İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BURSA KOŞULLARINDA YETİŞTİRİLEN SOYA FASULYESİ (*Glycine Max (L.)* Merril) TANE VERİMİNE VE SU KULLANIM VERİMLİLİĞİNE OLAN ETKİLERİ

Bilge ARSLAN

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BURSA KOŞULLARINDA YETİŞTİRİLEN SOYA FASULYESİ (*Glycine Max (L.)* Merril) TANE VERİMİNE VE SU KULLANIM VERİMLİLİĞİNE OLAN ETKİLERİ

Bilge ARSLAN
0000-0001-5550-2452

Prof. Dr. Şerife Tülin AKKAYA ASLAN
(Danışman)
Dr. Öğr. Üyesi Burak ŞEN
(İkinci Danışman)

DOKTORA TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2024
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BURSA KOŞULLARINDA YETİŞTİRİLEN SOYA FASULYESİ (*Glycine Max* (L.) Merril) TANE VERİMİNE VE SU KULLANIM VERİMLİLİĞİNE OLAN ETKİLERİ

Bilge ARSLAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şerife Tülin AKKAYA ASLAN
İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Burak ŞEN

Tez çalışması ile iklim değişikliğinin Bursa koşullarında yetiştirilen soya fasulyesi tane verimi ve su kullanım verimliliği üzerine olası etkilerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma iki aşamada gerçekleşmiştir. İlk aşamada bitki büyüme ve gelişimini tahmin edilmesinde kullanılan DSSAT-CROPGRO bitki simülasyon modeli, 2005 – 2006 yıllarında Bursa koşullarında soya fasulyesi için yürütülen arazi denemesine ait veriler kullanılarak soya fasulyesinin farklı olgunluk grubuna dahil A3127 (MGIII) ve 1530 (MGIV) çeşitleri için kalibre edilmiş ve gözlem verilerinin tahmin performansı değerlendirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi 5 (CMIP5) tarafından sağlanan üç küresel iklim modeli (GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR,) ve iki temsili konsantrasyon rotasına (RCP4.5 ve RCP8.5) ait iklim projeksiyonları kullanılarak gelecek dönemler için soya fasulyesinin verimi ve su kullanım verimliliği DSSAT-CROPGRO bitki simülasyon modeli aracılığıyla belirlenmiştir. Sonuçlar, referans dönem (1971-2000), yakın gelecek (2040-2069) ve uzak gelecek (2070-2098) olmak üzere üç ayrı dönem için değerlendirilmiştir. İklim değişikliğinin olası etkilerinin daha kapsamlı değerlendirebilmesi amacıyla farklı olgunluk gruplarına (MGIII ve MGIV)ait soya çeşitlerinin verimi iki farklı ekim tarihi (30 Nisan – 15 Mayıs) ile tahmin edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, Bursa ili için tüm iklim senaryolarında sıcaklık değerlerindeki artış iki çeşit içinde fizyolojik olgunluğa erişme süresinde bir azalmaya neden olmaktadır. Bunun, daha ileri tarihte ekilen soya fasulyesi üretimine bir miktar fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Karbondioksit (CO_2) konsantrasyonundaki artış soya fasulyesi veriminde artışa neden olmaktadır. Soya fasulyesi veriminde RCP4.5 senaryosuna göre %10 ila %43, RCP8.5 senaryosuna göre %12 ila %53 arasında artış olacağı öngörülmektedir. Soya fasulyesinin 30 Nisan yerine 15 Mayıs tarihinde ekilmesi durumunda verimde bir miktar daha artış sağlanmaktadır. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında su kullanım verimliliği sonuçlarına göre HadGEM2-ES küresel iklim modelinde %1-%7 arasında azalış ve %0 - %7 arasında artış görülürken diğer modellerde ise %12 - %40 arasında artış sağlanacağı öngörülmektedir. Bursa İl'i soya fasulyesi yetiştiriciliği üzerinde artması beklenen yüksek sıcaklıkların olumsuz etkilerini, artan CO_2 konsantrasyonun telafi edeceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, DSSAT, soya fasulyesi, su kullanım verimliliği
2024, ix + 80 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON SOYBEAN (*Glycine max* (L.) Merril) GRAIN YIELD AND WATER PRODUCTIVITY CULTIVATED UNDER BURSA CONDITIONS

Bilge ARSLAN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystems Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Şerife Tülin AKKAYA ASLAN
Co-supervisor: Assistant Prof. Dr. Burak ŞEN

The DSSAT-CROPGRO crop simulation model, used to predict plant growth and development, was calibrated for soybean varieties A3127 (MGIII) and 1530 (MGIV) belonging to different maturity groups using data from field experiments conducted in Bursa in 2005-2006. Soybean yield was determined under future climate projections by three global climate models (GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR) and two representative concentration pathways (RCP4.5 and RCP8.5) with DSSAT model. Results were evaluated under three periods: the reference period (1971-2000), the near future (2040-2069), and the distant future (2070-2098). To comprehensively assess the possible effects of climate change, the yield of soybean varieties belonging to different maturity groups (MGIII and MGIV) was predicted for two different planting dates (April 30 - May 15). According to the study results, an increase in temperature under all climate scenarios in the Bursa Province leads to a decrease in the number of days to maturity for both varieties. This will provide some benefit at late-planted soybean production. An increase in carbon dioxide (CO_2) concentration results in an increase in soybean yield. It is predicted that there will be an increase in soybean yield ranging from 10% to 43% according to the RCP4.5 scenario and from 12% to 53% according to the RCP8.5 scenario. Planting soybeans on May 15 instead of April 30 also provides a slight increase in yield. According to the results of water productivity, a decrease of 1% to 7% in the HadGEM2-ES global climate model and an increase of 0% to 7% were observed, while other models predicted an increase ranging from 12% to 40%. It is anticipated that the negative effects of expected high temperatures on soybean cultivation in Bursa province will be compensated by the increasing CO_2 concentration.

Key words: Climate change, DSSAT, soybean, water productivity
2024, ix + 80 pages.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında desteklerini esirgemeyen danışmanlarım Prof. Dr. Şerife Tülin AKKAYA ASLAN ve Dr. Öğr. Üyesi Burak ŞEN'e, çalışmalarımı inceleyerek yol gösteren Prof. Dr. Ali Osman DEMİR ve Tez İzleme Komitesi Üyesi Hocalarım Prof. Dr. Abdurrahim Tanju GÖKSOY ve Prof. Dr. Kemal Sulhi GÜNDOĞDU'ya, ayrıca tez savunmama katılıp katkı sağlayan değerli Jüri Üyesi Hocalarım Prof. Dr. Gökhan ÇAMOĞLU ve Dr. Öğr. Üyesi Murat KARAER'e, Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora eğitimim süresince bilgileriyle ışık tutan Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği'nin değerli Öğretim Üyelerine sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmasının yürütülmesi aşamasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, her soruma sabırla cevap veren Dr. Ömer VANLI, Dr. Hüdaverdi GÜRKAN ve Prof. Gerrit Hoogenboom'a, moral - motivasyon destekleri için çalışma arkadaşlarım Dr. Öğr. Üyesi Ezgi KURTULMUŞ ve Araş. Gör. Ali Kaan YETİK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak her zaman her koşulda yanımda olan ve beni destekleyen sevgili eşim Emrah ARSLAN' a, tezi tamamlamamda en büyük güç kaynaklarım oğlum Aras ve kızım Ela'ya, tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi, manevi desteklerini esirgemeyen aileme; şükranlarımı sunarım.

Bilge ARSLAN
01/04/2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ v
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
ÇİZELGELER DİZİNİ viii
1. GİRİŞ…….. 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 5
2.1. Bitki Simülasyon Modelleri 5
2.2. İklim Değişikliği Projeksiyonları 8
2.3. Önceki Çalışmalar 11
3. MATERYAL ve YÖNTEM 19
3.1. Materyal 19
3.1.1.Arazi Gözlem / Ölçüm Verileri 22
3.1.2. İklim Verileri 24
3.1.4. İklim Projeksiyon Verileri 27
3.2. Yöntem……..29
3.2.1. DSSAT Bitki Simülasyon Modeli 30
3.2.2. DSSAT-CROPGRO Modelinin Kalibrasyonu ve Doğrulanması 32
3.2.3. İklim Değişikliğinin Etkisinin Belirlenmesi 41
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 43
4.1. DSSAT-CROPGRO Modelinin Kalibrasyonu ve Doğrulamasına İlişkin Bulgular 43
4.2. İklim Projeksiyon Verilerinin Değerlendirilmesi 46
4.3.İklim Projeksiyonları ile Soya Fasulyesinin Büyüme ve Gelişimine İlişkin Tahminler… ……58
4.3.1. Fizyolojik Olgunluğa Erişme Süresi Tahminleri 58
4.3.2. Tane Verimi Tahminleri 60
4.3.3. Su Kullanım Verimliliği Tahminleri 59
5. SONUÇ……..... 68
KAYNAKLAR 71

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
CO_2	Karbondioksit

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AR5	5th Assessment Report (5. Değerlendirme Raporu)
DSSAT	Tarımsal Teknoloji Transferi için Karar Destek Sistemleri
CMIP	Birleşik Model Karşılaştırma Projesi
CMIP5	Birleşik Model Karşılaştırma Projesi 5
ET	Crop Evapotranpiration (Bitki Su Tüketimi)
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
GCM	Global Circulation Model (Küresel İklim Modeli)
GLUE	Generalized Likelihood Uncertainty Estimation
HI_{max}	Maksimum Hasat İndeksi
IBSNAT	International Benchmark Site Network for Agrotechnology Transfer
IPCC	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
KPAR	Fotosentetik Olarak Aktif Radyasyon İçin Sönme Katsayısı
LAI	Leaf Area Index (Yaprak Alan İndeksi)
MG	Maturity Group for Soybean (Olgunlaşma Grubu)
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
RegCM	Regional Climate Model (Bölgesel İklim Modeli)
RCPs	Temsili Konsantrasyon Rotaları
RCP2.6	Radyatif zorlamanın 3.0 w/m2'ye çıkmasını senaryo eden Temsili Konsantrasyon Rotası
RCP4.5	Radyatif zorlamanın 4.5 w/m2'ye çıkmasını senaryo eden Temsili Konsantrasyon Rotası
RCP6.0	Radyatif zorlamanın 6.0 w/m2'ye çıkmasını senaryo eden Temsili Konsantrasyon Rotası
RCP8.5	Radyatif zorlamanın 8.5 w/m2'ye çıkmasını senaryo eden Temsili Konsantrasyon Rotası
RMSE	Hata Kareler Ortalaması Karekökü
SD	Standart Hata
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
WOFOST	World Food Studies
WP	Water Productivity (Su kullanım verimliliği)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1.	Çalışma ve deneme alanlarının konumu……..	20
Şekil 3.2.	2005-2006 yılları için çalışma alanına ait sıcaklık ve yağış grafikleri……..	26
Şekil 3.3.	Referans dönemi (1971 – 2000) minimum, maksimum sıcaklık, yıllık toplam ve ortalama yağış grafiği…….	27
Şekil 3.4.	Çalışmaya ait akış şeması…….	29
Şekil 3.5.	DSSAT kullanıcı ara yüzü……	30
Şekil 3.6.	DSSAT modelinin bileşenleri ve modüler yapısının şematik gösterimi……..	31
Şekil 3.7.	DSSAT iklim verileri giriş ekranı (WeatherMan)……...	33
Şekil 3.8.	DSSAT iklim verileri görüntüleme ve düzenleme ekranı (WeatherMan)……..	34
Şekil 3.9.	Çalışma konularının tanımlanmasına ait ekran görüntüsü (Xbuild)	34
Şekil 3.10.	DSSAT-CROPGRO Soya fasulyesi çeşit özelinde genetik katsayı dosyasına ait ekran görüntüsü……..	36
Şekil 3.11.	DSSAT modeli içerisinde genetik katsayıları belirlemede kullanılan GLUE ara yüzüne ait ekran görüntüsü……	38
Şekil 3.12.	DSSAT hassasiyet analizi ekran görüntüsü……..	39
Şekil 4.1.	GFDL-ESM2M küresel iklim modelinin (a) RCP4.5 ve (b) RCP8.5 senaryoları altında referans dönem (1971-2000), yakın gelecek (2040-2069) ve uzak gelecek (2070-2098) için aylık ortalama sıcaklık (°C) projeksiyonları……	50
Şekil 4.2.	HadGEM2-ES küresel iklim modelinin (a) RCP4.5 ve (b) RCP8.5 senaryoları altında referans dönem (1971-2000), yakın gelecek (2040-2069) ve uzak gelecek (2070-2098) için aylık ortalama sıcaklık (°C) projeksiyonları……	51
Şekil 4.3.	MPI-ESM-MR küresel iklim modelinin (a) RCP4.5 ve (b) RCP8.5 senaryoları altında referans dönem (1971-2000), yakın gelecek (2040-2069) ve uzak gelecek (2070-2098) için aylık ortalama sıcaklık (°C) projeksiyonları……	52
Şekil 4.4.	GFDL-ESM2M küresel iklim modelinin (a) RCP4.5 ve (b) RCP8.5 senaryoları altında referans dönem (1971-2000), yakın gelecek (2040-2069) ve uzak gelecek (2070-2098) için aylık toplam yağış (mm) projeksiyonları……..	54
Şekil 4.5.	HadGEM2-ES küresel iklim modelinin (a) RCP4.5 ve (b) RCP8.5 senaryoları altında referans dönem (1971-2000), yakın gelecek (2040-2069) ve uzak gelecek (2070-2098) için aylık toplam yağış (mm) projeksiyonları……..	55
Şekil 4.6.	MPI-ESM-MR küresel iklim modelinin (a) RCP4.5 ve (b) RCP8.5 senaryoları altında referans dönem (1971-2000), yakın gelecek (2040-2069) ve uzak gelecek (2070-2098) için aylık toplam yağış (mm) projeksiyonları……	57

Şekil 4.7. İklim değişikliğinin üç farklı iklim modeli, iki senaryo ve iki farklı ekim tarihi altında soya fasulyesi A3127 (MGIII) çeşidinin tane verimi üzerine etkileri…….. 61
Şekil 4.8. İklim değişikliğinin üç farklı iklim modeli, iki senaryo ve iki farklı ekim tarihi altında soya fasulyesi 1530 (MGIV) çeşidinin tane verimi üzerine etkileri……. 55
Şekil 4.9. İklim değişikliğinin üç farklı iklim modeli, iki senaryo ve iki farklı ekim tarihi altında soya fasulyesi A3127 (MGIII) çeşidinin su kullanım verimliliği üzerine etkileri…… 67
Şekil 4.10. İklim değişikliğinin üç farklı iklim modeli, iki senaryo ve iki farklı ekim tarihi altında soya fasulyesi 1530 (MGIV) çeşidinin su kullanım verimliliği üzerine etkileri……. 63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1.	Dünyada yaygın olarak kullanılan bitki simülasyon modelleri	6
Çizelge 2.2.	Bitki simülasyon modelleri için gereken minimum girdi verileri……..	7
Çizelge 2.3.	IPCC Tarafından Üretilen RCP Senaryoları……..	9
Çizelge 3.1.	Bursa İli uzun yıllık meteorolojik verileri (1928-2020)……..	21
Çizelge 3.2.	2003/91 nolu proje kapsamında yürütülen arazi çalışmasına ait deneme konuları……	22
Çizelge 3.3.	Araştırma alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri……..	24
Çizelge 3.4.	İklim değişikliğinin etkisinin belirlenmesinde kullanılan küresel iklim modelleri ve özellikleri…….	28
Çizelge 3.5.	Arazi verilerinin modele tanımlanması için oluşturan A ve T dosyalarına ait veriler ve kodları…….	35
Çizelge 3.6.	DSSAT-CROPGRO soya fasulyesi için genetik katsayılar….	36
Çizelge 4.1.	DSSAT-CROPGRO soya fasulyesi çeşit özelinde elde edilen genetik katsayı değerleri…….	43
Çizelge 4.2.	A3127 (MGIII) çeşidi için kalibrasyon ve doğrulama sonuçları……..	44
Çizelge 4.3.	1530 (MGIV) çeşidi için kalibrasyon ve doğrulama sonuçları	45
Çizelge 4.4.	Minimum sıcaklık değerlerinin referans döneme göre değişimi (°C)……..	47
Çizelge 4.5.	Maksimum sıcaklık değerlerinin referans döneme göre değişimi (°C)……..	47
Çizelge 4.6.	Farklı iklim modelleri ve senaryoları altında öngörülen yıllık toplam yağış miktarlarının referans döneme göre değişimi (%)……	48
Çizelge 4.7.	Referans döneme göre fizyolojik olgunluğuna erişme süresindeki değişim (gün)……	58
Çizelge 4.8.	A3127 (MGIII) çeşidinin 30 Nisan ekimi (A) için tane verimi sonuçları……	51
Çizelge 4.9.	A3127 (MGIII) çeşidinin 15 Mayıs ekimi (B) için tane verimi sonuçları……	52
Çizelge 4.10.	1530 (MGIV) çeşidinin 30 Nisan ekimi (A) için tane verimi sonuçları……	55
Çizelge 4.11.	1530 (MGIV) çeşidinin 15 Mayıs ekimi (B) için tane verimi sonuçları……	56
Çizelge 4.12.	A3127 (MGIII) çeşidi için farklı ekim tarihleri altında geleceğe yönelik sulama suyu miktarı (mm) tahminleri……	60
Çizelge 4.13	1530 (MGIV) çeşidi için farklı ekim tarihleri altında geleceğe yönelik sulama suyu ihtiyacı (mm) tahminleri…….	61
Çizelge 4.14.	A3127 (MGIII) çeşidi için farklı ekim tarihleri altında geleceğe yönelik sezonluk bitki su tüketimi (mm) tahminleri..	63
Çizelge 4.15.	1530 (MGIV) çeşidi için farklı ekim tarihleri altında geleceğe yönelik bitki su tüketimi (mm) tahminleri……	65

Çizelge 4.16. A3127 (MGIII) çeşidinin 30 Nisan ekimi (A) için su kullanım verimliliği sonuçları…….. 60
Çizelge 4.17. A3127 (MGIII) çeşidinin 15 Mayıs ekimi (B) için su kullanım verimliliği sonuçları…….. 61
Çizelge 4.18. 1530 (MGIV) çeşidinin 30 Nisan ekimi (A) için su kullanım verimliliği sonuçları…….. 64
Çizelge 4.19. 1530 (MGIV) çeşidinin 15 Mayıs ekimi (B) için su kullanım verimliliği sonuçları…….. 65

.

1. GİRİŞ

İnsan beslenmesinde önemli bir yeri olan soya fasulyesi, aynı zamanda hayvanların yem rasyonlarında da protein kaynağı olarak yer almaktadır. Ayrıca sanayi sektöründe birçok ürünün yapımında ve alternatif enerji kaynağı olan biyodizelin üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır (Candemir & Kızılaslan, 2019). Birçok alanda kullanımından dolayı dünyada soya fasulyesine olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır.

Dünyada yağlı tohum bitkileri arasında soya fasulyesi, üretim miktarı ve ekim alanı bakımından ilk sırada yer almaktadır. 2019 yılı itibari ile 120 milyon hektar alanda ekimi yapılmış ve 334 milyon ton soya fasulyesi üretilmiştir (FAO, 2021). Dünya soya fasulyesi üretim miktarı ve ekim alanında yıllara göre dalgalanmalar yaşanmış olsa da üretim miktarı artış eğilimi göstermektedir.

Dünya'nın 2019 yılı soya fasulyesi üretim miktarları incelendiğinde, soya üretiminin yaklaşık % 63'ünü ABD ve Brezilya'nın oluşturduğu görülmektedir. Bu ülkeleri Arjantin, Çin ve Hindistan izlemektedir. Ekim alanları verilerine bakıldığında en geniş ekim alanı ABD ve Brezilya'da yer alırken onları sırasıyla Arjantin, Hindistan ve Çin takip etmektedir. Soya fasulyesi üretim miktarı bakımından dünyada önemli bir potansiyele sahip olmayan Türkiye, birim alandan alınan verim açısından 425 kg/da ile dünyada ilk sırada yer almaktadır (FAO, 2021).

Türkiye'de 2019/2020 üretim döneminde yaklaşık 353 bin dekar alanda soya ekimi gerçekleşmiştir. Üretim miktarı bir önceki yıla göre % 7,1'lik bir artışla 150 bin tona yükselmiştir. Yağlı tohum bitkilerinin, 2018 yılı itibariyle, ülke içi gereksinimi karşılama düzeyi incelendiğinde, soyanın % 4,8 ile en düşük orana sahip olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle; Türkiye'nin, soya ihtiyacını ülke içi üretiminden karşılayamaması ve bu açığını ithalat yaparak gidermesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır (TÜİK, 2020).

Soya fasulyesi üretimi Trakya, Marmara, Karadeniz ve Akdeniz Bölgelerinde ana ürün olarak, Ege, Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgelerinin sulanabilir tarım alanlarında ise ikinci ürün olarak yapılmaktadır (Kılınç & Arıoğlu, 2018). 2021 yılı üretim

istatistiklerine göre soya üretiminin en fazla yapıldığı iller sırasıyla Adana, Mersin, Kahramanmaraş ve Osmaniye' dir (TÜİK, 2022).

Soya fasulyesinin büyüme ve gelişiminde çevresel faktörler önemli bir role sahiptir (Sincik ve ark., 2009). Özellikle sıcaklık, yağış ve günlük ışıklanma süresi gibi iklim faktörlerinde meydana gelen değişiklikler ekim zamanında gecikmeye yol açabilmektedir. Bu gecikme; toplam biyokütle, bitki başına bakla sayısı, bitki boyu, dal sayısı, tane ağırlığı gibi verim ve kalite parametrelerinde azalmalara, ekimden olgunluğa kadar geçen sürenin kısalmasına ve dolayısıyla soya fasulyesinin tane veriminin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır (Bhatia, 1999). Günümüz iklim faktörlerinin değişiminden doğrudan etkilenen soya fasulyesinin öngörülen iklim değişikliklerin de etkilenmesi kaçınılmazdır.

İklim değişikliği, genel olarak dünya genelinde iklim koşullarındaki uzun vadeli ve belirgin değişiklikleri ifade eder. Bu değişiklikler, atmosferdeki karbondioksit ve diğer sera gazlarının artışı gibi insan faaliyetlerinin yanı sıra doğal süreçlerden kaynaklanabilir. İklim değişikliği, sıcaklık artışı, yağış rejimindeki değişiklikler ve ekstrem hava olaylarının sıklığının artmasına neden olmaktadır. Hükümetlerarası İklim değişikliği Paneli'nin (IPPC) 2007 yılında yayınlanan raporunda; Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz Havzası'nın yirmi birinci yüzyılın sonlarına doğru meydana gelecek sıcaklık artışı ve yağışların azalması gibi iklim değişikliklerinden en fazla etkilenecek bölgelerden biri olacağı belirtilmiştir (IPCC, 2007).

Günümüzde, dünyanın ikliminin geçmişten bugüne nasıl değiştiğini anlamak, iklim sisteminin çeşitli zorlamalara karşı tepkisini araştırmak, belirli yıllık zaman ölçeklerinde gelecekteki iklim eğilimlerini öngörmek için iklim modelleri kullanılmaktadır (Buis A., 2020). Modeller ile geleceğe yönelik iklim öngörülerinde farklı senaryolardan yararlanılmaktadır. Bu senaryoların geliştirilmesinde nüfus artışı, enerji kullanımı, teknolojik ve ekonomik gelişmeler, tarım ve arazi kullanımındaki değişiklikler gibi emisyon salınımını etkileyen faktörler için farklı kabuller dikkate alınmaktadır (Anonim, 2020).

İklim parametrelerinde (sıcaklık, yağış ve CO_2 konsantrasyonu vb.) meydana gelen değişikliklerin, bitkinin büyüme ve gelişimindeki etkisini kontrollü çevre koşullarında gözlemlemek hem maliyet gerektirmekte hem de uzun zaman almaktadır. Bitki simülasyon modelleri, toprak, iklim ve bitkiye özgü parametrelere ek farklı bitki yetiştirme teknikleri gibi minimum girdiler ile bitkinin büyümesini, gelişimini ve verimini simüle etmektedir (Salvacion, 2011). Bu nedenle, iklim değişikliğinin bitkiler üzerindeki etkilerini anlayabilmek adına alternatif bir sistem olarak çeşitli bitki simülasyon modelleri kullanılmaktadır.

Günümüzde yalnızca bir bitkiye özgü ya da birçok bitkiye yönelik simülasyon modelleri geliştirilmiş ve de geliştirilmeye devam etmektedir. Bu modeller yardımıyla ekim-dikim zamanının değiştirilmesi, sulama ve gübrelemenin ne zaman ne miktarda uygulanması ile bitkinin gelişimi ve veriminde ne gibi farklılıklar olacağı kolaylıkla öngörülebilmektedir. Dünyada ve ülkemizde yapılan çalışmalar incelendiğinde; iklim değişikliğinin bitki gelişimi, büyümesi ve verimi üzerine etkilerinin belirlenmesinde birçok farklı bitki türü ve simülasyon modellerinin kullanıldığı görülmektedir.

İklim değişikliğinden birçok sektörün etkileneceği tahmin edilmektedir. Atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonu ve sıcaklık artışları, yağış miktarında ve rejimindeki değişim, ekstrem hava olaylarının sıklığı ve şiddetinin artması tarımsal üretimi büyük ölçüde etkilemektedir. İklim değişiminden tarımsal üretimin ne ölçüde etkileneceğini belirlemek için öncelikle geçmiş ve günümüz ikliminin anlaşılması, gelecekteki iklim değişikliklerinin öngörülmesi ve daha sonra olası değişikliklerin tarımsal üretime pozitif veya negatif etkilerinin belirlenmesi ve gerekli eylem planlarının oluşturulması gerekmektedir.

Bir bölgedeki herhangi bir tarımsal ürünün yetiştirilme potansiyeli uzun yıllar içinde değişiklik gösterebilir. Bu değişimlerin temel nedeni, ürünlerin verimliliği üzerinde en büyük etkiye sahip olan iklim koşullarıdır. Ülkemizde, iklim değişikliğinin bitki büyümesi ve verimi üzerindeki olası etkilerini öngörmeye yönelik yapılan çalışmalarda, soya bitkisine dair sınırlı veri bulunmaktadır. Soya bitkisinin geniş bir kullanım alanına sahip olması ve ülke içindeki ihtiyacın yerli üretimle karşılanamaması, gelecekte daha

fazla alanda soya ekimine ihtiyaç duyulabileceği anlamına gelmektedir. Bu araştırmada, üç küresel iklim modeli (GFDL_ESM2M, HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR) ve iki farklı iklim senaryosu (RCP4.5, RCP8.5) kullanılarak DSSAT-CROPGRO bitki simülasyon modeli ile Bursa koşullarında yetiştirilen soya bitkisinin ürün verimi ve su kullanım verimliliğinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Bitki Simülasyon Modelleri

Tarla denemeleri gibi geleneksel agronomik araştırmalardan elde edilen veriler, tarımsal arazi yönetimi modelleri ile gerçek dünya ve gözlemlenen ölçümler arasında nedensel ilişkiler kurmak için güvenilir bilgiler olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu tür geleneksel agronomik araştırma yöntemleri, tarım politikaları ve karar alma süreçlerine rehberlik edecek verilere yönelik artan ihtiyacı karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu tür araştırmalar genellikle yalnızca belirli zamanda ve bölgede gerçekleştirilen denemelerden elde edilen sonuçları ortaya koyar, böylece hem bölgeye özgü hem de mevsime özgü sonuçlar elde edilmektedir. Tarla denemeleri genellikle zaman alıcı ve pahalı olmakla beraber yoğun iş gücü gerektirmektedir. Bu da bilgi edinme sürecinde gecikmelere neden olmaktadır. Aynı zamanda, herhangi bir bitkinin çeşitli parametreleri değerlendirmek için farklı bölge ve mevsime özgü, birkaç yıl boyunca ve birden çok yerde denemeler yapmak ve önerilerde bulunmak pek mümkün olmamaktadır. (Kephe ve ark., 2021).

Bitki simülasyon modelleri, bitkinin genetik özelliklerine bağlı kalarak, toprak ve iklim koşullarına ek farklı bitki yetiştirme teknikleri gibi minimum girdiler ile bitkinin büyümesini, gelişimini ve verimini matematiksel yöntemlerle tahmin etmeye yarayan programlardır (Hoogenboom ve ark.. 2004, Salvacion, 2011). Bu modeller, çiftçilere, akademisyenlere ve karar vericilere, pahalı ve zaman alan tarla denemelerine gerek kalmadan bir bitkinin herhangi bir bölgede yetişme potansiyelini keşfetme fırsatı sunmaktadır. Bitki simülasyon modelleri mevcut koşullar altında ya da farklı yetiştirme stratejilerinin uygulanması ile olası verim öngörüsünü oluşturmada kullanılmasının yanı sıra iklim değişikliğinin gelecekteki etkilerinin tahminlenmesi çalışmalarında vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir (Gürkan, 2019).

Wageningen Üniversitesi'nden De Wit (1965)'in, 1960'lı yıllardan itibaren, bitki verimini tahmin etmede bitki örtüsünün fotosentez oranlarının modellenmesi üzerine öncü çalışmaları tarım biliminde birçok çalışmanın başlangıcı olmuştur. İlk dinamik bitki simülasyon modeli ELCROS, De Wit ve ark. (1970) tarafından geliştirilmiştir. Bu model bitki örtüsü fotosentez bölümü, bitki organlarının büyüme oranını tanımlayan bileşenler

ve bitkinin solunumu hakkında ayrıntılı detayları içermektedir. Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı sponsorluğunda Tarımsal Teknoloji Transferi için Uluslararası Karşılaştırmalı Siteler Ağı (IBSNAT), 1980'lerde, sistemin ve bileşenlerinin nasıl çalıştığını anlamak için bir model geliştirmiştir (Jones ve ark., 2003). IBSNAT modelinin veri girişleri ve uygulamalar açısından daha uyumlu hale getirilmesi ihtiyacı, Tarımsal Teknoloji Transferi için Karar Destek Sisteminin (DSSAT) tasarlanmasına yol açmıştır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte bitki bazında ya da içinde birkaç bitkiyi barındıran bitki simülasyon modelleri geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Günümüzde literatürde yaygın olarak kullanılan bitki simülasyon modelleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Dünyada yaygın olarak kullanılan bitki simülasyon modelleri

Bitki Modeli	**Kaynaklar**	**Web Sitesi***
APSIM	McCown ve ark., (1996)	https://www.apsim.info/
AquaCrop	Steduto ve ark., (2009)	https://www.fao.org/aquacrop
Cropsyst	Stöckle ve ark., (2003)	http://modeling.bsyse.wsu.edu/CS_Suite_4/CropSyst/index.html
DSSAT	Jones ve ark., (2003)	https://dssat.net/
EPIC	Williams ve ark., (1989)	https://epicapex.tamu.edu/
STICS	Brisson ve ark., (1998)	https://eng-stics.paca.hub.inrae.fr/download
SUCROS	Bouman, B., (1992)	https://models.pps.wur.nl/simple-and-universal-crop-growth-simulator-sucros
SWAP	Kroes ve ark., (2017)	https://www.swap.alterra.nl/
WOFOST	Van Diepen ve ark., (1989)	https://www.wur.nl/en/research-results/research-institutes/environmental-research/facilities-tools/software-models-and-databases/wofost.htm

Her bitki büyüme modeli için en azından tarla yönetimi bilgileri, toprak ve iklim ile ilgili bilgiler gerekmektedir. Hunt ve Boote (1998) tarafından "Minimum veri seti" olarak tanımlanan belirli bir konumda bitki büyüme modellerini çalıştırmak için gereken veriler Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Bitki simülasyon modelleri için gereken minimum girdi verileri

1. Çalışma alanına ait veriler
• Enlem ve boylam, yükseklik
• Yıllık ortalama sıcaklık
• Eğim ve bakı
2. İklim verileri
• Radyasyon
• Minimum ve maksimum sıcaklıklar
• Yağış
3. Toprak verileri
• Toprak çeşidi
• Toprak derinliği, kök büyüme faktörü, hacim ağırlığı
• Organik karbon miktarı, pH, toprak azot içeriği
4. Başlangıç koşulları
• Bir önceki ekilen bitki çeşidi, kök nodül miktarı
• Toprak katmanı su, amonyum ve nitrat içerikleri
5. Tarla yönetimi bilgileri
• Bitki çeşidi ve türü, ekim tarih, ekim derinliği ve yöntemi, sıra arası ve yönü, bitki yoğunluğu, sulama (tarih, yöntem ve miktarı)
• Gübre (inorganik) ve aşı uygulamaları
• Organik gübre uygulamaları (materyal, uygulama yöntemi, miktarı ve besin içeriği)
• Kimyasal uygulamalar (materyal, miktarı)
• Toprak işleme verileri
• Hasat programı

(Hunt ve Boote, 1998)

2.2. İklim Değişikliği Projeksiyonları

Günümüzde, dünyanın ikliminin geçmişten bugüne nasıl değiştiğini anlamak, iklim sisteminin çeşitli zorlamalara karşı tepkisini araştırmak, uzun yıllar ve on yıllık zaman ölçeklerinde gelecekteki iklim eğilimlerini öngörmek için iklim modelleri kullanılmaktadır (Flato ve ark., 2013, Buis A., 2020). Teknolojinin gelişmesiyle birlikte küresel iklim modelleme (GCM) çalışmaları yıllar içerisinde hızlı bir artış göstermiştir. İklim modelleri daha yüksek mekansal çözünürlük, yeni fiziksel süreçler ve biyojeokimyasal döngülerin birlikte değerlendirilmesiyle dünya çapında modelleme grupları tarafından sürekli olarak güncellenmektedir. Bu modelleme grupları, güncellemelerini IPCC değerlendirme raporlarının takvimi çerçevesinde koordine ederek, her bir rapor öncesinde Birleşik Model Karşılaştırma Projelerinin (CMIP) parçası olarak model sonuçlarını yayınlamaktadır.

