.5	-%6.4	-%14.9	-%26.2	%13.9	%12.7	%8.9
P (-%10)									-%3.3	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.1	%2.1
P (-%20)										%2.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%2.5	-%1.7
P (-%30)											-%15.2	%0.0	%0.0	%0.0	-%8.9	-%7.9
P (-%40)												-%18.3	%0.0	%0.0	-%17.1	-%19.1
P (-%50)													-%28.7	%0.0	-%27.3	-%28.4
P (+%10)														%4.5	%2.9	%7.7
R_g (+%2)															-%2.2	%0.0
R_g (+%4)																%1.0

Çizelge A.19 : DSSAT Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Edirne DSSAT Buğday Verim Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	%7.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%4.0	%1.1	-%2.4	-%6.6	-%11.2	%8.3	%6.2	%5.7
T+2		%11.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%9.0	%5.6	%1.5	-%2.7	-%11.7	%14.4	%11.1	%10.4
T+3			%14.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%11.8	%7.9	%3.7	-%0.8	-%15.0	%17.5	%14.1	%13.5
T+4				%17.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%13.7	%9.6	%5.1	-%2.1	-%29.3	%20.3	%16.6	%16.1
T+5					%19.3	%0.0	%0.0	%0.0	%15.3	%10.6	%5.7	-%9.0	-%43.1	%22.7	%18.5	%17.5
T+6						%19.5	%0.0	%0.0	%15.6	%11.2	%5.7	-%19.2	-%51.3	%23.6	%18.6	%18.1
T+7							%19.7	%0.0	%15.8	%10.9	-%5.6	-%30.9	-%62.9	%24.2	%19.2	%18.5
T-1								-%6.2	-%8.4	-%10.8	-%13.4	-%15.8	-%19.3	-%4.0	-%6.6	-%7.1
P (-%10)									-%1.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%2.3	-%2.0
P (-%20)										-%3.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%4.8	-%5.1
P (-%30)											-%7.6	%0.0	%0.0	%0.0	-%8.3	-%8.3
P (-%40)												-%11.0	%0.0	%0.0	-%11.9	-%12.2
P (-%50)													-%15.2	%0.0	-%16.0	-%16.4
P (+%10)														%2.6	%1.9	%1.5
R_g (+%2)															-%0.3	%0.0
R_g (+%4)																-%0.5

Çizelge A.20 : DSSAT Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Edirne DSSAT Buğday Su Ayak İzi Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	-%9.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%10.7	-%12.5	-%14.1	-%16.6	-%19.0	-%5.9	-%8.0	%3.4
T+2		-%11.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%14.2	-%16.0	-%19.2	-%21.3	-%19.6	-%10.3	-%11.4	-%10.6
T+3			-%14.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%16.6	-%18.5	-%21.0	-%23.5	-%18.8	-%12.2	-%13.1	-%12.4
T+4				-%12.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%13.3	-%15.5	-%16.7	-%16.8	%7.5	-%10.7	-%10.6	-%9.5
T+5					-%12.4	%0.0	%0.0	%0.0	-%13.4	-%14.5	-%15.0	-%9.0	%35.6	-%11.4	-%11.2	-%9.8
T+6						-%13.4	%0.0	%0.0	-%14.6	-%15.8	-%15.6	%0.6	%56.1	-%9.0	-%11.8	-%10.9
T+7							-%11.5	%0.0	-%12.0	-%12.1	-%1.4	%25.0	%117.0	-%7.0	-%10.4	-%9.6
T-1								%17.8	%15.3	%11.1	%8.8	%3.9	%0.5	%21.1	%18.1	%7.6
P (-%10)									-%2.3	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%1.8	-%2.2
P (-%20)										-%4.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%3.2	-%3.0
P (-%30)											-%4.4	%0.0	%0.0	%0.0	-%4.2	-%4.2
P (-%40)												-%8.9	%0.0	%0.0	-%7.8	-%7.4
P (-%50)													-%11.2	%0.0	-%10.1	-%9.6
P (+%10)														%2.9	%2.9	%3.2
R_g (+%2)															%0.5	%0.0
R_g (+%4)																%0.8

Çizelge A.21 : DSSAT Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Kırklareli DSSAT Buğday Verim Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	%2.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%1.9	-%6.1	-%10.5	-%16.4	-%18.9	%4.0	%1.8	%1.8
T+2		%0.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%3.3	-%6.0	-%13.4	-%16.7	-%21.8	%5.2	%1.3	%0.7
T+3			-%4.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%9.4	-%14.1	-%20.9	-%22.5	-%20.5	%0.4	-%4.9	-%5.6
T+4				-%5.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%10.2	-%15.6	-%22.0	-%27.1	-%32.5	-%1.5	-%5.3	-%5.7
T+5					-%5.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%11.6	-%17.5	-%23.6	-%28.8	-%35.6	-%0.5	-%5.0	-%4.9
T+6						-%3.3	%0.0	%0.0	-%10.0	-%15.3	-%21.2	-%26.5	-%32.7	%1.2	-%3.1	-%3.0
T+7							-%8.9	%0.0	-%14.0	-%19.4	-%24.8	-%27.0	-%31.8	-%4.5	-%8.4	-%7.8
T-1								-%7.5	-%9.2	-%13.5	-%21.1	-%26.4	-%30.3	-%8.6	-%8.7	-%8.9
P (-%10)									-%2.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%2.7	-%3.0
P (-%20)										-%8.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%7.1	-%6.8
P (-%30)											-%9.9	%0.0	%0.0	%0.0	-%10.4	-%10.8
P (-%40)												-%15.3	%0.0	%0.0	-%15.8	-%16.7
P (-%50)													-%21.0	%0.0	-%21.5	-%19.1
P (+%10)														%0.7	-%0.3	-%0.1
R_g (+%2)															%0.4	%0.0
R_g (+%4)																%0.5

Çizelge A.21 : DSSAT Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Kırklareli DSSAT Buğday Su Ayak İzi Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	%0.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%2.4	-%4.1	-%4.9	-%5.3	-%11.4	%2.4	-%0.1	-%0.1
T+2		%1.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%1.6	-%3.9	-%2.2	-%6.7	-%8.8	%2.7	-%1.0	%0.0
T+3			%4.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%6.0	%5.3	%8.1	-%0.1	-%13.4	%4.3	%3.8	%8.0
T+4				%6.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%7.2	%7.7	%9.5	%5.2	%2.5	%8.2	%6.8	%7.4
T+5					-%3.6	%0.0	%0.0	%0.0	%1.4	%1.8	%2.5	-%1.9	-%1.2	-%3.3	-%4.0	-%4.4
T+6						-%7.2	%0.0	%0.0	-%2.6	-%2.0	-%2.1	-%4.5	-%5.8	-%6.8	-%7.7	-%6.0
T+7							-%9.7	%0.0	-%0.2	%2.6	%3.4	-%7.6	-%10.8	-%0.7	-%1.7	-%2.5
T-1								%5.1	%3.4	%3.5	%7.6	%7.1	%5.3	%13.3	%8.4	%9.4
P (-%10)									-%1.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%3.6	-%0.7
P (-%20)										-%1.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%1.5	-%1.6
P (-%30)											-%7.6	%0.0	%0.0	%0.0	-%6.5	-%5.5
P (-%40)												-%8.6	%0.0	%0.0	-%7.3	-%5.6
P (-%50)													-%9.2	%0.0	-%8.0	-%10.3
P (+%10)														%4.6	%4.9	%5.3
R_g (+%2)															%0.9	%0.0
R_g (+%4)																%0.6

Çizelge A.22 : DSSAT Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Tekirdağ DSSAT Buğday Verim Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	%7.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%1.9	-%3.8	-%8.5	-%14.0	-%20.4	%12.3	%7.0	%7.6
T+2		%6.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%1.5	-%3.8	-%8.3	-%14.1	-%17.6	%12.0	%6.1	%6.1
T+3			%7.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%2.0	-%4.6	-%8.8	-%14.7	-%20.1	%11.2	%6.7	%6.7
T+4				%7.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%2.9	-%3.3	-%9.4	-%15.4	-%18.5	%12.8	%8.3	%8.8
T+5					-%6.2	%0.0	%0.0	%0.0	-%11.4	-%17.1	-%21.0	-%24.9	-%27.9	%0.4	-%5.5	-%5.1
T+6						-%2.7	%0.0	%0.0	-%8.0	-%13.6	-%16.0	-%20.1	-%23.0	%3.5	-%1.3	%2.4
T+7							-%4.6	%0.0	-%9.9	-%15.5	-%19.6	-%24.7	-%28.7	-%0.8	-%4.5	-%3.9
T-1								-%8.8	-%12.8	-%17.9	-%20.7	-%25.1	-%29.7	-%3.8	-%9.1	-%9.2
P (-%10)									-%4.3	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%3.9	-%4.2
P (-%20)										-%9.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%9.3	-%9.5
P (-%30)											-%13.4	%0.0	%0.0	%0.0	-%13.7	-%13.5
P (-%40)												-%18.1	%0.0	%0.0	-%18.6	-%18.7
P (-%50)													-%23.6	%0.0	-%24.1	-%24.7
P (+%10)														%4.6	%4.5	%3.6
R_g (+%2)															-%0.5	%0.0
R_g (+%4)																%0.1

Çizelge A.23 : DSSAT Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Tekirdağ DSSAT Buğday Su Ayak İzi Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	-%8.5	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%7.1	-%7.3	-%7.0	-%6.4	-%5.1	-%8.5	-%8.4	-%8.9
T+2		-%9.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%7.6	-%7.7	-%7.8	-%8.3	-%10.7	-%11.2	-%8.7	-%8.5
T+3			-%10.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%9.7	-%8.5	-%9.7	-%9.7	-%10.3	-%11.1	-%12.1	-%12.9
T+4				-%12.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%11.7	-%10.6	-%10.5	-%10.8	-%14.3	-%14.3	-%13.5	-%14.3
T+5					-%3.9	%0.0	%0.0	%0.0	%-6.3	%-7.6	%-5.3	%-2.7	%1.1	%0.4	%2.7	%1.8
T+6						-%0.3	%0.0	%0.0	-%0.4	%0.4	-%3.1	-%5.7	-%4.6	-%3.4	-%1.7	-%5.2
T+7							%3.1	%0.0	%5.5	%6.3	%5.2	%5.4	%4.2	%2.4	%3.2	%2.6
T-1								%12.2	%13.7	%15.2	%12.5	%11.4	%11.0	%9.4	%13.5	%14.7
P (-%10)									-%1.5	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.3	%1.1
P (-%20)										%1.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%0.5	%0.2
P (-%30)											%1.3	%0.0	%0.0	%0.0	-%0.6	-%0.4
P (-%40)												%1.6	%0.0	%0.0	-%0.4	%0.1
P (-%50)													%1.1	%0.0	-%0.1	%1.2
P (+%10)														-%1.8	-%1.0	%0.8
R_g (+%2)															%1.0	%0.0
R_g (+%4)																%1.2

Çizelge A.24 : WOFOST Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Edirne WOFOST Ayçiçeği Verim Değişimi (%)	**T+1**	**T+2**	**T+3**	**T+4**	**T+5**	**T+6**	**T+7**	**T-1**	**P (-%10)**	**P (-%20)**	**P (-%30)**	**P (-%40)**	**P (-%50)**	**P (+%10)**	**R_g (+%2)**	**R_g (+%4)**
T+1	-%6.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%17.3	-%28.3	-%32.0	-%37.5	-%44.6	-%1.1	-%7.8	-%9.6
T+2		-%13.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%20.9	-%29.5	-%36.6	-%40.0	-%48.3	-%3.8	-%16.8	-%16.4
T+3			-%17.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%24.1	-%33.6	-%40.8	-%45.2	-%52.1	-%7.6	-%21.2	-%24.4
T+4				-%23.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%27.2	-%39.4	-%44.7	-%50.4	-%54.4	-%15.3	-%25.6	-%28.2
T+5					-%26.8	%0.0	%0.0	%0.0	-%30.8	-%40.8	-%46.1	-%53.6	-%60.8	-%22.4	-%27.7	-%28.7
T+6						-%29.2	%0.0	%0.0	-%32.1	-%43.4	-%48.9	-%55.7	-%62.5	-%23.1	-%30.4	-%31.5
T+7							-%31.6	%0.0	-%35.2	-%45.6	-%53.3	-%60.2	-%64.8	-%29.0	-%33.8	-%36.1
T-1								%5.5	%2.6	-%1.9	-%10.1	-%22.0	-%33.4	%6.4	%5.0	%4.0
P (-%10)									-%3.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%5.9	-%8.9
P (-%20)										-%13.3	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%17.7	-%22.0
P (-%30)											-%26.8	%0.0	%0.0	%0.0	-%30.8	-%34.5
P (-%40)												-%38.6	%0.0	%0.0	-%41.6	-%44.3
P (-%50)													-%47.6	%0.0	-%49.7	-%51.7
P (+%10)														%4.5	%4.1	%3.7
R_g (+%2)															-%0.4	%0.0
R_g (+%4)																-%1.4

Çizelge A.25 : WOFOST Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Edirne WOFOST Ayçiçeği Su Ayak İzi Değişimi (%)	**T+1**	**T+2**	**T+3**	**T+4**	**T+5**	**T+6**	**T+7**	**T-1**	**P (-%10)**	**P (-%20)**	**P (-%30)**	**P (-%40)**	**P (-%50)**	**P (+%10)**	**R_g (+%2)**	**R_g (+%4)**
T+1	%6.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%12.3	%18.4	%9.1	%3.5	%1.1	%4.8	%8.7	%11.1
T+2		%14.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%15.6	%16.4	%12.9	%4.6	%4.6	%8.4	%19.9	%19.9
T+3			%19.5	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%17.0	%19.8	%17.8	%9.9	%8.6	%12.5	%24.5	%29.5
T+4				%25.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%19.5	%28.2	%23.5	%20.4	%11.4	%21.8	%29.8	%34.4
T+5					%29.9	%0.0	%0.0	%0.0	%22.3	%27.7	%23.5	%25.9	%26.4	%32.8	%31.4	%32.7
T+6						%32.4	%0.0	%0.0	%21.9	%31.0	%27.6	%29.5	%30.2	%33.3	%33.9	%38.7
T+7							%32.7	%0.0	%24.3	%31.9	%24.3	%39.7	%35.2	%41.6	%36.5	%40.5
T-1								-%5.4	-%7.8	-%10.8	-%13.3	-%13.5	-%11.9	-%2.5	-%4.1	-%2.6
P (-%10)									-%2.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.3	%3.7
P (-%20)										%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%5.2	%10.7
P (-%30)											%4.1	%0.0	%0.0	%0.0	%9.4	%15.5
P (-%40)												%8.2	%0.0	%0.0	%16.6	%22.6
P (-%50)													%9.7	%0.0	%14.0	%18.9
P (+%10)														-%0.3	%1.0	%2.0
R_g (+%2)															%1.1	%0.0
R_g (+%4)																%2.9

Çizelge A.26 : WOFOST Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Kırklareli WOFOST Ayçiçeği Verim Değişimi (%)	**T+1**	**T+2**	**T+3**	**T+4**	**T+5**	**T+6**	**T+7**	**T-1**	**P (-%10)**	**P (-%20)**	**P (-%30)**	**P (-%40)**	**P (-%50)**	**P (+%10)**	**R_g (+%2)**	**R_g (+%4)**
T+1	-%1.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%3.4	-%15.3	-%26.7	-%35.2	-%44.4	%11.8	-%2.9	-%4.7
T+2		-%6.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%9.7	-%17.1	-%29.1	-%36.2	-%45.0	%5.8	-%8.7	-%10.6
T+3			-%15.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%17.1	-%23.8	-%30.3	-%36.9	-%48.1	-%2.9	-%16.8	-%18.5
T+4				-%21.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%22.5	-%26.8	-%31.2	-%40.7	-%50.3	-%9.7	-%22.7	-%24.3
T+5					-%23.5	%0.0	%0.0	%0.0	-%26.9	-%31.1	-%35.4	-%41.9	-%51.0	-%12.6	-%25.0	-%26.5
T+6						-%29.7	%0.0	%0.0	-%32.1	-%35.4	-%40.3	-%45.2	-%54.8	-%24.2	-%35.9	-%37.3
T+7							-%33.0	%0.0	-%35.0	-%39.9	-%44.3	-%48.9	-%55.5	-%29.8	-%36.1	-%37.3
T-1								%7.3	%3.2	-%7.9	-%16.8	-%25.5	-%38.7	%19.5	%3.9	%1.1
P (-%10)									-%2.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%4.2	-%5.8
P (-%20)										-%13.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%24.6	-%26.0
P (-%30)											-%23.8	%0.0	%0.0	%0.0	-%24.9	-%26.1
P (-%40)												-%34.0	%0.0	%0.0	-%35.0	-%36.0
P (-%50)													-%43.9	%0.0	-%44.7	-%45.6
P (+%10)														%14.1	%11.0	%8.3
R_g (+%2)															-%2.3	%0.0
R_g (+%4)																-%4.5

Çizelge A.27 : WOFOST Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Kırklareli WOFOST Ayçiçeği Su Ayak İzi Değişimi (%)	**T+1**	**T+2**	**T+3**	**T+4**	**T+5**	**T+6**	**T+7**	**T-1**	**P (-%10)**	**P (-%20)**	**P (-%30)**	**P (-%40)**	**P (-%50)**	**P (+%10)**	**R_g (+%2)**	**R_g (+%4)**
T+1	-%5.3	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%9.1	-%4.4	%1.3	%1.6	%4.1	-%11.1	-%3.0	-%1.2
T+2		%1.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%2.6	-%2.3	%4.6	%3.0	%5.1	-%5.6	%3.5	%6.0
T+3			%11.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%6.2	%6.5	%6.5	%4.3	%11.4	%3.1	%13.9	%16.6
T+4				%19.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%13.7	%10.7	%7.9	%9.8	%16.4	%11.3	%22.6	%25.5
T+5					%23.6	%0.0	%0.0	%0.0	%20.2	%17.2	%14.4	%11.6	%17.5	%15.0	%26.2	%28.9
T+6						%34.1	%0.0	%0.0	%29.1	%24.7	%23.3	%17.8	%26.7	%32.5	%47.2	%50.9
T+7							%40.3	%0.0	%34.8	%33.7	%31.7	%25.6	%27.0	%43.0	%47.3	%50.3
T-1								-%12.7	-%15.3	-%12.3	-%10.9	-%11.5	-%5.7	-%17.1	-%9.5	-%6.7
P (-%10)									-%10.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%8.2	-%6.3
P (-%20)										-%6.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%7.3	%10.0
P (-%30)											-%2.7	%0.0	%0.0	%0.0	-%1.0	%0.6
P (-%40)												-%0.2	%0.0	%0.0	%1.3	-%0.5
P (-%50)													%3.1	%0.0	%4.7	%6.4
P (+%10)														-%13.0	-%10.3	-%7.7
R_g (+%2)															-%3.9	%0.0
R_g (+%4)																-%1.3

Çizelge A.28 : WOFOST Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Tekirdağ WOFOST Ayçiçeği Verim Değişimi (%)	**T+1**	**T+2**	**T+3**	**T+4**	**T+5**	**T+6**	**T+7**	**T-1**	**P (-%10)**	**P (-%20)**	**P (-%30)**	**P (-%40)**	**P (-%50)**	**P (+%10)**	**R_g (+%2)**	**R_g (+%4)**
T+1	%0.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%8.2	-%16.7	-%25.0	-%33.0	-%40.8	%9.6	-%1.1	-%2.8
T+2		%8.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%0.6	-%9.0	-%17.3	-%25.4	-%33.4	%16.6	%6.5	%4.9
T+3			%6.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%1.6	-%9.9	-%18.1	-%26.2	-%34.3	%15.2	%5.4	%3.9
T+4				%4.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%4.4	-%12.9	-%21.2	-%29.5	-%37.5	%12.6	%2.7	%1.4
T+5					-%2.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%10.2	-%18.3	-%26.3	-%34.2	-%41.7	%6.3	-%3.2	-%4.5
T+6						-%8.0	%0.0	%0.0	-%15.9	-%23.6	-%31.3	-%38.6	-%46.0	%0.0	-%9.1	-%10.3
T+7							-%14.0	%0.0	-%21.5	-%28.9	-%36.2	-%43.3	-%50.1	-%6.5	-%15.0	-%16.0
T-1								%3.7	-%6.9	-%17.0	-%26.6	-%35.9	-%44.5	%14.8	%1.1	-%1.4
P (-%10)									-%9.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%10.9	-%12.6
P (-%20)										-%18.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%19.6	-%21.1
P (-%30)											-%26.7	%0.0	%0.0	%0.0	-%28.1	-%29.4
P (-%40)												-%35.0	%0.0	%0.0	-%36.2	-%37.4
P (-%50)													-%42.9	%0.0	-%43.9	-%45.0
P (+%10)														%9.5	%7.3	%5.2
R_g (+%2)															-%1.9	%0.0
R_g (+%4)																-%3.8

Çizelge A.29 : WOFOST Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Ayçiçeği Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Tekirdağ WOFOST Ayçiçeği Su Ayak İzi Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	-%0.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.5	%2.8	%3.7	%4.1	%3.7	-%2.4	%1.0	%2.8
T+2		-%7.5	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%7.2	-%5.9	-%6.4	-%6.6	-%8.0	-%8.7	-%6.2	-%4.7
T+3			-%6.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%6.8	-%5.5	-%6.1	-%6.9	-%7.9	-%8.4	-%5.5	-%4.1
T+4				-%5.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%5.2	-%3.8	-%3.8	-%3.3	-%4.7	-%7.1	-%4.1	-%2.8
T+5					-%0.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.2	%1.8	%2.1	%2.1	%0.7	-%2.5	%0.8	%12.8
T+6						%4.3	%0.0	%0.0	%5.1	%7.7	%7.8	%7.5	%6.4	%2.0	%5.6	%8.7
T+7							%9.2	%0.0	%10.6	%13.9	%3.2	%14.0	%12.2	%12.2	%10.5	%11.9
T-1								-%4.1	-%1.2	%3.0	%6.4	%9.6	%12.1	-%7.2	-%1.5	%1.1
P (-%10)									%1.5	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%3.4	%5.4
P (-%20)										%4.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%6.5	%8.4
P (-%30)											%6.0	%0.0	%0.0	%0.0	%7.9	%9.8
P (-%40)												%7.6	%0.0	%0.0	%9.4	%11.7
P (-%50)													%7.5	%0.0	%9.6	%11.6
P (+%10)														-%2.7	-%0.4	%1.6
R_g (+%2)															%1.9	%0.0
R_g (+%4)																%3.7

Çizelge A.30 : WOFOST Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Edirne WOFOST Buğday Verim Değişimi (%)	**T+1**	**T+2**	**T+3**	**T+4**	**T+5**	**T+6**	**T+7**	**T-1**	**P (-%10)**	**P (-%20)**	**P (-%30)**	**P (-%40)**	**P (-%50)**	**P (+%10)**	**R_g (+%2)**	**R_g (+%4)**
T+1	%7.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%4.0	%1.1	-%2.4	-%6.6	-%11.2	%8.3	%6.2	%5.7
T+2		%11.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%9.0	%5.6	%1.5	-%2.7	-%11.7	%14.4	%11.1	%10.4
T+3			%14.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%11.8	%7.9	%3.7	-%0.8	-%15.0	%17.5	%14.1	%13.5
T+4				%17.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%13.7	%9.6	%5.1	-%2.1	-%29.3	%20.3	%16.6	%16.1
T+5					%19.3	%0.0	%0.0	%0.0	%15.3	%10.6	%5.7	-%9.0	-%43.1	%22.7	%18.5	%17.5
T+6						%19.5	%0.0	%0.0	%15.6	%11.2	%5.7	-%19.2	-%51.3	%18.6	%18.6	%18.1
T+7							%20.2	%0.0	%15.8	%10.9	-%5.6	-%30.9	-%62.9	%19.2	%19.2	%18.5
T-1								-%6.2	-%8.4	-%10.8	-%13.4	-%15.8	-%19.3	-%4.0	-%6.6	-%7.1
P (-%10)									-%1.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%2.3	-%2.0
P (-%20)										-%3.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%4.8	-%5.1
P (-%30)											-%7.6	%0.0	%0.0	%0.0	-%8.3	-%8.3
P (-%40)												-%11.0	%0.0	%0.0	-%11.9	-%12.2
P (-%50)													-%15.2	%0.0	-%16.0	-%16.4
P (+%10)														%2.6	%1.9	%1.5
R_g (+%2)															-%0.3	%0.0
R_g (+%4)																-%0.5

Çizelge A.31 : WOFOST Modeli ile Edirne'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Edirne WOFOST Buğday Su Ayak İzi Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	-%28.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%28.4	-%29.3	-%29.7	-%30.9	-%31.2	-%26.6	-%28.0	%4.0
T+2		-%31.3	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%32.0	-%32.8	-%34.4	-%35.0	-%32.6	-%30.4	-%31.2	-%30.1
T+3			-%32.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%34.3	-%34.5	-%36.1	-%37.2	-%31.3	-%31.9	-%32.1	-%31.5
T+4				-%33.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%33.1	-%34.8	-%34.9	-%33.8	-%12.9	-%32.4	-%31.7	-%30.6
T+5					-%31.7	%0.0	%0.0	%0.0	-%32.4	-%33.6	-%33.6	%19.7	%29.2	-%31.5	-%30.5	-%30.3
T+6						-%32.1	%0.0	%0.0	-%32.4	-%32.3	-%31.9	-%20.8	%26.7	-%29.4	-%30.9	-%30.2
T+7							-%28.8	%0.0	-%28.5	-%28.6	-%20.3	%0.1	%79.8	-%26.6	-%29.1	-%28.0
T-1								-%7.1	-%7.4	-%9.8	-%10.3	-%12.4	-%13.5	-%5.8	-%6.8	-%16.1
P (-%10)									-%23.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%23.8	-%24.2
P (-%20)										-%25.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%24.7	-%24.5
P (-%30)											-%24.5	%0.0	%0.0	%0.0	-%24.9	-%25.1
P (-%40)												-%27.2	%0.0	%0.0	-%26.3	-%26.2
P (-%50)													-%28.3	%0.0	-%27.0	-%26.8
P (+%10)														-%22.0	-%21.2	-%20.4
R_g (+%2)															-%1.9	%0.0
R_g (+%4)																-%2.7

Çizelge A.32 : WOFOST Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Kırklareli WOFOST Buğday Verim Değişimi (%)	**T+1**	**T+2**	**T+3**	**T+4**	**T+5**	**T+6**	**T+7**	**T-1**	**P (-%10)**	**P (-%20)**	**P (-%30)**	**P (-%40)**	**P (-%50)**	**P (+%10)**	**R_g (+%2)**	**R_g (+%4)**
T+1	%3.5	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%1.8	-%2.9	-%9.4	-%19.2	-%29.8	%6.3	%3.3	%3.0
T+2		%5.5	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%2.9	%0.5	-%2.7	-%13.0	-%21.1	%9.3	%3.7	%1.9
T+3			%8.2	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%8.0	%3.3	%0.3	-%7.3	-%14.1	%11.0	%7.8	%7.0
T+4				%9.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%4.6	%5.4	%1.0	-%4.8	-%13.5	%13.9	%8.4	%8.0
T+5					%10.8	%0.0	%0.0	%0.0	%7.7	%4.8	%1.7	-%4.5	-%20.9	%16.0	%10.5	%10.2
T+6						%12.0	%0.0	%0.0	%8.0	%5.2	-%11.5	-%26.5	-%38.6	%17.1	%10.4	%10.0
T+7							%12.6	%0.0	%5.8	-%12.1	-%20.4	-%36.4	-%48.5	%18.2	%12.1	%11.3
T-1								-%5.7	-%9.8	-%17.3	-%32.3	-%40.9	-%54.9	-%3.4	-%6.6	-%7.5
P (-%10)									-%5.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%6.5	-%7.2
P (-%20)										-%13.5	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%14.3	-%15.1
P (-%30)											-%20.8	%0.0	%0.0	%0.0	-%21.7	-%22.5
P (-%40)												-%26.5	%0.0	%0.0	-%27.5	-%28.4
P (-%50)													-%30.7	%0.0	-%31.7	-%32.7
P (+%10)														%4.8	%4.5	%4.2
R_g (+%2)															-%0.3	%0.0
R_g (+%4)																-%0.6

Çizelge A.33 : WOFOST Modeli ile Kırklareli'de Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Kırklareli WOFOST Buğday Su Ayak İzi Değişimi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	-%4.7	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%6.5	-%6.6	-%4.7	-%1.7	%3.4	-%3.6	-%26.3	-%3.4
T+2		-%9.3	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%10.2	-%11.8	-%13.5	-%11.1	-%9.6	-%9.0	-%6.9	-%4.3
T+3			-%12.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%14.4	-%14.3	-%17.0	-%17.2	-%18.3	-%12.1	-%10.8	-%9.1
T+4				-%14.3	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%12.2	-%17.0	-%19.5	-%21.4	-%20.5	-%15.0	-%12.2	-%10.8
T+5					-%16.3	%0.0	%0.0	%0.0	-%16.3	-%19.6	-%23.2	-%23.9	-%25.1	-%17.5	-%15.1	-%14.1
T+6						-%20.4	%0.0	%0.0	-%20.3	-%23.4	-%25.5	-%24.0	-%29.4	-%20.0	-%18.4	-%14.8
T+7							-%24.6	%0.0	-%22.7	-%24.0	-%26.7	-%25.1	-%31.1	-%24.5	-%23.7	-%22.4
T-1								%4.1	%5.4	%3.5	%11.9	%17.5	%13.8	%5.2	%5.8	%7.7
P (-%10)									%2.5	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%2.3	%5.9
P (-%20)										%6.3	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%8.1	%9.8
P (-%30)											%10.8	%0.0	%0.0	%0.0	%12.9	%14.7
P (-%40)												%10.7	%0.0	%0.0	%12.9	%14.8
P (-%50)													%6.7	%0.0	%8.9	%11.1
P (+%10)														-%1.4	-%0.2	%0.9
R_g (+%2)															%1.2	%0.0
R_g (+%4)																%2.3

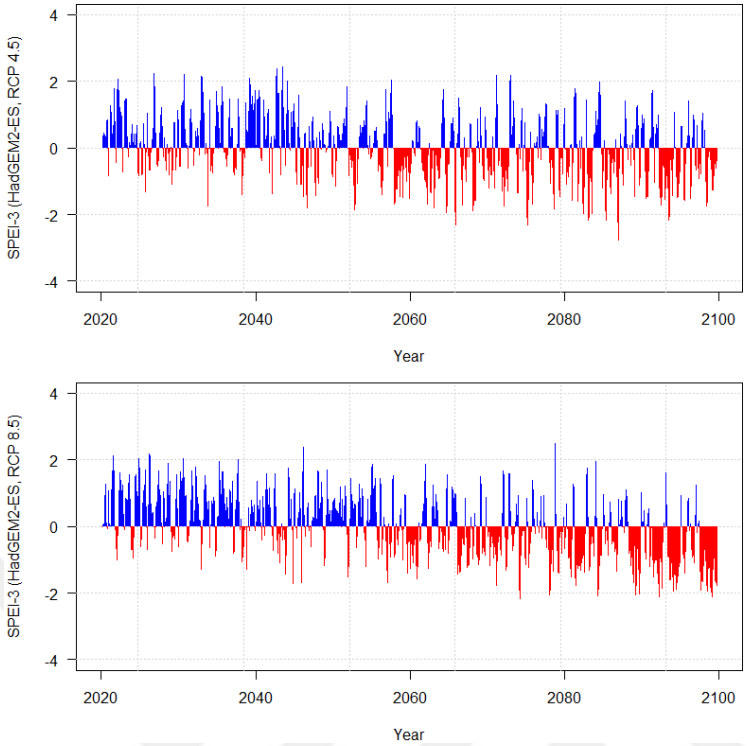
Çizelge A.34 : WOFOST Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi Verim Hassasiyet Analizi.

Tekirdağ WOFOST Buğday Verim Değişimi (%)	**T+1**	**T+2**	**T+3**	**T+4**	**T+5**	**T+6**	**T+7**	**T-1**	**P (-%10)**	**P (-%20)**	**P (-%30)**	**P (-%40)**	**P (-%50)**	**P (+%10)**	**R_g (+%2)**	**R_g (+%4)**
T+1	%3.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.8	-%12.1	-%17.0	-%23.1	-%34.6	%5.7	%3.0	%2.6
T+2		%8.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%4.8	-%8.9	-%14.5	-%20.4	-%32.9	%10.7	%7.4	%6.5
T+3			%12.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%7.9	-%6.2	-%13.6	-%18.4	-%32.1	%11.8	%11.1	%9.9
T+4				%14.3	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%9.9	-%3.6	-%12.1	-%16.5	-%32.9	%15.7	%13.5	%12.8
T+5					%16.0	%0.0	%0.0	%0.0	%11.1	-%1.6	-%11.4	-%14.5	-%34.1	%17.2	%15.3	%13.8
T+6						%17.2	%0.0	%0.0	%12.1	-%0.4	-%9.7	-%12.8	-%36.3	%17.9	%16.2	%15.3
T+7							%17.9	%0.0	%12.8	%0.6	-%8.9	-%13.3	-%39.4	%18.4	%17.2	%16.5
T-1								-%4.3	-%8.5	-%12.6	-%17.1	-%24.2	-%32.3	-%0.1	-%5.6	-%7.0
P (-%10)									-%3.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%3.6	-%4.3
P (-%20)										-%7.6	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%8.2	-%8.9
P (-%30)											-%12.3	%0.0	%0.0	%0.0	-%13.0	-%13.6
P (-%40)												-%18.8	%0.0	%0.0	-%19.6	-%20.3
P (-%50)													-%30.0	%0.0	-%30.9	-%31.9
P (+%10)														%4.9	%2.0	%1.4
R_g (+%2)															-%0.5	%0.0
R_g (+%4)																-%1.2

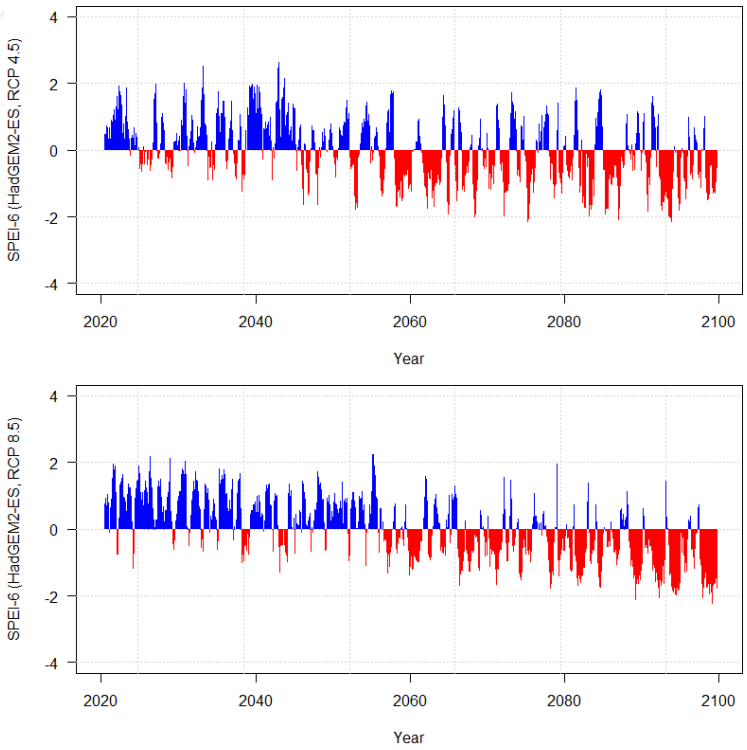
Çizelge A.35 : WOFOST Modeli ile Tekirdağ'da Yetiştirilen Kışlık Buğday Bitkisi SAİ Hassasiyet Analizi.