Modeller ile geleceğe yönelik iklim öngörülerinde farklı senaryolardan yararlanılmaktadır. Bu senaryoların geliştirilmesinde nüfus artışı, enerji kullanımı, teknolojik ve ekonomik gelişmeler, tarım ve arazi kullanımındaki değişiklikler gibi sera gazı emisyon salınımını etkileyen faktörler için farklı kabuller dikkate alınmaktadır (Anonim, 2020). IPCC'nin 5. Değerlendirme Raporu'nda; mevcut senaryolarda değişikliğe gidilmiş ve Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCPs: Representative Concentration Pathways) olarak adlandırılan dört farklı iklim senaryosu oluşturulmuştur. Bu senaryolar 2100 yılında ulaşılması varsayılan ışınımsal zorlama değerlerine (W/m^2) göre RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5 şeklinde isimlendirilmiştir (Çizelge 2.3). Işınımsal zorlama, dünyanın enerji bütçesindeki dengesizlik miktarının doğrudan bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Bu senaryolardan RCP2.6 en iyimser, RCP8.5 ise en kötümser senaryo olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çizelge 2.3. IPCC Tarafından Üretilen RCP Senaryoları

Senaryolar	Radyatif Zorlama	CO2 Konsantrasyon Eşdeğeri	Sera Gazı Emisyonları
RCP 8.5	> 8,5 W/m2	~1370 ppm (2100'de)	2100'e kadar artış devam ediyor.
RCP 6.0	~6,0 W/m2	~ 850 ppm (2100'de)	Yüzyılın son çeyreğinde düşüş.
RCP 4.5	~4,5 W/m2	~ 650 ppm (2100'de)	Yüzyılın ortalarından itibaren düşüş.
RCP 2.6	~3,0 W/m2	Zirve ~ 490 ppm ve düşüş (2100'de)	Yüzyılın ilk çeyreğinden sonra düşüş.

(IPCC, 2014)

İklim değişikliği üzerine yapılan çalışmalarda yaygın olarak RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları kullanılmaktadır. Kötümser senaryo olarak adlandırılan RCP8.5 senaryosu ile sera gazı emisyonları ve konsantrasyonlarının (2100 yılında 1000 ppm'in üzerinde) zamanla önemli ölçüde artacağı ve yüzyılın sonunda 8,5 W/m^2'lik bir ışınımsal zorlamaya yol açacağı varsayılmaktadır. RCP 4.5 senaryosu ise orta seviyede bir senaryo olup ışınımsal zorlama değerinin 2100 yılında 4,5 W/m^2'ye, eşdeğer CO_2 konsantrasyonlarının ise 650 ppm dolayına ulaşması varsayılmaktadır (IPCC, 2014).

Türkiye'de iklim değişikliği çalışmalarının altlığını oluşturan iklim modelleme çalışmaları Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yürütülmektedir. MGM tarafından RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları temelinde Türkiye ve çevresi için en uygun GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR küresel iklim modelleri seçilmiştir.

Küresel iklim modelleri tarafından sağlanan bilgiler genellikle 100 ila 200 km'lik bir çözünürlüğüne sahiptir; bu, uluslararası düzeyde analizler için uygundur ancak belirli bir ülke düzeyinde yapılacak çalışmalar için yetersiz kalmaktadır. Öte yandan bölgesel iklim modelleri, sınırlı bir alanı kapsayan iklim modelleridir ve 1 ile 50 km arasında çözünürlüklere sahip olabilmektedir. Bu bağlamda MGM tarafından RegCM4.3.4 bölgesel iklim modeli kullanılarak seçilen küresel iklim model verilerinden 20 km çözünürlüklü bölgesel iklim projeksiyonları üretilmiş ve tüm sektörlerin kullanımına sunulmuştur. MGM'de yapılan çalışmada, referans olarak 1971-2000 periyodu alınarak

2016-2040, 2041-2070, 2071-2099 dönemleri için iklim projeksiyonları üretilmiştir. (Akçakaya ve ark., 2015)

GFDL-ESM2M, Amerika Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) ve ona bağlı Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuarı (GFDL-Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) tarafından dünyanın karbon, su vb. gibi madde döngüleri ve insan eylemlerinin iklim sistemleri ile etkileşimini bir arada incelemek üzere geliştirilen küresel bir iklim modelidir. GFDL iklim modeli, bir okyanus sirkülasyon modeli ve atmosferik sirkülasyon modelinin birleşimine dayanmaktadır. Model, karbon döngüsü de dahil olmak üzere etkileşimli biyojeokimyayı, atmosferik bileşenleri (aerosoller, bulut fiziği ve yağış gibi), karasal ekoloji bileşenlerini (yağış, buharlaşma, yüzeysel su kaynakları ve dinamik karbon depoları gibi) ve okyanus bileşenlerini (deniz buzu dinamikleri, su akışları, dalga süreçleri ve deniz ekolojisi gibi) içermektedir (Selçuk ve ark., 2022). GFDL-ESM2M küresel iklim modeli verilerinden üretilen bölgesel iklim projeksiyonlarına göre ülkemizde sıcaklıkların 2016-2099 yılları arasında RCP4.5 senaryosu için ortalama 1,5°C artacağı, yağışların ise yılda 10-15 mm azalacağı, RCP8.5 senaryosu için ise ortalama sıcaklığın 2,5°C artacağı ve yağışların yıllık 105-110 mm azalacağı öngörülmektedir (Akçakaya ve ark., 2015).

HadGEM2-ES, İngiltere Meteoroloji Ofisi ve ona bağlı Hadley İklim Tahmin Merkezi tarafından geliştirilen ikinci nesil bir küresel iklim modelidir. Model atmosfer-okyanus döngüsünün yanında dinamik vejetasyon, okyanus biyolojisi, atmosfer kimyasını içeren karasal sistem sirkülasyonunu da içermektedir. HadGEM2-ES verilerine RegCM4.3.4. bölgesel iklim modeli uygulanması sonucu elde edilen projeksiyonlara göre ülkemizde 2016-2099 yılları arasında RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için ortalama sıcaklıkların sırasıyla 2,5°C ve 3,6°C artacağı öngörülmektedir. Yağışların ise genel olarak yaklaşık yılda 50 mm azalacağı öngörülmektedir. Genel azalma eğilimine rağmen, yağış rejiminde düzensizlikler göze çarpmaktadır. Yağışın bazı dönemlerde 0,4 mm/gün (yıllık 145-150 mm) artacağı, bazı dönemlerde ise yine aynı değerde azalacağı öngörülmektedir (Akçakaya ve ark., 2015).

MPI-ESM-MR Küresel İklim Modeli Almanya Max Plank Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. Modelde atmosfer katmanları detaylı olarak ele alınmıştır. MPI-ESM-MR küresel iklim modeli verilerinden üretilen bölgesel iklim projeksiyonlarına göre ülkemizde 2016-2099 yılları arasında RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için ortalama sıcaklıkların sırasıyla 1,5°C, 2,5°C artacağı, yağışların ise yıllık 30 mm, 160 mm azalacağı ön görülmektedir (Akçakaya ve ark., 2015).

2.3. Önceki Çalışmalar

Allen ve ark. (2003) tarafından çevre koşullarının kontrol edilebildiği büyütme kabinlerinde yürütülen çalışmada, CO_2 ve sıcaklığın soya fasulyesinin bitki su tüketimi ve su kullanım verimliliği üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre CO_2 konsantrasyonunun iki katına çıkarılmasıyla 28/18 °C ve 40/30°C sıcaklıklarında WUE sırasıyla %50 ve %60 civarında artmış, sıcaklık daha arttıkça ise artan ET'ye bağlı olarak azalmıştır.

Şen (2009) tarafından yürütülen doktora çalışmasında iklim değişikliğinin Çukurova koşullarında 1. ve 2. ürün olarak yetiştirilen mısır bitkisinin gelişimi ve verimi üzerine olası etkileri incelenmiştir. Çalışmada, FvGCM küresel iklim modeli, gelecekteki (2071-2100) iklim değişikliği A2 senaryosu ile çalıştırılmış, buradan elde edilen iklim verileri WOFOST bitki simülasyon modeline girdi olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre mısır üretiminin gelecekteki iklim koşullarından olumsuz yönde etkileneceği ve verimde azalışlar meydana geleceği öngörülmüştür.

Doğan ve arkadaşlarının (2007) Şanlıurfa'da yaptıkları çalışmada DSSAT modeli kullanılarak mevsimsel su stresinin soya fasulyesi verimine etkisi değerlendirilmiştir. Ölçülen verim değerleri 2003 ve 2004 yılları için sırasıyla 322 ila 3684 kg ha^{-1} ve 267 ila 3952 kg ha^{-1} arasında değişirken, aynı yıllara ilişkin model sonuçları 616 ila 3675 kg ha^{-1} ve 543 ila 3690 kg ha^{-1} arasında tahmin edilmiştir. Genel olarak sulama suyu miktarlarındaki azalmanın her iki yılda da verimi düşürdüğü, modelden de benzer sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir. Sonuç olarak modelin soya fasulyesi verim ve verim bileşenlerini tahminde de tatmin edici bir performans sergilediği vurgulanmıştır.

Kuraklık stresi altında arttırılan CO_2 konsantrasyonun soya fasulyesinin büyüme, tane verimi ve su kullanım etkinliğine etkilerinin incelendiği çalışmada, CO_2'in bakla dolumu aşamasında WP'yi artırarak bakla başına tane sayısı, 100 tane ağırlığını ve tane verimini arttırdığı sonucu elde edilmiştir (Li ve ark., 2013).

Bao ve ark. (2015a) tarafından Doğu ABD'nin Georgia eyaletinin beş farklı yerinde yürütülen çalışmanın amacı, DSSAT-CROPGRO-Soybean modelinin altı farklı çeşit için kalibre edilmesi, susuz koşullarda yetişen soya fasulyesi bitkisinin veriminin gelecek iklim koşulları altında potansiyel etkilerinin belirlenmesi ve sonuçlara göre çiftçilere öneriler sunulmasıdır. Kalibrasyon sonrası gözlemlenen ve tahmin edilen tane verimi arasında hesaplanan standart sapma, altı çeşit için 201 ila 413 kg ha^{-1} arasında değişmiştir. Genel olarak, gelecek iklim senaryoları ile sıcaklığın artış gösterdiği, bu durumun tüm çeşitler ve tüm yerler için fizyolojik olgunluğa erişme süresinde azalmaya neden olduğu bildirilmiştir. Bu azalmanın özellikle geç ekilen soya fasulyesi üretimine bir miktar fayda sağlayacağı, yağış ve CO_2 konsantrasyonundaki artışın ise verimi olumlu yönde etkileyeceğini vurgulamışlardır. Çiftçilere, çalışma alanını kapsayan bölgeler için yaz aylarında olası sıcaklık ve kuraklık stresinden etkilenmemek adına daha sonraki bir ekim tarihine yönelmeleri önerilmiştir.

ABD'nin Georgia eyaletinde yürütülen bir diğer çalışmada iklim değişikliğinin sulu ve susuz koşullar altında altı farklı soya çeşidinin verimine potansiyel etkileri 2025 ve 2050 yılları için araştırılmıştır. Yağış miktarı ve CO_2 konsantrasyonundaki artışların susuz koşullarda yetişen soyanın veriminde, 2025 yılında %6 ila %22 ve 2050 yılında ise % 8 ila % 35 oranında artış olacağı öngörülmüştür. Sulu yetiştirme koşullarında soya fasulyesi veriminde öngörülen artışlar, susuz koşullara göre yaklaşık % 1 ila % 12 daha az tahmin edilmiştir. Gelecekteki sıcaklık artışları ile soyanın fizyolojik olgunluğa daha erken ulaşmasına neden olmasından dolayı, ekimin tarihinin daha ileri tarihlere alınması önerilmiştir (Bao ve ark., 2015b).

Choi ve ark. (2016), ılıman bölge için sıcaklıkta meydana gelen artışların soya fasulyesi çeşitlerinin fenoloji ve tane verimini nasıl etkileyeceğini araştırmak için sera koşullarında

bir çalışma yürütmüşlerdir. Sıcaklıkların ortam sıcaklığına ek olarak +1,5, +3 ve +5 °C derece artırılmasıyla büyüme periyodunun uzadığı, ortam sıcaklığı ile karşılaştırıldığında +3 °C'ye kadar tane veriminde önemli bir değişim olmadığı, +5 °C'de ise verimde azalma olduğunu gözlemlemişlerdir.

Brezilya'da, DSSAT bitki simülasyon modelinin kullanıldığı çalışmada iklim değişikliğinin soya fasulyesi verimi üzerindeki etkisi farklı çeşit ve ekim tarihleri stratejileri ile değerlendirilmiştir. Modelin kalibrasyon işleminden sonra RCM'ler kullanılarak iki dönem (2011-2040 ve 2071-2100) için on bir farklı ekim tarihi çalıştırılmıştır. Sonuç olarak, verimde çeşitlere göre önemli bir farklılık gözlenmemiş, erken ekim tarihlerinde (Ağustos-Eylül) verimde azalmalar öngörülmüştür (Eulenstein ve ark., 2016).

Güney Brezilya'da yapılan bir çalışmada beş farklı bitki simülasyon modeli ile soya fasulyesinin tane verimi, büyüme dönemleri, hasat indeksi, toprak üstü-toprak altı toplam kuru madde oranı ve yaprak alanı indeksi gibi özellikleri değerlendirilmiştir. Bitki simülasyon modelleri olarak FAO - Agroecological Zone; AquaCrop; DSSAT–CROPGRO – Soya; APSIM Soya; ve MONICA kullanılmıştır. Genel olarak tüm modellerin tahmin etmede başarılı olduğunu, en iyi performansın tüm modellerin ortalamasının alınarak değerlendirildiği durumda elde edildiğini ancak suyun yetersiz olduğu koşullarda tüm modellerin soya fasulyesi veriminin tahmin edilmesinde yetersiz olduğu belirtilmiştir (Battisti ve ark., 2017). Battisti ve ark., (2018)'nın Güney Brezilya'da yürüttükleri bir diğer çalışmada soya fasulyesi veriminin tahmin edilmesinde bir önceki çalışmada kalibre edilip, doğrulanan dört modelin (APSIM, DSSAT, AquaCrop ve MONICA) iklim değişikliklerine olan duyarlılıklarını değerlendirilmiştir. Sıcaklığın artışı ile modeller bitki yetişme dönemini daha kısa tahmin edilmesi nedeniyle verimde azalmaya neden olduğu, yağışın azalması ile veriminde azaldığı, solar radyasyon değerinin ve artan CO_2 konsantrasyonunun soya veriminde artışa neden olduğu sonuçlarına varılmıştır.

Kanada'da iklim değişikliğinin soya fasulyesinin büyüme mevsimi uzunluğunu ve sıcaklığı arttıracağı tahmin edilmiş ancak verimine etkilerinin ne olacağı belirsiz olduğu

görülmüştür. Bu amaçla Jing ve ark. (2017), CSM-CROPGRO-Soybean ve STICS modelini kullanarak farklı ekim tarihleri stratejileri altında, referans dönem (1971–2000), yakın dönem (2041–2070) ve uzak dönem (2071–2100) için soya fasulyesi veriminin tahmin edilmesine yönelik bir çalışma yürütmüşlerdir. DSSAT-CROPGRO modelinin yakın dönem için soya veriminde artışı, uzak dönem için ise azalmayı öngördüğü bildirilmiştir. STICS modeli ise her iki dönemde de verimde azalmanın olacağını tahmin etmiştir.

Vanlı (2019) tarafından Gaziantep İslahiye ve Nurdağı ovalarında yetiştirilen buğdayın veriminin tahmin edilmesine yönelik yürütülen çalışma iki aşamadan oluşmuştur. Çalışmanın ilk aşamasında üç küresel iklim modeli (GFDL-ESM2M HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR) ve iki senaryodan (RCP4.5, RCP8.5) elde edilen iklim projeksiyonları kullanılarak iklim değişikliğinin buğday verimine olan etkisi DSSAT bitki simülasyon modeli ile tahmin edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre yüzyıl ortası (2036-2065) ve yüzyıl sonu (2066-2095) dönemlerinde verimde düşüşler olacağı öngörülmüştür. Çalışmanın ikinci aşamasında ise uzaktan algılama ile elde edilen normalleştirilmiş bitki indisleri (NDVI) hesaplanmış, bu indisler ile o bölgeye ilişkin verim tahmin modeli geliştirilmiştir. Gözlemlenen ve model ile tahmin edilen verim değerleri arasında yakın bir uyum olduğu sonucuna varılmıştır.

Konya havzasında, Gürkan (2019) tarafından yürütülen doktora çalışmasında AquaCrop ve DSSAT bitki simülasyon modelleri kullanılarak iklim değişikliğinin ayçiçeği verimine olası etkilerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları temelinde GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR iklim modellerine ilişkin veri setleri üç farklı dönem (2019-2040, 2041-2070, 2071-2098) için çalıştırılmıştır. Çalışma sonucuna göre, gelecek dönemlerde her iki senaryo içinde susuz koşullarda verimde düşüşlerin meydana geleceği, tam sulama koşullarında ise verimde artışların beklendiği öngörülmüştür.

Alsajri ve ark. (2020), Mississippi State Üniversitesi, Starkville, MS'deki Çevresel Bitki Fizyoloji Laboratuvarı'ndaki Toprak-Bitki-Atmosfer-Araştırma (SPAR) ünitelerinde yürüttükleri çalışmada farklı iki soya fasulyesi çeşidi için artan sıcaklıkların verim ve

tohum kalitesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Her iki çeşit için de optimum sıcaklık olan 28°C'ye kadar artan sıcaklık uygulamalarıyla gelişim hızının hızla arttığı ve 28°C'nin üstüne çıktığı durumlarda ise hafifçe azaldığı sonucunu bildirmişlerdir.

Yukarı Mısır Bölgesinde farklı sulama ve gübre uygulamalarının buğday verimi üzerinde etkilerinin DSSAT modeli ile tahmin edilmesinin amaçlandığı çalışmada modelin kalibrasyon ve doğrulama aşamalarında iki yıllık arazi verilerinden yararlanılmıştır. Model sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan tutarlılık indeksi her iki yıl içinde sırasıyla 0,90 ve 0,92 bulunmuştur. Elde edilen katsayılar ile modelin Yukarı Mısır bölgesi için buğday verimi çalışmalarında kullanılabilir olduğu belirtilmiştir (Gameh ve ark., 2020).

Konukçu ve ark. (2020), Trakya Bölgesi'ndeki iklim değişikliğinin kısa (2020-2030), orta (2046-2055) ve uzun (2076-2085) vadede buğday verimine etkilerini incelemişlerdir. İklim değişikliğinin tahmininde RegCM3 Bölgesel İklim Modeli ve A2 senaryosu ile üretilmiş iklim verileri kullanılmıştır. Trakya Bölgesi Çorlu Pınarbaşı Havzası'nda üç farklı mevki için (Akıncılar, Sofular ve Çövenli) iki farklı (AquaCrop ve WOFOST) bitki simülasyon modeli kullanılarak kısa, orta ve uzun dönemler için buğday verim değerleri tahmin edilmiştir. AquaCrop modeli sonuçlarına göre Akıncılar ve Çövenli'de tüm dönemlerde verim artışı, Sofular'da ise kısa dönemde artış görülürken, orta ve uzun dönemlerde azalmalar gözleneceği tahmin edilmiştir. WOFOST modelde ise tüm dönemler için Akıncılar ve Sofular mevkilerinde verim artışları, Çövenli'de ise verim azalışları meydana geleceği öngörülmüştür.

İran'da yürütülen bir çalışmada SSM_iCrop2 modeli için soya fasulyesinin potansiyel verimi ve fenolojik gelişme dönemlerinin tahmininde en doğru sonucu veren parametreler bulunmuş ve test edilmiştir. Bu parametre değerleri kullanılarak tahmin edilen model verileri gözlem verileri ile karşılaştırıldığında r, CV ve RMSE değerleri sırasıyla 0,84, %13, 500 kg ha^{-1} olarak elde edilmiştir. Parametre değerlerinin hassasiyet analizi sonucunda toplam kuru madde ve tane verimi üzerine en etkili parametrelerin sırasıyla KPAR ve HI_{max} olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, SSM_iCrop2

modelinin İran'da soya fasulyesinin gelişme aşamaları ve verimi hakkında makul tahminler sağladığı bildirilmiştir (Nehbandani ve ark., 2020).

Çin'in Kuzeydoğusunda yürütülen bir çalışmada, gelecekteki farklı iklim senaryoları (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) ve gübre uygulamaları altında mısır-soya bitkilerinin verimi ve toprakta karbon/azot depolaması tahmin edilmiştir. Bitki simülasyon modeli olarak DSSAT kullanılmıştır. Kontrol (CK), kimyasal gübre karışımı (NPK), NPK ve çiftlik gübresinin birlikte kullanıldığı (MNPK) ve her iki gübrenin birlikte kullanıldığı uygulamada çiftlik gübresinin oranın daha yüksek olduğu (hMNPK) dört farklı gübre uygulaması mısır-soya-mısır rotasyonunda simüle edilmiştir. Çalışmada, iklim değişikliği ve atmosferdeki CO_2 oranının artmasının bitki büyüme ve toprak verimliliği üzerine etkisinin olumsuz olduğu, sadece kimyasal gübre uygulamak yerine, organik gübrenin de birlikte kullanılması ile olumsuz etkilerin daha hafif yaşandığı sonucuna varılmıştır (Yan ve ark., 2020).

Quansah ve ark., (2020) iki aşamalı olarak yürüttükleri çalışmada, ilk olarak DSSAT-CROPGRO-Soybean modelinin kalibrasyonunda ilçe düzeyinde toprak verilerini kullanılarak mekânsal toprak parametrelerini tahmin etmişlerdir. Model, 1981-2010 dönemi için Alabama'da seçilen yerler için önemli tarımsal toprak türleri, bitki verimi ve ilçe düzeyinde mevcut iklim verileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Model ve gözlem verileri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde RMSE değerleri % 27 - % 43 arasında, modelin tutarlılık indeksi 0,51 ila 0,76 arasında değişmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise kalibre edilmiş model ile iklim değişikliğinin Alabama'da soya fasulyesinin verimi üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Soya fasulyesi veriminin, RCP4.5 ve RCP8.5 kapsamında sırasıyla 2045'te ortalama % 29 ve % 23 ve 2075'te % 19 ve % 43 oranında azalacağı öngörülmüştür. Sonuçlar, geç olgunlaşan soya fasulyesi çeşitlerinin yüksek sıcaklıklara daha dayanıklı olduğunu, ancak verimde azalma olmaması için uygun toprak neminin korunması amacıyla sulamaya ihtiyaç duyduğunu göstermiştir.

Casali ve ark. (2021) Güney Amerika'nın Chao bölgesinde yürüttükleri çalışmada mısır ve soya fasulyesinin bozulmaya uğramış topraklarda iklim değişikliğinin gösterdiği tepkileri incelemişlerdir. Çalışmada DSSAT'ın bünyesinde bulunan CERES-Maize

modeli mısır bitkisi ve CROPGRO –Soybean modeli ise soya fasulyesi için kullanılmıştır. Mısır bitkisi için sıcaklıkların artmasıyla vejetasyon döneminin kısalması sonucu verimde azalmalar (% 5 - % 42) meydana geleceği öngörülmüştür. Mısırın aksine sıcaklığın soya fasulyesi veriminde etkisinin ikinci sırada yer aldığı, su stresinin daha önemli bir rol oynadığı, artan CO_2 oranı etkisinin soya fasulyesinde mısıra göre daha belirgin olduğu belirtilmiştir. Bozulmaya uğramış toprakların iklim değişikliklerinden daha çok etkileneceğinin bu nedenle toprak koruma önlemlerinin alınması gerektiğinin önemini vurgulamışlardır.

Perondi ve ark. (2022) tarafından ABD'nin güneydoğusunda yürütülen çalışmada CROPGRO-Soybean modeli farklı yerlerde yürütülen çeşit denemeleri ve toprak raporları ile kalibre edilerek farklı ekim tarihleri ve olgunlaşma gruplarının soya fasulyesinde verim değişkenliğini değerlendirmişlerdir. Kalibrasyon sonuçları, modelin farklı toprak türlerindeki olgunlaşma grupları (MG) için soya fasulyesi verimini doğru bir şekilde tahmin ettiğini göstermiştir. Çeşitler arasında RMSE değerleri 423 ila 589 kg ha^{-1} arasında ve farklı yerler için 219 ila 684 kg ha^{-1} arasında değişmiştir. Erken ekim tarihinin yüksek verim sağladığı ancak aynı zamanda daha çok verim değişkenliği gösterdiğini, geç ekim tarihinin ise o bölgede verimi önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir.

Kuzey Brezilya'da altı farklı yer için ekim tarihleri, bitki yoğunlukları ve olgunluk grupları dikkate alınarak soya fasulyesinin verimi değerlendirilmiştir. Çalışmada önce DSSAT-CROGRO-Soybean modeli kalibre edilmiş ve tane veriminin RMSE değerlerinin 139 ile 1035 kg ha^{-1} arasında değiştiği sonucu elde edilmiştir. Sonrasında model, mevsimsel analiz programı kullanılarak farklı yönetim senaryoları ile otuz üç yetiştirme dönemi için çalıştırılmıştır. Bölge için en uygun minimum bitki yoğunluğunun m^2 başına 20 bitki olduğu, farklı ekim tarihleri ve olgunluk gruplarının yerel iklimin fonksiyonu olarak yerler arasında farklı verim düzeylerine sahip olduğu sonuçları bildirilmiştir (Sampaio ve ark., 2020).

Silva ve ark. (2021) tarafından yürütülen çalışmada iklim değişikliğinin Brezilya'nın 16 farklı tarımsal iklim bölgesi için soya fasulyesi verimi ve su kullanım verimliliğine olan etkisi araştırılmıştır. CROPGRO-Soybean modelinin kalibrasyonunda Brezilya'da

yaygın olarak soya fasulyesinin üç farklı olgunluk grubuna (MGVI, MGVII, MGVIII) ait çeşitler ile dört farklı yerde kurulan denemelerden yararlanılmıştır. Gelecek iklim projeksiyon verileri ile elde edilen sonuçlar günümüz verileri ile karşılaştırıldığında soya fasulyesi veriminin % 32 ile % 1 arasında artış göstereceği tahmin edilmiştir. Verimde artış olmasının ana nedeni, artan CO_2'nin bitki su verimliliği üzerinde yarattığı olumlu etkinin, bölge koşullarında yağmur suyu ile beslenen soya fasulyesi üzerindeki sıcaklık ve su stresi artışlarının olumsuz etkilerinin üstesinden gelmesi şeklinde vurgulanmıştır.

Yüzbaşı (2021) tarafından Ege Bölgesi'nde yürütülen iki aşamalı doktora tezi çalışmasında, ilk olarak farklı sulama yöntemleri ve kısıntılı sulamanın soya fasulyesinin verim ve verim öğeleri üzerine etkisi belirlenmiş daha sonra olası iklim değişikliğinin verime olan etkileri araştırılmıştır. En yüksek ortalama verim, dekara 366 kg şeklinde damla sulama yönteminden elde edilmiştir. Sonuç olarak, tam ve kısıtlı sulama koşullarında iklim modelleri tarafından öngörülen sıcaklık ve CO_2 konsantrasyonundaki artışın soya fasulyesi veriminde artışa katkıda bulunacağını belirtmiştir.

DSSAT CSM-CROPGRO-Soybean modelinin kullanıldığı bir diğer çalışmada, iklim değişikliğinin sulu ve susuz koşullar altında soya fasulyesi verimine etkisi araştırılmıştır. Brezilya'nın yeni tarım sınırı MATIBO bölgesinde yürütülen çalışmada, gelecek iklim senaryolarında yağış miktarındaki azalmaların soya fasulyesi veriminde ana kısıtlayıcı faktör olduğu, sıcaklığın ise gelecek dönemlerde özellikle kötümser senaryoda (RCP8.5) sınırlayıcı olacağı bildirilmiştir. Gelecekte iklim koşullarının daha karamsar olduğu bölgelerde soya fasulyesi verimini arttırmada sulamanın büyük bir potansiyel gösterdiği sonucuna varılmıştır (Fernandes ve ark., 2022).

İklim değişikliğinin Güney Afrika'nın yarı kurak bölgesinde yetiştirilen soya fasulyesi verimliliğine potansiyel etkilerinin tahmini amacıyla geçmiş ve gelecek dönem iklim projeksiyon verileriyle yürütülen çalışmada DSSAT-CROGRO-Soybean modeli kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre iklim değişikliğinin, Güney Gana'da soya fasulyesi verimliliğinde günümüz atmosferik CO_2 seviyesi ile bir azalmaya yol açtığı, CO_2 seviyesinde artış olması koşullarında ise iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini telafi etme potansiyeline sahip olabileceği bildirilmiştir (MacCarthy ve ark., 2022).

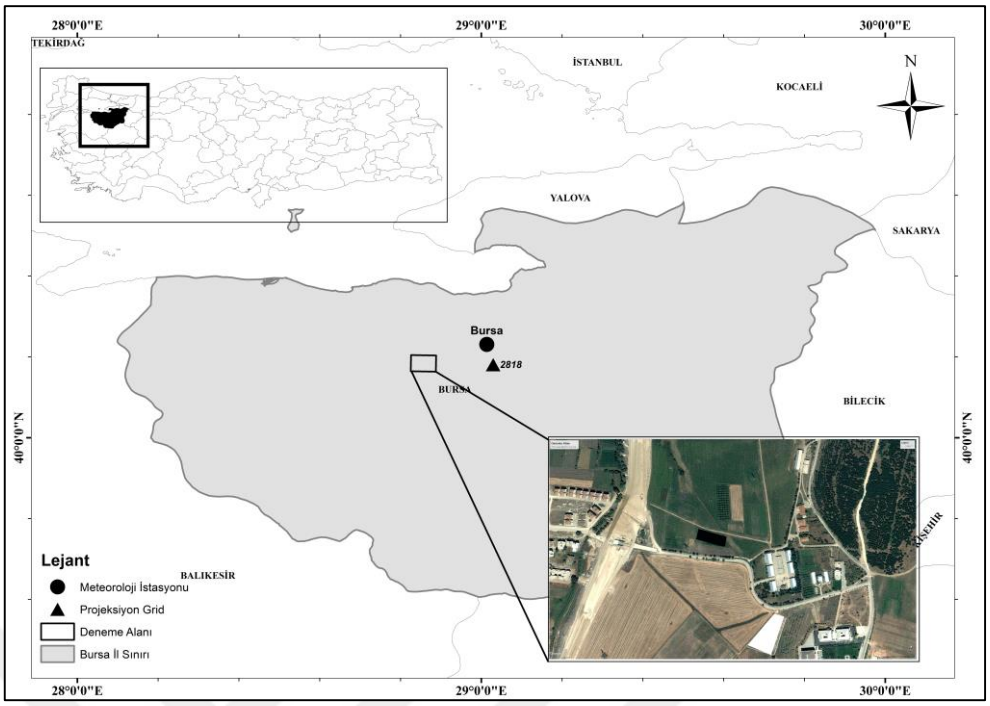
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada DSSAT-CROPGRO bitki simülasyon modeli ve gelecek yıllar iklim projeksiyonları kullanılarak Bursa ilinde yetiştirilen soya bitkisi tane verimi ve su kullanım verimliliği tahmin edilmiştir. Tez çalışması iki aşamalı olarak yürütülmüştür. Çalışmanın ilk aşamasında, arazi gözlem/ölçüm verileri ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'nden alınan 2005-2006 yıllarına ait iklim verileri kullanılarak modelin kalibrasyon ve doğrulama süreci başarıyla tamamlanmıştır.

Son aşamada ise, kalibre edilmiş DSSAT-CROPGRO bitki simülasyon modeli iklim projeksiyon verileri ile çalıştırılarak Bursa ili koşullarında yetiştirilen soya fasulyesinin gelecekteki potansiyel tane verimi ve su kullanım verimliliği belirlenmiştir. Sonuçlar, yakın gelecek (2040-2069) ve uzak gelecek (2070-2098) dönemleri için değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler ve gerçekleştirilen işlemler ayrıntılı bir şekilde aşağıda açıklanmaktadır.

3.1. Materyal

Tez çalışması, Marmara Bölgesinin Güney Marmara bölümünde bulunan, 40º 11' kuzey enlemi (N), 29º 04' doğu (E) boylam daireleri arasında yer alan Bursa ilini kapsamaktadır (Şekil 3.1). Marmara ve Ege bölgeleri arasında bir geçiş alanında yer alan Bursa'nın iklimi bölgelere göre değişiklik göstermektedir. Güney ve iç kesimlerde karasal iklim görülürken, kuzey kesiminde Akdeniz iklimi etkili olmaktadır. Akdeniz iklimi etkisinde kalması ve yıllık ortala yağışının 707,4 mm (500 – 750 mm arasında) olması nedeniyle Bursa ilinin yarı nemli bir iklime sahip olduğu belirtilmektedir (Jensen, 1980, Öztürk, 2010).