Tekirdağ WOFOST Buğday Su Ayak İzi (%)	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T-1	P (-%10)	P (-%20)	P (-%30)	P (-%40)	P (-%50)	P (+%10)	R_g (+%2)	R_g (+%4)
T+1	-%5.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%7.3	%0.5	%0.5	%0.5	%8.3	-%4.1	-%4.4	-%3.9
T+2		-%11.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%12.4	-%4.6	-%4.1	-%3.9	%4.8	-%10.4	-%10.1	-%8.3
T+3			-%15.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%15.6	-%7.9	-%6.4	-%8.3	%0.2	-%12.8	-%14.1	-%12.1
T+4				-%20.9	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%20.6	-%14.9	-%12.4	-%14.9	-%3.1	-%19.4	-%19.2	-%17.7
T+5					-%25.1	%0.0	%0.0	%0.0	-%24.7	-%19.5	-%16.7	-%19.8	-%3.7	-%23.8	-%23.7	-%21.9
T+6						-%29.9	%0.0	%0.0	-%29.5	-%24.3	-%22.0	-%24.6	-%3.1	-%28.7	-%28.5	-%23.7
T+7							-%34.4	%0.0	-%33.6	-%29.2	-%27.0	-%28.5	-%4.1	-%33.4	-%33.1	-%31.8
T-1								%6.0	%6.0	%4.3	%3.2	%3.9	%6.3	%6.0	%8.4	%10.8
P (-%10)									-%1.4	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	%0.1	%1.6
P (-%20)										-%2.8	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%1.4	%0.2
P (-%30)											-%3.6	%0.0	%0.0	%0.0	-%2.2	-%0.8
P (-%40)												-%3.6	%0.0	%0.0	-%2.0	-%0.4
P (-%50)													%2.0	%0.0	%4.2	%6.6
P (+%10)														-%0.8	%2.9	%4.3
R_g (+%2)															%1.4	%0.0
R_g (+%4)																%2.8

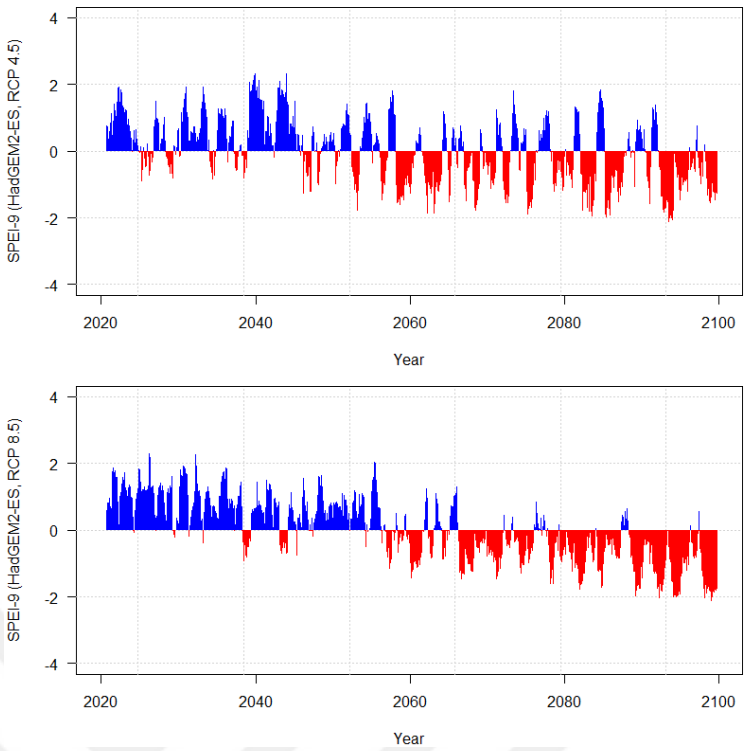
EK B: SPEI İndeksi Zaman Serileri



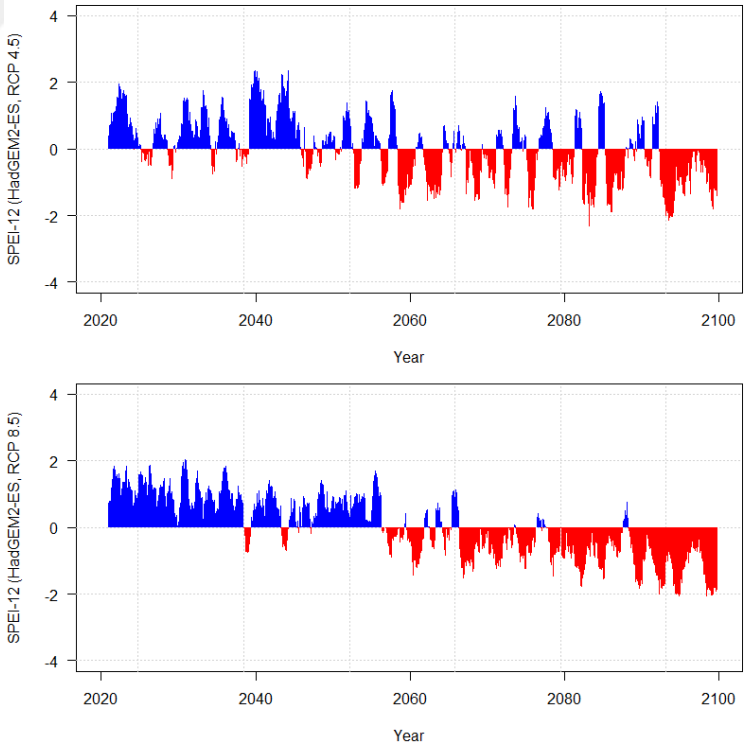
Şekil B.1 : Çorlu'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri.



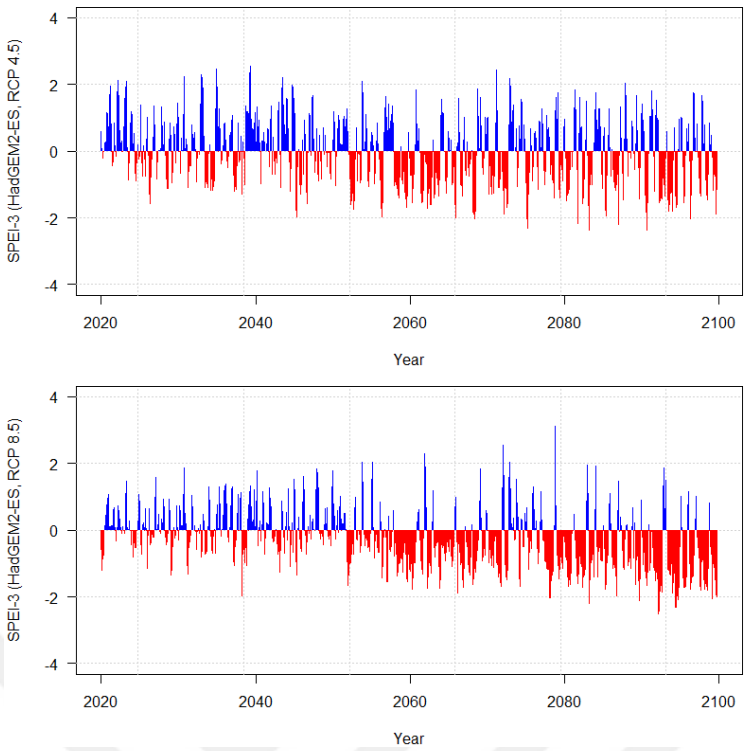
Şekil B.2 : Çorlu'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri.



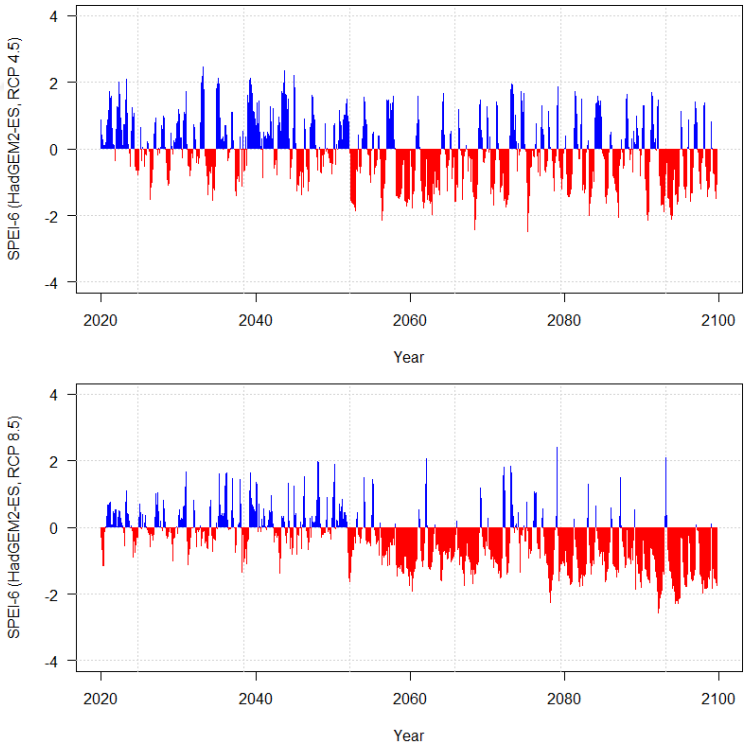
Şekil B.3 : Çorlu'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri.



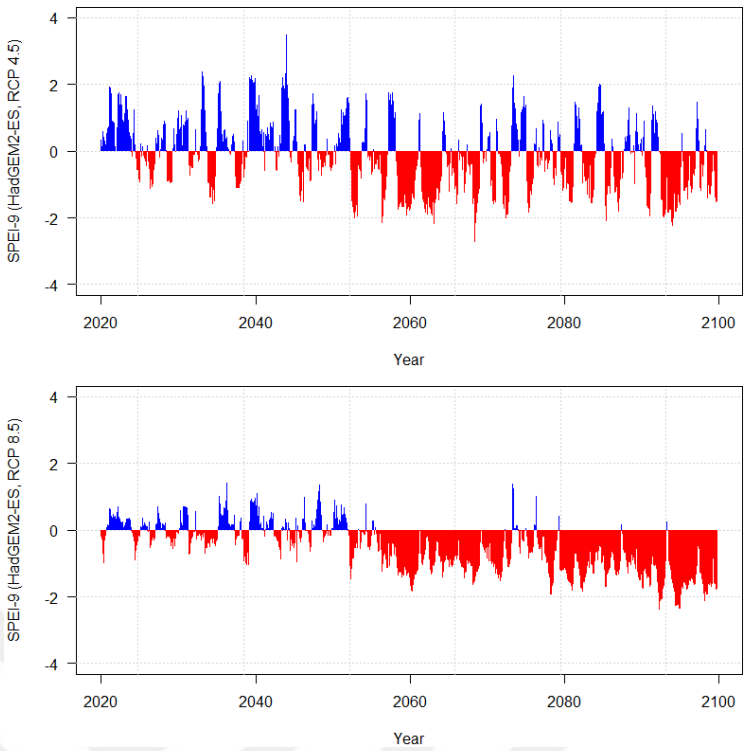
Şekil B.4 : Çorlu'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri.



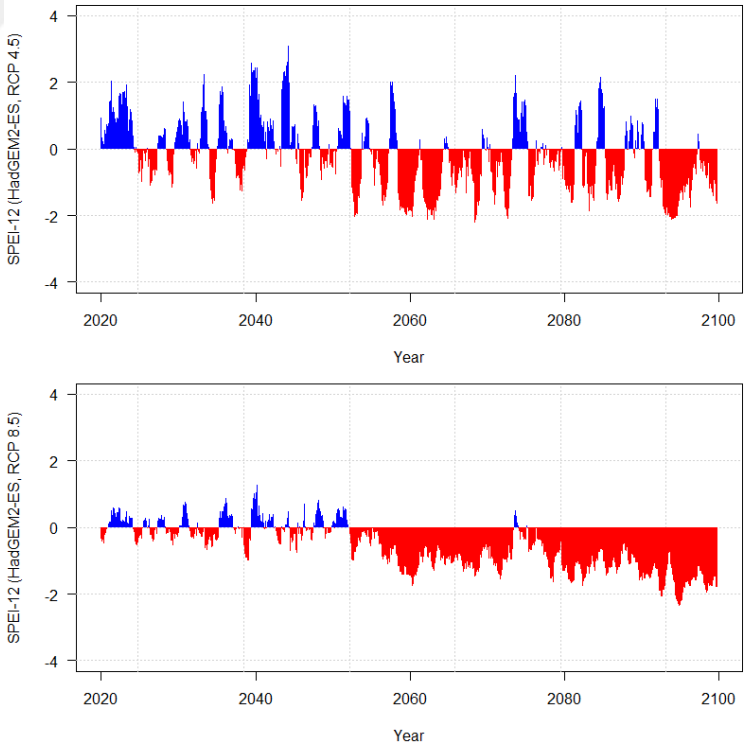
Şekil B.5 : Edirne'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri.



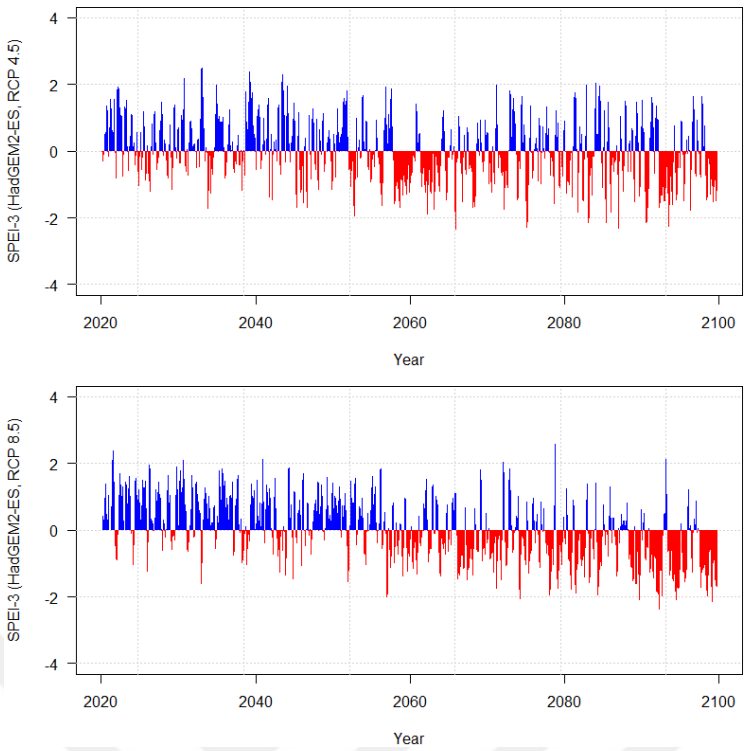
Şekil B.6 : Edirne'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri.



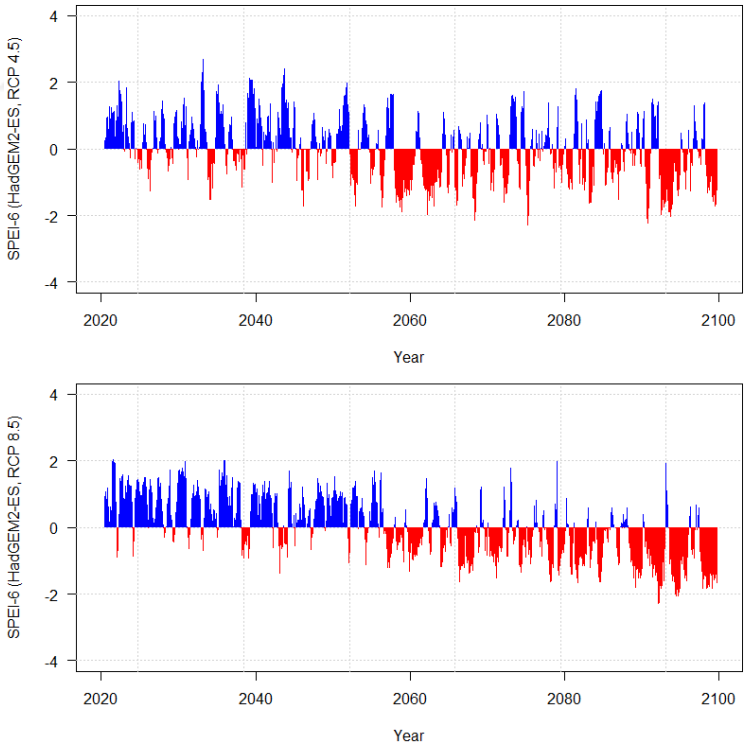
Şekil B.7 : Edirne'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri.



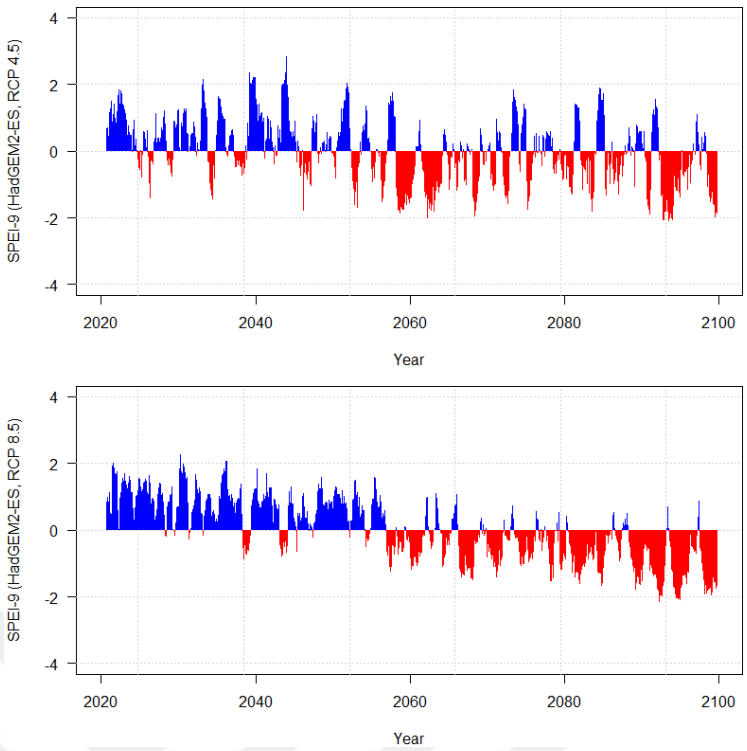
Şekil B.8 : Edirne'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri.



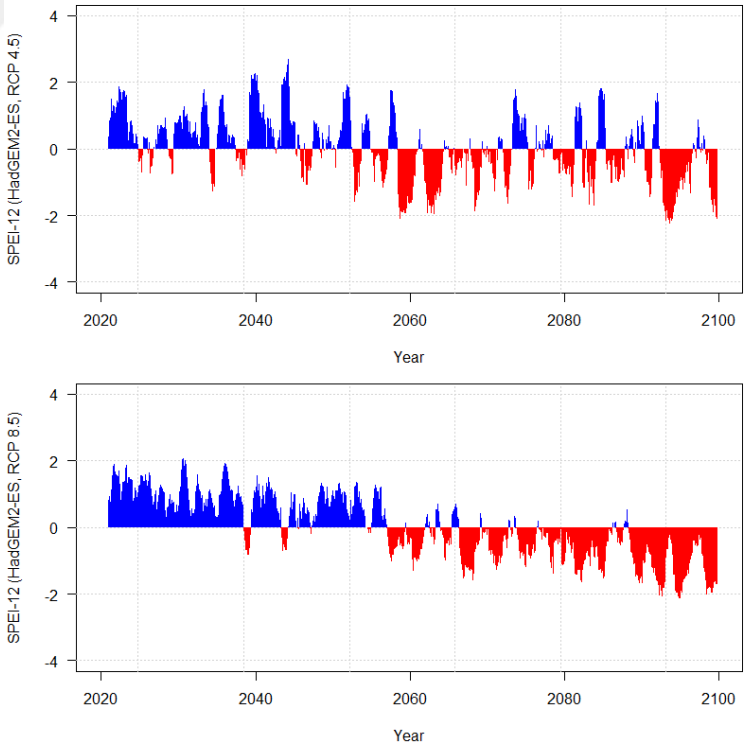
Şekil B.9 : İpsala'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri.