Şekil 3.1. Çalışma ve deneme alanlarının konumu

Çalışma alanına ilişkin başlıca meteorolojik değişkenler 1928-2020 dönemi için; ortalama sıcaklık, ölçülen en yüksek ve en düşük sıcaklıklar, ortalama güneşlenme süresi ile aylık toplam yağış miktarı ortalama (mm) değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir (Anonim 2023). Uzun yıllar ortalama sıcaklık değeri 14,6 °C, en yüksek ortalama sıcaklık değeri Temmuz ayında 24,5 °C, en düşük ortalama sıcaklık değeri ise Ocak ayında 5,4 °C'dir. Uzun yıllar yıllık toplam yağış miktarı 707,4 mm'dir. Aylık toplam yağış miktarı ortalamaları incelendiğinde, yağışın en çok kış mevsiminde düştüğü, yaz aylarında yağış miktarının azaldığı görülmektedir. Bu nedenle tarımsal üretimde yüksek verim elde edebilmek için genellikle Mayıs ve Eylül ayları arasında yoğun sulamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Ortalama güneşlenme süresinin en yüksek olduğu aylar Temmuz – Ağustos, en düşük olduğu aylar ise Aralık – Ocak'tır.

Çizelge 3.1. Bursa İli uzun yıllık meteorolojik verileri (1928-2020)

Aylar	Ort. Sıcaklık (°C)	Ölç. En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ölç. En Düşük Sıcaklık (°C)	Ort. Güneşlenme Süresi (saat)	Aylık Toplam Yağış Miktarı (mm)
Ocak	5,4	25,2	-20,5	2,8	89,1
Şubat	6,2	26,9	-19,6	3,4	75,9
Mart	8,3	32,5	-10,5	4,2	69,9
Nisan	12,9	36,2	-4,2	5,8	61,5
Mayıs	17,7	37,0	0,8	7,8	50,6
Haziran	22,0	41,3	4,0	9,7	35,4
Temmuz	24,5	43,8	8,3	10,7	22,0
Ağustos	24,3	42,6	7,6	10,0	18,4
Eylül	20,3	40,3	3,3	7,9	43,7
Ekim	15,6	37,3	-1,0	5,5	65,9
Kasım	11,1	31,0	-8,4	4,0	75,7
Aralık	7,4	27,3	-17,9	2,9	99,3
Yıllık Ort./Top.	14,6	43,8	-20,5	6,2	707,4

Bursa ili, iklim ve toprak yapısı nedeniyle tarımda farklı ürünlerin yetiştirilmesine elverişlidir. Sahip olduğu modern işletme tesisleriyle, tarımsal ürünlerin işlenmesi ve dondurulmasıyla iç ve dış pazara ihtiyaçlarını karşılayabilecek potansiyele sahiptir. Bunun yanında büyük illere olan yakın konumu hem ülke içi tüketim de hem de dış ticarette önemli avantaj sağlamaktadır. Bahsedilen avantajlarının yanında iklimde meydan gelen değişiklikler ve tarımsal politikaların yetersizliği nedeniyle Bursa'da henüz tam olarak gerçekleştirilememiş yüksek bir tarımsal potansiyel mevcuttur (Özkan ve Kadağan, 2019).

3.1.1.Arazi Gözlem / Ölçüm Verileri

Modelin kalibrasyonu ve doğrulanması için ihtiyaç duyulan üretim verileri, Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi tarafından desteklenen 2003/91 nolu "*Soya Fasulyesinde [Glycine max (L.) Merr.] Farklı Ekim Zamanı, Bitki Sıklığı ve Gelişme Dönemlerinde Işık Tutum Etkinliği ve Yaprak Alanı İndeksinin Verim ve Diğer Bazı Agronomik Özelliklerle İlişkisi Üzerine Araştırmalar*" adlı proje sonuçlarından alınmıştır (Sincik ve ark., 2011). Projeye ait verilerin kullanılması hususunda proje yürütücüsüden gerekli onaylar alınmıştır.

Modelin kalibrasyonu ve doğrulanması için kullanılan projenin tarla denemeleri, 2005 ve 2006 yıllarında, Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Merkezi (TUAM) deneme arazisinde yürütülmüştür. Deneme alanı 40º 13' 29" kuzey enlemi (N), 28º 53' 39"doğu boylamında (E) yer almakta ve ortalama denizden yüksekliği 100 m'dir (Şekil 3.1).

Tarla denemeleri, 4 tekerrürlü olarak tesadüf bloklarında bölünmüş deneme deseninde yürütülmüştür. Deneme konusunda ekim zamanı, bitki sıklığı, iki farklı soya çeşidi ve a gelişme dönemleri faktör olarak kullanılmıştır (Çizelge 3.2). İki farklı ekim zamanı, bitki sıklığı, soya çeşidi ile 4 farklı gelişme dönemi çalışma deneme desenini oluşturmuştur. Denemede, büyüme ve gelişme dönemleri sırasıyla; V5 (5 boğumlu dönem), R2 (tam çiçeklenme), R4 (tam bakla bağlama) ve R6 (tam tane) şeklindedir.

Çizelge 3.2. 2003/91 nolu proje kapsamında yürütülen arazi çalışmasına ait deneme konuları

Deneme Konuları	Açıklama
İki farklı ekim zamanı	Nisan - Mayıs
İki farklı bitki sıklığı	330 000 bitki/ha – 660 000 bitki/ha
İki farklı bitki çeşidi	A-3127 (MGIII) – 1530 (MGIV)
Farklı gelişme dönemleri	V_5, R_2, R_4, R_6

Bitki simülasyon modellerinde ihtiyaç duyulan arazi verilerinden biri de tarla yönetimi bilgileridir. Bunlar, simülasyonu yapılacak olan bitkinin fenolojik kayıtları ile beraber m^2'ye ekilen tohum sayısı, ekim tarihi, ekim çeşidi ve yöntemi, sıra arası ve sıra üzeri mesafeleri, gübreleme, sulama yöntemi ve verilen su miktarı gibi bitki gelişimine doğrudan etkisi olan parametrelerdir.

Tez çalışmasında, 2003/91 nolu projeden alınan veriler doğrultusunda modelde kullanılan tarla yönetimi bilgileri şu şekildedir:

a) **Ekim:** İlk yıl 15 Nisan, ikinci yıl ise 19 Nisan tarihlerinde 4 cm derinliğe elle ekim şeklinde tanımlanmıştır. Yine proje verilerine göre modelde iki farklı bitki sıklığı konusu oluşturularak, yüksek bitki sıklığı için sıra arası mesafe 50 cm, düşük bitki sıklığı için ise 100 cm olarak girilmiştir. Hasat tarihleri ilk yıl için 14 Eylül, ikinci yıl ise için 21 Eylül olmuştur.

b) **Sulama:** Sulama yöntemi olarak yağmurlama sulama yöntemi kullanılmış, sulama suyu miktarı ise her iki yıl da her bir gelişme döneminde 1 kez olacak şekilde 100'er mm sulama suyu verilecek şekilde tanımlanmıştır.

c) **Gübreleme:** Gübreleme her iki yılda da eşit olarak, ekimden önce hektara 30-60-0 kg N-P-K olacak şekilde uygulanmıştır.

d) **Bitki Verim ve Verim Öğeleri:** Biyokütle, tane verimi ve yaprak alan indeksi (LAI) gibi verim ve verim öğeleri tezde materyal olarak kullanılmıştır. Proje kapsamında, biyokütle ve tane verimi sadece hasat döneminde ölçülürken, yaprak alan indeksi ise her gelişme dönemi için ölçülerek kayıt edilmiştir.

e) **Fenolojik Gözlem Kayıtları:** Projede bitkinin gelişme dönemi boyunca gözlenmiş fenolojik dönemleri V5 (5 boğumlu dönem), R2 (tam çiçeklenme), R4 (tam bakla bağlama) ve R6 (tam tane) şeklindedir. Modelin kalibrasyonu için gerekli olan

çiçeklenme (R1) ve fizyolojik olgunluk (R7) tarihlerine ait bilgilerin eksik olması nedeniyle bu tarihler diğer dönemlerle göz önünde bulundurularak literatürden yaklaşık olarak alınmıştır (Fehr ve Cavines, 1977).

Model kalibrasyon aşamasında ihtiyaç duyulan bir diğer veri ise toprak verileridir. 2003/91 nolu proje kapsamında yürütülen çalışmada bulunan toprak analiz sonuçları modelin toprak verisi ihtiyaçlarını yeterince karşılamamaktadır. Bu nedenle eksik kısmı tamamlamak için deneme alanına en yakın noktada yapılan analiz sonuçları toprak verileri olarak çalışmada kullanılmıştır (Çizelge 3.3). Bu veriler, Özsoy, G. (2001)'un, Uludağ Üniversitesi Kampüs Alanını kaplayan farklı özelliklere sahip toprakların fiziksel ve kimyasal analizlerinin araştırıldığı doktora çalışmasından elde edilmiştir.

Çizelge 3.3. Araştırma alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Derinlik (cm)	pH	Organik Madde (%)	Bünye			Bünye Sınıfı	Katyon Değişim Kapasitesi (me/100 gr)
			Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)		
0-26	6,65	1,51	56,91	15,72	27,73	Kil	51,36
26-56	6,50	0,83	60,98	16,04	22,98	Kil	51,19
56-80	7,29	0,80	61,52	15,73	22,75	Kil	62,14
80-114	7,61	0,59	65,79	17,87	16,34	Kil	44,12
114 +	7,84	0,18	46,02	22,87	31,11	Kil	23,79

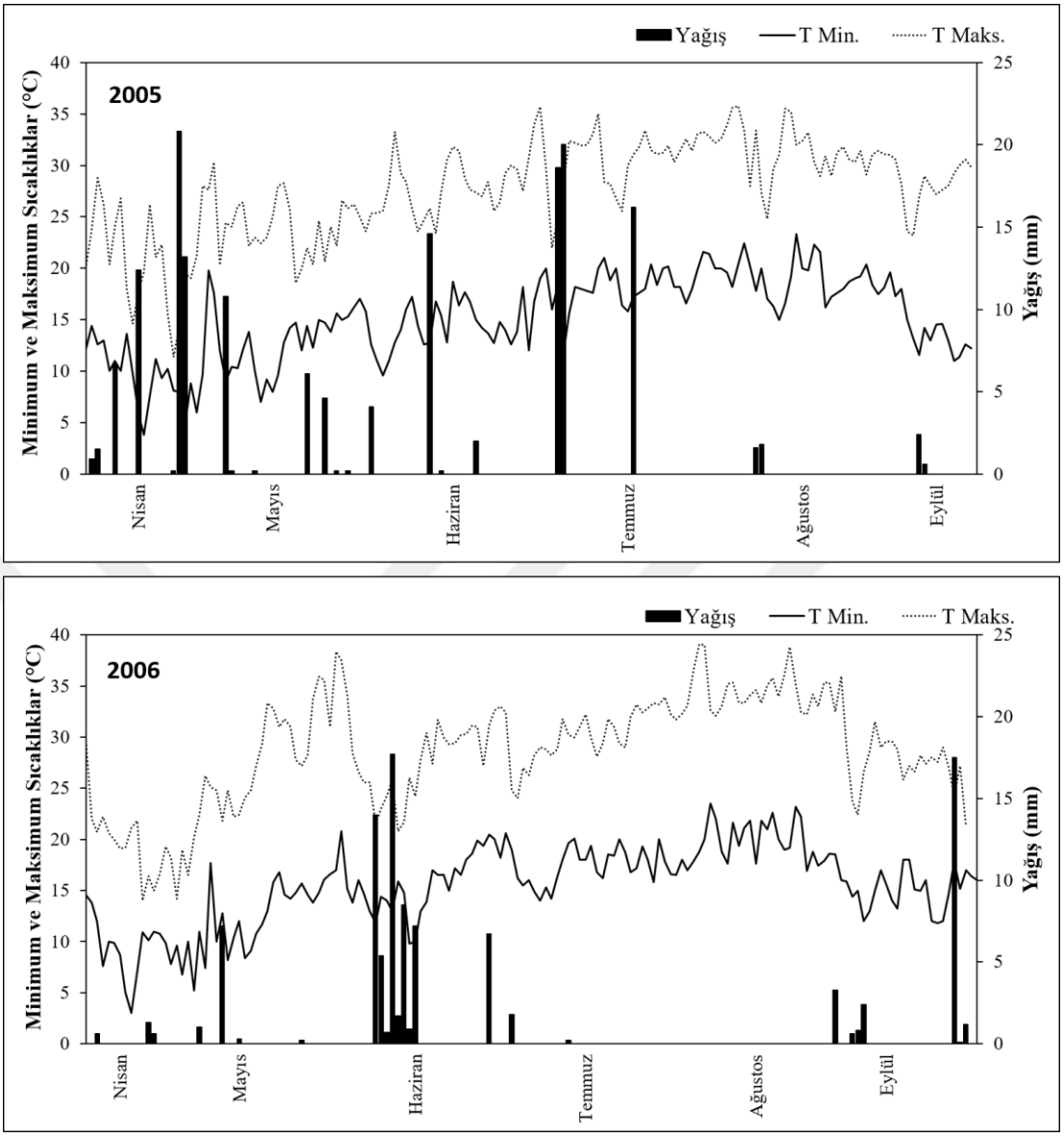
Kaynak: Özsoy, G., 2001

3.1.2. İklim Verileri

Çalışmada, modeli kalibre etmek ve ileriye yönelik projeksiyon verilerini düzeltmek amacıyla iki farklı meteorolojik gözlem veri seti kullanılmıştır. Bunlardan ilki denemenin yürütüldüğü yıllara ait iklim verileri ve diğeri ise 1971 – 2000 yıllarını kapsayan referans dönem iklim verileridir. Her iki veri seti için istasyon olarak 40.23º enlemi, 29.01º boylamında yer alan, ortalama denizden yüksekliği 100 m olan 17116 nolu Bursa Meteoroloji İstasyonu verileri MGM'den temin edilmiştir (Şekil 3.1). Çalışmada kullanılmak üzere alınan iklim verileri; günlük minimum ve maksimum sıcaklıklar (°C),

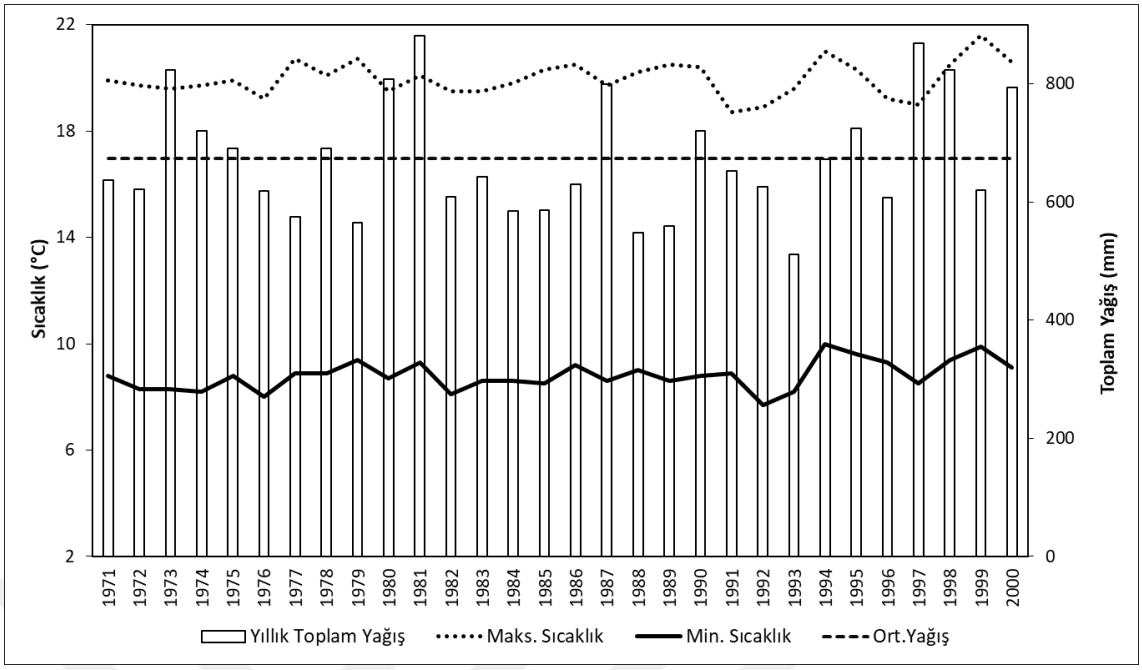
günlük toplam yağış (mm), günlük ortalama rüzgâr hızı (m/s), günlük toplam güneşlenme şiddeti (cal/cm^2) ve buhar basıncıdır(kPA).

Modelin kalibrasyonu aşamasında 2005 - 2006 yılları iklim verilerinden yararlanılmıştır. Vejetasyon dönemi boyunca minimum, maksimum sıcaklıklar ve günlük toplam yağış miktarlarına ait bilgiler Şekil 3.2'de verilmiştir. Her iki yıl için sırasıyla ortalama en düşük sıcaklık 15,1°C ve 15,4 °C, en yüksek sıcaklık değerleri ise 27,5 °C ve 28,5 °C'dir. 2005 yılında vejetasyon dönemi boyunca düşen toplam yağış 160,1 mm olurken, 2006 yılında bu değer 101,9 mm olmuştur. En az aylık toplam yağış miktarı 2005 yılında (3,4 mm) Ağustos ayında, 2006 yılında ise Temmuz ayında (2 mm) olarak ölçülmüştür. Temmuz, Ağustos aylarında ölçülen bu aylık toplam yağış miktarları Çizelge 3.1'de verilen uzun yıllar ortalaması ile karşılaştırıldığında oldukça düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2. 2005-2006 yılları için çalışma alanına ait sıcaklık ve yağış grafikleri

Projeksiyon verilerinin düzeltilmesinde kullanılan 1971- 2000 referans dönemi için yıllık toplam yağış, minimum ve maksimum sıcaklık değerleri Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Uzun yıllar yağış ortalaması 673,5 mm'dir. Ortalama en düşük sıcaklık değeri 8,8 °C ve en yüksek sıcaklık değeri ise 19,9 °C'dir.



Şekil 3.3. Referans dönemi (1971 – 2000) minimum, maksimum sıcaklık, yıllık toplam ve ortalama yağış grafiği

3.1.4. İklim Projeksiyon Verileri

İklim değişikliğinin etkisini anlayabilmek için en uygun yöntemlerinden biri küresel iklim modelleri ile geçmişe ve geleceğe dair projeksiyonlar üretmektir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte Küresel İklim Modelleme (GCM) çalışmaları yıllar içerisinde hızlı bir artış göstermiştir. İklim modelleri daha yüksek mekansal çözünürlük, yeni fiziksel süreçler ve biyojeokimyasal döngülerin birlikte değerlendirilmesiyle dünya çapında modelleme grupları tarafından sürekli olarak güncellenmektedir. Bu modelleme grupları, güncellemelerini IPCC değerlendirme raporlarının takvimi çerçevesinde koordine ederek, her bir rapor öncesinde Birleşik Model Karşılaştırma Projelerinin (CMIP) parçası olarak model sonuçlarını yayınlamaktadır.

Türkiye için gerekli bölgesel projeksiyon çalışmaları MGM tarafından yürütülmektedir. İklim projeksiyonları, CMIP5 kapsamındaki küresel iklim modellerine ve IPCC AR5'te belirtilen yeni nesil konsantrasyon senaryolarına (RCP) dayanmaktadır. Türkiye için en uygun olan GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR küresel iklim modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları sonuçları RegCM4.3.4 bölgesel iklim modeli ile dinamik

ölçek azaltma yöntemi kullanılarak 20 km çözünürlükte üretilmiş ve sonuçları raporlanmıştır (Akçakaya ve ark., 2015). Daha önce yapılan çalışmalarda RegCM bölgesel iklim modelinin, Türkiye için kullanılabilirliği olduğu bildirilmiştir (Önol, 2001, Önol ve ark., 2008, Şen, 2009).

Çalışmada, soya fasulyesinin veriminde iklim değişikliğinin etkisinin araştırılmasında üç küresel iklim modeli; GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR, modellere ait iki temel küresel iklim senaryosu; RCP4.5 (emisyonların 21. yüzyılın ilk yarısına kadar arttığı ve sonra düşüşe geçtiği) ve RCP8.5 (emisyonların yüzyıl sonuna kadar artış gösterdiği) projeksiyonlarından yararlanılmıştır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. İklim değişikliğinin etkisinin belirlenmesinde kullanılan küresel iklim modelleri ve özellikleri

Küresel İklim Modeli	Kaynak Enstitüsü	Projeksiyon Çözünürlüğü (km)	Model Kısaltması
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory-Earth System Model	Hadley İklim Tahmin Merkezi / İngiltere	20	GFDL-ESM2M
Hadley Centre Global Environment Earth System Model	Max Planck Enstitüsü / Almanya	20	HadGEM2-ES
MPI Earth System Model Running on Medium Resolution Grid	NOAA-GFD Laboratuvarı / A.B.D.	20	MPI-ESM-MR

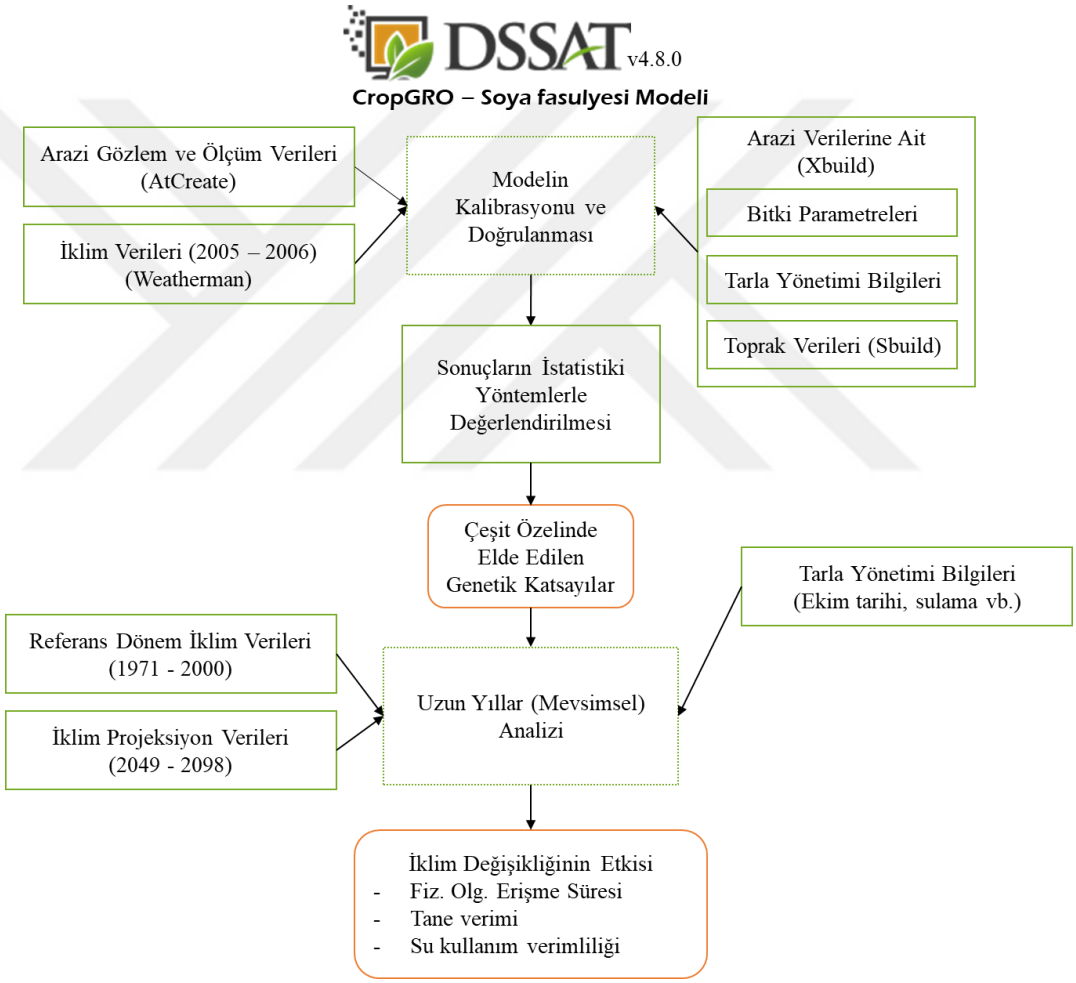
Çalışmada, atmosferik CO_2 konsantrasyon miktarı 1971-2000 yıllarını içine alan referans dönem için ortalama 346 ppm, yakın gelecek ve uzak gelecek dönemlerinde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre sırasıyla ortalama 497 ve 578 ppm, 532 ve 803 ppm olarak alınmıştır.

Bursa koşullarında iklim değişikliğinin soya fasulyesi verimi üzerine etkilerinin araştırılmasında, projeksiyon verileri olarak bölgeyi temsilen 17116 nolu Bursa istasyonuna en yakın grid (2818) noktası verileri kullanılmıştır. Projeksiyon verileri

istasyona ait 1971-2000 yılları referans dönemi gözlem verileri ile karşılaştırılarak gerekli düzeltmeler yapılmıştır.

3.2. Yöntem

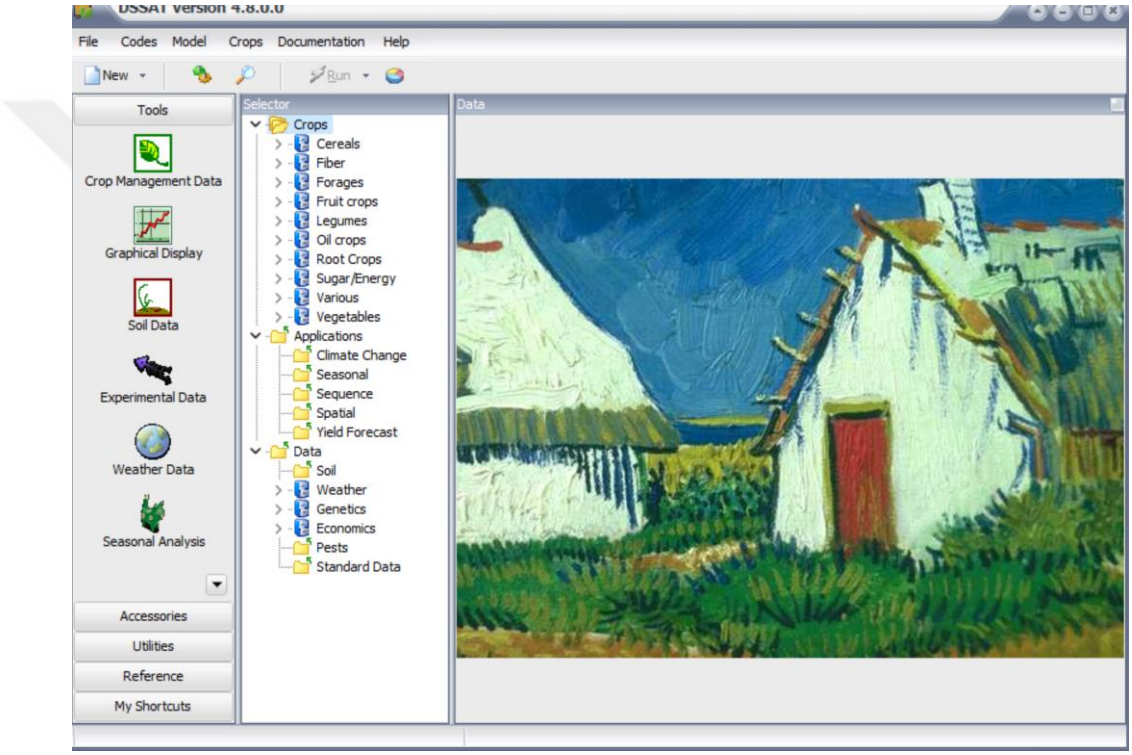
Çalışmada soya fasulyesi veriminin tahmin edilmesi ve iklim değişikliğinin etkilerinin belirlenmesinde DSSAT-CROPGRO modelinin 4.8.0 sürümü kullanılmıştır. Çalışmanın aşamalarına ait akış şeması Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Çalışmaya ait akış şeması

3.2.1. DSSAT Bitki Simülasyon Modeli

Tarımsal Teknoloji Transferi için Karar Destek Sistemleri (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) olarak adlandırılan DSSAT ilk olarak 1980'li yıllarda önemli bir proje olan IBSNAT için Amerika Birleşik Devletleri'ndeki farklı üniversitelerdeki akademisyenler ve uzmanlar tarafından geliştirilmiştir. Modelin en son sürümü olan 4.8.2 2023 yılında araştırmacıların kullanımına sunulmuştur (Şekil 3.5). Bu yeni sürüm ile birlikte DSSAT'ta 42'den fazla bitkinin performansı değerlendirilebilmektedir.

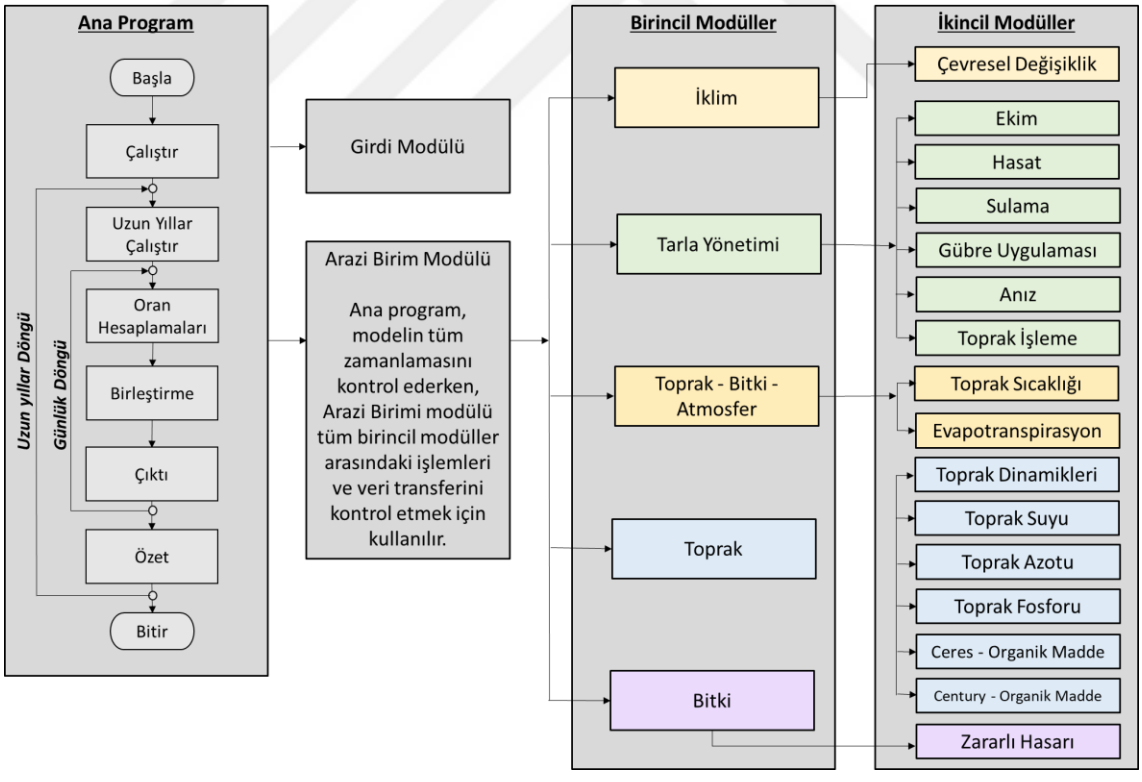


Şekil 3.5. DSSAT kullanıcı ara yüzü

DSSAT içerisinde toprak, iklim, bitki genetik katsayıları ve arazi deneme verilerinin oluşturulmasını ve yönetimini sağlayan birçok araç bulunmaktadır (Hoogenboom ve ark., 2023). Model toprak, meteorolojik, bitki çeşidi bazında daha önce uygulanmış pek çok araştırmaya yönelik genetik katsayıları ve tarla yönetimi bilgileri gibi verileri barındıran büyük bir veri tabanına sahiptir. Bu veriler kullanıcılara büyük kolaylık sağlamaktadır.

Model, toprak nemi, iklim koşulları, genotip, toprak özellikleri ve bitki azot elementlerinin bitkinin veriminden ziyade bitkinin gelişimine olan etkilerini ekimden fizyolojik olgunluğa kadar günlük olarak simüle etmektedir (Jones ve ark., 2003). Model hesaplamaları bitkinin farklı organlarındaki fenolojiyi ve kuru madde birikimini kontrol eden çevresel ve fizyolojik süreçlere dayanmaktadır. Ayrıca iklim değişikliği çalışmalarında CO_2'in fotosentez üzerindeki etkisinin belirlenmesinde oldukça faydalı bir araçtır.

DSSAT bitki simülasyon modeli içerisinde bitki bazında özelleştirilmiş CERES, NWHEAT, CROPGRO, CANEGRO, CASUPRO, CROPSIM, SUBSTOR ve ALOHA gibi farklı modeller geliştirilmiştir. Örneğin, CROPGRO modeli bünyesinde baklagiller (soya fasulyesi, yer fıstığı, fasulye, nohut, börülce, bezelye, bakla), sebzeler (biber, lahana, yeşil fasulye ve domates), lif bitkisi olarak pamuk ve yağlık bitkileri (kanola, ayçiçceği, aspir) barındırmaktadır.



Şekil 3.6 DSSAT modelinin bileşenleri ve modüler yapısının şematik gösterimi (Kaynak: Hoogenboom ve ark., 2019)

DSSAT Modeli, bileşenlerin bilimsel disiplin hatları boyunca ayrıldığı ve modüllerin değiştirilmesine veya eklenmesine izin veren ara yüzlere sahip modüler bir formatta yapılandırılmıştır (Şekil 3.6). Modelde, ana program, modelin tüm zamanlamasını kontrol ederken buna ek olarak bitki büyüme modülü, toprak su dengesi modülü ve iklim girdileri modülleride bulunmaktadır. Bu program FORTRAN programlama dili kullanılarak yazılmıştır.

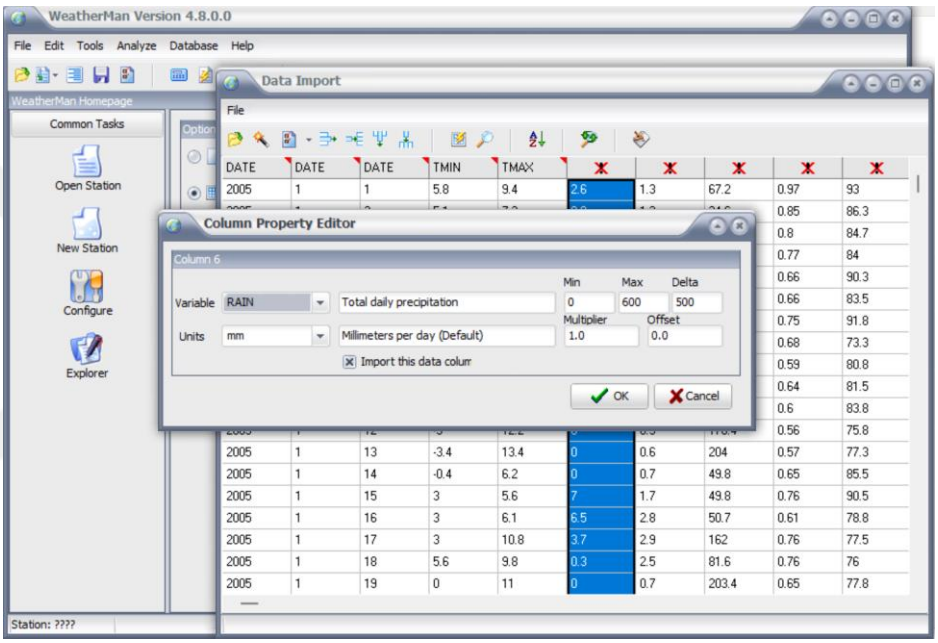
Bitki büyüme modülü, maksimum ve minimum sıcaklıkların, radyasyonun günlük değerlerine ve iki toprak su stres faktörünün (SWFAC1 ve SWFAC2) günlük değerlerine dayalı olarak bitkinin büyümesini ve gelişmesini hesaplamaktadır. Bu modül ayrıca toprak su modülünde evapotranspirasyonu hesaplamak için kullanılan yaprak alan indeksini (LAI) hesaplamaktadır.

3.2.2. DSSAT-CROPGRO Modelinin Kalibrasyonu ve Doğrulanması

DSSAT-CROPGRO modelinin belirli bir bölge ya da bitkiye uygulanması için hedef çalışmadan önce temel model parametrelerini kalibre etmek amacıyla modelin bir süre çalıştırılması gerekmektedir. Bu parametreler bitkinin günlük büyüme, gelişimini etkileyen bitki genetik katsayılarını içerir. Bu genetik katsayıların sayısı bitkiden bitkiye değişiklik göstermektedir. Her bitki için farklı sayıda olan bu katsayıların değerleri aynı bitkinin farklı çeşitleri için de değişkenlik göstermektedir. Genetik katsayıların kalibre edilebilmesi için o bitkiye ait büyüme, fenolojik dönem, verim ve LAI gibi bilgiler çok önemlidir ve öncelikli olarak onlar modele tanımlanmalıdır.

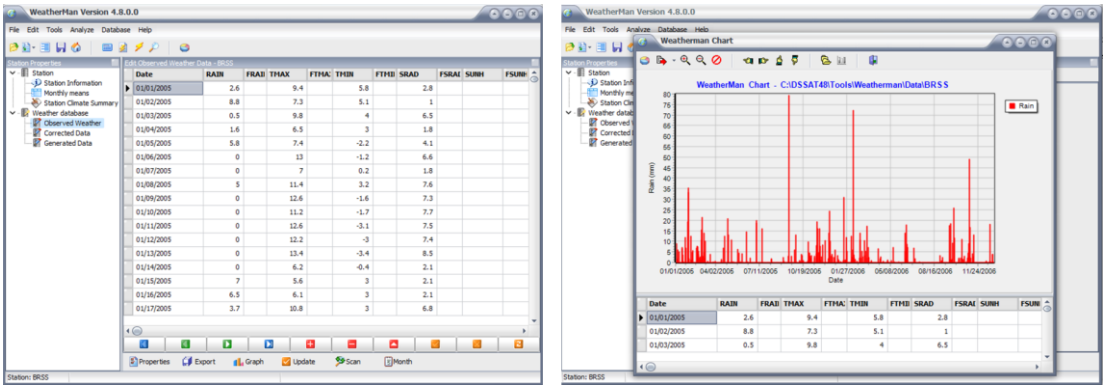
Öncelikli olarak kalibrasyon aşamasına geçmeden önce modele veri giriş işlemleri gerçekleştirilmiştir. Daha önce materyal bölümünde bahsedilen 2003/91 nolu projeye ait arazi verilerinin 2005 yılı gözlem ve ölçüm verileri kalibrasyon, 2006 yılı ise modelin doğrulama aşamasında kullanılmıştır. Toplanan veriler iki yıl içinde sırasıyla WeatherMan (iklim), SBuild (toprak), Xbuild (tarla yönetimi bilgileri) ve ATCreate (vejetasyon dönemi boyunca ve hasatta ölçülen/gözlemlenen veriler) araçları ile DSSAT modeline tanımlanmıştır.

İlk olarak arazinin yürütüldüğü bölgeyi en iyi temsil eden Bursa meteoroloji istasyonuna ait 2005 ve 2006 yılına ait günlük iklim verileri uygun birim ve formata dönüştürülerek DSSAT modelinin içinde bulunan "WeatherMan" aracıyla tanımlanmıştır. Minimum sıcaklık (°C), maksimum sıcaklık (°C), yağış (mm), rüzgar hızı (m/s), radyasyon (cal/cm^2), buhar basıncı (kPA) ve bağıl nem (%) verileri günlük olarak girilmiştir (Şekil 3.7). İklim verilerinin yanında istasyona ait enlem, boylam değerleri, deniz seviyesinden yüksekliği ve Köppen iklim sınıflandırmasına göre hangi iklim sınıfında bulunduğu bilgileri tanımlanmıştır.



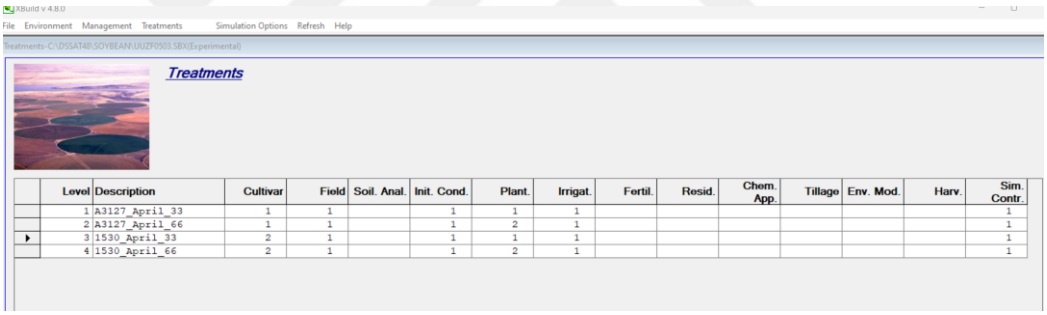
Şekil 3.7. DSSAT iklim verileri giriş ekranı (WeatherMan)

Weatherman programı veri girişinin yanında istasyona ait bilgileri görmeye, iklim parametreleri aylık ortalamalarının incelenmesine ve zaman serilerinin grafik olarak gösterilmesine olanak sağlamaktadır. Oluşturulan Bursa istasyonun ve yağış verisine ait zaman serisinin ekran görüntüleri Şekil 3.8'da gösterilmiştir.



Şekil 3.8. DSSAT iklim verileri görüntüleme ve düzenleme ekranı (WeatherMan)

İklim verileri tanımlandıktan sonra "Xbuild" aracı kullanılarak denemeye ait meteoroloji istasyonu, toprak verileri, bitki çeşitleri, ekim tarihi ve sulama gibi tarımsal yönetim bilgileri modele tanımlanmıştır. Daha önce de bahsedildiği gibi çalışmada, iki farklı bitki sıklığı ve iki farklı bitki çeşidi konuları Şekil 3.9'de gösterildiği gibi oluşturulmuştur.



Şekil 3.9. Çalışma konularının tanımlanmasına ait ekran görüntüsü (Xbuild)

Kalibrasyon işlemine geçmeden önce son olarak arazide gözlemlenen ve ölçülen veriler modele uygun formata dönüştürülerek hasat dönemine ait veriler için A Dosyası, vejetasyon dönemi boyunca ölçülen veriler için T dosyası şeklinde hazırlanmıştır. A ve T dosyalarına girilen veriler ve modelde onları tanımlayan kodları Çizelge 3.5'de verilmiştir. Veriler DSSAT'ın içinde bulunan ATCreate aracı ile modele tanımlanmıştır.

DSSAT-CROPGRO, tane verimi ve biyokütle ağırlığının kuru madde bazında olmasını (nem içeriğinin 0 olması) gerektirmektedir (Boote ve ark., 1998). Arazi çalışmalarında

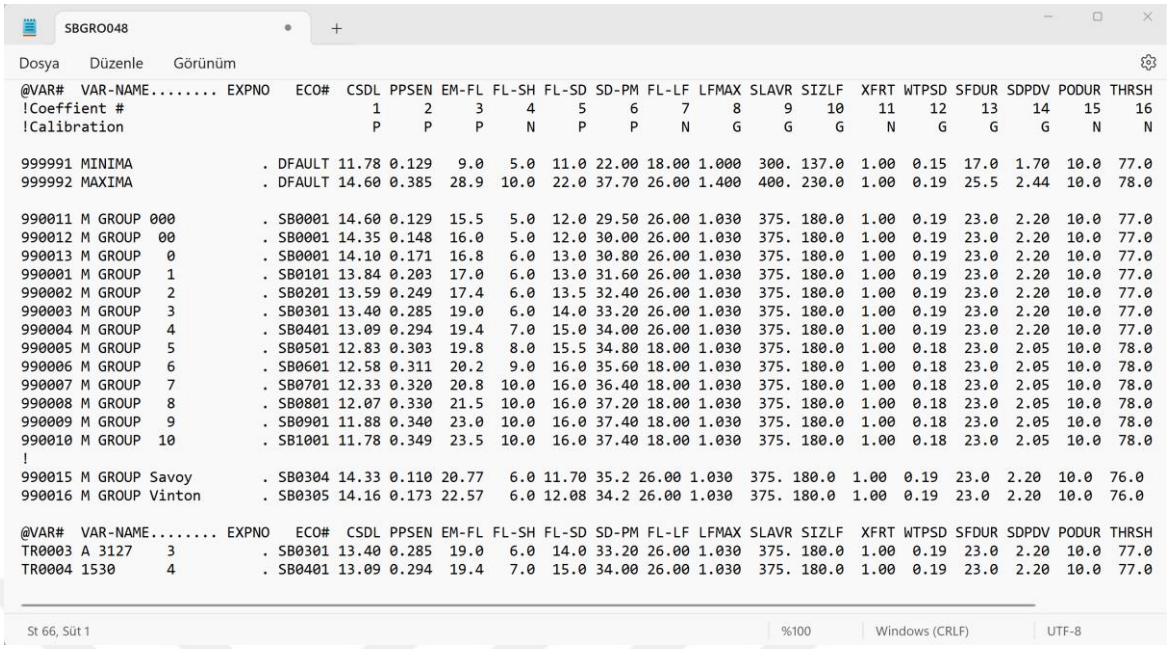
tane verimi ve biyokütle ölçümleri nem içeriğinin yaklaşık olarak %10 kabul edilmiş ve ölçümler nem içeriği sıfır olacak şekilde dönüştürülmüştür.

Çizelge 3.5. Arazi verilerinin modele tanımlanması için oluşturan A ve T dosyalarına ait veriler ve kodları

A Dosyası		**T Dosyası**	
Parametreler	**Kodlar**	**Parametreler**	**Kodlar**
Biyokütle ağırlığı (kg/ha)	CWAM	Yaprak alan indeksi	LAID
Tane verimi (kg/ha)	HWAM		
Maksimum LAI	LAIX		
Çiçeklenme zamanı (YDOY)	ADAT		
Fizyolojik olg. zamanı (YDOY)	MDAT		

DSSAT modelinde katsayılar, genotip dosyası içinde çeşit (.CUL), ekotip (.ECO) ve türe (.SPE) göre ayrılarak her bitki için üç farklı dosya şeklinde sunulmaktadır. Örneğin soya fasulyesi için dosya "SBRGRO048" şeklinde adlandırılmıştır. Kalibrasyon aşamasında öncelikle çeşit ile ilgili genetik katsayılar üzerinde çalışılmaktadır. Bu katsayılarda yapılan değişiklik ile uygun sonuçlar elde edilemediği durumlarda tür ve genotip üzerine belirlenmiş katsayılarda değişiklik yapılabilmektedir (Gürkan, 2019).

Modelde çalışılacak her yeni çeşit bitki dosyası içerisine tanımlanmalıdır. Tez çalışmasında iki çeşit ait olduğu olgunluk grubuna göre sırasıyla TR0003 ve TR0004 şeklinde tanımlanmıştır. Bu çeşitler için genetik katsayıların başlangıç değeri modelin veri tabanından olgunluk grubu temel alınmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. DSSAT-CROPGRO Soya fasulyesi çeşit özelinde genetik katsayı dosyasına ait ekran görüntüsü

DSSAT-CROPGRO modelinde soya fasulyesi bitkisi için çeşite yönelik 18, ekotipe yönelik 13 ve türe yönelik 18 katsayı tanımlanmıştır. Çalışmada, çeşit özelinde olan ve Çizelge 3.6'da verilen genetik katsayılar üzerinden kalibrasyon işlemi yürütülmüştür. Ekotip ve türle ilgili katsayılar üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

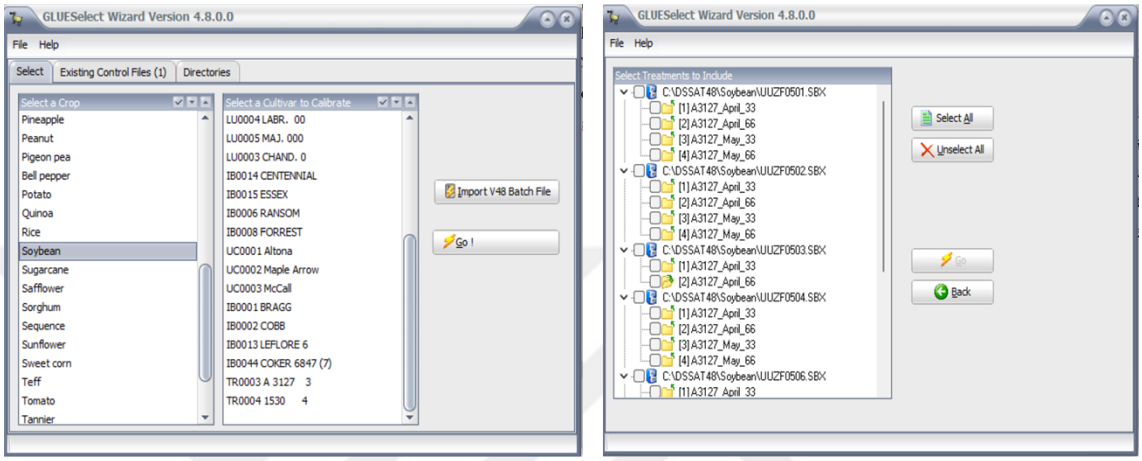
Çizelge 3.6. DSSAT-CROPGR

O soya fasulyesi için genetik katsayılar

Genetik Katsayı	Açıklama
CSDL	Kritik gün uzunluğu
PPSEN	Güneşlenmeye bağlı gelişim eğilimi
EM-FL	Çimlenme ve çiçeklenme arası süre (R1)
FL-SH	İlk çiçeklenme (R1) ile ilk bakla (R3) dönemi arası süre
FL-SD	İlk çiçeklenme (R1) ile ilk tane dönemi arası süre (R5)
SD-PM	İlk tane (R5) ile fizyolojik olgunluk (R7) dönemi arası süre
FL-LF	İlk çiçeklenme (R1) ile yaprak gelişimi sonu arasında geçen süre
SFDUR	Standart büyüme koşullarında bakla tane doldurma süresi
PODUR	Uygun(optimal) koşullarda son bakla dolumu için gereken süre
LFMAX	Maksimum yaprak fotosentez oranı
SLAVR	Standart büyüme koşullarında spesifik yaprak alanı
SIZLF	Maksimum yaprak alanı
XFRT	Günlük maksimum büyüme oranı
WTPSD	Maksimum tane ağırlığı
SDPDV	Standart büyüme koşullarında bakla başına ort. tane sayısı
THRSH	Olgunlaşma dönemindeki maksimum “Tane / (tane+kabuk)” yüzdesi
SDPRO	Tane protein yüzdesi
SDLIP	Tane yağ yüzdesi

DSSAT-CROPGRO bitki simülasyon modeli bitkiye özgü genetik katsayıların tahmin edilmesinde farklı yöntemler sunmaktadır. Çalışmada, tahmin sürecinde kullanılan verilere dayanarak en iyi katsayıları belirlemek amacıyla katsayıların önceki dağılımlarından Monte Carlo örneklemesini ve Gauss olasılık fonksiyonunu kullanan bir Bayes tahmin yöntemi olan GLUE (Genelleştirilmiş Olasılık Belirsizlik Tahmini) ara yüzü kullanılmıştır (Jones ve ark., 2010).

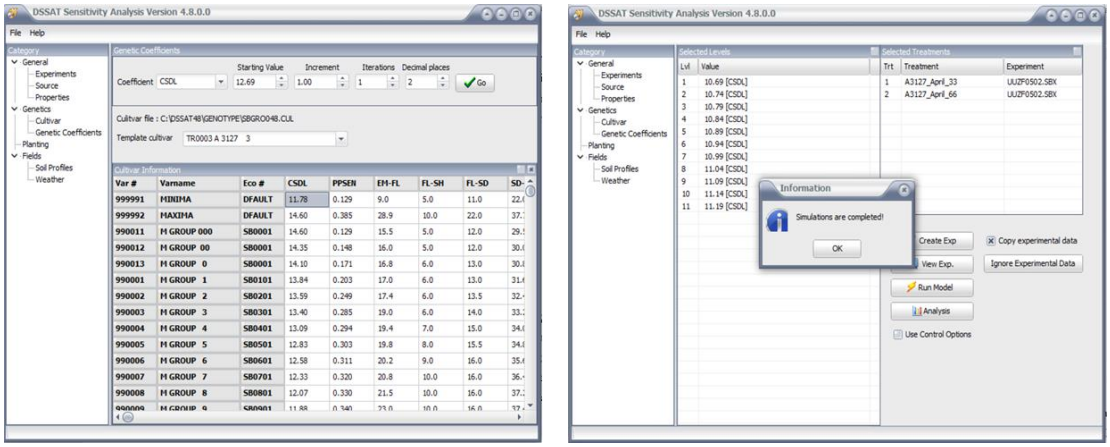
GLUE öncelikle kullanıcılara bir bitki ve o bitkiye ait çeşidin seçilebilmesi için olanak tanımaktadır. Daha sonra o çeşit için DSSAT veri tabanında ölçümleri var olan tüm denemeler seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu denemelerden en az bir tanesi seçilebileceği gibi aynı çeşide ait farklı bölgelerde ya da farklı konularda yürütülmüş birkaç deneme de seçilebilmektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. DSSAT modeli içerisinde genetik katsayıları belirlemede kullanılan GLUE ara yüzüne ait ekran görüntüsü

GLUE çalıştırılmadan önce kaç tekrarlı ve fenolojik dönem ya da büyüme ya da her ikisini içeren katsayılar için mi çalıştırılacağı seçilmelidir. Genel olarak her parametre için ayrı ayrı ve en az 10 000 tekrarlı çalıştırılması önerilmektedir. Tez çalışmasında, fenolojik gelişme dönemine ait katsayılar için 15 000 tekrar ve büyüme katsayıları için 15 000 tekrar olmak üzere her iki bitki çeşidi içinde ayrı ayrı GLUE çalıştırılmıştır.

GLUE'nun çalıştırılması ile elde edilen katsayılar ile modelin performansı istenilen düzeye ulaşmadığı için yine modelin içinde bulunan hassasiyet analizi uygulanmıştır. Hassasiyet analizinde çeşit için üzerinde çalışılmak istenen katsayıya bir başlangıç değeri atanmıştır. Daha sonra bu değerden itibaren ne kadar aralıklarla artacağı ve kaç defa yineleme yapılacağı belirtilmiştir. Hassasiyet analizine ait ekran görüntüsü Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. DSSAT hassasiyet analizi ekran görüntüsü

Hassasiyet analiz ile katsayıların belirlenmesinde Bao ve ark. (2015a) tarafından yürütülen çalışmanın kalibrasyon aşamasında bahsedilen yol izlenmiştir. Kalibrasyon aşamasında öncelikle olarak fizyolojik olgunluk tarihinin doğru tahmin edilmesi esastır. Bu nedenle ilk olarak bu parametrenin tahmin edilmesinde etkili olan EMFL, FLSD, FLSH ve SDPM katsayıları üzerinde çalışılmıştır. Tahmin edilen fizyolojik olgunluk tarihinin gözlem verisiyle eşit veya oldukça yakın olduğu katsayı değerleri seçilmiştir. Fizyolojik olgunluk tarihi hesaplandıktan sonra tane veriminde etkili olan WTSPD, PODUR, SFDUR ve LFMAX katsayıları üzerinde çalışılmıştır. Aynı zamanda biyokütle ve yaprak alan indeksi değişkenleri de incelenmiştir.

Kalibrasyon işlemlerinden elde edilen en iyi katsayıların her değişken için gözlem verilerini tahmin etmedeki performansının değerlendirilmesinde bazı istatistik yöntemler kullanılmıştır. Aşağıda açıklanan yöntemler ile gözlem verileri model sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

a) **Bağıl Hata (Relative Error-RE):** Gözlem verileri ile model verileri arasındaki farkın gözlem verisine olan yakınlığının yüzde olarak ifade edilmesidir. Bağıl hatanın küçük olması idealdir (Eşitlik (3.1)).

$$\text{Bağıl Hata} = \frac{y-\hat{y}}{y} * 100 \qquad (3.1)$$

y = gözlem verisi

ŷ = model verisi

b) Hata Kareler Ortalaması Karekökü (Root Mean Square Error – RMSE): Gözlem verileri ile model ile tahmin edilen veriler arasındaki hata oranını belirlemek için kullanılır (Eşitlik (3.2)). RMSE 0 değerine yakın olması gözlem verileri ile model verilerinin birbiri ile uyumlu olduğunu gösterir.

$$\text{RMSE}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i-y_i)^2}{n}} \qquad (3.2)$$

y = gözlem verisi
ŷ = model verisi
n = veri sayısı

c) Model Tutarlılık İndeksi (Index of Agreement - d) : Wilmott (1981) tarafından model tahmin hata derecesinin standartlaştırılmış bir ölçüsü olarak geliştirilmiştir (Eşitlik (3.3)). Model tutarlılık indeksi 0 ile 1 arasında bir değer alır. Değerin 1 olması model verisi ile gözlem verisi arasındaki mükemmel uyumu, 0 ise uyumun olmadığını gösterir.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i-\bar{O}|+|O_i-\bar{O}|)^2} \qquad (3.3)$$

O = gözlem verisi
P = model verisi
Ō = gözlem veri ortalaması
n = veri sayısı

Kalibrasyon aşamasında en küçük RMSE'ye ve 1'e en yakın indekse sahip olan genetik katsayılar seçilmiştir. Kalibrasyon aşamasında elde edilen katsayıların farklı yetiştirme sezonunda ya da farklı bölgelerde yürütülen denemelerde de gözlem verilerini doğru bir şekilde tahmin edileceğinin belirlenmesi gereklidir. Bu çalışmada 2006 yılı arazi verileri kullanılarak modelin performansı test edilmiştir.

3.2.3. İklim Değişikliğinin Etkisinin Belirlenmesi

Soya fasulyesi verimi üzerinde iklim değişikliğinin etkisinin belirlenmesi çalışmasında DSSAT modelinin içinde yer alan başlangıç koşullarının her büyüme mevsiminde yeniden başlatıldığı uzun yıllar (mevsimsel) analiz kullanılmıştır. Öncelikle üç küresel iklim modelinin referans dönem verileri ve iki senaryosu (RCP4.5, RCP8.5) için toplamda 9 adet istasyon oluşturulmuştur. Bölge koşulları ve çiftçi uygulamalarını temsil etmek adına 30 Nisan ve 15 Mayıs olmak üzere iki adet ekim tarihi belirlenmiş, ekim sıklığı 45 bitki /m^2 ve ekim aralığı ise 70 cm olarak alınmıştır. Sulama, toprak su içeriğinin 0,00 ile 0,30 m arasındaki toprak katmanı için drenaj üst sınırı ile alt sınırı arasındaki bağıl farkın %50' nin altına düştüğü zaman uygulanmıştır. Uzun yıllar analizi, fosfor, potasyum, kimyasallar, hastalıklar ve toprak işleme seçeneklerinin kapatılıp sadece nitrojen, simbiyoz ve otomatik sulama ile ilgili seçeneklerin açılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Uzun yıllar analiz uygulaması, farklı iklim senaryoları ile çalıştırılarak sonuçları referans (1971-2000), yakın (2040-2069) ve uzak (2070-2098) gelecek olmak üzere üç farklı dönem için değerlendirilmiştir. Sonuçlar, iklim değişikliğinin fizyolojik olgunluğa erişme süresi, tane verimine ve su kullanım verimliliğine olan etkileri alt başlıkları altında değerlendirilmiştir. İklim değişikliğinin verim üzerine etkilerinin belirlenmesinde gözlemlenen ve ilgili dönem için tahmin edilen verim ortalamaları Eşitlik (3.4) 'e göre hesaplanmıştır.

$$\text{Verim değişimi (\%)} = \frac{OV_m - OV_{rf}}{OV_g}\ x\ 100 \qquad (3.4)$$

Eşitlikte;

OV_m: Model tarafından tahmin edilen verimlerin ortalamasını (kg ha^{-1}),
OV_{rf}: Referans döneme ait verimlerin ortalamasını (kg ha^{-1}) ifade etmektedir.

Tane verimine ilişkin su kullanım verimliliğinin (WP) belirlenmesinde aşağıdaki Eşitlik (3.5)'den yararlanılmıştır (Molden, 1997).

$$WP = \frac{YLD}{ET} \quad (3.5)$$

Eşitlikte;

WP: Su kullanım verimliliği (kg ha^{-1} mm^{-1}),
YLD: Öngörülen tane verimini (kg ha^{-1}),
ET: Mevsimlik bitki su tüketimini (mm) ifade etmektedir.

Mevsimlik bitki su tüketiminin hesaplanmasında, DSSAT modeli kullanıcılara farklı seçenekler sunmaktadır. Çalışmada, bitki su tüketiminin hesaplanmasında FAO56 (Allen ve ark., 1998) yöntemi kullanılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. DSSAT-CROPGRO Modelinin Kalibrasyonu ve Doğrulamasına İlişkin Bulgular

2005 yılında yürütülen arazi çalışmasından elde edilen soya fasulyesi büyüme ve gelişme verileri Bursa ili ekolojik koşulları altında DSSAT-CROGRO modelini kalibre etmek ve farklı olgunluk grubuna dahil çeşitlerin genetik katsayılarını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Modelin GLUE ara yüzü kullanılarak soya fasulyesi fenoloji, büyüme ve gelişmesi ile ilgili A3127 ve 1530 çeşitlerine yönelik elde edilen genetik katsayılar elde edilmiş ve Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. DSSAT-CROPGRO soya fasulyesi çeşit özelinde elde edilen genetik katsayı değerleri

Genetik Katsayı	A 3127 (MGIII)	1530 (MGIV)
CSDL	12,69	13,05
PPSEN	0,313	0,346
EM-FL	22,24	22,60
FL-SD	14,30	16,81
SD-PM	25,25	27,66
LFMAX	1,151	1,207
SLAVR	324,5	399,0
SIZLF	137,1	152,6
WTPSD	1,175	0,193
SFDUR	24,93	25,49
SDPDV	2,020	2,435
PODUR	12,20	12,00

Gözlem verileri ile model verilerinin karşılaştırıldığı kalibrasyon (2005 yılı) ve doğrulama (2006 yılı) sonuçları A3127 çeşidi için Çizelge 4.2'de yer almaktadır. Çiçeklenme zamanı ve olgunlaşma zamanı ekim tarihinden itibaren geçen gün sayısını ifade etmektedir. Model ilk yıl fizyolojik olgunluk tarihinin, ikinci yıl ise çiçeklenme

tarihinin belirlenmesinde %100'lük bir başarı göstermiştir. İkinci yıl bitki fizyolojik olgunluğa gözlem verisine göre 1 gün daha geç erişmiştir.

Çizelge 4.2. A3127 (MGIII) çeşidi için kalibrasyon ve doğrulama sonuçları

Parametreler	**Gözlem**	**Model**	**Fark (%)**	**RMSE**	**d**
Kalibrasyon – 2005 yılı					
Çiçeklenme zamanı (gün)	67	67	0,0	-	-
Olgunlaşma zamanı (gün)	134	134	0,0	-	-
Tane verimi (kg ha^{-1})	3254	3240	- 0,4	15,6	0,99
Biyokütle ağırlığı (kg ha^{-1})	7404	7100	- 4,1	452,3	0,86
Yaprak alan indeksi (max)	4,77	4,67	- 2,0	0,1	0,99
Doğrulama – 2006 yılı					
Çiçeklenme zamanı (gün)	66	66	0,0	-	-
Olgunlaşma zamanı (gün)	131	132	0,7	-	-
Tane verimi (kg ha^{-1})	2672	2612	- 2,2	103,2	0,93
Biyokütle ağırlığı (kg ha^{-1})	6396	6839	6,9	531,0	0,82
Yaprak alan indeksi (max)	4,14	4,15	0,2	0,08	0,99

Tane verimi, biyokütle ağırlığı ve LAI gözlem verileri ile model verileri arasındaki bağıl hata değerleri ilk yıl için sırasıyla – 0,4, -4,1 ve -2,0 ve ikinci yıl için - 2,2, 6,9, 0,2 olarak hesaplanmıştır. Tane verimi için ilk yıl RMSE değeri 15,6 kg ha $^{-1}$, ikinci yıl için 103,2 kg ha^{-1} olarak belirlenmiştir. Modelin tahmin performansını analiz etmede kullanılan model tutarlılık indeksi iki yıl için tüm parametrelerde 0,82 ila 0,99 arasında değişiklik göstermiştir. Özellikle tane verimi ve yaprak alan indeksi için bu değerin 1'e çok yakın olması modelin bu parametreleri tahmin etmede mükemmel olduğunu göstermektedir.

Kalibrasyon için modelin 1530 (MGIV) çeşidi ile modelin çalıştırılması sonucu edilen veriler ile 2005 ve 2006 yılına ait gözlem verileri karşılaştırılmış ve analiz sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir. İlk yıl model çiçeklenme ve fizyolojik olgunluk tarihini gözlem değerine göre 1 gün daha geç olarak tahmin etmiştir. İkinci yıl ise model ve gözlem verileri arasında çiçeklenme tarihi için %3,1'lik, fizyolojik olgunluk tarihi için %2,3 hata hesaplanmıştır. Bu farklar daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, modelin fenolojik dönemleri tahmin etmede gözlem değerleri ile uyumlu olduğunu belirtmek mümkündür.

Çizelge 4.3. 1530 (MGIV) çeşidi için kalibrasyon ve doğrulama sonuçları

Parametreler	**Gözlem**	**Model**	**Fark (%)**	**RMSE**	**d**
Kalibrasyon – 2005 yılı					
Çiçeklenme zamanı (gün)	67	68	1,2	-	-
Olgunlaşma zamanı (gün)	134	135	0,7	-	-
Tane verimi (kg ha^{-1})	3466	3554	3,1	146,5	0,93
Biyokütle ağırlığı (kg ha^{-1})	7618	7190	- 5,6	550,9	0,81
Yaprak alan indeksi (max)	5,11	5,15	0,7	0,18	0,98
Doğrulama – 2006 yılı					
Çiçeklenme zamanı (gün)	65	67	3,1	-	-
Olgunlaşma zamanı (gün)	130	133	2,3	-	-
Tane verimi (kg ha^{-1})	2936	2796	- 4,7	173,1	0,86
Biyokütle ağırlığı (kg ha^{-1})	6502	6974	7,2	477,0	0,85
Yaprak alan indeksi (max)	4,44	4,51	1,5	0,3	0,93

Model ve gözlem verileri arasındaki bağıl hata, 2005 ve 2006 yılları için sırasıyla 3,1 ve -4,7, RMSE ise 146,5 kg ha^{-1} ve 173,1 kg ha $^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Model tutarlılık indeksi sonuçları incelendiğinde modelin ilk yıl 0,93 değeri ile gözlem verisini mükemmel, ikinci yıl ise 0,86 değeri ile iyi derecede tahmin ettiği söylenebilir. Model biyokütle verimini, ilk yıl gözlem verisinden daha düşük (%- 5,6), ikinci yıl ise daha yüksek (%7,2) tahmin etmiştir. Kalibrasyon aşaması için biyokütlenin RMSE ve d indeksi sonuçları sırasıyla 550,9 kg ha-1, 0,81, modelin doğrulaması için 477,0 kg ha-1, 0,85

şeklindedir. Yaprak alan indeksi için RMSE ve d indeksi sonuçları ilk yıl için sırasıyla 0,18, 0,98, ikinci yıl için ise 0,3, 0,93 şeklindedir. Bu sonuçlara bakılarak, kalibrasyon sırasında 1530 (MGIV) çeşidine ait elde edilen genetik katsayıları ile modelin verim ve verim öğelerini tahmin etmede gözlem verileriyle uyumlu sonuçlar verdiğini belirtmek mümkündür.