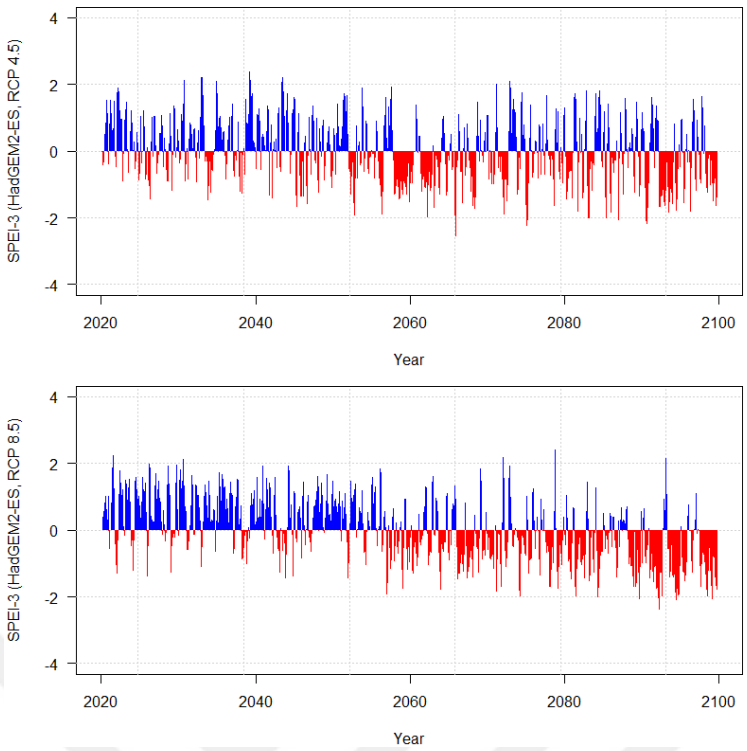
Şekil B.10 : İpsala'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri.



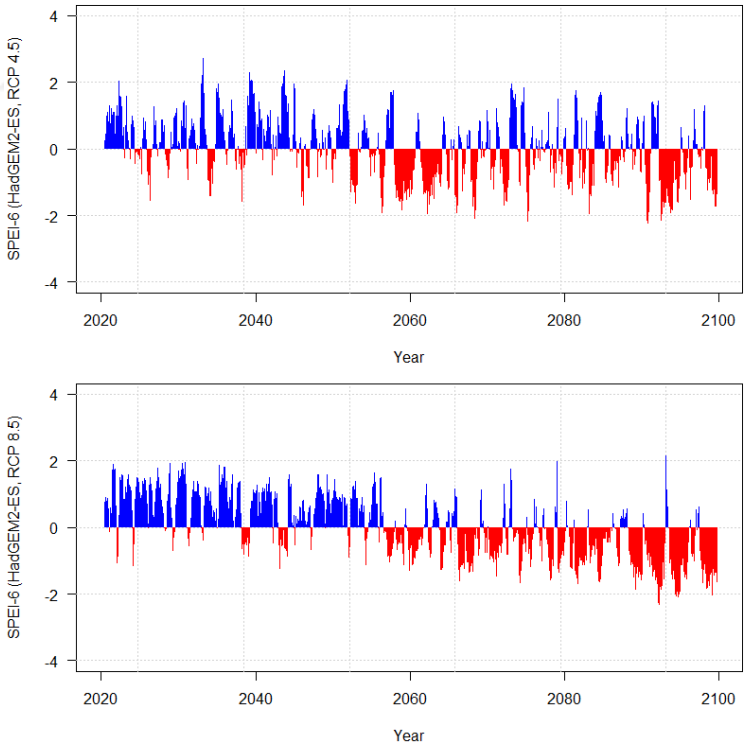
Şekil B.11 : İpsala'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri.



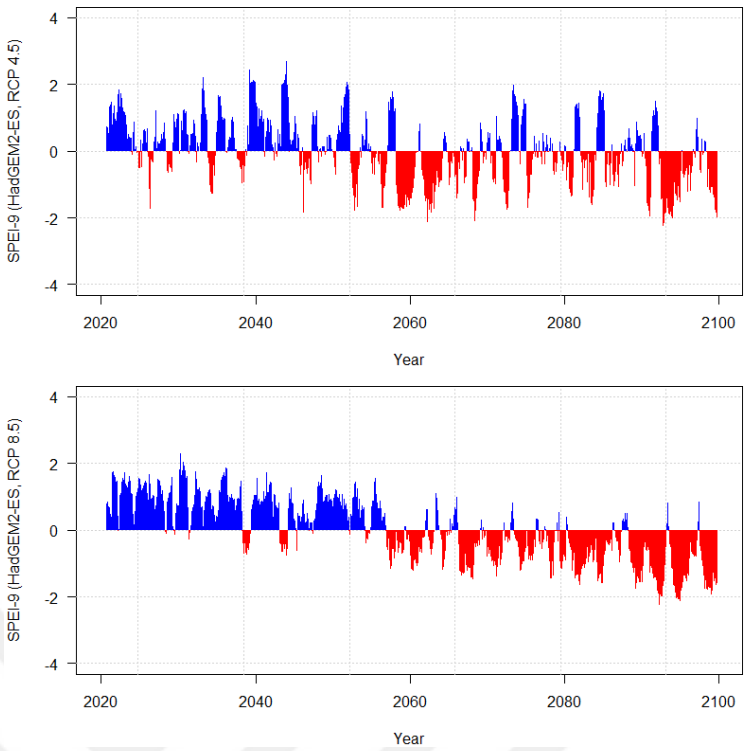
Şekil B.12 : İpsala'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri.



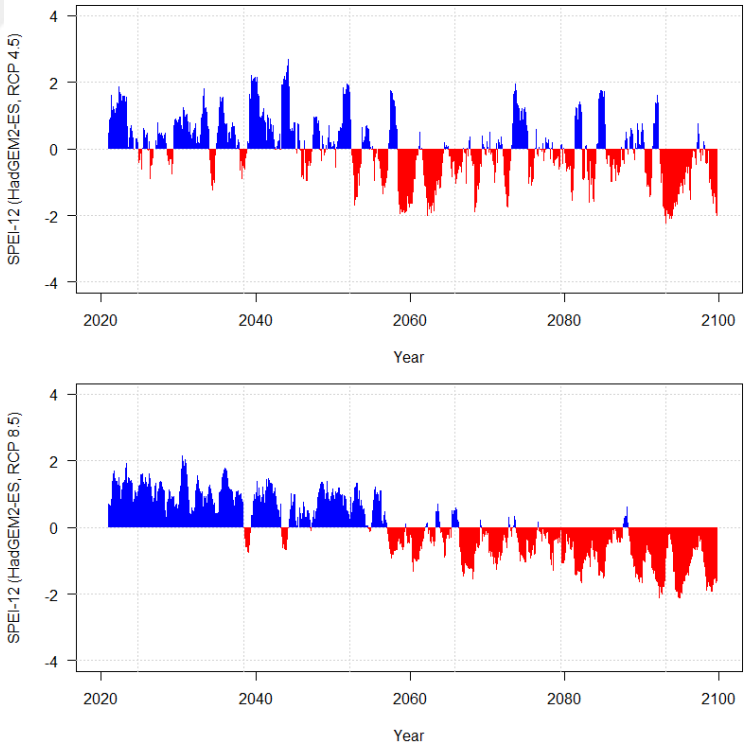
Şekil B.13 : Kırklareli'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri.



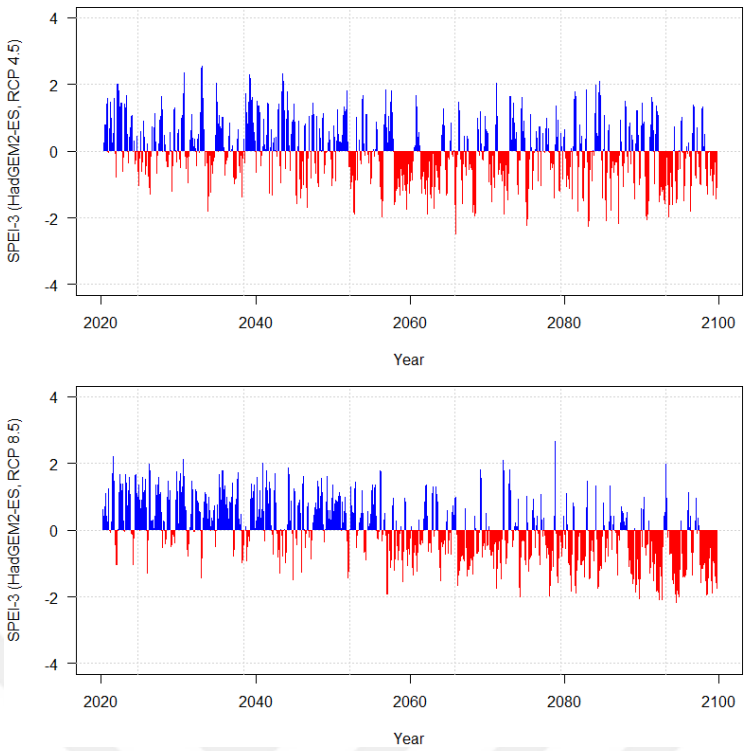
Şekil B.14 : Kırklareli'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri.



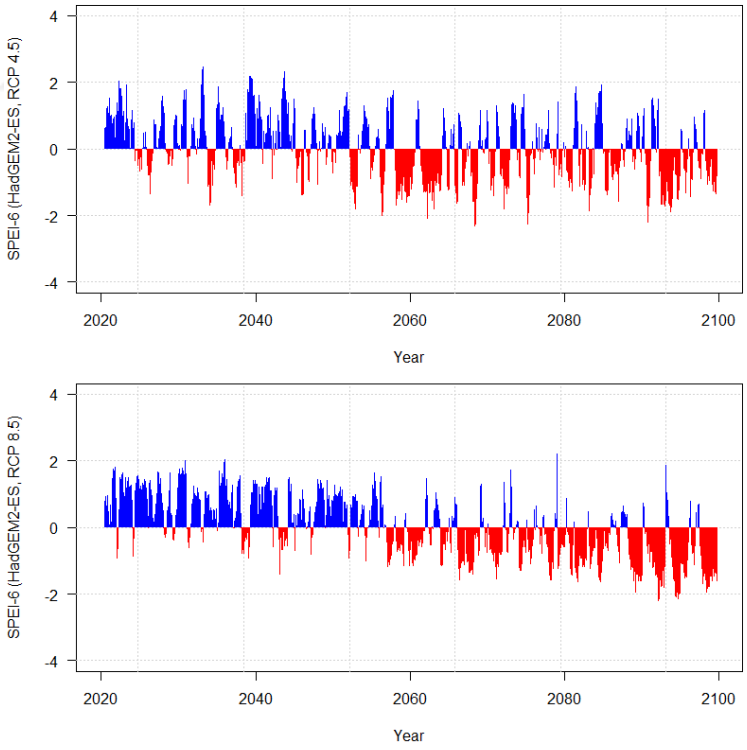
Şekil B.15 : Kırklareli'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri.



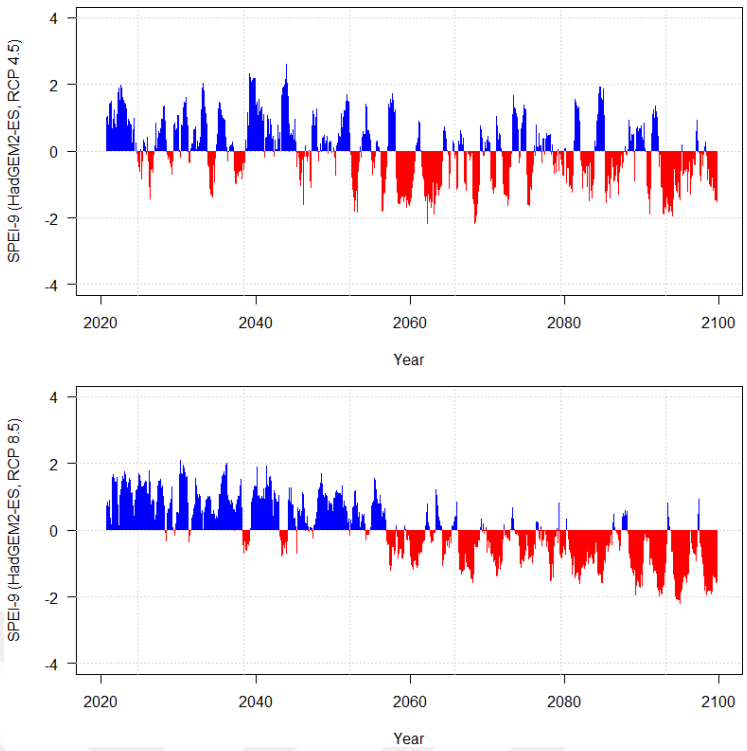
Şekil B.16 : Kırklareli'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri.



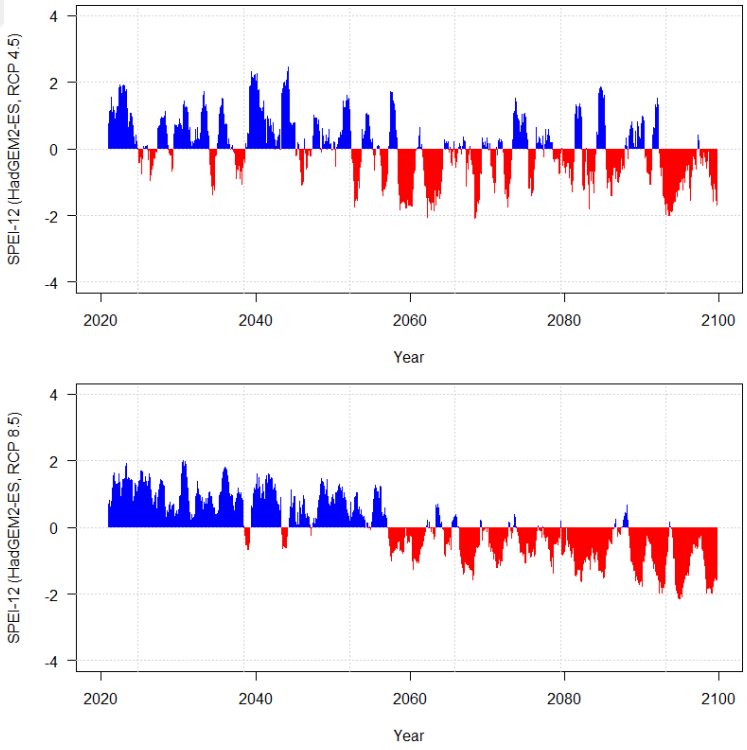
Şekil B.17 : Lüleburgaz'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri.



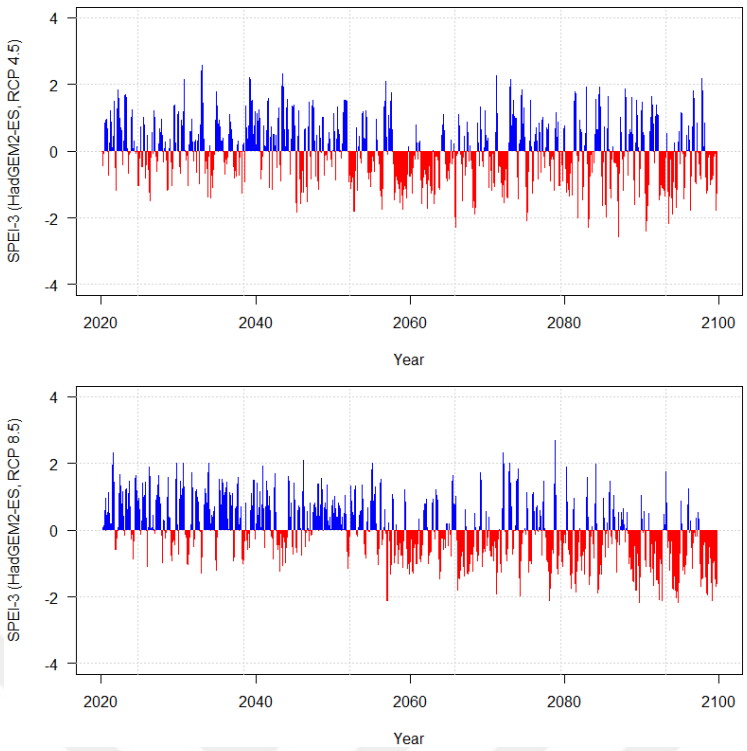
Şekil B.18 : Lüleburgaz'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri.



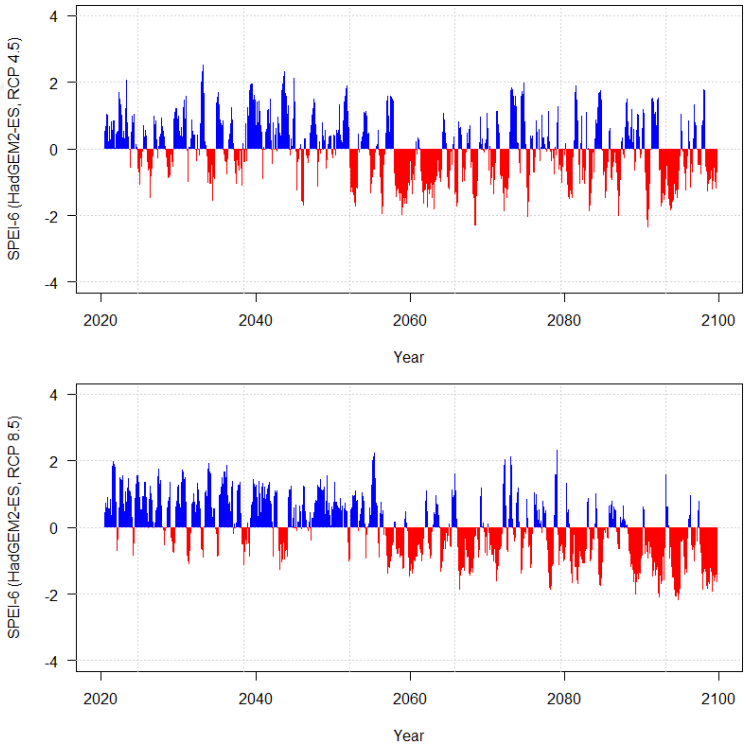
Şekil B.19 : Lüleburgaz'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri.



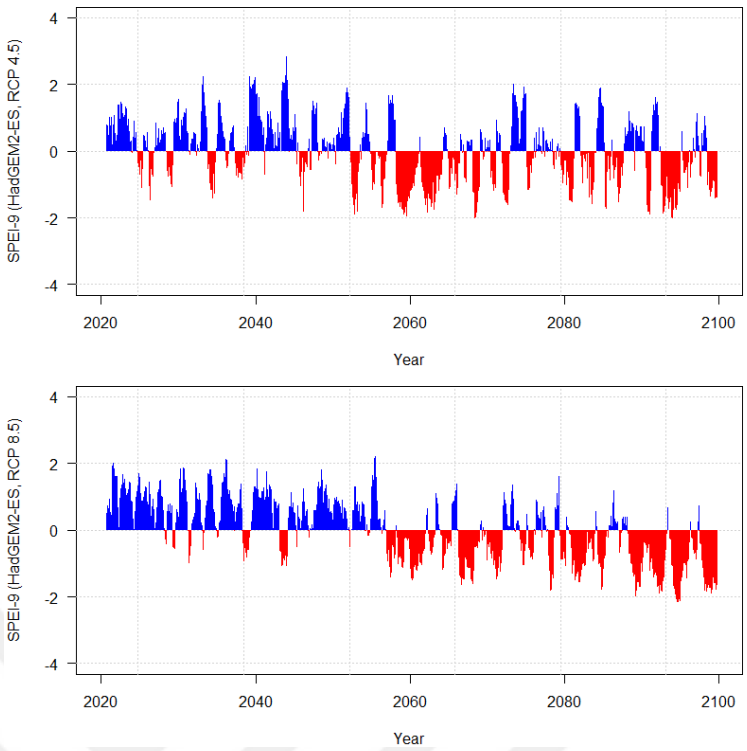
Şekil B.20 : Lüleburgaz'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri.



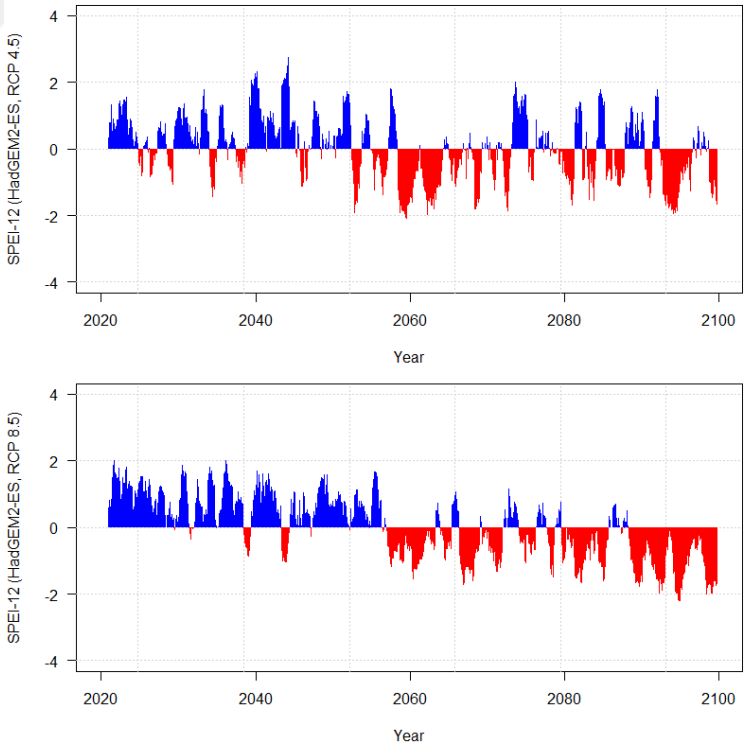
Şekil B.21 : Malkara'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri.



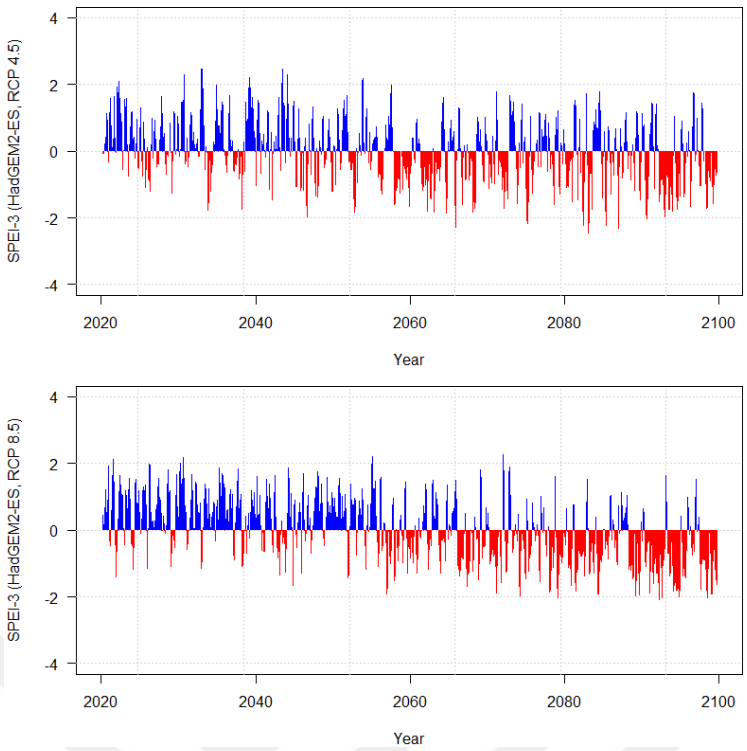
Şekil B.22 : Malkara'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri.



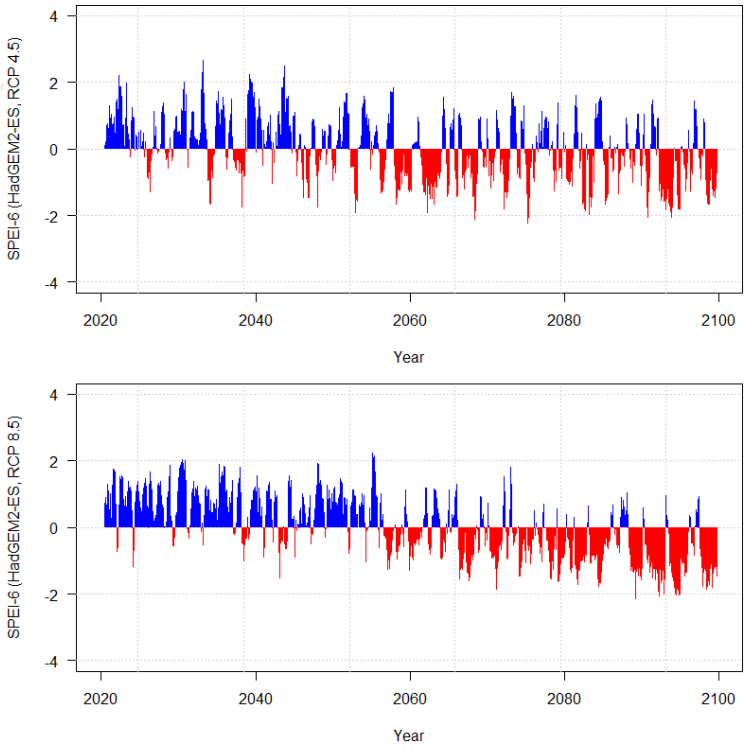
Şekil B.23 : Malkara'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri.



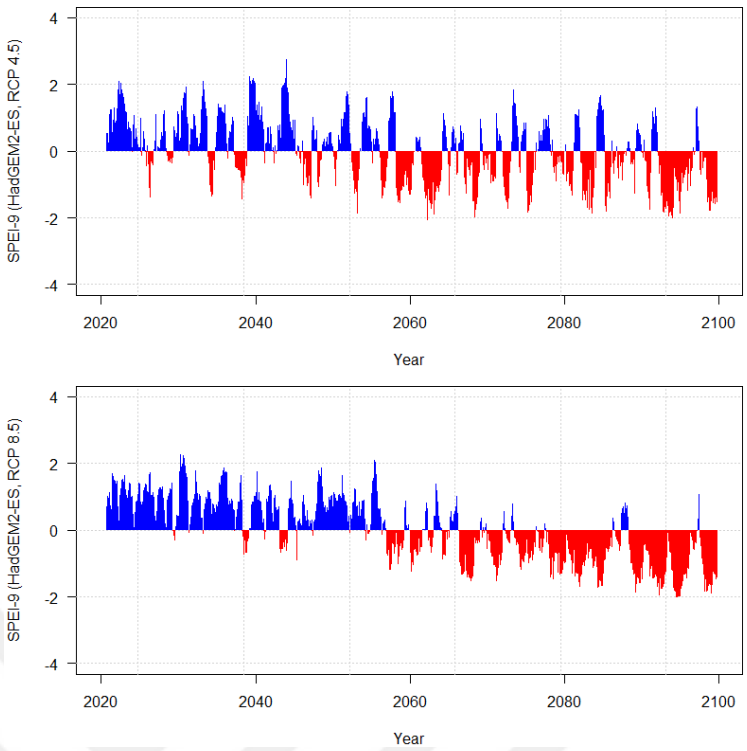
Şekil B.24 : Malkara'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri.



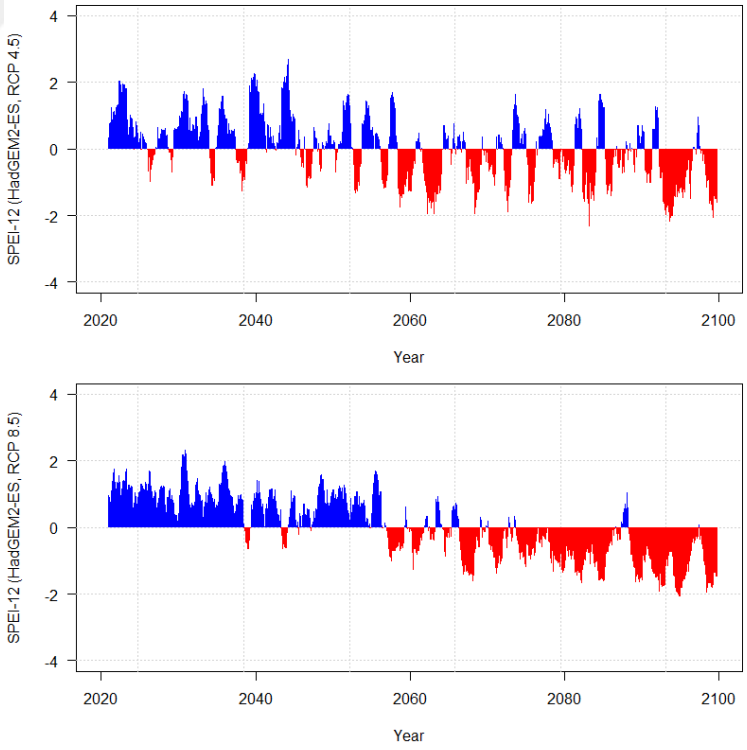
Şekil B.25 : Pınarhisar'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri.



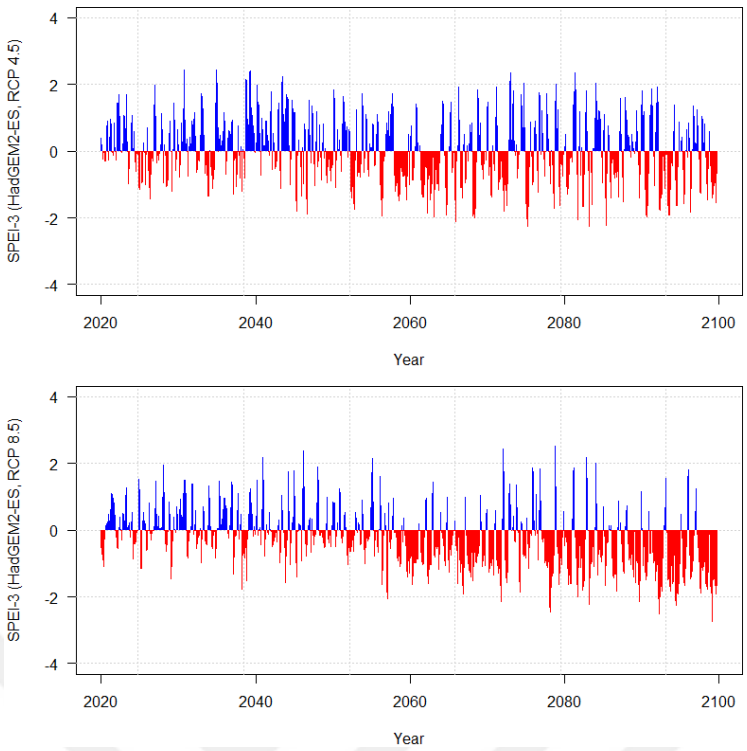
Şekil B.26 : Pınarhisar'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri.



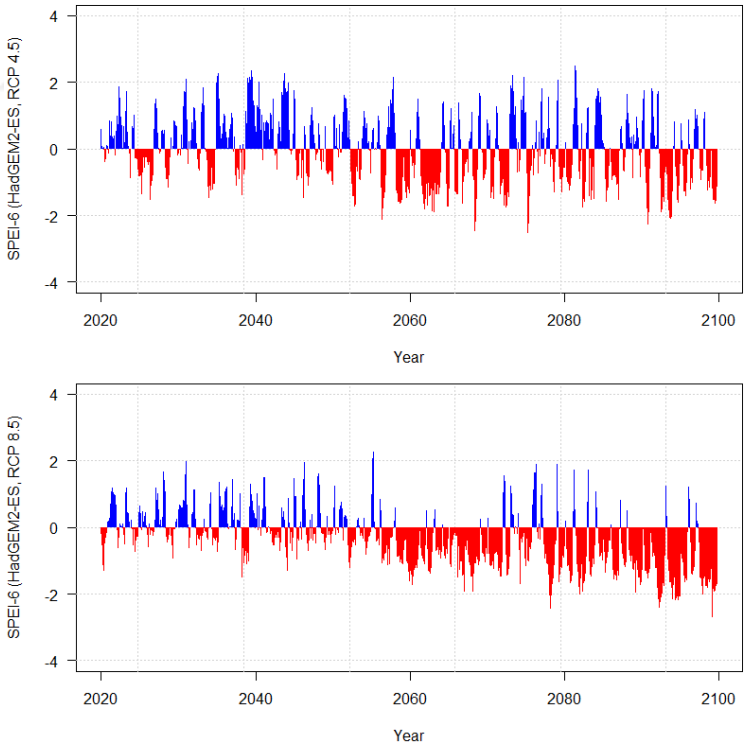
Şekil B.27 : Pınarhisar'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri.



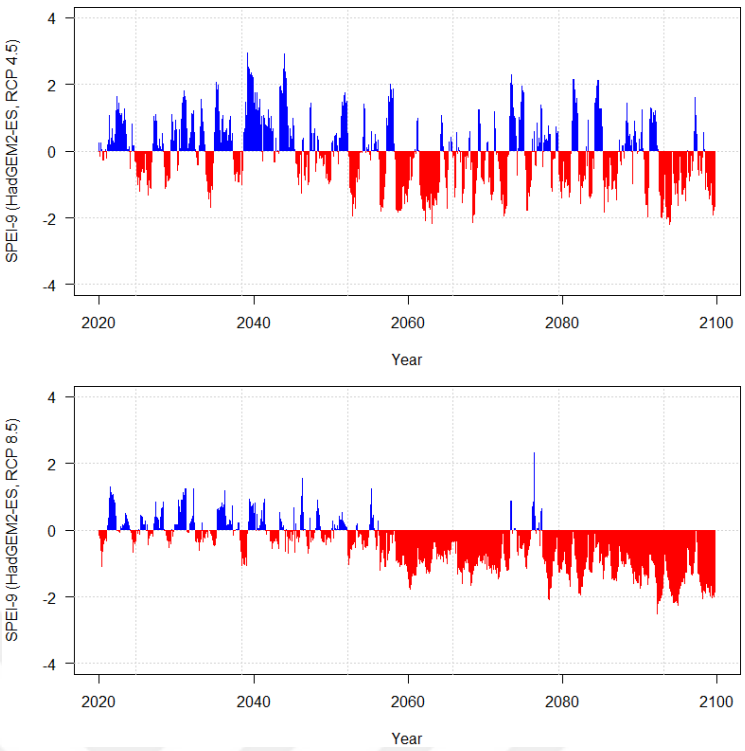
Şekil B.28 : Pınarhisar'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri.



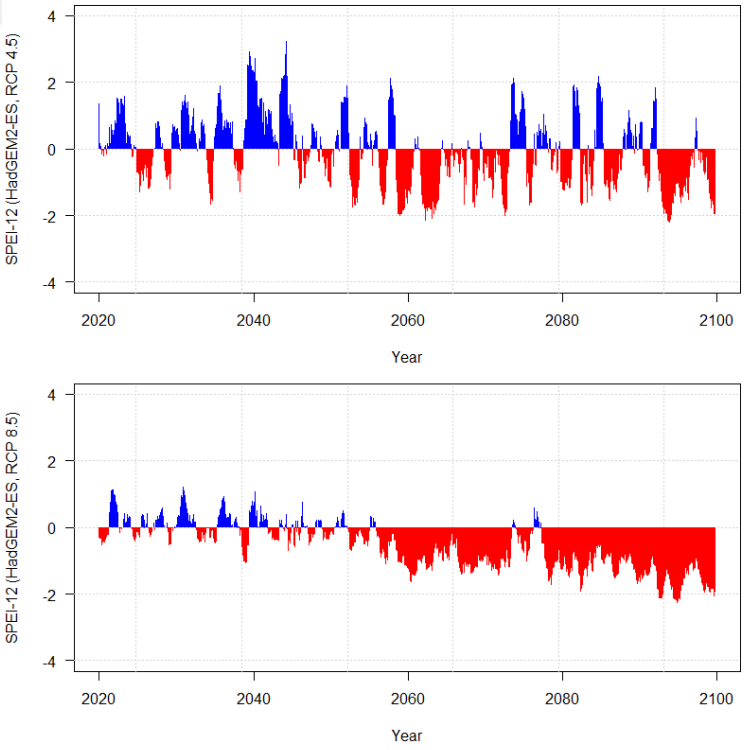
Şekil B.29 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri.