Çalışma sonuçları, farklı çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermektedir. Boote ve ark. (2003) ve Bao ve ark. (2015a)'nın çalışmalarında tane verimi için RMSE değerleri sırasıyla 226 ila 650 kg ha^{-1} ve 201 ila 413 kg ha^{-1} arasında elde edilmiştir. Battisti ve ark. (2017) tarafından yürütülen bir çalışmada ise tane verimi için RMSE değeri 548 kg ha^{-1}, d indeksi 0,93 olarak bildirilmiştir.

Diğer yürütülen çalışmaların sonuçları ile karşılaştırıldığında DSSAT-CROPGRO modelinin Bursa ili için farklı olgunluk grubuna dahil çeşitlerin fenolojik dönem, verim ve verim öğelerini tahmin etmede kabul edilebilir performans gösterdiği belirlenmiştir.

4.2. İklim Projeksiyon Verilerinin Değerlendirilmesi

Bursa ili için soya fasulyesinin veriminde iklim değişikliğinin araştırılmasında kullanılan üç küresel iklim modeli; GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve iki küresel iklim senaryosu; RCP4.5, RCP8.5 temelinde elde edilen projeksiyon sonuçları aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. Çizelgelere göre yıllık ortalama minimum ve maksimum sıcaklıkların 2040 - 2098 dönemi genelinde artış göstereceği, yağışların ise modeller arasında farklılık göstererek artış/azalış eğilimi göstereceği öngörülmektedir. İklim projeksiyonları sonuçlarına göre tüm dönemler boyunca minimum sıcaklık değerlerinde 1,4 ila 2,7 °C artış olacağı öngörülmektedir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Minimum sıcaklık değerlerinin referans döneme göre değişimi (°C)

Küresel İklim Modeli	Senaryo	Dönem	
		2040-2069	2070-2098
GFDL-ESM2M	RCP4.5	1,5	1,4
	RCP8.5	2,1	3,0
HadGEM2-ES	RCP4.5	2,4	3,0
	RCP8.5	3,1	4,9
MPI-ESM-MR	RCP4.5	1,4	1,6
	RCP8.5	1,9	3,5

Çizelge 4.4'teki projeksiyon sonuçları incelendiğinde, HadGEM2-ES küresel iklim modeli tarafından öngörülen minimum sıcaklık artışlarının diğer modellere göre yakın ve uzak gelecekte daha yüksek olacağı görülmüştür. RCP4.5 senaryosuna kıyasla RCP8.5'te minimum sıcaklıkların daha çok artış göstereceği öngörülmektedir. Yine uzak gelecekte (2070 - 2098) minimum sıcaklıkların referans döneme göre artışının yakın geleceğe (2040 - 2069) kıyasla 0,2 ila 1,8 °C daha fazla olacağı görülmektedir.

Öngörülen maksimum sıcaklık değerlerinin referans döneme göre değişimi incelendiğinde, tüm dönem boyunca artışların 1,6 ila 4,2 °C arasında değişeceği görülmüştür (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Maksimum sıcaklık değerlerinin referans döneme göre değişimi (°C)

Küresel İklim Modeli	Senaryo	Dönem	
		2040-2069	2070-2098
GFDL-ESM2M	RCP4.5	1,7	1,6
	RCP8.5	2,3	3,4
HadGEM2-ES	RCP4.5	2,5	3,2
	RCP8.5	3,3	5,2
MPI-ESM-MR	RCP4.5	1,4	1,6
	RCP8.5	2,1	4,0

Çizelge 4.5'te görüldüğü gibi en yüksek maksimum sıcaklık artışının görüldüğü iklim modeli HadGEM2-ES iken onu MPI-ESM-MR takip etmektedir. RCP4.5 senaryosuna kıyasla RCP8.5'te maksimum sıcaklıkların daha çok artış göstereceği öngörülmektedir. Yakın gelecekte (2040 – 2069) öngörülen maksimum sıcaklıkların referans döneme göre artış miktarı 1,4 ila 3,3 °C arasında değişirken uzak gelecekte (2070 - 2098) 1,6 ila 5,2 °C arasında değişmiştir.

Çizelge 4.6 'da görüldüğü üzere yağış miktarlarının küresel iklim modelleri arasında farklılık göstererek referans döneme göre artış/azalış eğilimi göstereceği öngörülmektedir. GFDL-ESM2M küresel iklim modelinde ise genel olarak azalış eğilimi görülürken RCP4.5 senaryosunun uzak gelecek döneminde artış söz konusudur. HadGEM2-ES küresel iklim modeli yağış projeksiyonlarına göre yıllık toplam yağış miktarında referans döneme göre yakın gelecekte RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için sırasıyla %24 ve %25, uzak gelecekte ise %18 ve %19 artış olacağı öngörülmektedir. MPI-ESM-MR küresel iklim modelinin RCP4.5 senaryosunda yakın ve uzak gelecekte sırasıyla % 6, %7 artış söz konusu iken RCP8.5 senaryosunda yakın gelecekte % 4 artış, uzak gelecekte ise %14 azalış olacağı tahmin edilmektedir.

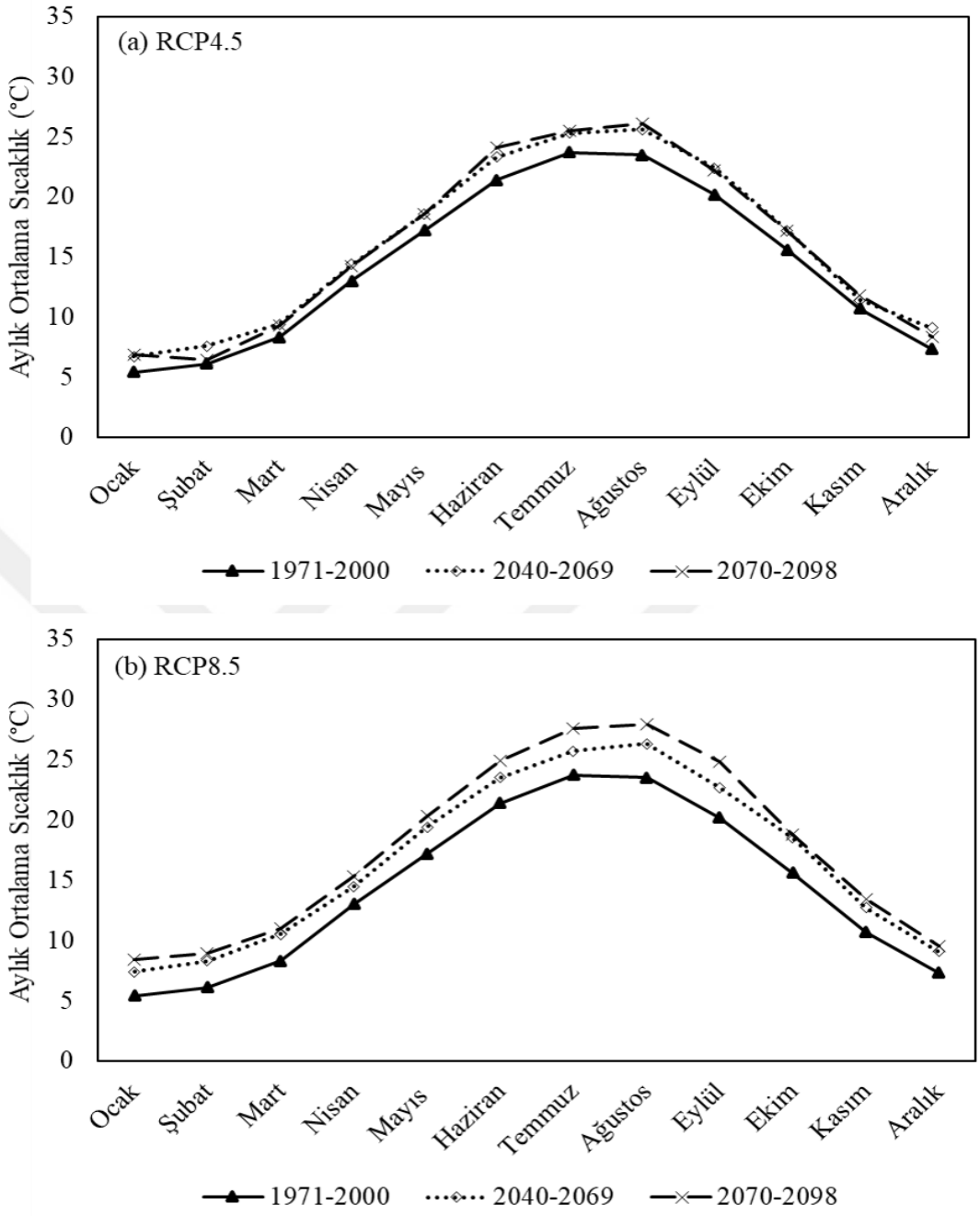
Çizelge 4.6. Farklı iklim modelleri ve senaryoları altında öngörülen yıllık toplam yağış miktarlarının referans döneme göre değişimi (%)

Küresel İklim Modeli	**Senaryo**	**Dönem**	
		2040-2069	**2070-2098**
GFDL-ESM2M	RCP4.5	- 6	2
	RCP8.5	- 3	- 6
HadGEM2-ES	RCP4.5	24	18
	RCP8.5	25	19
MPI-ESM-MR	RCP4.5	6	7
	RCP8.5	4	- 14

Optimum gelişme için bitkilerin sıcaklık istekleri ve su ihtiyaçları bitkiden bitkiye değişmekle birlikte mevsimlere göre de farklılık göstermektedir. Bu nedenle sıcaklık ve

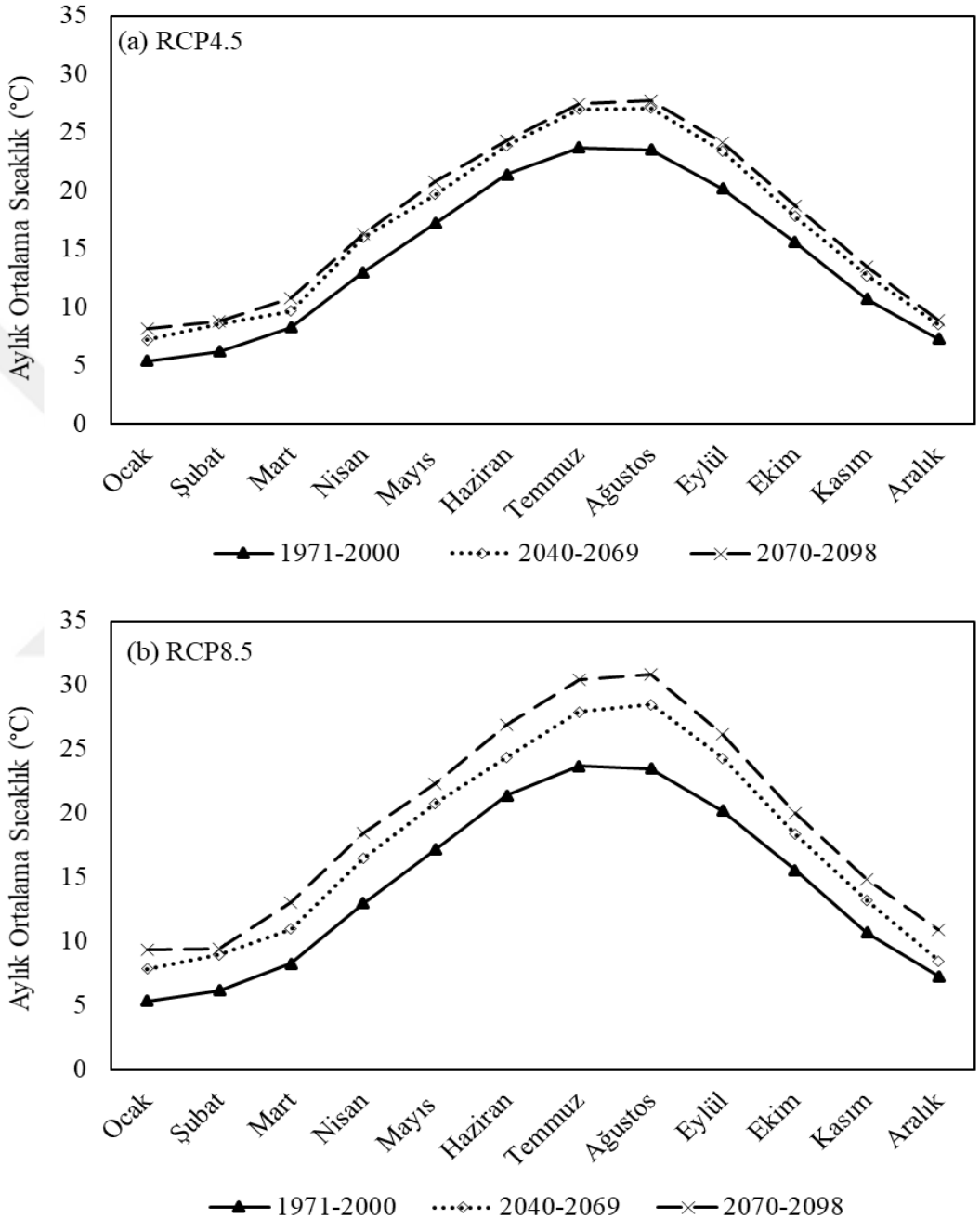
yağış verilerinin gelecek yıllarda sadece yıllık olarak değerlendirilmesi farklı yetiştirme dönemine sahip tarımsal ürünlerin yetiştirilmesi için yeterli olmamaktadır. Çalışmada, sıcaklık ve yağış projeksiyonları her bir küresel iklim modeli için aylık olarak değerlendirilmiştir.

GFDL-ESM2M küresel iklim modeli ortalama sıcaklık değerlerindeki artış RCP4.5 senaryosuna göre en düşük 0,3 °C ila en yüksek 2,6 °C değerleri arasında değişmektedir. Yüzyıl ortası için en yüksek sıcaklık artışı Eylül ayında 2,3 °C, yüzyıl sonu için ise Ağustos ve Haziran aylarında 2,6 °C'dir. Kötümser senaryo olan RCP8.5'deki ortalama sıcaklık değerleri RCP4.5'e göre daha yüksek artışlar göstermiştir. Aylara göre en düşük sıcaklık artışı 1,5°C iken en yüksek 4,6 °C'dir. Yüzyıl ortasında Ekim ayında 2,9 °C, Eylül ayında 4,6 °C artış olacağı görülmektedir (Şekil 4.1).



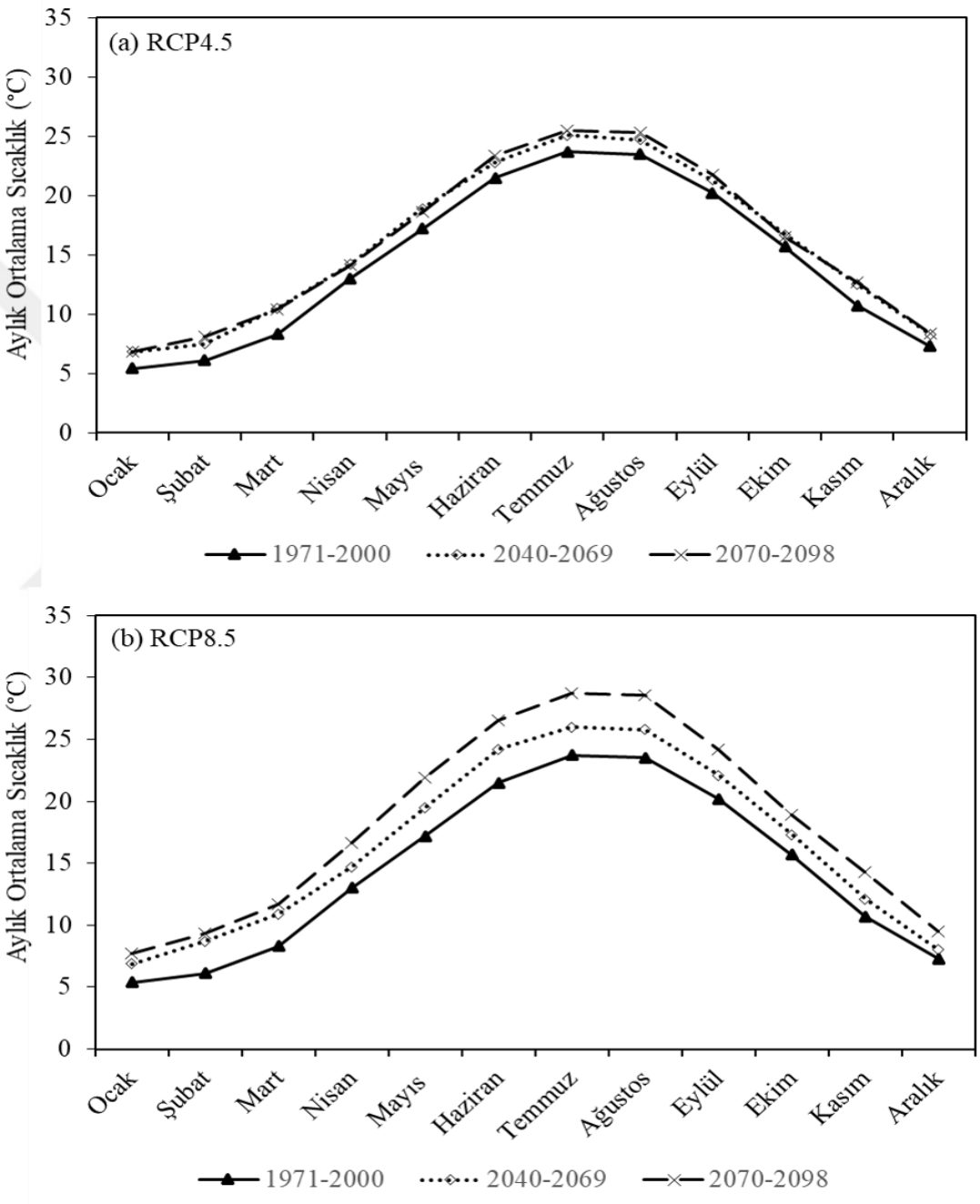
Şekil 4.1. GFDL-ESM2M küresel iklim modelinin (a) RCP4.5 ve (b) RCP8.5 senaryoları altında referans dönem (1971-2000), yakın gelecek (2040-2069) ve uzak gelecek (2070-2098) için aylık ortalama sıcaklık (°C) projeksiyonları

HadGEM2-ES küresel iklim modeli tahminlerine göre RCP4.5'ün her iki dönemi içinde sıcaklıklarda ortalama artış en az Aralık ayında (1,2 °C – 1,6 °C), en çok Ağustos ayında (3,6 °C – 4,1 °C) görülmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. HadGEM2-ES küresel iklim modelinin (a) RCP4.5 ve (b) RCP8.5 senaryoları altında referans dönem (1971-2000), yakın gelecek (2040-2069) ve uzak gelecek (2070-2098) için aylık ortalama sıcaklık (°C) projeksiyonları

Şekil 4.2 yıl bazında incelendiğinde, RCP8.5 senaryosu için referans dönemi Temmuz ve Ağustos aylarında 23 °C olan ortalama sıcaklık değerleri yüzyıl ortasında 28 °C, yüzyıl sonunda ise 30 °C'lere çıkması beklenmektedir. HadGEM2-ES, küresel iklim modelleri arasında en yüksek sıcaklık artışının öngörüldüğü modeldir.

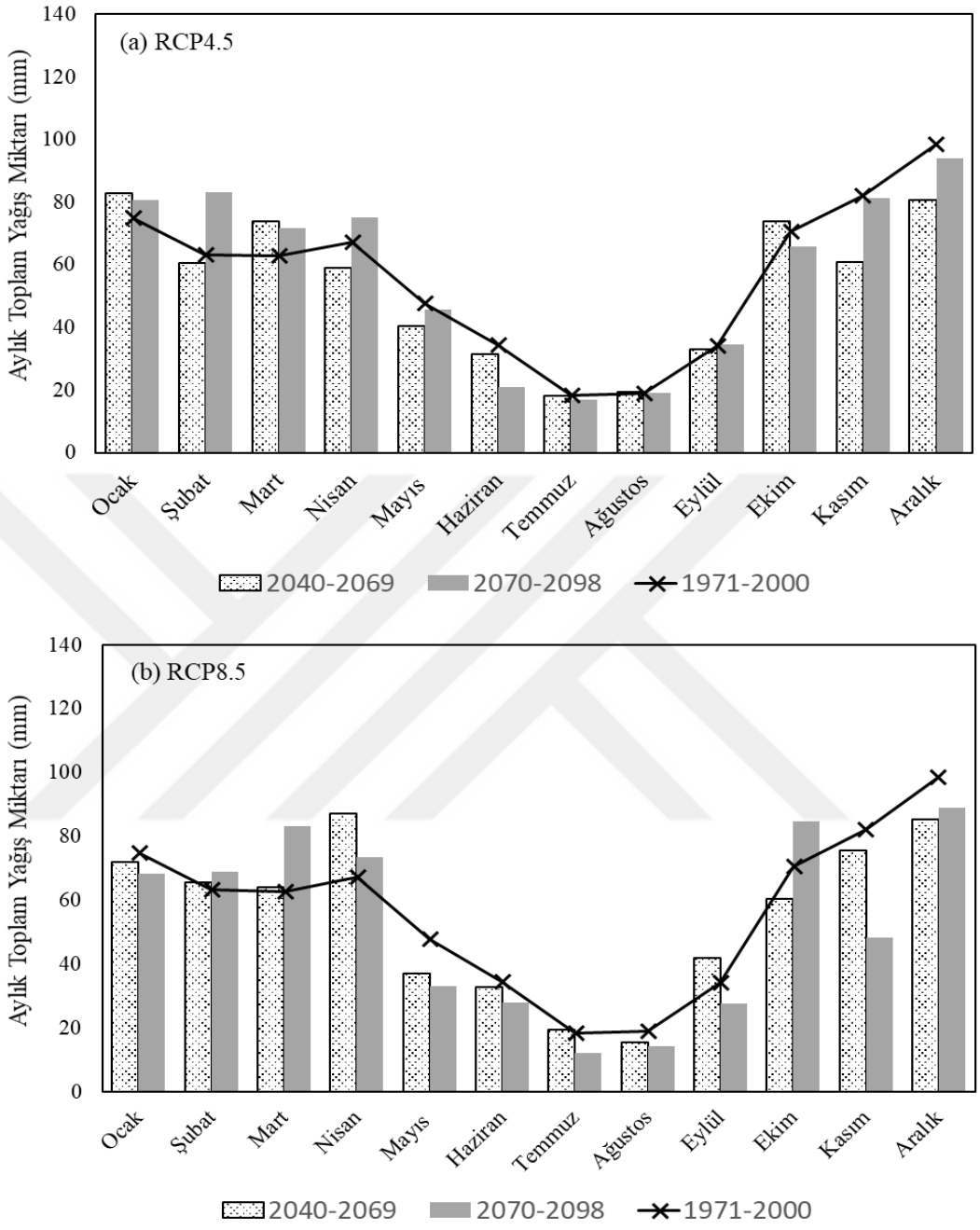


Şekil 4.3. MPI-ESM-MR küresel iklim modelinin (a) RCP4.5 ve (b) RCP8.5 senaryoları altında referans dönem (1971-2000), yakın gelecek (2040-2069) ve uzak gelecek (2070-2098) için aylık ortalama sıcaklık (°C) projeksiyonları

Şekil 4.3'te görüldüğü üzere MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 senaryosuna göre referans döneme kıyasla ortalama sıcaklıklardaki artış en düşük 0,8 °C ila en yüksek 2,1 °C değerleri arasında değişmektedir. Yüzyıl ortası için en yüksek sıcaklık artışı Mart ayında 2,1 °C, yüzyıl sonu için ise Haziran, Ağustos ve Kasım aylarında 1,9 °C öngörülmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre yüzyıl ortası için en düşük sıcaklık değişimi 0,7 °C'lik artışla Aralık ayında, en yüksek sıcaklık değişimi 2,8 °C ile Haziran ayında olacağı öngörülmektedir. Referans döneme göre yüzyıl sonunda ortalama sıcaklıklarda meydana gelecek değişim incelendiğinde özellikle yaz aylarında daha fazla artış eğilimi (ortalama 5 °C) olacağı göze çarpmaktadır. Aylara göre en düşük sıcaklık artışı 2,1 °C (Aralık) iken en yüksek 5,1 °C (Ağustos)'dir (Şekil 4.3).

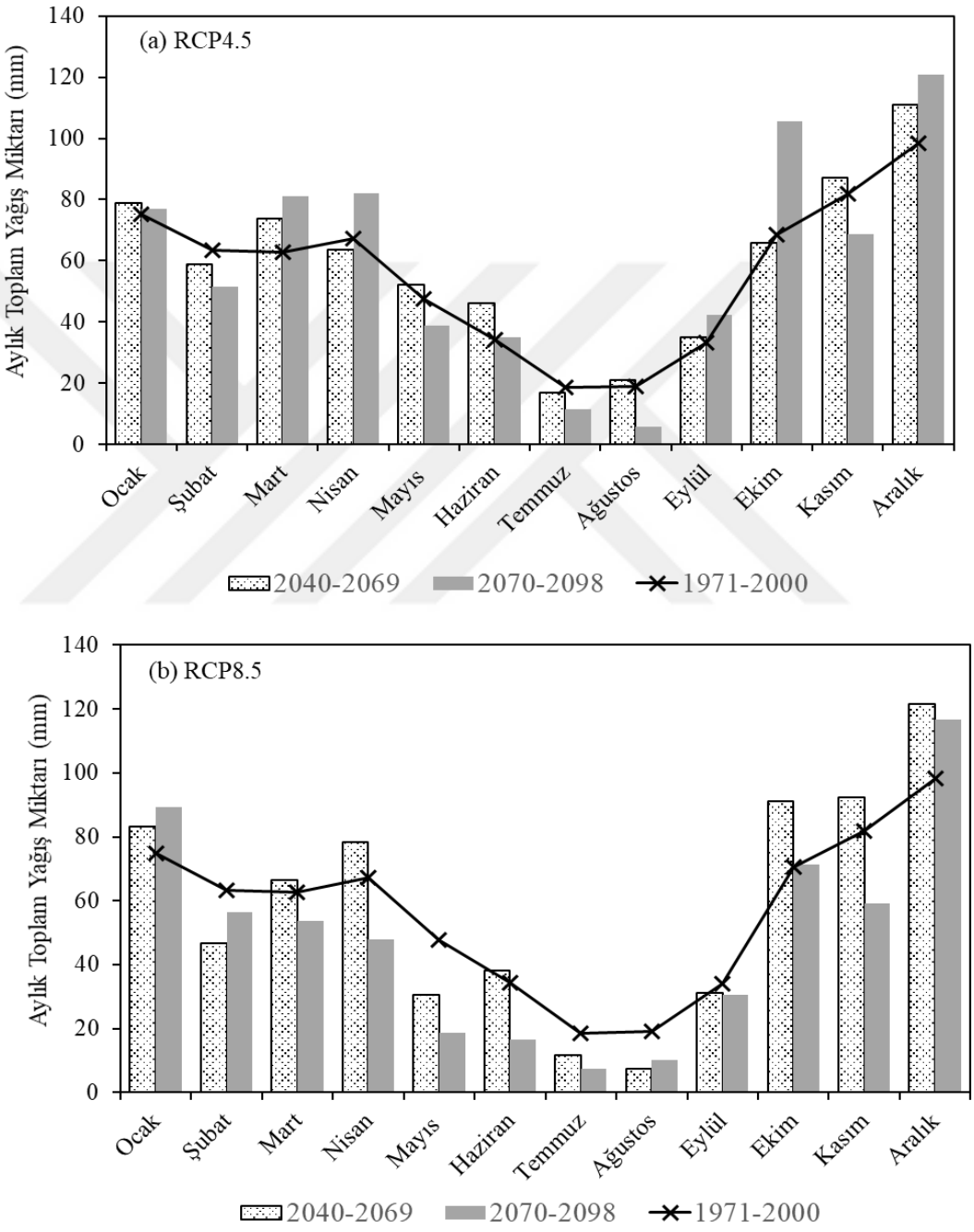
Özetle her üç küresel iklim modeli ve iki senaryosu için ortalama sıcaklık değerlerinin tüm aylarda artacağı öngörülmektedir. 1971-2000 dönemine göre en çok artış HadGEM2-ES modelinde gerçekleşmektedir. RCP4.5 senaryosu için gelecek dönemler arasında sıcaklıklarda çok fark (1 °C 'den az) görülmezken, RCP8.5 senaryo sonuçlarına göre yüzyıl ortası ve yüzyıl sonu arasında sıcaklık farkları bazı aylarda 2,7 °C yi bulmaktadır.

GFDL-ESM2M küresel iklim modeli yağış projeksiyonu sonuçlarına göre RCP4.5 senaryosu için %2 ila %39, RCP8.5 senaryosu için ise %4 ila %41 değerleri arasında yağışlarda azalış meydana geleceği öngörülmektedir (Şekil 4.4). Artış oranları ise RCP4.5 için %2 - %31, RCP8.5 için %2 - %33 aralığında değişmektedir. İyimser senaryoya göre yüzyıl ortası için aylık toplam yağış miktarının en çok azalış eğilimi gösterdiği ay Kasım (21,4 mm), artış gösterdiği ay ise Mart (11 mm) ayıdır. Yüzyıl sonunda ise en çok azalışın Haziran (13,3 mm), artışın ise Şubat (19,8 mm) ayında olacağı göze çarpmaktadır. Kötümser senaryo sonuçlarına göre yüzyıl ortası için yağış miktarlarında Aralık ayında 13,2 mm azalış, Nisan ayında ise 19,7 mm artış olması beklenmektedir. Mevsimsel olarak incelendiğinde yüzyıl ortası için kış, yaz ve sonbahar ayları yağış miktarlarında her iki senaryoda azalış eğilimi gözlenirken, ilkbaharda RCP4.5 için azalış, RCP8.5 için ise artış olacağı göze çarpmaktadır. Yüzyıl sonu dönemine bakıldığında, yağış miktarlarında yaz ve sonbahar mevsimlerinde azalış, ilkbahar mevsiminde artış ve kış mevsiminde ise RCP4.5 için artış görülürken, RCP8.5 senaryosu için azalış olacağı görülmektedir.



Şekil 4.4. GFDL-ESM2M küresel iklim modelinin (a) RCP4.5 ve (b) RCP8.5 senaryoları altında referans dönem (1971-2000), yakın gelecek (2040-2069) ve uzak gelecek (2070-2098) için aylık toplam yağış (mm) projeksiyonları

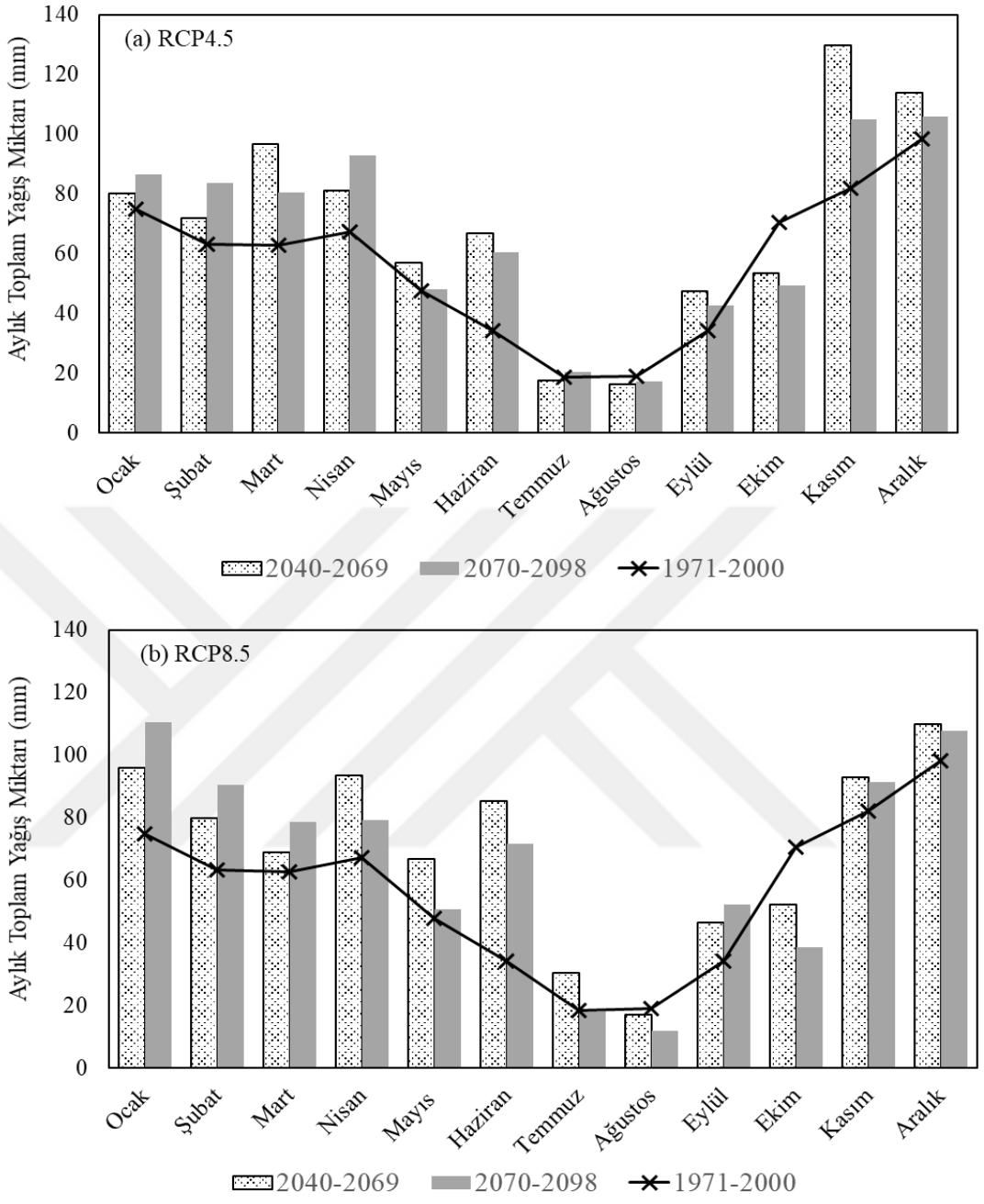
HadGEM2-ES küresel iklim modeli aylık toplam yağış miktarlarının referans döneme göre değişimi incelendiğinde RCP4.5 senaryosu yüzyıl ortası için en çok artışın Kasım (47,4 mm) ayında, azalışın ise Ekim (17,8 mm) ayında olacağı öngörülmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. HadGEM2-ES küresel iklim modelinin (a) RCP4.5 ve (b) RCP8.5 senaryoları altında referans dönem (1971-2000), yakın gelecek (2040-2069) ve uzak gelecek (2070-2098) için aylık toplam yağış (mm) projeksiyonları

Şekil 4.5'e göre yüzyıl sonu için yağış artışının en çok olması beklenen ay Haziran (26,2 mm) ayı iken, azalışın en yoğun olarak görüldüğü ay bir önceki dönemle benzer olarak Ekim (21,2) ayıdır. RCP8.5 senaryosuna göre en yüksek yağış miktarı artışı Haziran ayında yüzyıl ortası ve yüzyıl sonu için sırasıyla 50,8 mm ve 37,4 mm'dir. Azalışın yoğun olarak görüldüğü ay ise RCP4.5 senaryosu ile benzer olarak Ekim ayıdır. Sonuçlar mevsimsel olarak değerlendirildiğinde yüzyıl sonu sonbahar mevsimi hariç diğer mevsimlerde artış olacağı öngörülmektedir.