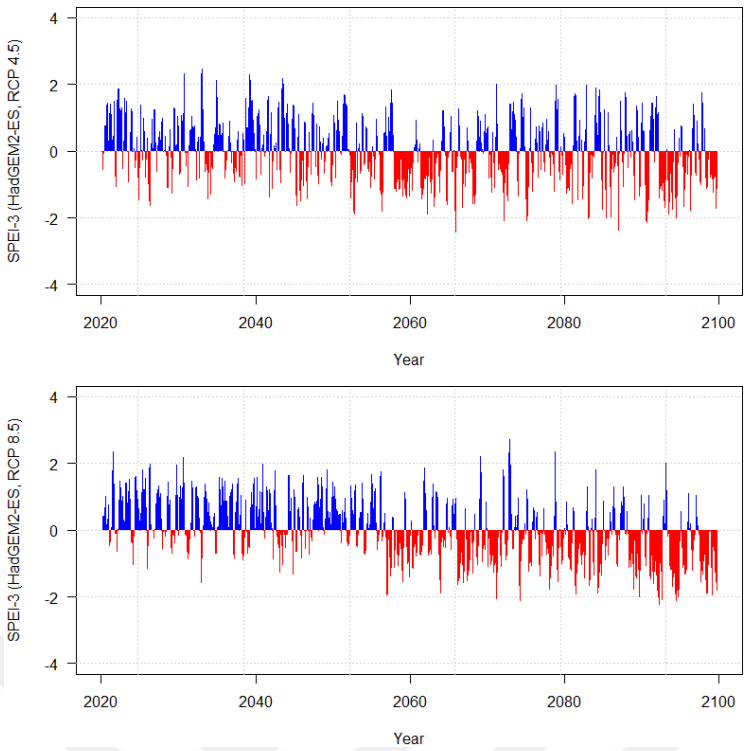
Şekil B.30 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri.



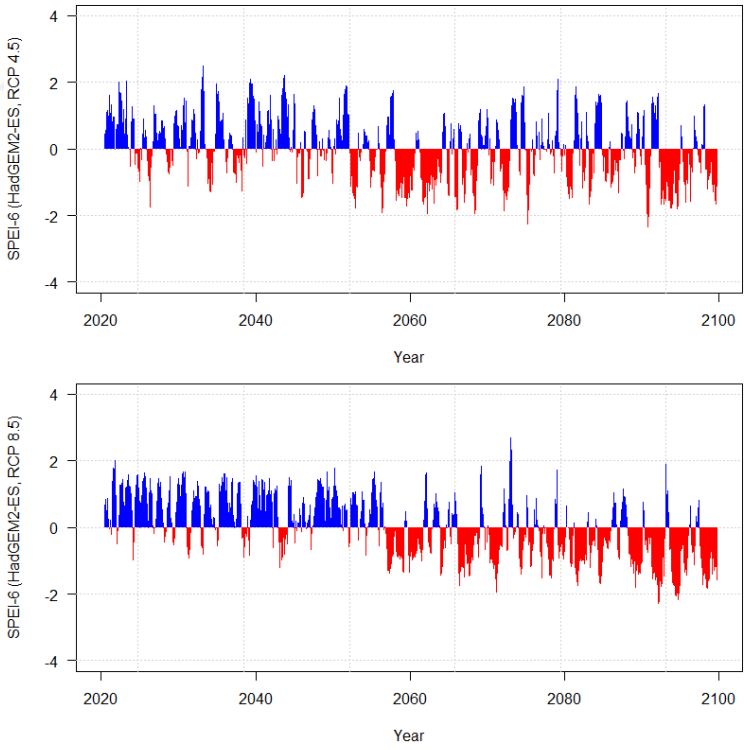
Şekil B.31 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri.



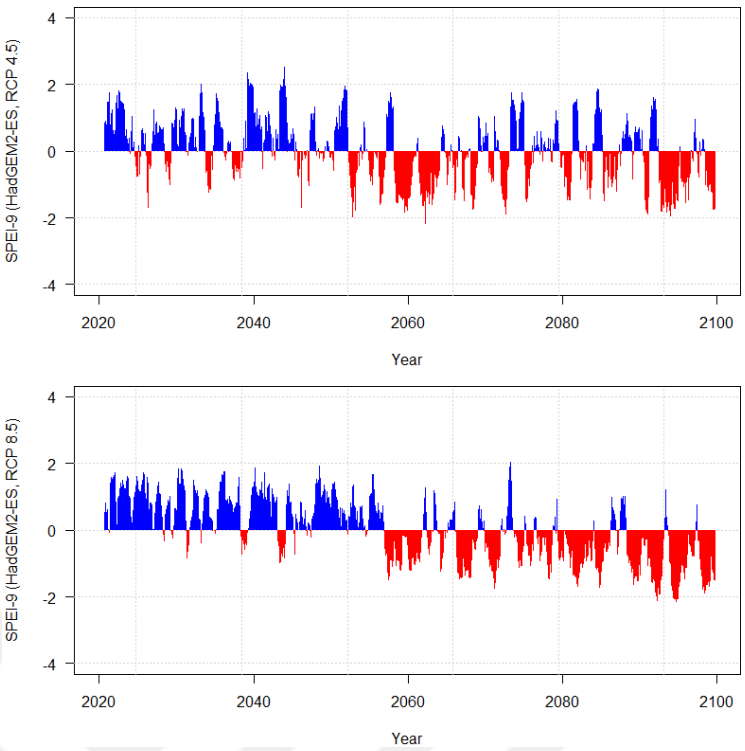
Şekil B.32 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri.



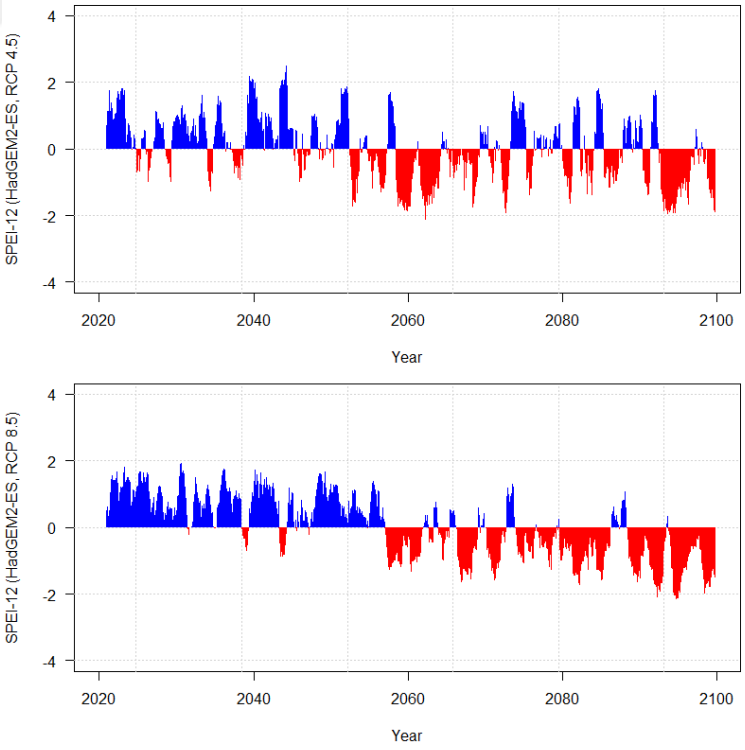
Şekil B.33 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 3-Aylık SPEI Zaman Serileri.



Şekil B.34 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 6-Aylık SPEI Zaman Serileri.

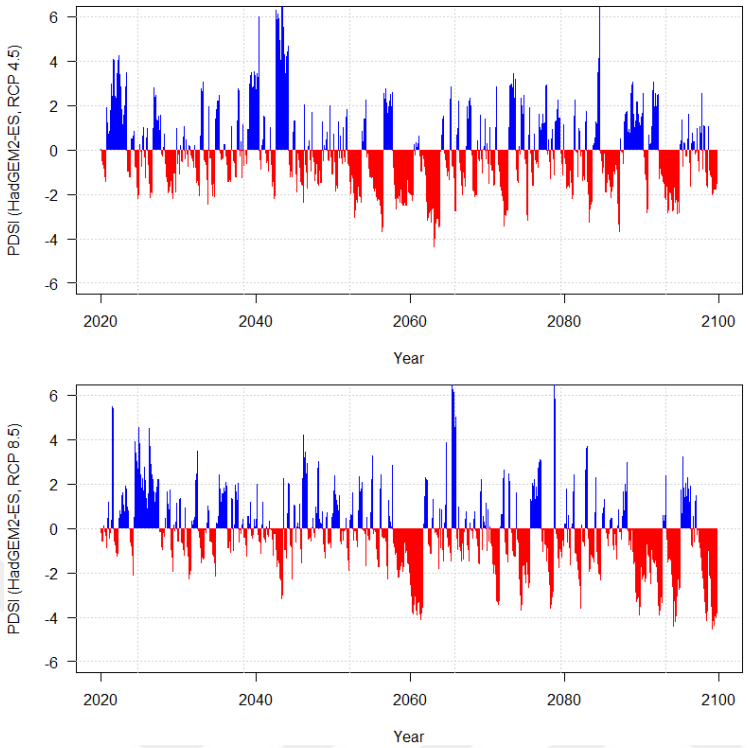


Şekil B.35 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 9-Aylık SPEI Zaman Serileri.

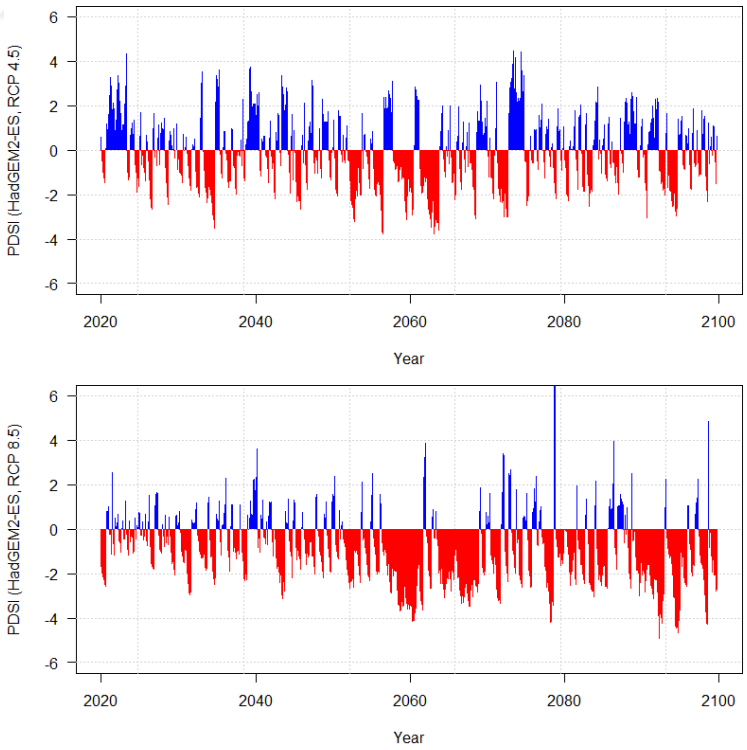


Şekil B.36 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış 12-Aylık SPEI Zaman Serileri.

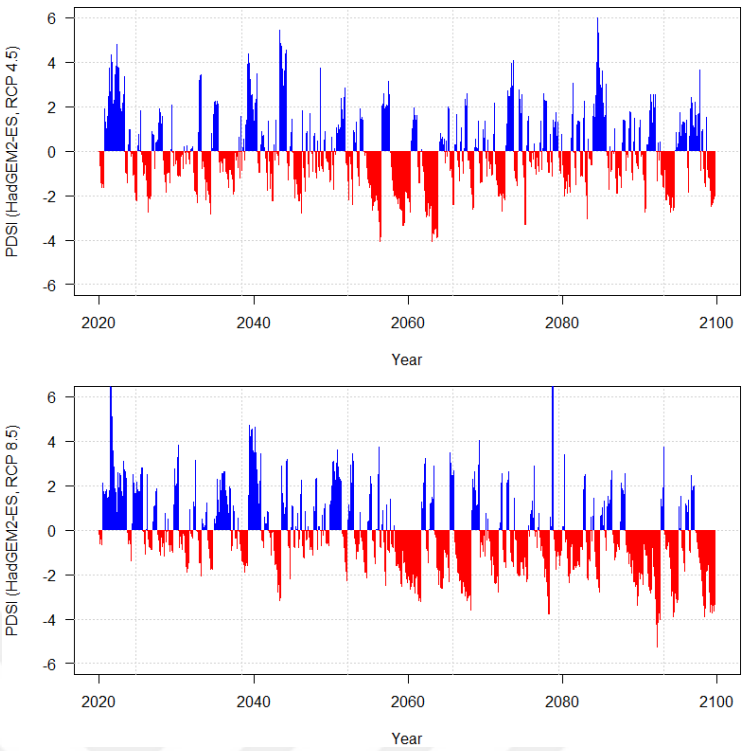
EK C: PDSI ve sc-PDSI İndeksleri Zaman Serileri



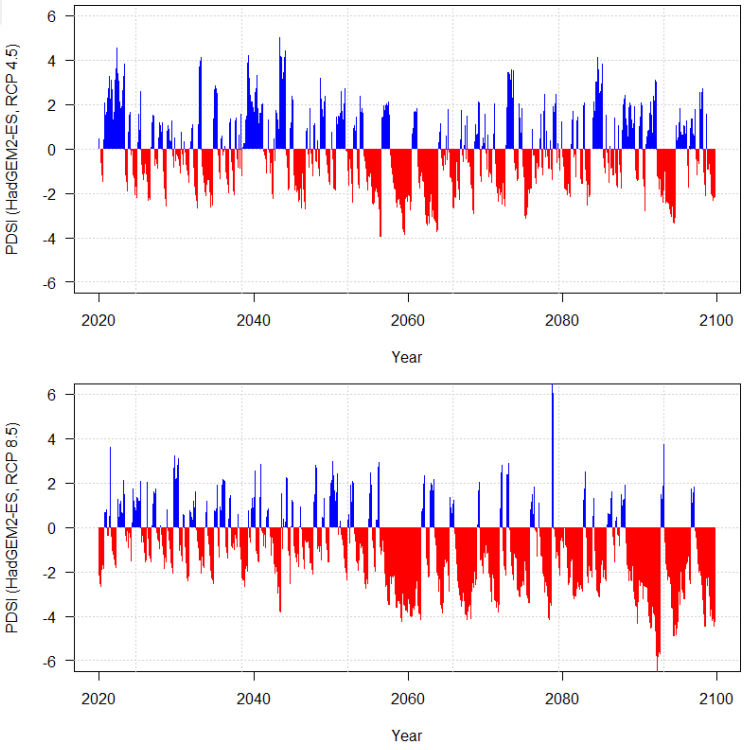
Şekil C.1 : Çorlu'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.



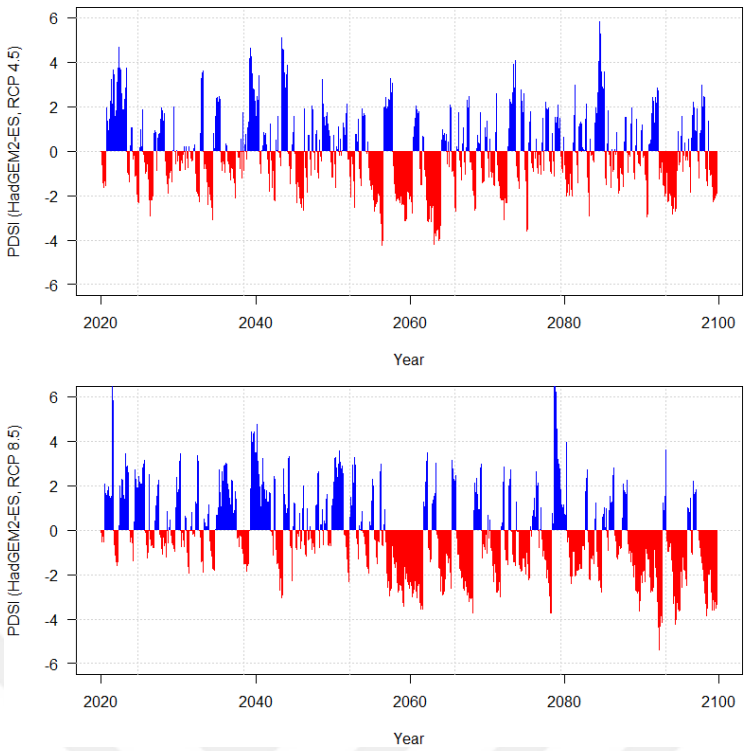
Şekil C.2 : Edirne'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.



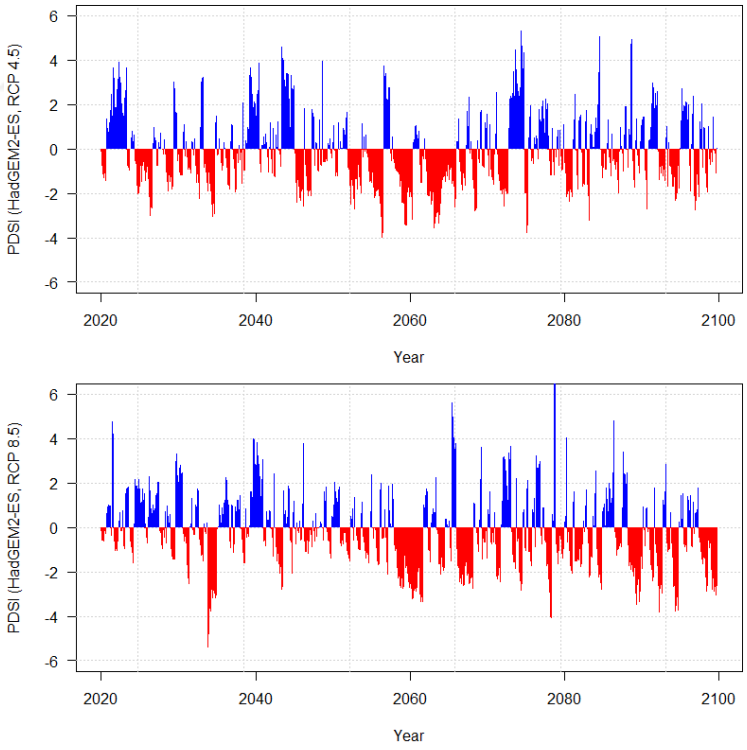
Şekil C.3 : İpsala'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.