MPI-ESM-MR küresel iklim modeli sonuçlarına göre RCP4.5 senaryosu için % 4 ila %70, RCP8.5 senaryosu için ise % 11 ila % 62 değerleri arasında aylık toplam yağışlarda azalış meydana geleceği öngörülmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. MPI-ESM-MR küresel iklim modelinin (a) RCP4.5 ve (b) RCP8.5 senaryoları altında referans dönem (1971-2000), yakın gelecek (2040-2069) ve uzak gelecek (2070-2098) için aylık toplam yağış (mm) projeksiyonları

Şekil 4.6'da artış oranları RCP4.5 senaryosu için % 2 - % 54, RCP8.5 senaryosu için ise %1 - % 29 arasında değişmektedir. Mevsimsel düzeyde değerlendirildiğinde iyimser senaryo sonuçlarına göre yüzyıl sonu yaz mevsimi hariç diğer mevsimlerde artış beklenmektedir. Kötümser senaryo için yüzyıl ortası ilkbahar ve yaz mevsimlerinde

azalış görülürken, kış ve sonbahar mevsimlerinde artış öngörülmektedir. Yüzyıl sonu için kış mevsimi hariç diğer tüm mevsimlerde azalış beklenmektedir. Gelecek iki dönem içinde referans döneme göre yağış miktarında en yüksek azalışların yaz aylarında olacağı göze çarpmaktadır.

4.3. İklim Projeksiyonları ile Soya Fasulyesinin Büyüme ve Gelişimine İlişkin Tahminler

4.3.1. Fizyolojik Olgunluğa Erişme Süresi Tahminleri

Soya fasulyesinin farklı olgunluk grubuna dahil A3127 (MGIII) ve 1530 (MGIV) çeşitlerinin üç farklı küresel iklim modeli ve iki senaryosu altında fizyolojik olgunluğa erişme süresinin referans döneme göre yakın ve uzak gelecekteki değişimi Çizelge 4.7 de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Referans döneme göre fizyolojik olgunluğuna erişme süresindeki değişim (gün)

Küresel İklim Modeli	Senaryo	Dönem	A3127 (MGIII)		1530 (MGIV)	
			30 Nisan	15 Mayıs	30 Nisan	15 Mayıs
GFDL-ESM2M	RCP4.5	2040-2069	-3	-2	-3	-3
		2070-2098	-4	-3	-4	-4
	RCP8.5	2040-2069	-5	-5	-6	-6
		2070-2098	-7	-6	-8	-8
HadGEM2-ES	RCP4.5	2040-2069	-7	-6	-9	-8
		2070-2098	-8	-7	-11	-9
	RCP8.5	2040-2069	-8	-7	-11	-10
		2070-2098	-8	-7	-12	-10
MPI-ESM-MR	RCP4.5	2040-2069	-5	-4	-6	-6
		2070-2098	-5	-5	-6	-6
	RCP8.5	2040-2069	-6	-5	-8	-7
		2070-2098	-8	-7	-11	-10

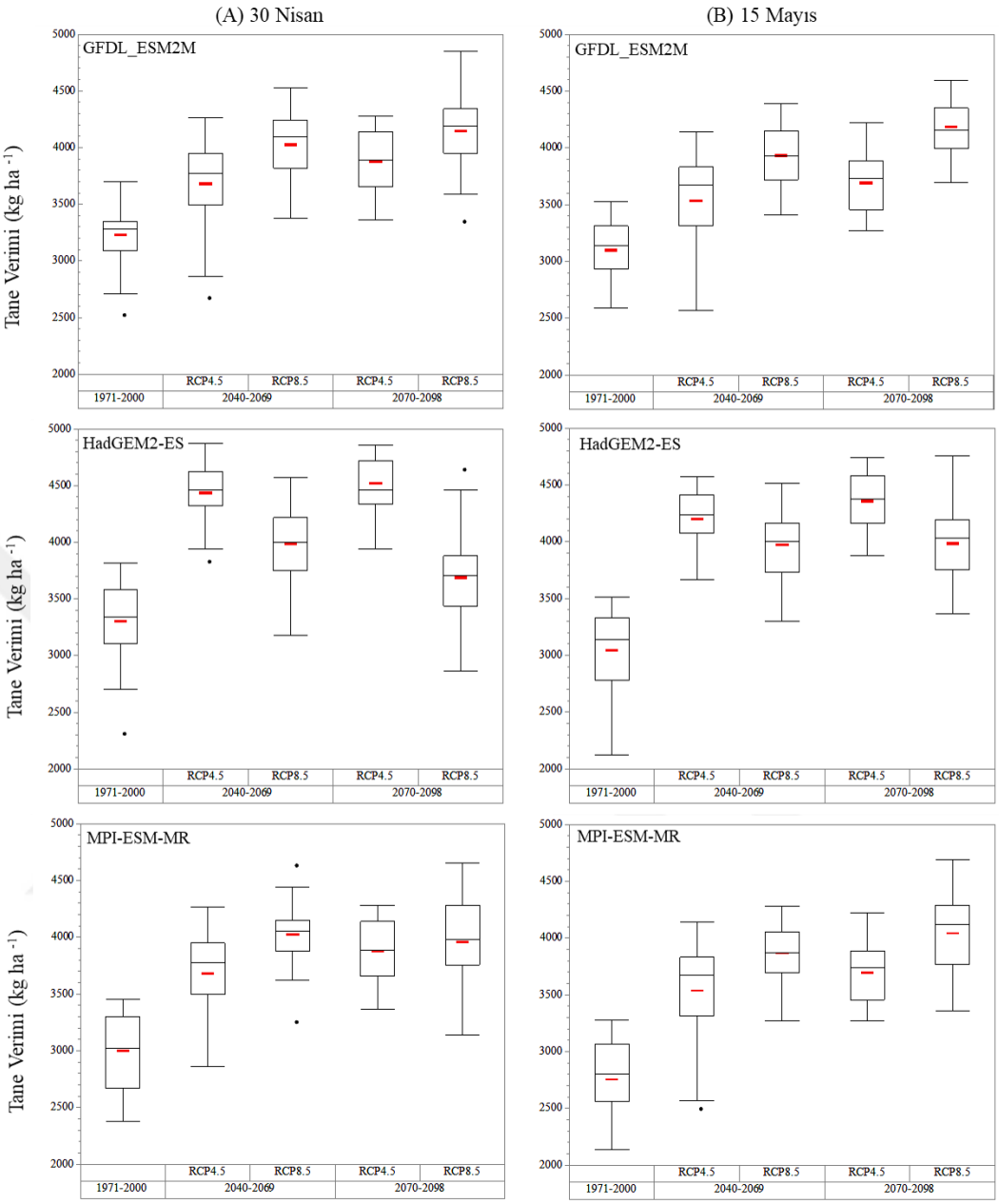
Genel olarak, Bursa İli'nde sıcaklıklarda meydana gelen artış nedeniyle soya fasulyesi daha hızlı gelişmekte ve fizyolojik olgunluğa erişme süresinde referans döneme göre 2 ila 12 gün arasında azalmalar öngörülmektedir. Daha önce farklı bölgelerde yürütülen çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Soya fasulyesinde artan sıcaklığın yetiştirme dönemi uzunluğuna olan etkisinin araştırıldığı çalışmalarda, Zhang ve ark. (2016) 4,5 gün, Onat ve ark., (2017) ise yaklaşık 10 gün daha kısa süre hasat olgunluğuna eriştiğini bildirmişlerdir. Silva ve ark., (2021) gelecekte RCP4.5 senaryosuna göre soyanın ortalama 3 gün azalma ve RCP8.5 senaryosu için ise 5 gün azalmanın öngörüldüğü sonucunu bildirmişlerdir. Jing ve ark., (2017) ise referans döneme göre RCP4.5 senaryosu altında yetiştirme dönemi uzunluğunda ortalama 10-11 gün, RCP8.5 altında ise 11-16 gün kısalma öngörmüşlerdir.

HadGEM2-ES küresel iklim modelindeki öngörülen azalma (6 ila 12 arasında) diğer iklim modellerine göre daha fazladır. Fizyolojik olgunluğa en uzun erişme süresi yakın gelecekte GFDL-ESM2M küresel iklim modelinin RCP4.5 senaryosu altında A3127 (MGIII) çeşidinin Mayıs ayında ekilmesi ile görülmektedir.

2040'tan 2098'e dönemine yönelik tahminlerde, Mayıs ayında ekim ile Nisan sonu ekim arasında fizyolojik olgunluğa erişme süresi farkları eşit ya da 1 gün daha kısadır. Bunun nedeni olarak 15 günlük ekim tarihi farkı süresince bölgede sıcaklığın çok değişken olmamasından dolayı, bitkilerin gelişme dönemlerinde birbirini yakalaması olarak gösterilebilir. Çeşitler kendi aralarında değerlendirildiğinde, MGIV dahil olan 1530 çeşidinin fizyolojik olgunluğa erişme süresi MGIII A3127'ye göre daha kısa sürmektedir. RCP8.5 senaryosunda vejetasyon dönemi uzunluğundaki azalma RCP4.5'e göre daha fazla görülmektedir. HadGEM2-ES küresel iklim modelinde senaryolar arası fark çok görülmezken, RCP8.5'te vejetasyon dönemi uzunluğu GFDL_ESM2M'de 2 ila 4 gün, MPI-ESM-MR için 1 ila 5 gün daha kısa sürmektedir.

4.3.2. Tane Verimi Tahminleri

İklim değişikliğinin, artan sıcaklığa ve yağışlardaki düzensizliğe rağmen referans dönemle karşılaştırıldığında yüzyıl ortası ve yüzyıl sonunda her iki çeşit içinde verimi arttıracağı öngörülmüştür. Sonuçların yorumlanmasında, küresel iklim modelleri ile senaryolarının dönemlere göre farklılıklarını göstermek ve aralarında karşılaştırma yapabilmek adına kutu grafiğinden yararlanılmıştır. A3127 (MGIII) çeşidinin farklı ekim tarihleri altında iklim projeksiyonları kullanılarak yakın ve uzak gelecek için ortalama verim tahminleri Şekil 4.7'de verilmiştir.



* Her bir kutunun içindeki kırmızı çizgi ortalama verimi, siyah noktalar aykırı değerleri göstermektedir.

Şekil 4.7. İklim değişikliğinin üç farklı iklim modeli, iki senaryo ve iki farklı ekim tarihi altında soya fasulyesi A3127 (MGIII) çeşidinin tane verimi üzerine etkileri.

Kutu grafiğini daha iyi analiz edebilmek adına, her bir kutuya özgü minimum-maksimum değerler, standart sapma, ortalama verim (kg ha^{-1}) ve ortalama verimin referans döneme göre değişimi (%) 30 Nisan ekim tarihi için Çizelge 4.8, 15 Mayıs ekim tarihi için Çizelge 4.9 'da sunulmuştur.

Çizelge 4.8. A3127 (MGIII) çeşidinin 30 Nisan ekimi (A) için tane verimi sonuçları

Küresel İklim Modelleri	Senaryolar	RCP4.5				RCP8.5			
	Dönem	Min. / Maks. Değerler (kg/ha)	Standart Sapma	Ort. Verim (kg/ha)	Fark (%)	Min. / Maks. Değerler (kg/ha)	Standart Sapma	Ort. Verim (kg/ha)	Fark (%)
GFDL_ESM2M	1971-2000	2520 / 3700	274,4	3230,5	-	2520 / 3700	274,4	3230,5	-
	2040-2069	2671 / 4264	397,6	3681,6	14	3376 / 4525	288,4	4024,7	25
	2070-2098	3364 / 4284	262,6	3878,8	20	3345 / 4852	324,7	4147,3	28
HadGEM2-ES	1971-2000	2308 / 3816	355,9	3304,8	-	2308 / 3816	355,9	3304,8	-
	2040-2069	3827 / 4874	234,7	4437,2	34	3118 / 4576	329,4	3982,9	21
	2070-2098	3936 / 4857	222,2	4520,6	37	2864 / 4638	442,0	3687,4	12
MPI-ESM-MR	1971-2000	2382 / 3454	321,7	2998,1	-	2382 / 3454	312,7	2998,1	-
	2040-2069	2671 / 4264	397,6	3681,6	23	3250 / 4629	266,4	4022,1	34
	2070-2098	3364 / 4284	262,6	3878,8	29	3135 / 4659	426,4	3959,8	32

Çizelge 4.9. A3127 (MGIII) çeşidinin 15 Mayıs ekimi (B) için tane verimi sonuçları

Küresel İklim Modelleri	Senaryolar	RCP4.5				RCP8.5			
	Dönem	Min. / Maks. Değerler (kg/ha)	Standart Sapma	Ort. Verim (kg/ha)	Fark (%)	Min. / Maks. Değerler (kg/ha)	Standart Sapma	Ort. Verim (kg/ha)	Fark (%)
GFDL_ESM2M	1971-2000	2302 / 3527	271,3	3098,9	-	2302 / 3527	271,3	3098,9	-
	2040-2069	2493 / 4145	411,4	3536,6	14	3411 / 4389	274,9	3934,1	27
	2070-2098	3267 / 4227	249,3	3693,2	19	3697 / 4899	272,7	4186,8	35
HadGEM2-ES	1971-2000	2120 / 3510	328,4	3041,6	-	2120 / 3510	328,4	3041,6	-
	2040-2069	3666 / 4572	226,3	4201,4	38	3298 / 4514	292,4	3971,1	31
	2070-2098	3878 / 4738	253,1	4356,9	43	3367 / 4759	345,9	3982,6	31
MPI-ESM-MR	1971-2000	2137 / 3283	332,8	2753,7	-	2137 / 3283	332,8	2753,7	-
	2040-2069	2493 / 4145	411,4	3536,6	28	3271 / 4282	264,7	3865,1	40
	2070-2098	3267 / 4227	249,3	3693,2	34	3359 / 4689	337,3	4042,9	47

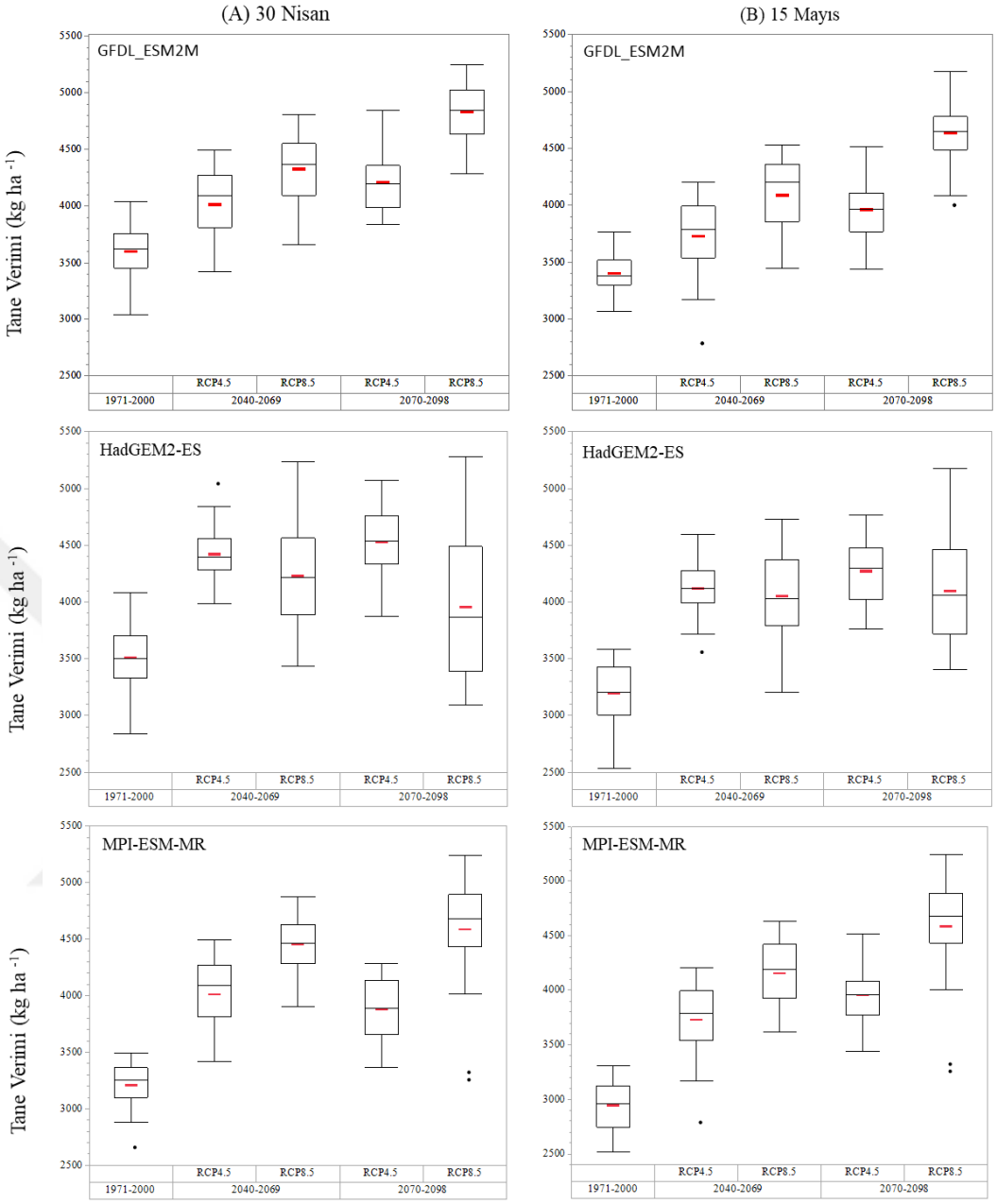
Çizelge 4.8 ve 4.9'daki sonuçlara göre iklim değişikliği senaryoları ile soya fasulyesi A3127 (MGIII) çeşidi için gelecek dönemlerde model tarafından en yüksek öngörülen verim 4899,6 kg ha^{-1}, en düşük verim ise 2493,6 kg ha^{-1} şeklindedir. En yüksek verim GFDL_ESM2M küresel iklim modelinin RCP8.5 senaryosu ile uzak gelecekte, en düşük verim ise GFDL_ESM2M ve MPI-ESM-MR küresel iklim modellerinin RCP4.5 senaryosu ile yakın gelecekte öngörülmektedir.

Çizelgelerde ortalama tane verimleri incelendiğinde, en düşük ortalama verim 3536,6 kg ha^{-1} (SD: 411,4 kg ha^{-1}) ve en yüksek ortalama verim 4520,6 kg ha^{-1} (SD:222,2 kg ha^{-1}) öngörülmektedir. Ortalama tane verimin referans döneme göre gelecek dönemlerde % 12 ila % 47 arasında artış göstereceği öngörülmektedir. MPI-ESM-MR küresel iklim modeli, yakın gelecek için % 23 ila % 40 arasında, uzak gelecek için % 29 ila % 47 arasında artış ile diğer modellere kıyasla verimde artışın en çok tahmin edildiği model olmuştur.

RCP'ler temel alındığında, referans döneme göre ortalama verim RCP4.5 senaryosu için % 14 ila % 38, kötümser senaryo olarak adlandırılan RCP8.5 için % 12 ila % 47 arasında değişmektedir. Ortalama verimin değişimi dönemler arasında incelendiğinde, genel olarak referans döneme göre ortalama verimin uzak gelecekte (% 12 ila % 47 arasında) yakın geleceğe (% 14 ila % 40 arasında) kıyasla daha fazla artış göstereceği öngörülmektedir. HadGEM2-ES modeli hariç diğer iklim modellerinde, artan CO_2 oranı nedeniyle RCP8.5 için öngörülen tane veriminin RCP4.5'e göre daha fazla olduğu gözlenmektedir. Yine HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR küresel iklim modellerinde RCP8.5 için erken ekilen soyanın veriminde bu durumun aksine uzak gelecek için verimde azalma olacağı öngörülmektedir (Çizelge 4.8). Bu duruma, referans döneme göre sıcaklık artışlarının HadGEM2-ES küresel iklim modelinde her iki senaryo için, MPI-ESM-MR küresel iklim modeli için ise sadece RCP8.5'te daha yüksek olmasının neden olduğu gösterilebilir (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3).

Ekim tarihleri karşılaştırıldığında en düşük ve en yüksek ortalama verim geç ekim tarihinde öngörülmektedir. Genel olarak, A3127 (MGIII) çeşidinin geç ekilmesi ile verimde daha çok artış olduğu söylenebilir (Çizelge 4.9). Geç ekim tarihinde artış oranları % 14 ila % 47 arasında değişirken, erken ekim tarihinde artış oranları % 12 ila % 37 arasında değişmektedir.

İklim değişikliği projeksiyonlarının kullanılmasıyla soya fasulyesi bitkisinin 1530 (MGIV) çeşidinin iki farklı ekim tarihi stratejisi altında yakın ve uzak gelecek için DSSAT-CROPGRO modeli tarafından tahmin edilen verim sonuçları kutu grafiği olarak Şekil 4.8'de, grafiğin özet bilgileri ise 30 Nisan ekim tarihi için Çizelge 4.10, 15 Mayıs ekim tarihi için Çizelge 4.11' de verilmiştir.



* Her bir kutunun içindeki kırmızı çizgi ortalama verimi, siyah noktalar aykırı değerleri göstermektedir.

Şekil 4.8. İklim değişikliğinin üç farklı iklim modeli, iki senaryo ve iki farklı ekim tarihi altında soya fasulyesi 1530 (MGIV) çeşidinin tane verimi üzerine etkileri.

Çizelge 4.10. 1530 (MGIV) çeşidinin 30 Nisan ekimi (A) için tane verimi sonuçları

Küresel İklim Modelleri	Senaryolar	RCP4.5				RCP8.5			
	Dönem	Min. / Maks. Değerler (kg/ha)	Standart Sapma	Ort. Verim (kg/ha)	Fark (%)	Min. / Maks. Değerler (kg/ha)	Standart Sapma	Ort. Verim (kg/ha)	Fark (%)
GFDL_ESM2M	1971-2000	3041 / 4038	226,4	3600,2	-	3041 / 4038	226,4	3600,2	-
	2040-2069	3421 / 4493	314,1	4013,5	11	3664 / 4810	312,7	4326,9	20
	2070-2098	3838 / 4846	250,6	4211,5	17	4289 / 5247	255,6	4827,4	34
HadGEM2-ES	1971-2000	2836 / 4082	299,5	3507,9	-	2836 / 4082	299,5	3507,9	-
	2040-2069	3990 / 5040	237,1	4305,1	23	3432 / 5229	428,1	4226,3	20
	2070-2098	3873 / 5066	294,5	4529,7	29	3093 / 5284	599,0	4012,6	13
MPI-ESM-MR	1971-2000	2656 / 3493	188,0	3208,8	-	2656 / 3493	188,0	3208,8	-
	2040-2069	3421 / 4493	314,1	4013,5	25	3906 / 4872	262,8	4450,9	39
	2070-2098	3838 / 4846	262,6	4211,5	31	3254 / 5246	479,4	4586,1	43

Çizelge 4.11. 1530 (MGIV) çeşidinin 15 Mayıs ekimi (B) için tane verimi sonuçları

Küresel İklim Modelleri	Senaryolar	RCP4.5				RCP8.5			
	Dönem	Min. / Maks. Değerler (kg/ha)	Standart Sapma	Ort. Verim (kg/ha)	Fark (%)	Min. / Maks. Değerler (kg/ha)	Standart Sapma	Ort. Verim (kg/ha)	Fark (%)
GFDL_ESM2M	1971-2000	3067/3766	174,5	3403,5	-	3067/3766	174,5	3403,5	-
	2040-2069	2785/4208	332,1	3730,6	10	3442/4530	326,2	4087,7	20
	2070-2098	3438/4519	248,5	3953,3	16	4000/5176	293,1	4633,6	36
HadGEM2-ES	1971-2000	2537/3582	251,0	3194,1	-	2537/3582	251,0	3194,1	-
	2040-2069	3556/4592	228,5	4119,1	29	3200/4729	342,6	4052,2	27
	2070-2098	3764/4769	272,9	4268,5	34	3404/5172	467,0	4094,9	28
MPI-ESM-MR	1971-2000	2519/3306	220,3	2944,6	-	2519/3306	220,3	2944,6	-
	2040-2069	2785/4208	332,1	3730,6	27	3619/4635	297,4	4158,6	41
	2070-2098	3438/4519	248,9	3953,3	34	3250/5110	479,4	4509,4	53

Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11 incelendiğinde, iklim değişikliği senaryoları altında 1530 (MGIV) çeşidinin veriminin olumlu yönde artacağı öngörülmüştür. Tüm sonuçlar dikkate alındığında, model tarafından öngörülen verim 2785 kg ha^{-1} ila 5284 kg ha^{-1} arasında değişiklik göstermektedir. Verimi tahmin edilmesinde en geniş aralık, HadGEM2-ES küresel iklim modelinin RCP8.5 senaryosunda soyanın erken ekilmesiyle uzak gelecekte yer almaktadır. Şekil 4.8'e bakıldığında bu duruma ait kutunun en geniş yayılımı gösterdiği açıkça görülmektedir. Ayrıca 599 kg ha^{-1} olarak en yüksek standart sapma değeri ile sonuç desteklenmektedir.

Tüm sonuçlar incelendiğinde, referans döneme göre ortalama verimde öngörülen artış %10 ila % 53 arasında değişmektedir. Referans döneme göre ortalama verimde artışın en fazla olduğu sonuçlar (% 25 ila % 53) MPI-ESM-MR küresel iklim modeli tarafından üretilen iklim projeksiyonlarının kullanılması ile elde edilmiştir. En düşük ortalama verim soyanın geç ekildiği koşulda GFDL_ESM2M küresel iklim modelinin RCP4.5 senaryosu için yakın gelecekte 3730,6 kg ha^{-1} (SD: 332,1 kg ha^{-1}) olarak öngörülmektedir (Çizelge 4.8). En yüksek ortalama verim ise GFDL_ESM2M küresel iklim modelinin RCP8.5 senaryosu için uzak gelecekte 4827,4 kg ha^{-1} (SD:255,6kg ha^{-1}) olarak erken ekim (30 Nisan) stratejisi altında öngörülmektedir.

İklim senaryolarına göre RCP4.5 için ortalama verimde % 10 ila %34, RCP8.5 için %13 ila %53 arasında artış olacağı öngörülmektedir. Bu sonuçlara göre kötümser senaryonun ortalama verimin artışında daha fazla etkisi olduğu görülse de HadGEM2-ES küresel iklim modeli için bu durum geçerli değildir. HadGEM2-ES küresel iklim modeline göre RCP8.5 senaryosunun gerçekleşmesi durumunda diğer modellerin aksine ortalama verimde artış değil azalış olacağı öngörülmektedir. Modelin iklim projeksiyon verileri incelendiğinde RCP8.5 senaryosunda diğer modellere göre sıcaklık artışının daha çok olduğu görülmüştür.

İklim projeksiyonlarına göre 1530 (MGIV) çeşidinin erken ekildiği durumda en düşük 3093 kg ha^{-1}, en yüksek 5284 kg kg ha^{-1} verim öngörülmektedir. Geç ekim ile en düşük verim 2785 kg ha^{-1} ve en yüksek verim 5176 kg ha^{-1} olarak öngörülmektedir. Ekim tarihlerine göre ortalama verim artışları, Nisan sonu için % 11 ila % 43 arasında, Mayıs

ortası için ise % 10 ila % 53 arasında değişmektedir. Genel olarak, iklim değişikliği ile soya fasulyesi 1530 çeşidinin geç ekilmesi sonucu verimde erken ekime göre daha fazla artış öngörülmektedir.

Normalde fizyolojik olgunluğa erişme gün sayısındaki artışın verimi arttırması ve gün sayısındaki azalmanın tane dolum süresini kısaltması nedeniyle verimde düşüşe neden olması beklenmektedir (Bao ve ark., 2015a). Ancak çalışma sonuçlarına bakıldığında bitkinin sıcaklık artışı ile fizyolojik olgunluğa erken ulaşmasına rağmen CO_2 artışına verdiği tepkinin olumlu sonuçlandığı ve gelecek senaryolarının çoğunda soya veriminde yüksek bir artış (%10 ila %53) olacağı görülmüştür. Prasad ve ark., (2005) biyotik (hastalık etmenleri, zararlılar ve yabani otlar) veya abiyotik (sıcaklık, su ve besin maddeleri) stres faktörlerinin yok sayıldığı koşullarda, artan CO_2 konsantrasyonu ile fotosentez hızı ve büyümenin artması sonucu soya fasulyesi bitkisinde tane verimi artacağını bildirmişlerdir. MacCarthy ve ark. (2022), Kuzey Gana'da soya fasulyesi veriminin günümüz CO_2 konsantrasyonu ile %3 ila %13,5 arasında azalacağı, artan CO_2 ile %14,8 ila %31,3 artış olacağı sonucuna varmışlardır. Bu sonuçların aksine, Quansah ve ark. (2020), iklim projeksiyonları ve senaryoları (RCP4.5 ve RCP8.5) kullanarak tane verimini tahmin ettikleri çalışmada soya fasulyesi veriminde azalmanın olacağını bildirmişlerdir. Model susuz koşullarda çalıştırıldığından, yağış projeksiyonları incelendiğinde gelecekte yağışların referans döneme göre çok büyük bir artış göstermediği görülmüştür. Bunun sonucu olarak artan sıcaklıkların, verimi düşürdüğü söylenebilir.

Artan atmosferik CO_2 konsantrasyonu, C3 bitkisinin fotosentezini ve üretkenliğini doğrudan etkiler (Allen ve ark., 1991, Ainsworth ve ark., 2002, Allen ve ark., 2020). Drag ve ark. (2020), 900 ppm'e kadar arttırılan CO_2 konsantrasyonu ile soya fasulyesinin fotosentezi ve kuru madde birikimi üzerinde artan bir etki bulmuşlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre, HadGEM2-ES küresel iklim modeli hariç diğer iklim modellerinde CO_2 konsantrasyonunun daha yüksek olduğu RCP8.5 senaryosunda verim artışları daha yüksek öngörülmüştür.

HadGEM2-ES iklim projeksiyonu için CO_2 konsantrasyonunun daha yüksek olduğu senaryo RCP8.5 için verimde artış daha az öngörülmüştür. Sıcaklık projeksiyonları incelendiğinde, özellikle sıcaklıkların en yüksek olduğu Temmuz - Ağustos aylarında sıcaklıkların RCP8.5 senaryosu için 3,2 °C ila 7,3 °C arasında artış göstermesiyle 35°C'in üstüne çıkacağı öngörülmektedir (Şekil 4.2). Soya fasulyesi için uygun sıcaklık, çıkış için 15-22 °C, çiçeklenme için 20-25 °C ve olgunluk için 15-22 °C'dir. 35 °C'nin üzerindeki sıcaklık, soya fasulyesinin çiçeklenme ve bakla yapısı üzerinde zararlı etkiye sahip olan ısı stresine neden olmaktadır (Onat ve ark., 2017). Optimumun üzerindeki sıcaklıklarda, yüksek CO_2'in faydalı etkileri, sıcaklığın verim ve verim bileşenleri üzerindeki olumsuz etkileri ile fazlasıyla dengelenmekte, bu da daha düşük tohum verimine ve zayıf tohum kalitesine yol açmaktadır (Prasad ve ark., 2005). Palacios ve ark.(2019)'nın yürüttükleri çalışmada, üstü açık yetiştirme kabininde(open top chamber) yetişen soya fasulyesinin veriminde artan sıcaklık ve CO_2 konsantrasyonun tek başına ve birleşik etkileri değerlendirilmiştir. En yüksek verim tek başına CO_2'in arttırıldığı uygulamadan elde edilirken, CO_2'deki artışa ek olarak sıcaklıkta +4 °C bir artışın daha düşük bir verimle sonuçlandığı görülmüştür. Bu sonuç ile HadGEM2-ES küresel iklim modelinin RCP8.5 senaryosu altında neden daha düşük bir verim artışı olduğu desteklenmektedir.

4.3.3. Su Kullanım Verimliliği Tahminleri

DSSAT modeli, soya fasulyesinin tam sulama koşulları altında yağmurlama sulama yöntemi kullanılarak toprak kullanılabilir su içeriğinin %50'nin altına inmesi halinde tarla kapasitesine ulaşıncaya kadar otomatik sulanması temelinde çalıştırılmıştır. Sulamaya ilişkin sonuçlar uygulanan sezonluk sulama suyu miktarı, sezonluk bitki su tüketimi miktarı ve su kullanım verimliliği alt başlıkları altında açıklanmıştır.

Uygulanan sezonluk sulama suyu miktarı tahminleri

A3127 (MGIII) çeşidi için farklı ekim tarihleri ve iklim senaryoları altında model tarafından gelecek dönemlerde uygulanan sulama suyu miktarı tahminleri Çizelge 4.12' de verilmiştir. Tüm sonuçlar incelendiğinde, 1971-2000 yıllarını kapsayan referans dönemde soya fasulyesinin tam sulama koşulları altında yetiştirilebilmesi için ihtiyaç

duyulan sulama suyu miktarı 447, 0 ila 614,4 mm, gelecek dönemlerde ise 582, 8 mm ila 916, 3 mm arasında değişeceği tahminlenmiştir.

Çizelge 4.12. A3127 (MGIII) çeşidi için farklı ekim tarihleri altında geleceğe yönelik sulama suyu miktarı (mm) tahminleri

Ekim Tarihi		**30/04**			**15/05**		
Küresel İklim Modeli	**Senaryo /Dönem**	**1971-2000**	**2040-2069**	**2070-2098**	**1971-2000**	**2040-2069**	**2070-2098**
GFDL-ESM2M	RCP4.5	479,9	656,2	712,3	447,0	582,8	641,4
	RCP8.5	479,9	677,0	832,5	447,0	610,5	738,1
HadGEM2-ES	RCP4.5	614,4	884,2*	916,3*	539,6	772,2*	797,0*
	RCP8.5	614,4	739,6	850,8	539,6	672,9	768,9
MPI-ESM-MR	RCP4.5	610,4	656,2	712,3	534,8	582,8	641,4
	RCP8.5	610,4	751,9	895,8	534,8	669,8	788,8

***** En yüksek değerler

GFDL-ESM2M küresel iklim modeli RCP4.5 senaryosu altında tam sulama koşullarında sulanan A3127 (MGIII) soya çeşidinin 2040-2069 döneminde ortalama sulama suyu miktarı 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 656,2 mm ve 582,8 mm'dir. 2070-2098 döneminde ise ortalama 712,3 mm ve 641,2 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir. RCP8.5 senaryosu altında ise 2040-2069 döneminde 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 677,0 mm ve 610,5 mm iken ortalama sulama suyu miktarı 2070-2098 döneminde 832,5 mm ve 738,1 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir (Çizelge 4.12). Referans döneme göre sulama suyu miktarında % 30 ila % 73 oranında bir artış öngörülmektedir.

HadGEM2-ES küresel iklim modeli diğer modellere kıyasla sulama suyu miktarının en yüksek öngörüldüğü model olmuştur. A3127 (MGIII) soya çeşidinin RCP4.5 senaryosu altında 2040-2069 döneminde ortalama sulama suyu miktarı 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 884,2 mm ve 772,2 mm'dir. 2070-2098 döneminde ise sırasıyla 916,3 mm ve 797,0 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir. RCP8.5 senaryosu altında ise 2040-2069 döneminde 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 739,6 mm ve 672,9 mm iken ortalama sulama suyu miktarı 2070-2098 döneminde 850,8 mm

ve 768,9 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir (Çizelge 4.12). Referans döneme göre sulama suyu miktarında % 20 ila % 49 oranında bir artış öngörülmektedir.

MPI-ESM-MR küresel iklim modeli ile RCP4.5 senaryosu altında A3127 (MGIII) soya çeşidinin 2040-2069 döneminde ortalama sulama suyu miktarı 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 656,2 mm ve 582,8 mm'dir. 2070-2098 döneminde ise sırasıyla 712,3 mm ve 641,4 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir. RCP8.5 senaryosu koşullarında ise 2040-2069 döneminde 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 751,9 mm ve 669,8 mm iken ortalama sulama suyu miktarı 2070-2098 döneminde 895,8 mm ve 788,8 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir (Çizelge 4.12). Referans döneme göre sulama suyu miktarında % 8 ila % 47 oranında bir artış öngörülmektedir.

1530 (MGIV) çeşidi için farklı ekim tarihleri ve iklim senaryoları altında model tarafından gelecek dönemlerde uygulanan sulama suyu miktarı tahminleri Çizelge 4.13' de verilmiştir. Tüm sonuçlar incelendiğinde, 1971-2000 yıllarını kapsayan referans dönemde soya fasulyesinin tam sulama koşulları altında yetiştirilebilmesi için ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarı 449, 0 ila 619,0 mm, gelecek dönemlerde ise 575,5 mm ila 893,1 mm arasında değişeceği tahminlenmiştir.

Çizelge 4.13 1530 (MGIV) çeşidi için farklı ekim tarihleri altında geleceğe yönelik sulama suyu ihtiyacı (mm) tahminleri

Ekim Tarihi		**30/04**			**15/05**		
Küresel İklim Modeli	**Senaryo /Dönem**	**1971-2000**	**2040-2069**	**2070-2098**	**1971-2000**	**2040-2069**	**2070-2098**
GFDL-ESM2M	RCP4.5	474,4	645,5	713,3	449,0	575,5	644,9
	RCP8.5	474,4	674,5	812,8	449,0	602,3	732,6
HadGEM2-ES	RCP4.5	617,0	864,5*	893,1*	549,0	754,8*	784,4*
	RCP8.5	617,0	713,7	820,0	549,0	669,1	753,2
MPI-ESM-MR	RCP4.5	619,0	645,2	713,1	543,5	575,5	644,9
	RCP8.5	619,0	736,8	875,6	543,5	670,0	785,3

***** En yüksek değerler

GFDL-ESM2M küresel iklim modeli RCP4.5 senaryosu altında tam sulama koşullarında sulanan 1530 (MGIV) soya çeşidinin 2040-2069 döneminde ortalama sulama suyu miktarı 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 645,5 mm ve 575,5 mm'dir. 2070-2098 döneminde ise ortalama 713,3 mm ve 644,9 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir. RCP8.5 senaryosu altında ise 2040-2069 döneminde 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 674,5 mm ve 602,3 mm iken ortalama sulama suyu miktarı 2070-2098 döneminde 812,8 mm ve 732,6 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir (Çizelge 4.12). Referans döneme göre sulama suyu miktarında % 28 ila % 63 oranında bir artış öngörülmektedir.

1530 (MGVI) çeşidi için HadGEM2-ES küresel iklim modelinin RCP4.5 senaryosu altında 2040-2069 döneminde ortalama sulama suyu ihtiyacı 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 864,5,7 mm ve 754,8 olarak tahmin edilmiştir. 2070-2098 döneminde ise ortalama 893,1,3 mm ve 784,4 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir. RCP8.5 senaryosu koşullarında ortalama sulama suyu miktarı 2040-2069 döneminde 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 713,7 mm ve 669,1 mm iken 2070-2098 döneminde 820,0 mm ve 753,2 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir (Çizelge 4.13). Referans döneme göre sulama suyu miktarında % 16 ila % 43 oranında bir artış öngörülmektedir. HadGEM2-ES küresel iklim modeli diğer modellere kıyasla sulama suyu miktarının en yüksek öngörüldüğü model olmuştur.

MPI-ESM-MR küresel iklim modeli ile RCP4.5 senaryosu altında 1530 (MGIV) soya çeşidinin 2040-2069 döneminde ortalama sulama suyu miktarı 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 656,2 mm ve 582,8 mm'dir. 2070-2098 döneminde ise sırasıyla 712,3 mm ve 641,4 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir. RCP8.5 senaryosu koşullarında ise 2040-2069 döneminde 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 751,9 mm ve 669,8 mm iken ortalama sulama suyu miktarı 2070-2098 döneminde 895,8 mm ve 788,8 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir (Çizelge 4.12). Referans döneme göre sulama suyu miktarında % 8 ila % 47 oranında bir artış öngörülmektedir.

Bölgede arazide yürütülen diğer çalışmalara bakıldığında, tam sulama koşulları altında soya fasulyesi için uygulanan sulama suyu miktarının 440,5 mm ila 622,2 mm arasında değiştiği bildirilmiştir (Sincik ve ark., 2008, Candoğan, B. (2009), Demirtaş ve ark. (2010)). Özellikle HadGEM2-ES iklim modelinin projeksiyonlarının gerçekleşmesi durumunda gelecekte günümüz koşullarına göre daha çok sulama suyuna ihtiyaç duyulacağı öngörülmektedir.

Sezonluk bitki su tüketimi tahminleri

A3127 (MGIII) çeşidi için farklı ekim tarihleri ve iklim senaryoları altında model tarafından gelecek dönemlerde sezonluk bitki su tüketimi tahminleri Çizelge 4.14' de verilmiştir. Tüm sonuçlar incelendiğinde, 1971-2000 yıllarını kapsayan referans dönemde soya fasulyesinin tam sulama koşulları altında tüm küresel iklim modelleri ve senaryoları için sezonluk bitki su tüketimi 411,6 mm ila 538,4 mm, gelecek dönemlerde ise 431,7 mm ila 643,1 mm arasında değişeceği öngörülmüştür.

Çizelge 4.14. A3127 (MGIII) çeşidi için farklı ekim tarihleri altında geleceğe yönelik sezonluk bitki su tüketimi (mm) tahminleri

Ekim Tarihi		**30/04**			**15/05**		
Küresel İklim Modeli	**Senaryo /Dönem**	**1971-2000**	**2040-2069**	**2070-2098**	**1971-2000**	**2040-2069**	**2070-2098**
GFDL-ESM2M	RCP4.5	538,4	477,1	486,6	502,8	431,7	441,6
	RCP8.5	538,4	506,5	546,7	502,8	463,2	499,8
HadGEM2-ES	RCP4.5	486,1	634,0*	643,1*	437,4	566,9*	577,0*
	RCP8.5	486,1	568,0	593,4	437,4	520,5	544,4
MPI-ESM-MR	RCP4.5	460,6	485,5	492,5	411,6	436,2	443,8
	RCP8.5	460,6	500,2	537,5	411,6	450,8	481,4

***** En yüksek değerler

GFDL-ESM2M küresel iklim modeli RCP4.5 senaryosu altında tam sulama koşullarında sulanan A3127 (MGIII) soya çeşidinin 2040-2069 döneminde ortalama sezonluk bitki su tüketimi 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 477,1 mm ve 431,7 mm'dir. 2070-2098 döneminde ise ortalama 486,6 mm ve 441,6 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir. RCP8.5 senaryosu altında ise 2040-2069 döneminde 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 506,5 mm ve 463,2 mm iken ortalama sulama suyu miktarı 2070-2098 döneminde 546,7 mm ve 499,8 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir (Çizelge 4.14).

En yüksek bitki su tüketimi HadGEM2-ES küresel iklim modelinin verileri ile tahmin edilmiştir (Çizelge 4.14). A3127 (MGIII) soya çeşidinin RCP4.5 senaryosu altında 2040-2069 döneminde ortalama sezonluk bitki su tüketimi 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 634,0 mm ve 566,9 mm'dir. 2070-2098 döneminde ise sırasıyla 643,1 mm ve 577,0 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir. RCP8.5 senaryosu altında ise 2040-2069 döneminde 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 568,0 mm ve 530,5 mm iken ortalama bitki su tüketimi 2070-2098 döneminde 593,4 mm ve 544,4 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir.

MPI-ESM-MR küresel iklim modeli ile RCP4.5 senaryosu altında A3127 (MGIII) soya çeşidinin 2040-2069 döneminde ortalama sezonluk bitki su tüketimi 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 485,5 mm ve 436,2 mm 'dir. 2070-2098 döneminde ise sırasıyla 492,5 mm ve 443,8 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir. RCP8.5 senaryosu koşullarında ise 2040-2069 döneminde 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 500,2 mm ve 450,8 mm iken ortalama bitki su tüketimi 2070-2098 döneminde 537,5 mm ve 481,4 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir (Çizelge 4.14).

1530 (MGIII) çeşidi için farklı ekim tarihleri ve iklim senaryoları altında model tarafından gelecek dönemlerde sezonluk bitki su tüketimi tahminleri Çizelge 4.15' de verilmiştir. Tüm sonuçlar incelendiğinde, 1971-2000 yıllarını kapsayan referans dönemde soya fasulyesinin tam sulama koşulları altında tüm küresel iklim modelleri ve senaryoları için sezonluk bitki su tüketimi 410,5 mm ila 549,5 mm, gelecek dönemlerde ise 431,7 mm ila 691,9 mm arasında değişeceği öngörülmüştür.

Çizelge 4.15 1530 (MGIV) çeşidi için farklı ekim tarihleri altında geleceğe yönelik bitki su tüketimi (mm) tahminleri

Ekim Tarihi		**30/04**			**15/05**		
Küresel İklim Modeli	**Senaryo /Dönem**	**1971-2000**	**2040-2069**	**2070-2098**	**1971-2000**	**2040-2069**	**2070-2098**
GFDL-ESM2M	RCP4.5	549,5	485,5	492,5	509,4	436,2	443,8
	RCP8.5	549,5	518,5	560,8	509,4	469,6	506,4
HadGEM2-ES	RCP4.5	491,7	691,9*	625,1*	438,8	558,1*	568,0*
	RCP8.5	491,7	549,5	573,6	438,8	510,0	532,3
MPI-ESM-MR	RCP4.5	457,5	477,1	486,6	410,5	431,7	441,6
	RCP8.5	457,5	491,5	525,0	410,5	446,1	474,1

***** En yüksek değerler

GFDL-ESM2M küresel iklim modeli RCP4.5 senaryosu altında tam sulama koşullarında sulanan A3127 (MGIII) soya çeşidinin 2040-2069 döneminde ortalama sezonluk bitki su tüketimi 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 485,5 mm ve 436,2 mm'dir. 2070-2098 döneminde ise ortalama 492,5 mm ve 443,8 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir. RCP8.5 senaryosu altında ise 2040-2069 döneminde 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 518,5 mm ve 469,6 mm iken ortalama sulama suyu miktarı 2070-2098 döneminde 560,8 mm ve 506,4 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir (Çizelge 4.15).

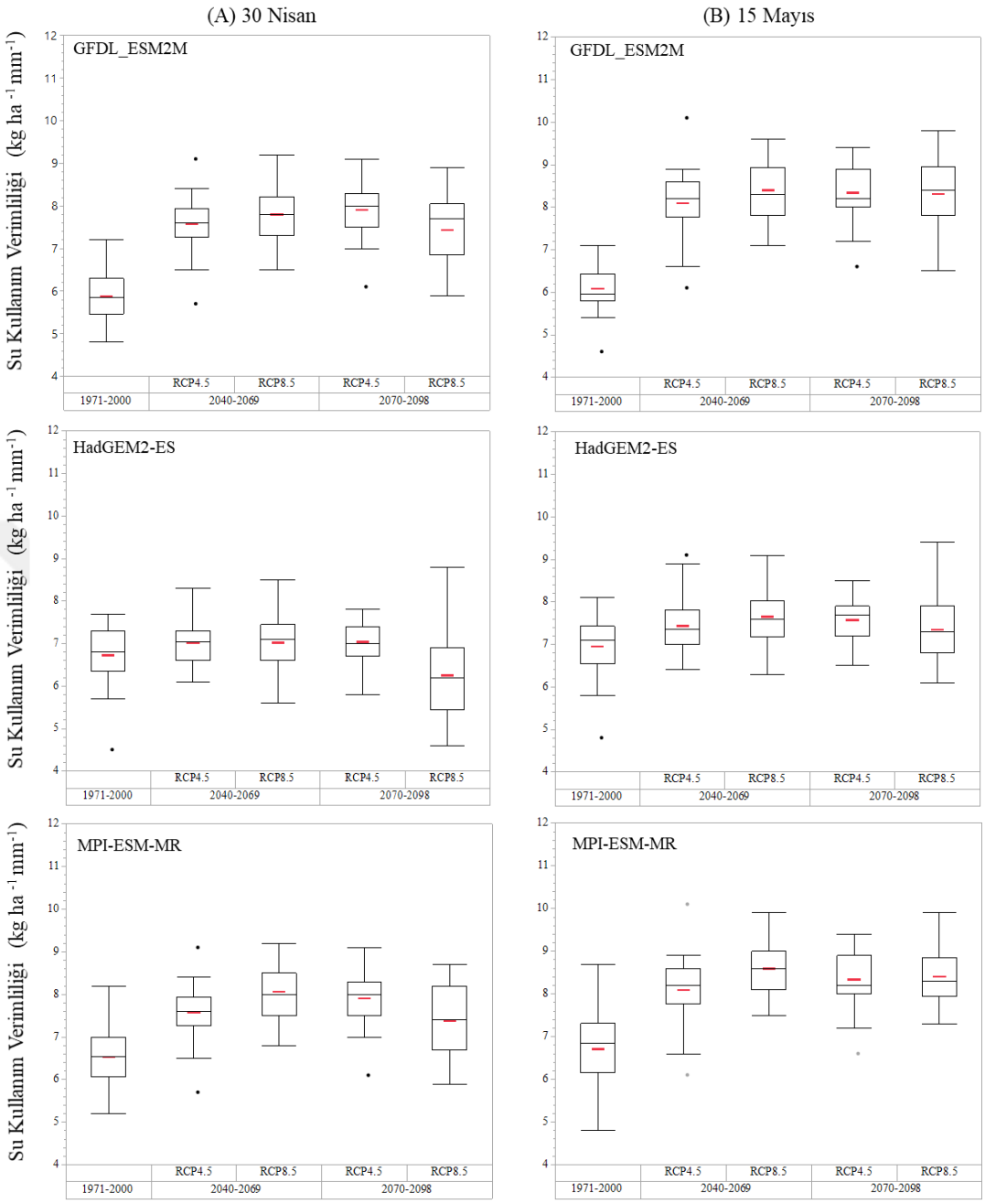
En yüksek bitki su tüketimi HadGEM2-ES küresel iklim modelinin verileri ile tahmin edilmiştir (Çizelge 4.15). A3127 (MGIII) soya çeşidinin RCP4.5 senaryosu altında 2040-2069 döneminde ortalama sezonluk bitki su tüketimi 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri

için sırasıyla 691,9 mm ve 558,1 mm'dir. 2070-2098 döneminde ise sırasıyla 625,1 mm ve 568,0 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir. RCP8.5 senaryosu altında ise 2040-2069 döneminde 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 549,5 mm ve 510,0 mm iken ortalama bitki su tüketimi 2070-2098 döneminde 573,6 mm ve 532,3 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir.

MPI-ESM-MR küresel iklim modeli ile RCP4.5 senaryosu altında A3127 (MGIII) soya çeşidinin 2040-2069 döneminde ortalama sezonluk bitki su tüketimi 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 477,1 mm ve 431,7 mm 'dir. 2070-2098 döneminde ise sırasıyla 486,6 mm ve 441,6 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir. RCP8.5 senaryosu koşullarında ise 2040-2069 döneminde 30 Nisan ve 15 Mayıs ekim tarihleri için sırasıyla 491,5 mm ve 446,1 mm iken ortalama bitki su tüketimi 2070-2098 döneminde 525,0 mm ve 471,1 mm olarak model tarafından tahmin edilmiştir (Çizelge 4.15).

Su kullanım verimliliği tahminleri

Küresel iklim modelleri ile senaryolarının dönemlere göre farklılıklarını göstermek ve aralarında karşılaştırma yapabilmek adına su kullanım verimliliği(WP) sonuçlarının yorumlanmasında kutu grafiğinden yararlanılmıştır. A3127 (MGIII) çeşidinin farklı ekim tarihleri altında iklim projeksiyonları kullanılarak yakın ve uzak gelecek için öngörülen verilere göre WP Şekil 4.9'da verilmiştir. İklim değişikliği ile soya fasulyesi su kullanım verimliliğinin, referans döneme göre HadGEM2-ES iklim modelinde artış ve azalışlar öngörülürken, GFDL_ESM2M ve MPI-ESM-MR küresel iklim modellerinde yüzyıl ortası ve yüzyıl sonunda her iki olgunluk grubu içinde artacağı öngörülmektedir.



* Her bir kutunun içindeki kırmızı çizgi ortalama verimi, siyah noktalar aykırı değerleri göstermektedir.

Şekil 4.9. İklim değişikliğinin üç farklı iklim modeli, iki senaryo ve iki farklı ekim tarihi altında soya fasulyesi A3127 (MGIII) çeşidinin su kullanım verimliliği üzerine etkileri.

Kutu grafiğini daha iyi analiz edebilmek adına, her bir kutuya özgü minimum-maksimum değerler, standart sapma, ortalama WP (kg ha^{-1} mm^{-1}) ve ortalama WP'nin referans döneme göre değişimi (%) 30 Nisan ekim tarihi için Çizelge 4.16, 15 Mayıs ekim tarihi için Çizelge 4.17 'de sunulmuştur.

Çizelge 4.16. A3127 (MGIII) çeşidinin 30 Nisan ekimi (A) için su kullanım verimliliği sonuçları

Küresel İklim Modelleri	Senaryolar	RCP4.5				RCP8.5			
	Dönem	Min. / Maks. Değerler	Standart Sapma	WP (kg ha^{-1} mm^{-1})	Fark (%)	Min. / Maks. Değerler	Standart Sapma	WP (kg ha^{-1} mm^{-1})	Fark (%)
GFDL_ESM2M	1971-2000	4,8 / 7,2	0,52	5,8	-	4,8 / 7,2	0,52	5,8	-
	2040-2069	5,7 / 9,1	0,63	7,5	29	6,5 / 9,2	0,67	7,8	34
	2070-2098	6,1 /9,1	0,68	7,9	36	5,9 / 8,9	0,81	7,4	28
HadGEM2-ES	1971-2000	4,5 / 7,7	0,69	6,7	-	4,5 / 7,7	0,69	6,7	-
	2040-2069	6,1 / 8,3	0,50	7	4	5,6 / 8,5	0,70	7	4
	2070-2098	5,8 / 7,8	0,47	7	4	4,6 / 8,8	1,00	6,2	-7
MPI-ESM-MR	1971-2000	5,2 / 8,2	0,72	6,5	-	5,2 / 8,2	0,72	6,5	-
	2040-2069	5,7 / 9,1	0,63	7,5	15	6,8 / 9,2	0,64	8	23
	2070-2098	6,1 / 9,1	0,68	7,9	22	5,9 / 8,7	0,82	7,3	12

Çizelge 4.17. A3127 (MGIII) çeşidinin 15 Mayıs ekimi (B) için su kullanım verimliliği sonuçları

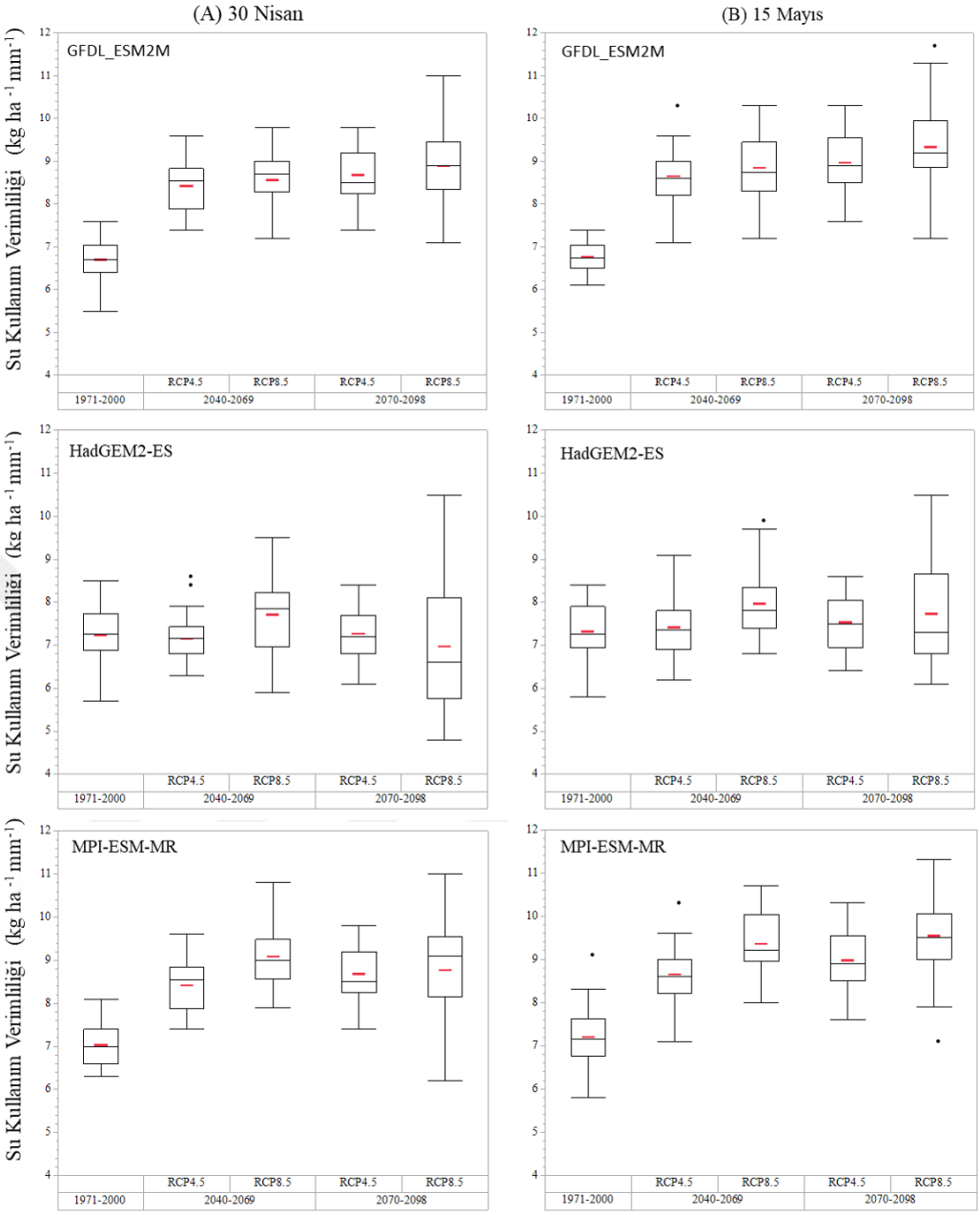
Küresel İklim Modelleri	Senaryolar	RCP4.5				RCP8.5			
	Dönem	Min. / Maks. Değerler	Standart Sapma	WP (kg ha $^{-1}$ mm^{-1})	Fark (%)	Min. / Maks. Değerler	Standart Sapma	WP (kg ha $^{-1}$ mm^{-1})	Fark (%)
GFDL_ESM2M	1971-2000	4,6 / 7,1	0,51	6,0	-	4,6 / 7,1	0,51	6,0	-
	2040-2069	6,1 / 10,1	0,75	8,0	33	7,1 / 9,6	0,66	8,4	40
	2070-2098	6,6 / 9,4	0,67	8,3	38	6,5 / 9,8	0,86	8,3	38
HadGEM2-ES	1971-2000	4,8 / 8,1	0,72	6,9	-	4,8 / 8,1	0,72	6,9	-
	2040-2069	6,4 / 9,1	0,65	7,4	7	6,3 / 9,1	0,69	7,6	10
	2070-2098	6,5 / 8,5	0,55	7,5	9	6,1 / 9,4	0,82	7,3	6
MPI-ESM-MR	1971-2000	4,8 / 8,7	0,87	6,7	-	4,8 / 8,7	0,87	6,7	-
	2040-2069	6,1 / 10,1	0,75	8	19	7,5 / 9,9	0,63	8,5	27
	2070-2098	6,6 / 9,4	0,67	8,3	24	7,3 / 9,9	0,71	8,4	25

İklim değişikliği senaryoları ile soya fasulyesi A3127 (MGIII) çeşidi için gelecek dönemlerde model tarafından öngörülen verilere göre hesaplanan en yüksek WP 10,1 kg ha^{-1} mm^{-1}, en düşük ise 4,6 kg ha^{-1} mm^{-1} şeklindedir. En yüksek WP, soyanın 15 Mayısta ekildiği takdirde MPI-ESM-MR küresel iklim modelinin RCP4.5 senaryosu ile yakın gelecekte, en düşük ise 30 Nisan ekim tarihinde HadGEM2-ES küresel iklim modelinin RCP8.5 senaryosu ile uzak gelecekte öngörülmektedir. Standart sapma değerleri 0,50 ila 1,00 kg ha^{-1} mm^{-1} arasında değişmektedir(Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17).

Gelecek dönem için iklim değişikliği projeksiyonları altında soya fasulyesinin olgunluk grubu III'e dahil olan A3127 çeşidi için ortalama WP 6,2 ila 8,5 kg ha^{-1} mm^{-1} değerleri arasında değişmektedir. Referans döneme göre ortalama WP değişimi % 4 ila % 40 arasında artış göstermektedir. Bir tek soyanın 30 Nisan ekim tarihli sonuçları altında HadGEM2-ES modelinin RCP8.5 senaryosu için uzak gelecekte referans dönemine göre WP'nin %7 azalacağı öngörülmektedir (Çizelge 4.16). Kutu grafiği ve standart sapma değerine (1,00 kg ha^{-1} mm^{-1}) bakıldığında en geniş veri aralığına sahip olduğu yani diğerlerine göre düşük değerlere de sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.9). GFDL_ESM2M küresel iklim modeli, yakın gelecek için % 29 ila % 40 arasında, uzak gelecek için % 28 ila % 38 arasında artış ile diğer modellere kıyasla WP'de artışın en çok tahmin edildiği model olmuştur.

Her iki ekim tarihi içinde RCP4.5 senaryosu altında referans dönem esas alındığında ortalama WP yakın geleceğe göre uzak gelecekte aynı oranda ya da daha fazla artacağı, RCP8.5 senaryosun altında ise uzak gelecekte WP'nin yakın geleceğe göre daha düşük olacağı görülmektedir. Ekim tarihleri karşılaştırıldığında, soyanın 15 Mayıs ekim tarihinde ekilmesi ile su kullanım verimliliğinde artış sağlanmaktadır (Çizelge 4.17).

İklim değişikliğinin soya fasulyesi bitkisinin olgunluk grubu 4'e dahil olan 1530 çeşidi için iki farklı ekim tarihi stratejisi altında DSSAT-CROPGRO modeli tarafından tahmin edilen verim ve bitki su tüketimine göre hesaplanan WP sonuçları kutu grafiği olarak Şekil 4.10'de, grafiğin özet bilgileri ise 30 Nisan tarihi için Çizelge 4.18, 15 Mayıs tarihi için Çizelge 4.19' da verilmiştir.



* Her bir kutunun içindeki kırmızı çizgi ortalama verimi, siyah noktalar aykırı değerleri göstermektedir.

Şekil 4.10. İklim değişikliğinin üç farklı iklim modeli, iki senaryo ve iki farklı ekim tarihi altında soya fasulyesi 1530 (MGIV) çeşidinin su kullanım verimliliği üzerine etkileri.

Çizelge 4.18 ve 4.19 incelendiğinde, iklim değişikliği senaryoları ile soya fasulyesi 1530 (MGIV) çeşidi için gelecek dönemlerde model tarafından öngörülen verilere göre hesaplanan en yüksek WP 11,7 kg ha^{-1} mm^{-1}, en düşük ise 4,8 kg ha^{-1} mm^{-1} şeklindedir. En yüksek WP, soyanın 15 Mayısta ekildiği takdirde MPI-ESM-MR küresel iklim modelinin RCP8.5 senaryosu ile uzak gelecekte, en düşük ise 30 Nisan ekim tarihinde

HadGEM2-ES küresel iklim modelinin RCP8.5 senaryosu ile uzak gelecekte öngörülmektedir. Standart sapma değerleri 0,57 ila 1,37 kg ha^{-1} mm^{-1} arasında değişmektedir.