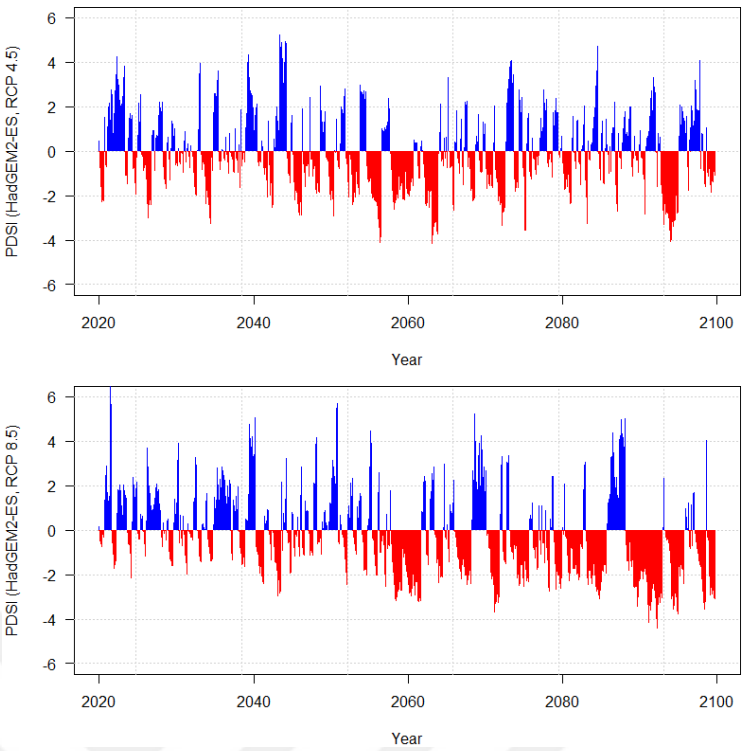
Şekil C.4 : Kırklareli'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.



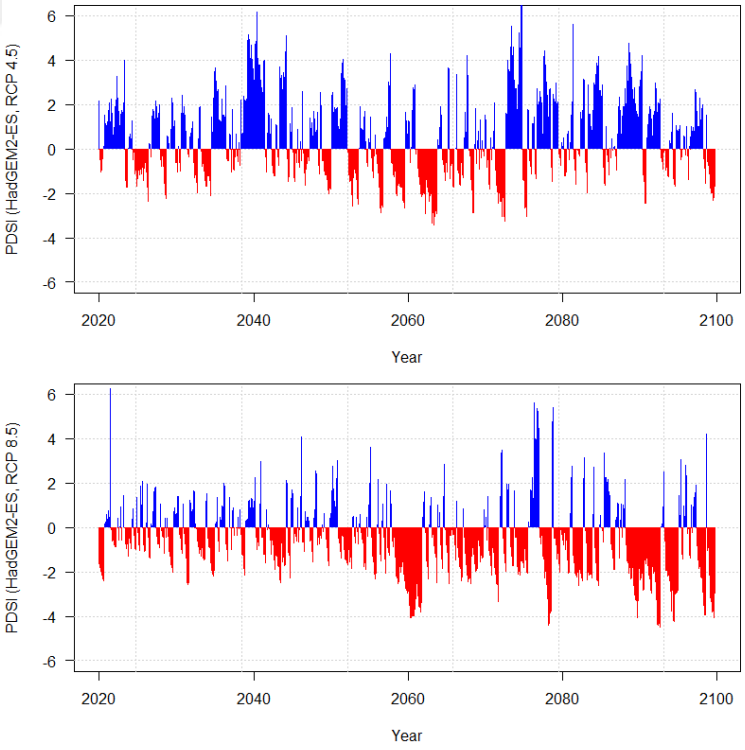
Şekil C.5 : Lüleburgaz'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.



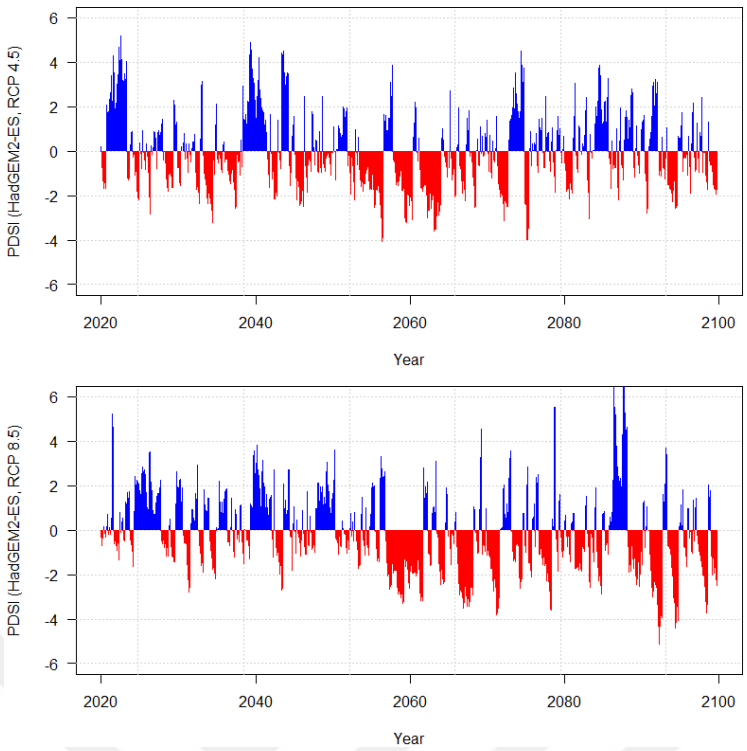
Şekil C.6 : Malkara'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.



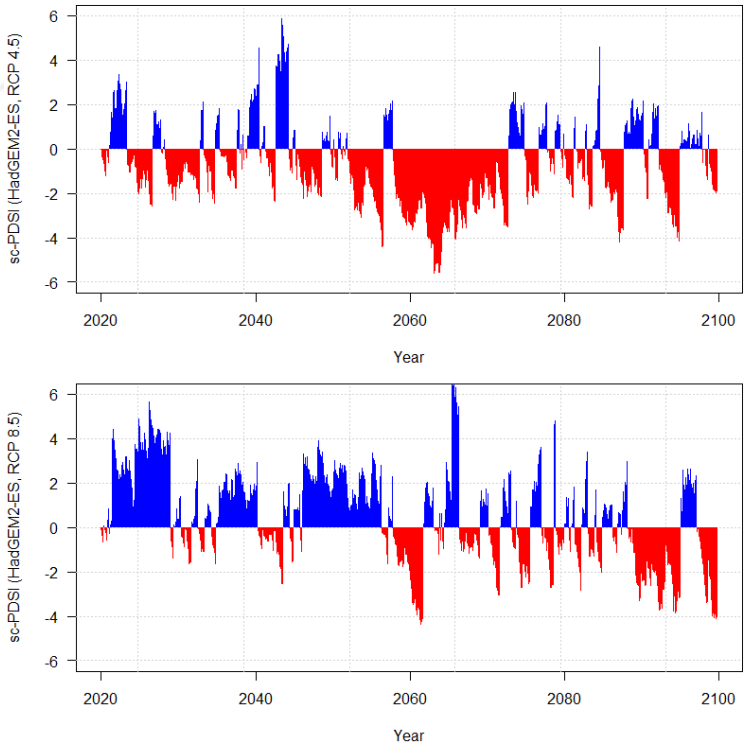
Şekil C.7 : Pınarhisar'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.



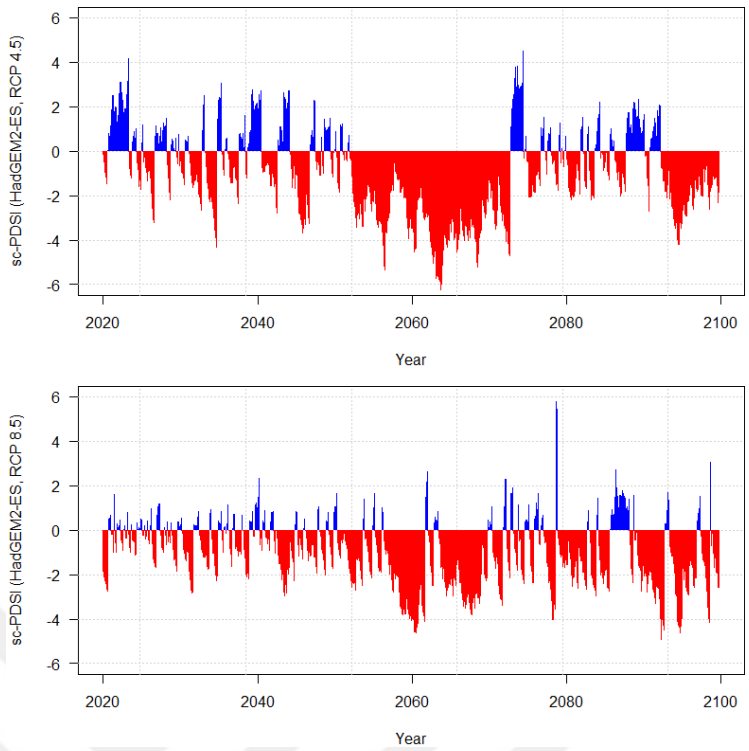
Şekil C.8 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.



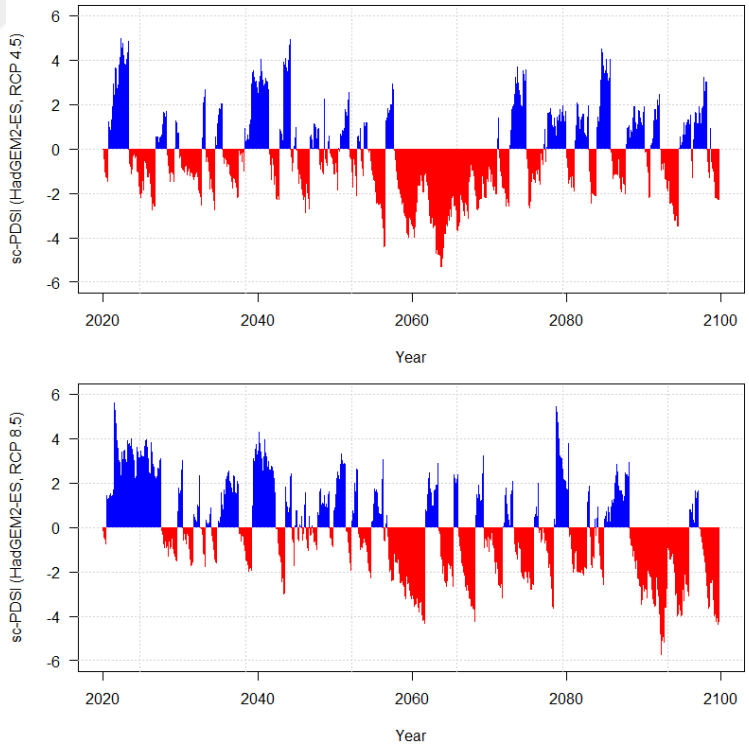
Şekil C.9 : Uzunköprü'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış PDSI Zaman Serileri.



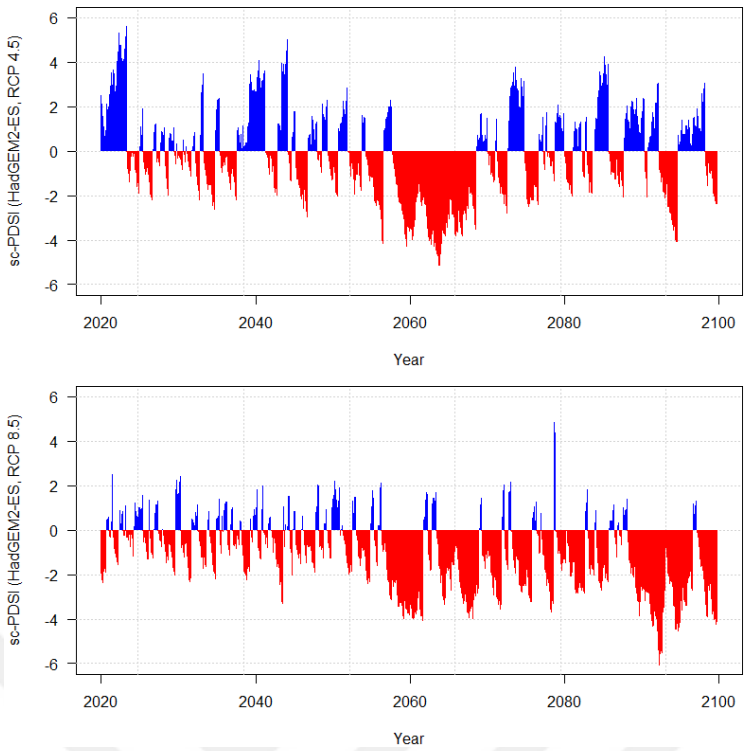
Şekil C.10 : Çorlu'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri.



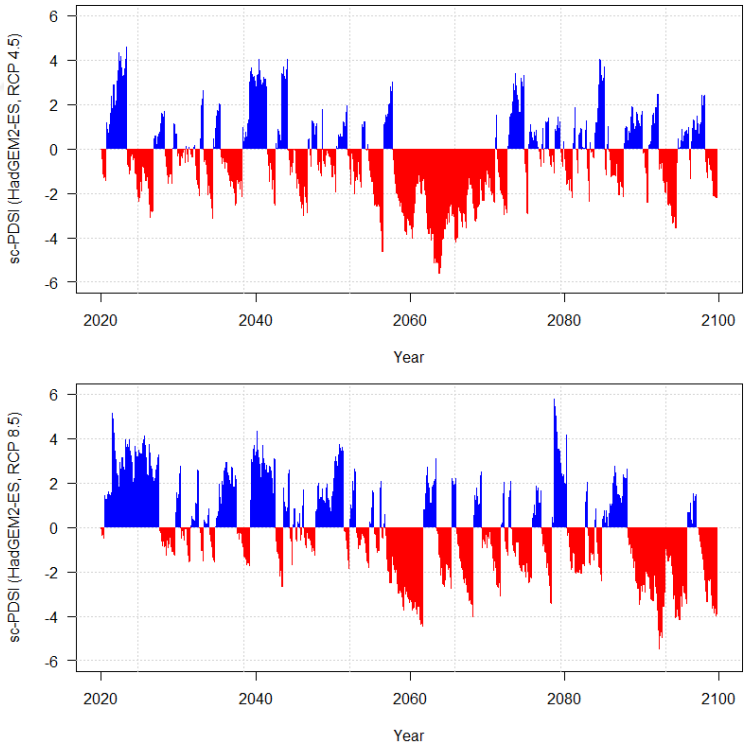
Şekil C.11 : Edirne'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri.



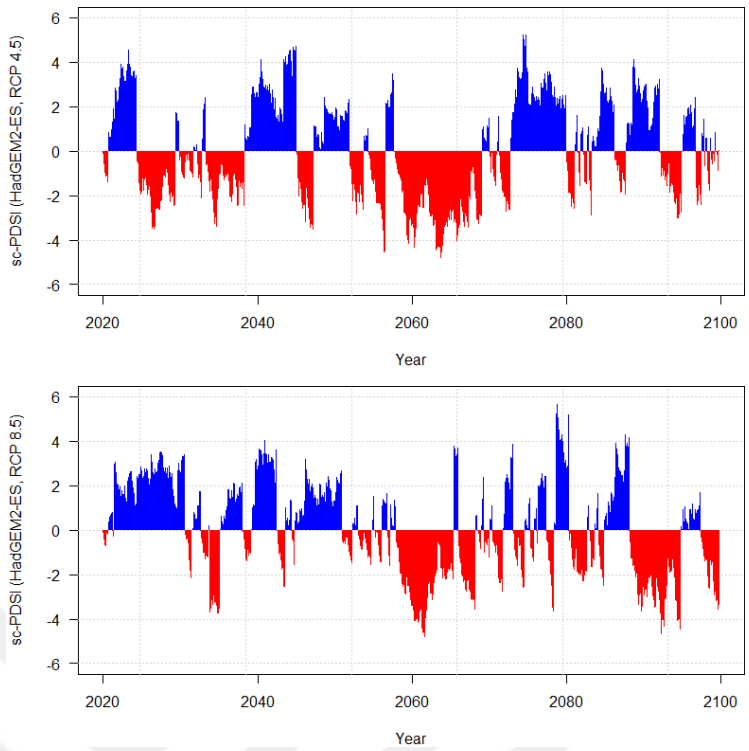
Şekil C.12 : İpsala'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri.



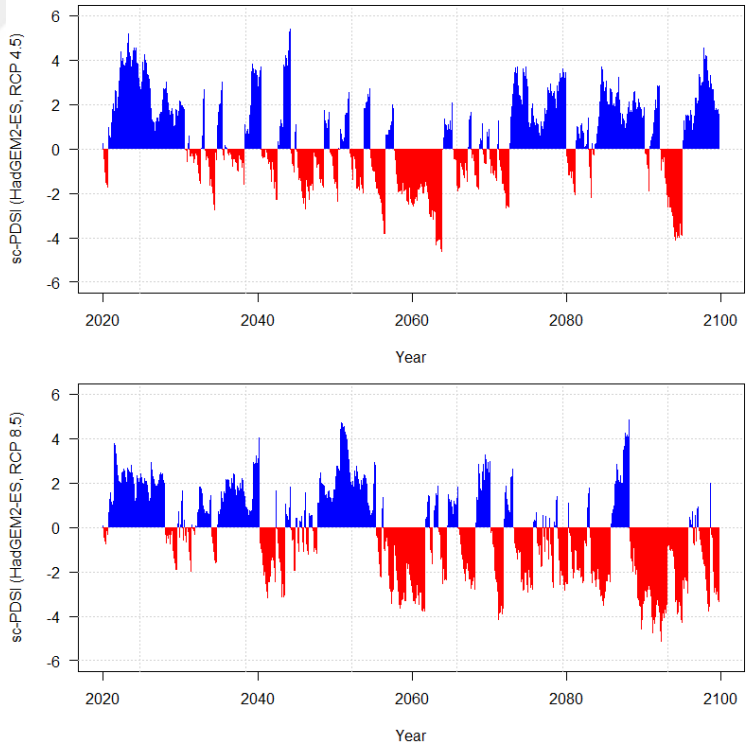
Şekil C.13 : Kırklareli'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri.