Çizelge 4.18. 1530 (MGIV) çeşidinin 30 Nisan ekimi (A) için su kullanım verimliliği sonuçları

Küresel İklim Modelleri	Senaryolar	RCP4.5				RCP8.5			
	Dönem	Min. / Maks. Değerler	Standart Sapma	WP (kg ha $^{-1}$ mm^{-1})	Fark (%)	Min. / Maks. Değerler	Standart Sapma	WP (kg ha $^{-1}$ mm^{-1})	Fark (%)
GFDL_ESM2M	1971-2000	5,5 / 7,6	0,45	6.7	-	5,5 / 7,6	0,45	6.7	-
	2040-2069	7,4 / 9,6	0,61	8.4	25	7,1 / 9,8	0,65	8.5	27
	2070-2098	7,4 / 9,8	0,64	8.6	28	7,1 / 11	0,89	8.9	33
HadGEM2-ES	1971-2000	5,7 / 8,5	0,66	7.2	-	5,7 / 8,5	0,66	7.2	-
	2040-2069	5,8 / 8,6	0,58	7.1	-1	5,9 / 9,5	0,91	7.7	7
	2070-2098	6,1 / 8,4	0,57	7.2	0	4,8 / 10,5	1,37	6.9	-4
MPI-ESM-MR	1971-2000	6,3 / 8,1	0,49	7	-	6,3 / 8,1	0,49	7	-
	2040-2069	7,4 / 9,6	0,61	8.4	20	7,9 / 10,8	0,65	9	29
	2070-2098	7,4 / 9,8	0,64	8.6	23	6,2 / 11	1,05	8.7	24

Çizelge 4.19. 1530 (MGIV) çeşidinin 15 Mayıs ekimi (B) için su kullanım verimliliği sonuçları

Küresel İklim Modelleri	Senaryolar	RCP4.5				RCP8.5			
	Dönem	Min. / Maks. Değerler	Standart Sapma	WP (kg ha $^{-1}$ mm^{-1})	Fark (%)	Min. / Maks. Değerler	Standart Sapma	WP (kg ha $^{-1}$ mm^{-1})	Fark (%)
GFDL_ESM2M	1971-2000	6,1 / 7,4	0,36	6.7	-	6,1 / 7,4	0,36	6.7	-
	2040-2069	7,1 / 10,3	0,62	8.6	28	7,2 / 10,3	0,79	8.8	31
	2070-2098	7,6 / 10,3	0,69	8.9	33	7,2 / 11,7	1,03	9.3	39
HadGEM2-ES	1971-2000	5,8 / 8,4	0,64	7.3	-	5,8 / 8,4	0,64	7.3	-
	2040-2069	6,2 / 9,1	0,67	7.4	1	6,8 / 9,9	0,81	7.9	8
	2070-2098	6,4 / 8,6	0,61	7.5	3	6,1 / 10,5	1,14	7.7	5
MPI-ESM-MR	1971-2000	5,8 / 9,1	0,66	7.2	-	5,8 / 9,1	0,66	7.2	-
	2040-2069	7,1 / 10,3	0,62	8.6	19	8,0 / 10,7	0,80	9.3	29
	2070-2098	7,6 / 10,3	0,69	8.9	24	7,1 / 11,3	0,93	9.5	32

İklim değişikliği projeksiyonları altında soya fasulyesinin olgunluk grubu IV'e dahil 1530 çeşidi için ortalama WP 7,1 ila 9,5 kg ha^{-1} mm^{-1} değerleri arasında değişmektedir (Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19) Referans döneme göre ortalama WP değişimine bakıldığında, GFDL_ESM2M küresel iklim modeli, % 25 ila % 39 arasında artış ile diğer modellere kıyasla WP'de artışın en çok tahmin edildiği model olmuştur. Onu % 19 ila % 32 artış ile MPI-ESM-MR küresel iklim modeli izlemektedir. HadGEM2-ES küresel iklim modelinde ise ekim tarihine göre artışlar ve azalışlar görülmektedir. HadGEM2-ES küresel iklim modelinde 30 Nisan ekim tarihinde RCP4.5 senaryosu için yakın gelecekte %1'lik bir azalma, RCP8.5 senaryosu için ise uzak gelecekte %4'lük bir azalma olacağı öngörülmektedir. Diğer çeşitte olduğu gibi, HadGEM2-ES modeli RCP8.5 senaryosu için 30 Nisan ekim tarihli uzak gelecek uygulamasının kutu grafiği ve standart sapma değerine (1,37 kg ha^{-1} mm^{-1}) bakıldığında en geniş veri aralığına sahiptir. Yani diğerlerine göre hesaplanan WP daha düşük değerlere de sahiptir.

Ekim tarihleri karşılaştırıldığında, genel olarak soyanın geç ekildiği takdirde ortalama WP'den daha olumlu sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Nisan sonu ekimde ortalama WP değerleri 7,1 ila 9,0 kg ha^{-1} mm^{-1}, Mayıs ortası için 7,4 ila 9,5 kg ha^{-1} mm^{-1} arasında değişmektedir.

Yakın geleceğe göre uzak gelecekte ortalama WP'de GFDL_ESM2M küresel iklim modeli için artış, diğer küresel iklim modelleri için ise senaryolara göre farklılık göstererek artış ya da azalış olmaktadır. Genel olarak WP'de en yüksek artış RCP8.5 senaryosundan elde edilmiştir.

Özet olarak, iklim projeksiyonlarına göre gelecekte soya fasulyesinin su kullanım verimliliğinde (WP) artış ve azalışlar öngörülmektedir. Referans dönem için WP değerleri, Nisan sonu ekildiği takdirde 5,8 ila 6,9 kg ha^{-1} mm^{-1} arasında, Mayıs ortası ekildiği takdirde ise 6,7 ila 7,3 kg ha^{-1} mm^{-1} arasında değişmektedir. Candoğan, B. (2009)'nin Güney Marmara Bölgesi'nde yürüttüğü doktora çalışmasında soya fasulyesinin su kullanım verimliliği ilk yıl için 5,15 kg ha^{-1} mm^{-1}, ikinci yıl ise 4,75 kg ha^{-1} mm^{-1} olarak bildirilmiştir.

GFDL_ESM2M ve MPI-ESM-MR küresel iklim modellerinde %12 ila % 40 arasında artış, HadGEM2-ES iklim modelinde ise % 0 ila %7 artış ve % 1 ila % 7 arasında azalış olması beklenmektedir. CO_2 konsantrasyonunun daha yüksek olması beklenen RCP8.5 senaryosunda RCP4.5'e göre verim artış miktarları çeşit ve döneme göre değişiklik göstermiştir. Çalışma sonuçlarına bakıldığında, 1530 (MGIV) çeşidi için RCP8.5 senaryosundan daha yüksek WP değerleri elde edilirken A3127 (MGIII) çeşidi için özellikle uzak gelecekte RCP4.5 senaryosunda artış oranları daha yüksek öngörülmektedir.

Yüksek düzeydeki CO_2 gazı C3 bitkilerinde stoma iletkenliğini azaltarak WP değerini artırmaktadır (Ainsworth ve Rogers (2007). Wang ve ark. (2018)'nın yürüttüğü çalışmada yüksek CO_2 konsantrasyonunun (600 ppm) soya fasulyesi fotosentez hızı, WP ve tane verimi üzerinde olumlu etkileri olduğu belirtilmiştir. Lenka ve ark. (2020), üstü açık yetiştirme kabininde (open top chamber) CO_2'in 395 $\mu mol\, mol^{-1}$ 'ten 535–540 $\mu mol\, mol^{-1}$'a tek başına ve sıcaklıkla (+2 °C) birlikte artırıldığı konuları ele alarak soya fasulyesinin su kullanım verimliliğinde %37 ila %50 arasında artış sağlandığını bildirmişlerdir. Allen ve ark. (2003), 700 $\mu mol\, mol^{-1}$ CO_2 konsantrasyonu altında sıcaklığın 28/18, 32/22, 36/26, 40/44 ve 44/34 °C artırılmasıyla, WP'de azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Yine aynı çalışmada, iki farklı CO_2 gazı (350 $\mu mol\, mol^{-1}$, 700 $\mu mol\, mol^{-1}$) miktarı ile iki farklı sıcaklığın (40/30 °C, 28/18 °C) soya fasulyesi WP üzerindeki etkileri incelenmiştir. En yüksek WP değeri 28/18 °C - 700 $\mu mol\, mol^{-1}$ konusundan elde edilirken onu 28/18 °C - 350 $\mu mol\, mol^{-1}$ konusu takip etmiştir. Bu sonuçlar bizim çalışmamızda HadGEM2-ES küresel iklim modelinde ve RCP8.5 senaryolarında görülen WP'deki azalmaların artan sıcaklıklarla alakalı olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇ

İklim tarımsal üretimi büyük ölçüde etkilemektedir. İklim değişikliği sonucu yağış rejimindeki düzensizlikler, sıcaklık ve karbondioksit (CO_2) artışının, tarımsal üretime etkileri bitkiler arasında ve hatta bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Bu değişikliklerin tarımsal üretimi olumlu ya da olumsuz etkilemesi öngörülmektedir. Ülkemizde iklim değişikliğinin tarımsal üretimi etkilemesi kaçınılmazdır. Bu nedenle gelecek dönemlerde beklenen iklim değişikliklerinin tarımsal üretime potansiyel etkilerini önceden belirlemek, zengin bitki çeşitliliği ve yüksek tarımsal potansiyeli olan ülkemiz için önemlidir.

Bu çalışma ile Bursa ili için geleceğe yönelik soya fasulyesi verim değişimlerinin küresel iklim projeksiyonları ve DSSAT-CROPGRO bitki simülasyon modeli kullanılarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Küresel iklim projeksiyonları olarak iki farklı iklim senaryosu (RCP4.5 ve RCP8.5) ve 3 farklı küresel iklim modeli (GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR) kullanılmıştır. Tez çalışmasının ilk aşamasında daha önce yürütülen arazi denemesi verileri kullanılarak DSSAT-CROPGRO bitki simülasyon modelinin kalibrasyon ve doğrulama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasının ikinci aşamasında iklim değişikliğinin potansiyel etkilerini belirlemek adına her ekim tarihi (30 Nisan – 15 Mayıs) ve her çeşit (A3127-MGIII ve 1530-MGIV) için fizyolojik olgunluğa erişim süresi, tane verimi ve su kullanım verimliliği ilk olarak referans dönemi (1971 – 2000) iklim projeksiyonları ile tahmin edilmiştir. Daha sonra yakın gelecek (2040 – 2069) ve uzak gelecek (2070 – 2098) dönemleri için model tekrar çalıştırılarak iklim değişikliğinin fizyolojik olgunluğa erişme süresi, tane verimi ve WP üzerindeki etkileri referans döneme göre değişimi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir;

- Modelin gözlem verilerini tahmin etmedeki performansı istatistiki yöntemlerle değerlendirilmiş ve yüksek tahmin tutarlılığı elde edilmiştir. Model tutarlılık indeksi sırasıyla tane verimi için 0,86 - 0,99 biyokütle ağırlığı için 0,81 – 0,86 ve LAI için 0,99 – 0,93 aralıklarında bulunmuştur.

- Bursa ilinde sıcaklıklarda meydana gelen artış nedeniyle soya fasulyesi daha hızlı gelişmekte ve fizyolojik olgunluğa erişme süresinde referans döneme göre -2 ila – 12 gün arasında azalmalar olacağı belirlenmiştir. Sıcaklık artışlarının daha yüksek öngörüldüğü HadGEM2-ES küresel iklim modelinde fizyolojik olgunluğa erişme süresindeki azalmanın (-6 ila -12 arasında) diğer iklim modellerine göre daha fazla olduğu görülmüştür.

- Bitkinin sıcaklık artışı ile fizyolojik olgunluğa erken ulaşmasına rağmen CO_2 artışına verdiği tepkinin olumlu sonuçlandığı ve gelecek senaryolarının çoğunda soya veriminde yüksek bir artış (% 10 ila % 53) olacağı görülmüştür. GFDL-ESM2M ve MPI-ESM-MR iklim modellerinde CO_2 konsantrasyonunun daha yüksek olduğu RCP8.5 senaryosunda verim artışları RCP4.5 senaryosuna göre daha yüksek öngörülmüştür.

- HadGEM2-ES iklim projeksiyonun RCP8.5 senaryosu için verimde artış diğer iklim modellerine göre daha az öngörülmüştür. Sıcaklık projeksiyonları incelendiğinde, Temmuz - Ağustos aylarında sıcaklıkların RCP8.5 senaryosu için diğer iklim modellerine göre daha yüksek tahmin edildiği gözlemlenmiştir.

- İklim projeksiyonlarının farklı ekim tarihleri ile çalıştırılması sonucu, MGIII ve MGIV olgunluk grubuna sahip soya fasulyesi çeşitlerinin Nisan sonu ekimesi durumunda Mayıs ortası ekilmesine göre daha yüksek verim elde edileceği görülmüştür.

- A3127 (MGIII) çeşidi için farklı ekim tarihleri ve iklim senaryoları altında soya fasulyesinin tam sulama koşulları altında yetiştirilebilmesi için ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarı 1971-2000 yıllarını kapsayan referans dönemde 447, 0 ila 614,4 mm, gelecek dönemlerde ise 582, 8 mm ila 916, 3 mm arasında değişeceği tahminlenmiştir.

- 1530 (MGIV) çeşidi için farklı ekim tarihleri ve iklim senaryoları altında soya fasulyesinin tam sulama koşulları altında yetiştirilebilmesi için ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarı 1971-2000 yıllarını kapsayan referans dönemde 449, 0 ila 619,0 mm, gelecek dönemlerde ise 575,5 mm ila 893,1 mm arasında değişeceği tahminlenmiştir.

- İklim projeksiyonlarına göre gelecekte soya fasulyesinin su kullanım verimliliğinde (WP) artış ve azalışlar öngörülmektedir. GFDL_ESM2M ve MPI-ESM-MR küresel iklim modellerinde sırasıyla % 25 ila % 40 ve % 12 ila % 32 arasında artış, HadGEM2-ES iklim modelinde ise % 0 ila % 7 artış ve % 1 ila % 7 arasında azalış olması beklenmektedir.

- 1530 (OGIV) çeşidi için RCP8.5 senaryosundan daha yüksek WP değerleri elde edilirken A3127 (OGIII) çeşidi için özellikle uzak gelecekte RCP4.5 senaryosunda artış oranları daha yüksek öngörülmektedir.

Soya bitkisi geniş bir kullanım alanına sahip olması nedeniyle gelecekte daha fazla alanda soya ekimine ihtiyaç duyulabileceği düşünülmektedir. Günümüz koşullarında ülke içindeki ihtiyaç yerel üretimle karşılanamamakta, soya fasulyesi ihtiyaçları karşılamak adına ithal edilmektedir. Soya genel olarak Türkiye'nin Çukurova Bölgesi'nde yetişse de daha önce yapılan çalışmalar Marmara Bölgesi'nin de üretim potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, Marmara Bölgesi'nde yer alan Bursa ilinde soya fasulyesi yetiştiriciliğini etkileyebilecek iklim değişikliği faktörlerini anlamak ve bu değişikliklere uyum sağlamak için önemli bir adım atmaktadır. Özellikle gelecekteki daha sıcak iklimler için doğru MG'den çeşitlerin seçilmesi ve ekim tarihlerinin uygun olarak ayarlanması ile daha olumlu sonuçlar alınacağı söylenebilir. Bir diğer husus ise bu bölgede yüksek verimli soya üretimi için yağış miktarlarının yetersiz olması nedeniyle sulamanın kaçınılmaz olmasıdır. Bu çalışma tam sulama koşulları altında yürütülmüştür ancak suyun gelecekte kısıtlı olacağı bilinen bir gerçektir. Bu nedenle bu bölge için iklim değişikliği senaryoları altında farklı sulama seviyelerinin soya verimine olan etkilerinin belirlenmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

Ainsworth, E.A., Davey, P.A., Bernacchi, C.J., Dermody, O.C., Heaton, E.A., Moore, D.J., Morgan, P.B., Shawna, L.N., Ra, H.Y. & Zhu, X., (2002). A meta-analysis of elevated[CO2] effects on soybean (Glycine max) physiology, growth and yield. *Glob. Chang. Biol.* 695–709. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00498.x.

Ainsworth, E. A., & Rogers, A. (2007). The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO2]: mechanisms and environmental interactions. Plant, cell & environment, 30(3), 258–270. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01641.x

Akçakaya, A., Sümer, U.M., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Gürkan, H., ….. Çukurçayır, F. (2015). Yeni senaryolarla Türkiye iklim projeksiyonları ve iklim değişikliği-TR2015-CC. *Meteoroloji Genel Müdürlüğü yayını*, 149 s., Ankara.

Allen, L.H., Bisbal, E.C., Boote, K.J., Jones, P.H., (1991). Soybean dry matter allocation under subambient and superambient levels of carbon dioxide. *Agron. J*. 875–883. https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300050020x.

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.

Allen, L.H., Pan, D., Boote, K.J., Pickering, N.B. & Jones, J.W. (2003). Carbon Dioxide and Temperature Effects on Evapotranspiration and water use efficiency of soybean. *Agron. J.*, 95: 1071-1081. https://doi.org/10.2134/agronj2003.1071

Allen, L.H., Kimball, B.A., Bunce, J.A., Yoshimoto, M., Harazono, Y., Baker, J.T., Boote, J.K., White, J.W., (2020). Fluctuations of CO_2 in free-Air CO_2 enrichment (FACE) depress plant photosynthesis, growth, and yield. *Agric. For. Meteorol*. 107899. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107899.

Alsajri F.A., Wijewardana C.,Irby J.T., et al. Developing functional relationshipsbetween temperature and soybean yield and seed quality. *Agronomy Journal*. 2020;112:194–204. https://doi.org/10.1002/agj2.20034

Anonim, 2020. IPCC İklim Değişikliği Senaryoları ve Tarihsel Gelişimi. https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx?s=senaryolar Erişim Tarihi: 21.10.2020

Anonim 2023. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İllerimize Ait Genel İstatistik Verileri, https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleistatistik.aspx?k=A&m=BURSA Erişim Tarihi: 06/09/2023.

Battisti, R., Sentelhas, P. C., & Boote, K. J. (2017). Inter-comparison of performance of soybean crop simulation models and their ensemble in southern Brazil. *Field Crops Research*, *200*, 28-37. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.10.004

Battisti, R., Sentelhas, P. C., & Boote, K. J. (2018). Sensitivity and requirement of improvements of four soybean crop simulation models for climate change studies in Southern Brazil. *International journal of biometeorology*, *62*, 823-832. https://doi.org/10.1007/s00484-017-1483-1

Bao, Y., Hoogenboom, G., Mcclendon, R., & Paz, J. (2015a). Potential adaptation strategies for rainfed soybean production in the south-eastern USA under climate change based on the CSM-CROPGRO-Soybean model. *The Journal of Agricultural Science*, *153*(5), 798-824. doi:10.1017/S0021859614001129

Bao, Y., Hoogenboom, G., McClendon, R., & Urich., P. (2015b). Soybean production in 2025 and 2050 in the southeastern USA based on the SimCLIM and the CSM-CROPGRO-Soybean models. *Clim Res* 63:73-89. https://doi.org/10.3354/cr01281

Bhatia, V.S., Tiwari, S.P., & Joshi, O.P., (1999.9 Yield and its attributes as affected by planting dates in soybean (Glycine max) varieties. *Indian J. Agric. Sci*. 69:696–699.

Brisson, N., Mary, B., Ripoche, D., Jeuffroy, M. H., Ruget, F., Nicoullaud, B., ... & Delécolle, R. (1998). STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie*, *18*(5-6), 311-346.

Boote, K. J., Jones, J. W., & Hoogenboom, G. (1998). Simulation of crop growth: CROPGRO odel. In R. M. Peart & B. R. Curry (Eds.), *Agricultural systems modeling and simulation* (pp. 651–692). CRC Press.

Boote, K. J., Jones, J. W., Batchelor, W. D., Nafziger, E. D., & Myers, O. (2003). Genetic coefficients in the CROPGRO–Soybean model: Links to field performance and genomics. *Agronomy Journal*, *95*(1), 32-51.

Bouman, B. A. M. (1992). Linking physical remote sensing models with crop growth simulation models, applied for sugar beet. *International Journal of Remote Sensing*, *13*(14), 2565-2581. https://doi.org/10.1080/01431169208904064

Buis A., 2020. Study confirms climate models are getting future warming projections right, https://climate.nasa.gov/news/2943/study-confirms-climate-models-are-getting-future-warming-projections-right/.

Candemir, S., & Kızılaslan, N. (2019). Determination of technical efficiency of soybean producing enterprises in Adana, Turkey. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 7(1), 43–48. https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i1.43-48.2064

Candoğan, B. N. (2009). *Soya fasulyesinin su-verim ilişkileri* (Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi.

Casali, L., Herrera, J. M., & Rubio, G. (2021). Modeling maize and soybean responses to climatic change and soil degradation in a region of South America. *Agronomy Journal*, *113*(2), 1381-1393. https://doi.org/10.1002/agj2.20585

Choi, D.H., Ban, H.Y., Seo, B.S., Lee, K.J. & Lee, B.W. (2016). Phenology and seed yield performance of determinate soybean cultivars grown at elevated temperatures in a temperate region. *PLoS ONE* 11(11): e0165977. doi:10.1371/journal.pone.0165977

De Wit, C. T. (1965). Photosynthesis of leaf canopies (No. 663). Pudoc.

De Wit, C. D., Brouwer, R., & De Vries, F. P. (1970). The simulation of photosynthetic systems. In Proceedings of the IBP/PP technical meeting, Trebon, 14-21 September 1969 (pp. 47-70).

Drag, D.W., Slattery, R., Siebers, M., DeLucia, E.H., Ort, D.R., & Bernacchi, C.J., (2020). Soybean photosynthetic and biomass responses to carbon dioxide concentrations ranging from pre-industrial to the distant future. *J. Exp. Bot*. 25–62. https://doi.org/10.1093/jxb/eraa133.

Demirtas, Ç., Yazgan, S., Candogan, B. N., Sincik, M., Büyükcangaz, H., & Göksoy, A. T. (2010). Quality and yield response of soybean (Glycine max L. Merrill) to drought stress in sub–humid environment. *African Journal of Biotechnology*, *9*(41), 6873-6881.

Dogan, E., Kirnak, H., & Copur, O. (2007). Effect of seasonal water stress on soybean and site specific evaluation of CROPGRO-Soybean model under semi-arid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, *90*(1-2), 56-62.

Eulenstein, F., Lana, M., Schlindwein, S., Sheudzhen, A., Tauschke, M., Behrend, A., Guevara, E., & Meira, S. (2016). Trends of soybean yields under climate change scenarios. *Horticulturae*, 3(1), 10. https://doi.org/10.3390/horticulturae3010010

FAO, 2021. http://www.fao.org/faostat/en/#data Erişim Tarihi: 14.10.2021

Fehr, W.R. and Caviness, C.E. (1977) Stages of soybean development. Special Report 80, Iowa Agricultural Experiment Station, Iowa Cooperative External Series, Iowa State University, Ames.

Fernandes, R.D.M., de Melo, D.M., Elli, E.F. *et al.* Climate change impacts on rainfed and irrigated soybean yield in Brazil's new agricultural frontier. *Theor Appl Climatol* **147**, 803–816 (2022). https://doi.org/10.1007/s00704-021-03865-w

Flato, G., Marotzke, J., Abiodun, B., Braconnot, P., Chou, S.C., Collins, W., Cox, P., F. ….. Rummukainen, M., (2013). Evaluation of Climate Models. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Gameh, M., Ahmed, E., Dardiry, M. ve Elmahdy, A. (2020). Evaluating DSSAT program for simulating wheat yield production with different irrigation and nitrogen applications under Upper Egypt conditions. *Archives of Agriculture Sciences Journal*, 3(2), 255-272. doi: 10.21608/aasj.2020.211507

Gürkan, H. (2019). Konya havzasında iklim değişikliğinin ayçiçeği (*Helianthus Annuus L.*) verimine olası etkilerinin tahmin edilmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara

Hoogenboom, G., White, J. W., & Messina, C. D. (2004). From genome to crop: integration through simulation modeling. *Field Crops Research*, *90*(1), 145-163. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.07.014

Hoogenboom, G., C.H. Porter, K.J. Boote, V. Shelia, P.W. Wilkens, U. Singh, J.W. White, S. Asseng, J.I. Lizaso, L.P. Moreno, W. Pavan, R. Ogoshi, L.A. Hunt, G.Y. Tsuji, and J.W. Jones. 2019. The DSSAT crop modeling ecosystem. In: p.173-216 [K.J. Boote, editor] *Advances in Crop Modeling for a Sustainable Agriculture. Burleigh Dodds Science Publishing*, Cambridge, United Kingdom https://dx.doi.org/10.19103/AS.2019.0061.10

Hoogenboom, G., C.H. Porter, V. Shelia, K.J. Boote, U. Singh, W. Pavan, F.A.A. Oliveira, …… Jones, J.W., (2023). Decision support system for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.8.2 (www.DSSAT.net). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.

Huang, J., Ma, H., Su, W., Zhang, X., Huang, Y., Fan, J., & Wu, W. (2015). Jointly assimilating MODIS LAI and ET products into the SWAP model for winter wheat yield estimation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *8*(8), 4060-4071.

Hunt, L. A., & Boote, K. J. (1998). Data for model operation, calibration, and evaluation. *Understanding options for agricultural production*, 9-39.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.(eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Jensen, M. E. (1980). Design and operation of farm irrigation systems. ASAE Monograph No. 3. *Amer. Soc. Agric. Engr. St. Joseph, MI, 829.*

Jing, Q., Huffman, T., Shang, J., Liu, J., Pattey, E., Morrison, M., ... & Qian, B. (2017). Modelling soybean yield responses to seeding date under projected climate change scenarios. *Canadian Journal of Plant Science*, *97*(6), 1152-1164. https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0065

Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., & Ritchie, J.T., (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy* 18:235-265 https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7

Jones J.W., Hoogenboom, G., Wilkens, P.W.,. Porter, C.H & Tsuji, G.Y. (2010). Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.5. Volume 3. DSSAT v4.5: ICASA Tools. University of Hawaii, Honolulu, HI

Kephe, P.N., Ayisi, K.K. & Petja, B.M. (2021). Challenges and opportunities in crop simulation modelling under seasonal and projected climate change scenarios for crop production in South Africa. *Agric & Food Secur* 10, 10 https://doi.org/10.1186/s40066-020-00283-5

Kılınç, A., Arıoğlu, H., 2018. İkinci ürün soya tarımında farklı dozlarda uygulanan azotlu gübrenin verim ve bazı tarımsal özelliklere etkisi. Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 35-1.

Konukcu, F., Deveci, H., & Altürk, B. (2020). Trakya Bölgesi'nde iklim değişikliğinin buğday verimine etkisinin Aquacrop ve WOFOST modeller ile tahmin edilmesi, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(1), 77-96.

Kroes, J.G., J.C. van Dam, R.P. Bartholomeus, P. Groenendijk, M. Heinen, R.F.A. Hendriks, H.M. Mulder, I. Supit, P.E.V. van Walsum, 2017. SWAP version 4; Theory description and user manual. Wageningen, *Wageningen Environmental Research, Report* 2780. 244 pp.; 57 fig.; 17 tab.; 312 ref.

Lenka, N. K., Lenka, S., Thakur, J. K., Yashona, D. S., Shukla, A. K., Elanchezhian, R., ... & Patra, A. K. (2020). Carbon dioxide and temperature elevation effects on crop evapotranspiration and water use efficiency in soybean as affected by different nitrogen levels. *Agricultural Water Management*, *230*, 105936. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105936

Li, D., Liu, H., Qiao, Y., Wang, Y., Cai, Z., Dong, B., Shi, C., …. Liu, M. (2013). Effects of elevated CO_2 on the growth, seed yield, and water use efficiency of soybean (Glycine max (L.) Merr.) under drought stress, *Agricultural Water Management*, 129, 105-112, ISSN 0378-3774, https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.07.014

Nehbandani, A., Soltani, A., Nourbakhsh, F., & Dadrasi, A. 2020. Estimating crop model parameters for simulating soybean production in Iran conditions. OCL 27: 58. https://doi.org/10.1051/ocl/2020057

MacCarthy, D. S., Traore, P. S., Freduah, B. S., Adiku, S. G., Dodor, D. E., & Kumahor, S. K. (2022). Productivity of soybean under projected climate change in a semi-arid region of West Africa: sensitivity of current production system. *Agronomy*, *12*(11), 2614. https://doi.org/10.3390/agronomy12112614

Molden, D. (1997). Accounting for water use and productivity (No. 42). Iwmi.

McCown, R.L.; Hammer, G.L.; Hargreaves, J.N.G.; Holzworth, D.P.; Freebairn, D.M. (1996). APSIM: A novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. *Agric. Syst.*, 50, 255–271.

Onat, B. , Bakal, H. , Gulluoglu, L. & Arıoglu, H. (2017). The effects of high temperature at the growing period on yield and yield components of soybean [Glycine Max (L.) Merr] varieties. *Turkish Journal of Field Crops,* 22 (2), 178-186. DOI: 10.17557/tjfc.356210

Önol, B. (2001). Türkiye ve Civarı İkliminin Bölgesel Bir İklim Modeliyle Simülasyonu: Yüzey Koşullarına Duyarlılık, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul.

Önol, B., Unal, Y. S., & Kahraman, A., (2008). Sensitivity Analysis of Regional Climate Model (Regcm3) Over Turkey. Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-07703, 2008.

Özsoy, G. (2001). Uludağ Üniversitesi kampüs alanı topraklarının genesisi ve sınıflandırılması. Yüksek Lisans Tezi,Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özkan, G. & Kadağan, Ö. (2019). Bursa İli tarımsal potansiyelinin geliştirilmesine yönelik bir değerlendirme. *Turkish Studies - Economics, Finance, Politics*, 14(2), 503-522. https/doi:10.29228/TurkishStudies.22850

Öztürk, M., Z. (2010). Uludağ (Zirve) ve Bursa meteoroloji istasyonlarının karşılaştırmalı iklimi. *Türk Coğrafya Dergisi,* Sayı:55,13-24

Palacios, C. J., Grandis, A., Carvalho, V. J., Salatino, A., & Buckeridge, M. S. (2019). Isolated and combined effects of elevated CO_2 and high temperature on the whole-plant biomass and the chemical composition of soybean seeds. *Food chemistry*, *275*, 610-617. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.052.

Perondi, D., Boote, K., de Souza Nóia Júnior, R., Mulvaney, M., Iboyi, J., & Fraisse, C. (2022). Assessment of soybean yield variability in the southeastern US with the calibration of genetic coefficients from variety trials using CROPGRO-Soybean. *Agronomy Journal*, *114*(2), 1100-1114. https://doi.org/10.1002/agj2.20995

Prasad, P. V., Allen Jr, L. H. & Boote, K. J. (2005). Crop responses to elevated carbon dioxide and interaction with temperature: grain legumes. *Journal of Crop Improvement*, 13(1-2), 113-155. https://doi.org/10.1300/J411v13n01_07

Salvacion, A., (2011). Simulating ımpact of climate change in crop productivity using future climate projections and DSSAT crop simulation models - Guide Module, School of Science and Management University of the Philippines Los Baños College 4031, Laguna, Philippines

Sampaio L.S., Battisti R., Lana M.A. & Boote K.J. (2020). Assessment of sowing dates and plant densities using CSMCROPGRO-Soybean for soybean maturity groups in low latitude. *The Journal of Agricultural Science* 158, 819–832. https://doi.org/10.1017/S0021859621000204

Selçuk, S., Cebeci, F., Cerit, M. S., Çirci, O., ve Selçuk, B. (2022). Sivas ilinin iklim değişikliği projeksiyonları. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(3), 522-533. https://doi.org/10.28948/ngumuh.1091466

Silva, E., Andrade, A. S., Souza, H. A. D., Carvalho, K. D. S., Vieira Junior, N. A., Marin, F. R., ... & Antolin, L. A. S. (2021). Impact assessment of soybean yield and water productivity in Brazil due to climate change. *European Journal of Agronomy*, *129*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126329

Sincik, M., Candogan, B. N., Demirtas, C., Büyükcangaz, H., Yazgan, S. & Göksoy, A. T. (2008). Deficit irrigation of soya bean [Glycine max (L.) Merr.] in a sub-humid climate. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *194*(3), 200-205. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2008.00307.x

Sincik, M., Göksoy, A. T. & Turan, Z. M. (2009). Soybean seed yield performances under different cultural practices. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *33*(2), 111-118. https://doi.org/10.3906/tar-0807-26

Sincik, M., Göksoy, A. T & Turan Z. M., (2011). How growth dynamics affect soybean development across cultural practices, soybean - *Applications and Technology*, Tzi-Bun Ng, IntechOpen, DOI: 10.5772/14290.

Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D. & Fereres, E. (2009). Aquacrop—The fao crop model to simulate yield response to water. *Agron. J.*, 101, 426–437. https://doi.org/10.2134/agronj2008.0139s

Stöckle, C. O., Donatelli, M. & Nelson, R. (2003). CropSyst, a cropping systems simulation model. *European journal of agronomy*, *18*(3-4), 289-307. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00109-0

Şen, B., (2009). Bölgesel iklim modelleri kullanılarak çukurova yöresi'nde iklim değişikliğinin 1. ve 2. ürün mısır verimine olası etkilerinin belirlenmesi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Quansah, J. E., Welikhe, P., El Afandi, G., Fall, S., Mortley, D. & Ankumah, R. (2020). CROPGRO soybean model calibration and assessment of soybean yield responses to climate change. *American Journal of Climate Change*, 9, 297-316. https://doi.org/10.4236/ajcc.2020.93019

TÜİK, 2020. https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr Erişim Tarihi: 19.10.2020.

TÜİK, 2022. https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr Erişim Tarihi: 19.11.2022.

Van Diepen, C.A. Wolf, J., van Keulen, H. & Rappoldt, C. (1989). Wofost: A simulation model of crop production. *Soil Use Manag*., 5, 16–24.

Vanlı, Ö. (2019). Dssat bitki simülasyon modeli ve uzaktan algılama verilerinden elde edilen indisler kullanılarak buğday verim tahmini: İslahiye ve Nurdağı örneği. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, İstanbul.

Wang, A., Lam, S. K., Hao, X., Li, F. Y., Zong, Y., Wang, H. & Li, P. (2018). Elevated CO2 reduces the adverse effects of drought stress on a high-yielding soybean (Glycine max (L.) Merr.) cultivar by increasing water use efficiency. *Plant physiology and biochemistry*: *PPB*, 132, 660–665. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.016

Willmott, C. J. (1981). On the validation of models. Physical geography, 2(2), 184-194.

Williams, J. R., Jones, C. A., Kiniry, J. R. & Spanel D. A. (1989). The EPIC Crop Growth Model. *Transactions of the ASAE*, 32(2), 0497–0511. https://doi:10.13031/2013.31032

Yan, W., Jiang, W., Han, X., Hua, W., Yang, J. & Luo, P. (2020). Simulating and predicting crop yield and soil fertility under climate change with fertilizer management in Northeast China based on the decision support system for agrotechnology transfer model. *Sustainability*, *12*(6), 2194. https://doi:10.3390/su12062194

Yüzbaşı, Ş. (2021). Günümüzdeki ve gelecekteki iklim koşullarında farklı sulama uygulamalarının ikinci ürün soya fasulyesi verimine etkisinin incelenmesi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Zhang, L., Zhu, L., Yu, M. & Zhong, M. (2016). Warming decreases photosynthates and yield of soybean [Glycine max (L.) Merrill] in the north China plain. *Crop J*, 4: 139–146. https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.12.003.