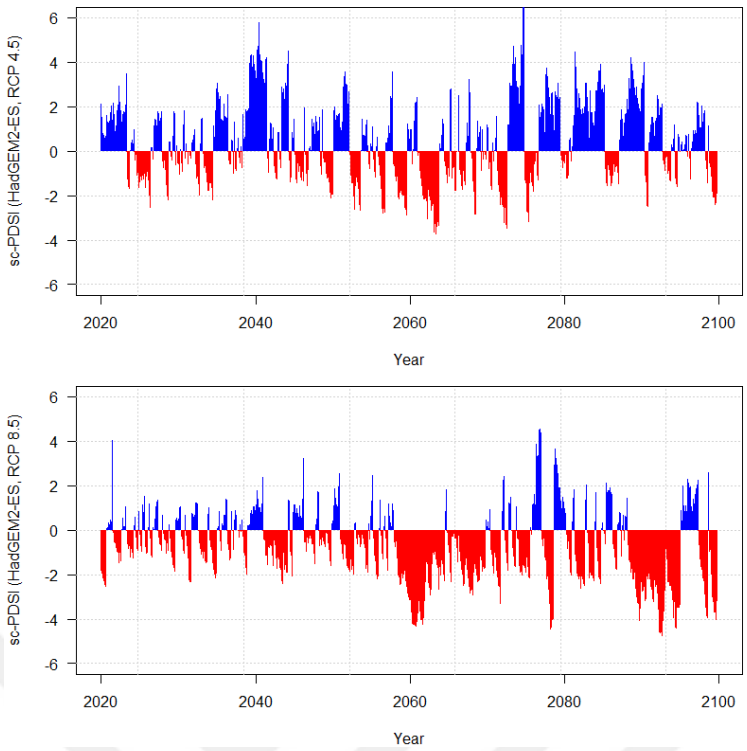
Şekil C.14 : Lüleburgaz'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri.



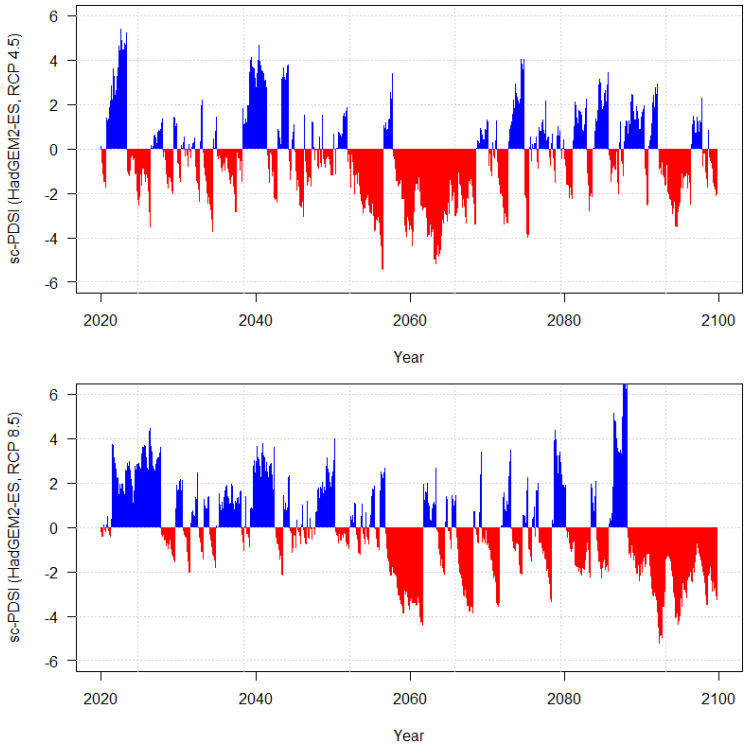
Şekil C.15 : Malkara'ya ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri.



Şekil C.16 : Pınarhisar'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri.



Şekil C.17 : Tekirdağ'a ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri.



Şekil C.18 : Uzunköprü'ye ait HADGEM2-ES Modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryo Sonuçlarına Göre Hesaplanmış sc-PDSI Zaman Serileri.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Serhan Yeşilköy
E-posta : yesilkoy@itu.edu.tr, serhan.mto@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Atmosfer Bilimleri Programı
- **Yüksek Lisans** : 2018, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Bilgi Teknolojileri (IT)

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Kırklareli Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü (2012 Kasım – 2017 Kasım)
- İstanbul İl Tarım ve Orman Müdürlüğü (2017 Kasım – Devam Ediyor)
- MacCready Ödülü OSTIV 2017
- En İyi Bildiri Ödülü – 2. Uluslararası Temiz Enerji Sempozyumu (2017)

GÖREV ALDIĞI PROJELER

1. AquaCrop Modeli ile Ayçiçeği ve Buğday Bitkisinin İklim Değişimine Olan Hassasiyetinin Analizi, TAGEM (2014 – Devam Ediyor).
2. Trakya Bölgesinde Yetiştirilen Bazı Buğday ve Ayçiçeği Çeşitlerinin Albedo Değerlerinin İzlenmesi ve Analizi, TAGEM (2014 – Devam Ediyor).
3. Şanlıurfa-Harran Ovası Topraklarının Mevsimsel ve Yıllık Karbondioksit Çıkışı Miktarının Belirlenmesi, TAGEM (2014 – Devam Ediyor).

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR VE SUNUMLAR:

- **Yeşilköy, S.,** Şaylan L. (2020). Assessment and Modelling of Crop Yield and Water Footprint of Winter Wheat by AquaCrop. Italian Journal of Agrometeorology (3): 3-14. doi: 10.13128/ijam-859
- Şaylan, L., **Yeşilköy, S.**, Bakanoğulları, F., Çaldağ, B. 2018. AquaCrop Modeli ile Trakya'da Ayçiçeği ve Kışlık Buğday Bitki Rotasyonu Simülasyonu. Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi. 30 Mayıs – 2 Haziran, İzmir.

- Bakanoğulları, F., **Yeşilköy, S.**, Akataş, N., Çaldağ, B., Şaylan, L. 2017. Modelling the Adaptation Capabilities of Sunflower and Winter Wheat to Crop Rotation and Possible Climate Change in Thrace. 3rd International Symposium for Agriculture and Food. 18-20 October, Ohrid/Macedonia.

DİĞER YAYINLAR VE SUNUMLAR:

- Şaylan, L., **Yeşilköy S.** 2019. Effects of environmental factors on greenhouse gas exchange of agricultural ecosystem: Wheat. IV ECOCEE, 17-18 June, Istanbul.
- Gülle Sakin, E. D., **Yeşilköy, S.**, Şaylan, L., Sakin, E. 2019. Tillage Impacts on Soil CO_2 and H_2O Fluxes. 9th International Symposium on Atmospheric Sciences. 23-26 October, Istanbul, 759-763.
- Şaylan, L., Aslan, T., Altınbaş, N., **Yeşilköy, S.**, Çaldağ, B., Bakanoğulları, F. 2019. Assessing Greenhouse Gas Exchange of Agricultural Crops by Flux Measurements in Thrace Part of Turkey. *AGROFOR International Journal*, Vol. 4, Issue No. 1, 154-160.
- **Yeşilköy, S.**, Gülle Sakin, E. D., Sakin, E., Şaylan, L. 2018. İklim Değişikliği Toprağın Rolü: Şanlıurfa Örneği. Küresel İklim Değişikliği, Çevre ve Enerji II. Uluslararası Sempozyumu. 18 Nisan, İstanbul.
- **Yeşilköy, S.**, Baydaroğlu, Ö., Şaylan, L., Koçak, K. 2017. Photosynthetic Active Radiation Forecast via Artificial Neural Network, Support Vector Regression and Multiple Linear Regression. 9th International Symposium on Image Processing, Wavelet and Applications (IWW 2017). 5-8 November, Kars/Turkey.
- Aslan, T., Koçak, K., Çaldağ, B., Akataş, N., **Yeşilköy, S.**, Şaylan, L. 2017. Forecasting CO_2 Flux by Using Support Vector Regression. 3rd International Symposium for Agriculture and Food. 18-20 October, Ohrid/Macedonia.
- Şaylan, L., **Yeşilköy, S.**, Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., Akataş, N., Aslan, T. 2017. Variation of Ecosystem Respiration for Winter Wheat in Kırklareli/Turkey. 3rd International Symposium for Agriculture and Food. 18-20 October, Ohrid/Macedonia.
- Bakanoğulları, F., **Yeşilköy, S.**, Akataş, N., Çaldağ, B., Şaylan, L. 2017. Evaluation of Crop Albedo of Different Winter Wheat and Sunflower Crop Rotation Cultivars and Its Effect on Latent Heat Flux. 3rd International Symposium for Agriculture and Food. 18-20 October, Ohrid/Macedonia.
- Akataş, N., Özkalp, B., **Yeşilköy, S.**, Çaldağ, B., Şaylan, L. 2017. Comparison of Measured and Modelled Soil Water Content by SWAP. 3rd International Symposium for Agriculture and Food. 18-20 October, Ohrid/Macedonia.
- Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., Akataş, N., **Yeşilköy, S.**, Aslan, T. 2017. Comparison of Models' Performances in Determining the Effects of Climate Change on the Yield in the Thrace Region of Turkey. 3rd International Symposium for Agriculture and Food. 18-20 October, Ohrid/Macedonia.
- Akataş, N., **Yeşilköy, S.,** Aslan, Z. 2017. Investigation of the Vegetation Effects on Convection by Using COSMO-CLM. OSTIV Congress, 8-13 January, Benalla/Australia.
- **Yeşilköy, S.,** Akataş, N., Şaylan L., Bakanoğulları, F., Aslan, Z. 2017. Comparison of Field Measurements and MODIS Albedo Data and Its Effect on Latent Heat Flux. OSTIV Congress, 8-13 January, Benalla/Australia.

- **Yeşilköy, S.,** Akataş, N., Şaylan L., Çaldağ, B. 2017. Comparison of Modeled and Measured CO_2 Exchanges over Winter Wheat in the Thrace Part of Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26, 93-99. **(SCI Expanded)**
- Akataş N., **Yeşilköy, S.**, Şaylan, L., Çaldağ, B. 2016. Comparison of Measured and Calculated Evapotranspiration Over Maize in Kirklareli. *Research Journal of Agricultural Sciences*, 9 (2), 06-11. **(Hakemli Makale)**
- Koçak, K., Baydaroğlu, Ö., Şaylan, L., **Yeşilköy, S.** 2016. Toplam Güneş Radyasyonunun Destek Vektör Regresyonu ile Tahmini. 10th International Clean Energy Symposium, 24-26 October, Istanbul/Turkey.
- Akataş, N., **Yeşilköy, S.**, Şaylan, L., Bakanoğulları, F. 2016. Comparison of Measured and Estimated Radiation Balance Components over Winter Wheat under Semi-Arid Conditions. European Geosciences Union General Assembly, 17- 22 April, Vienna/Austria.
- **Yeşilköy, S.**, Bakanoğulları, F., Şaylan, L., Çaldağ, B., Aslan, T., Akataş, N. 2015. Variation of Albedo During the Growing Period of Different Winter Wheat Cultivars. 2nd International Symposium for Agriculture and Food. 7-9 October, Ohrid/Macedonia.
- Şaylan, L., **Yeşilköy, S.**, Bakanoğulları, F., Çaldağ, B., Aslan, T., Akataş, N. 2015. Estimation of Actual Evapotranspiration for Wheat Using Eddy Covariance Method in The Thrace Region of Turkey. 2nd International Symposium for Agriculture and Food. 7-9 October, Ohrid/Macedonia.
- Aslan, T., Şaylan, L., Çaldağ, B., **Yeşilköy, S.**, Bakanoğulları, F., Akataş, N. 2015. Determination of Actual Evapotranspiration of Watermelon by Using a Micrometeorological Method. 2nd International Symposium for Agriculture and Food. 7-9 October, Ohrid/Macedonia.
- **Yeşilköy, S.**, Akataş, N., Şaylan, L., Çaldağ, B. 2015. Comparison of Modeled and Measured CO_2 Exchanges over Winter Wheat in the Thrace Part of Turkey. 18th International Symposium on Environment Pollution and its Impact on Life in Mediterranean Region. 26-30 September, Crete/Greece.
- **Yeşilköy, S.**, Şaylan, L., Bakanoğulları, F., Çaldağ, B., Akataş, N., Aslan, T. 2015. Evapotranspirasyon Hesabında Kullanılan Net Radyasyon Bileşenlerinin Ölçülmesi ve Belirlenmesi. 4. Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi. 1-4 Eylül, Kahramanmaraş.
- Gülle Sakin, E.D., Şaylan, L., Sakin, E., Altun, Ş.B., **Yeşilköy, S.** 2015. Topraktan Karbon Emisyonu ve Meteorolojik Değişkenler: Şanlıurfa Örneği. 4. Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi. 1-4 Eylül, Kahramanmaraş.
- **Yeşilköy. S.**, Öztopal, A. 2015. Evaluation of Meteosat Second Generation (MSG) Data and Synoptic Analysis of a Case Study for Flash Flood in Gökçeada/Turkey. Geobalcanica International Conference. 185-191.Skopje/Macedonia. DOI: http://dx.doi.org/10.18509/GBP.2015.23, UDC: 551.589:551.577.61-047.44(560).
- **Yeşilköy, S.**, Şaylan, L., Çaldağ, B. 2015. Impacts of Meteorological Variables on Net Ecosystem Exchange of Winter Wheat. Geobalcanica International Conference.185-191.Skopje/Macedonia.DOI:http://dx.doi.org/10.18509/GBP. 2015. 24, UDC: 551.51:502/504(560).

- Akataş, N., **Yeşilköy, S.**, Ünal, A. 2015. Determining the Temperature Trend over Marmara Region by Using Data Set for 1999-2009 Period. Geobalcanica International Conference. Skopje/Macedonia.
- **Yeşilköy, S.**, Bakanoğulları, F., Şaylan, L., Çaldağ, B., Aslan, T., Akataş, N. 2015. AquaCrop Modeli ile Ayçiçeği Bitkisinin İki Farklı Lokasyondaki Simülasyonu. 7. Uluslararası Katılımlı Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 28-30 Nisan, 1189-1195, İstanbul.
- **Yeşilköy, S.**, Ağaç, K., Akataş, N., Şaylan, L. 2015. Vejetatif Ortamda Toprak Isı Akısı, Termal İletkenlik ve Termal Yayılımın Zamansal Değişiminin Analizi. 7. Uluslararası Katılımlı Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 28-30 Nisan, 1106-1113, İstanbul.
- Çavuş, P.C., **Yeşilköy, S.**, Batıbeniz, F., Aydın, B.D., Şaylan, L. 2015. Ayçiçeği Bitkisinin Karbon Değişimi ile Toprak Su İçeriği Arasındaki Etkileşimin Analizi. 7. Uluslararası Katılımlı Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 28-30 Nisan, 1146-1155, İstanbul.
- Aslan, T., Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., **Yeşilköy, S.**, Akataş, N., Yurtseven E. 2015. Eddy Kovaryans Yöntemi ile Karpuz Bitkisinin CO2 Akısının Belirlenmesi. 7. Uluslararası Katılımlı Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 28-30 Nisan, 1166-1172, İstanbul.
- **Yeşilköy, S.**, Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., Aslan, T., Akataş, N. 2015. Buğday Bitkisinin Hasat Öncesi ve Sonrası Karbon Akılarının Değişiminin İncelenmesi. 7. Uluslararası Katılımlı Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 28-30 Nisan, 1182-1188, İstanbul.
- Şaylan, L., Altun, Ş.B., Çaldağ, B., Aslan, T., **Yeşilköy, S.**, Akataş, N., Bakanoğulları, F. 2015. Evapotranspirasyonun Toprak ve Su Faktörlerindeki Değişimdeki Hassasiyetinin Model ile Belirlenmesi. 7. Uluslararası Katılımlı Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 28-30 Nisan, 1196-1203, İstanbul.
- Bakanoğulları F., **Yeşilköy, S.** 2014. Determination of Meteorological and Hydrological Drought in Damlıca Creek Watershed in Çatalca-Istanbul, Turkey. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences,* Special Issue:1, 1152-1157. **(Hakemli Makale)**
- Çebi, U., Bakanoğulları, F., Özer, S., **Yeşilköy, S.** 2014. Küresel Isınma ve Sulama İlişkisi. TarımTürk Dergisi, ISSN: 1308-4682,49, 48-52.
- Bakanoğulları, F., **Yeşilköy, S.**, Şaylan, L., Gürbüz, M.A. 2014. İklim Değişikliğinin ve Tarımsal Meteorolojinin Önemi. II. Kuraklık ve Çölleşme Sempozyumu, 16-18 Eylül, Konya.
- **Yeşilköy, S.**, Şaylan, L., Bakanoğulları, F., Çaldağ, B. 2014. Bitki-Nem İndeksi ile Buğday Bitkisinin Kuraklık Durumunun Analizi. II. Kuraklık ve Çölleşme Sempozyumu, 16-18 Eylül, Konya.
- **Yeşilköy, S.**, Akataş, N., Şahin, A.D. 2014. Assessment of Global Radiation Map for the Eastern Part of Turkey. 11th Annual Meeting, 28 July-1 August, Sapporo/Japan, p. 142.

- **Yeşilköy, S.**, Şaylan, L., Semizoğlu, E., Çaldağ, B. 2014. Carbon Capture, Storage and Emission: A Case Study for Winter Wheat in Kırklareli/Turkey. Asia Oceania Geosciences Society, 11th Annual Meeting, 28 July-1 August, Sapporo/Japan, p. 235.
- **Yeşilköy, S.**, Şaylan, L., Çaldağ, B., Aslan, T., Bakanoğulları, F. 2014. Net Radyasyon'un Ölçülmesi, Belirlenmesi ve Evapotranspirasyona Etkileri. 12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs, Tekirdağ, 221.
- Çaldağ, B., Şaylan, L., Bakanoğulları, F., Aslan, T., **Yeşilköy, S.** 2014. İklim Değişiminin Kırklareli'nde Ayçiçeği Verimine Olası Etkilerinin Belirlenmesi. 12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs, Tekirdağ, 217.
- **Yeşilköy, S.**, Şaylan, L., Çaldağ, B., Aslan, T., Bakanoğulları, F. 2014. Buharlaşma Gizli Isı Akısının Karbondioskit Akılarına Etkileri. 12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs, Tekirdağ, 77.
- Aslan, T., Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., **Yeşilköy, S.** 2014. Mikrometeorolojik Yaklaşımla Karpuz Bitkisinin Gerçek Evapotranspirasyon Değerinin Belirlenmesi. 12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs, Tekirdağ, 17.
- Bakanoğulları, F., **Yeşilköy, S.** 2014. Tarımsal Meteorolojinin Tanımı ve Önemi. Türktarım Dergisi, ISSN: 1303-2364, 215, 13-17.
- Özdere, R., Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., Gürbüz, M.A., **Yeşilköy, S.** 2013. Farklı Toprak Bünyelerinin Bitki Gelişimine ve Verimine Etkilerinin Analizi. 3. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, 22-24 Ekim, Tokat.
- **Yesilkoy, S.**, Aktar, C., İnceoglu, O., Mentes, S., Tan, E., Unal, Y., Efe, B., Basar, U., Unal, E. 2012. Performance analysis of WindSim and WAsP models to estimate wind energy potential in Soma/Turkey, European Workshop on Renewable Energy Systems, 17-28 September, Antalya.