



**TRAKYA BÖLGESİ'NDE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BUĞDAY VERİMİNE  
ETKİSİNİN TAHMİN EDİLMESİ**

**AHMET COŞKUN**

**Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Danışman: Prof. Dr. Fatih KONUKCU**

**İkinci Danışman: Öğr. Gör. Dr. Huzur DEVECİ**

**2023**

T.C.  
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TRAKYA BÖLGESİ'NDE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BUĞDAY VERİMİNE  
ETKİSİNİN TAHMİN EDİLMESİ

AHMET COŞKUN

ORCID: 0000-0003-1569-3279

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Prof. Dr. Fatih KONUKCU

İkinci Danışman: Öğr. Gör. Dr. Huzur DEVECİ

OCAK-2023

Her hakkı saklıdır.

## ÖZET

# TRAKYA BÖLGESİ'NDE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BUĞDAY VERİMİNE ETKİSİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Ahmet COŞKUN

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Fatih KONUKCU

İkinci Danışman: Öğr. Gör. Dr. Huzur DEVECİ

İklim değişikliğinin etkileri günümüzde yoğun bir şekilde yaşanmaya başlamıştır. İklim değişikliğiyle birlikte bitkisel üretimin ve/veya verimin nasıl etkileneceğinin hassas bir şekilde tahmini gıda güvenliği açısından önemlidir. Bu çalışmanın amacı, Trakya Bölgesi'nde iklim değişikliğinin buğday bitkisinin verimine etkisini modellemektir. Bu amaçla, çiftçi tarlasından alınan 2020-2021 dönemi buğday verim değeri, aynı yıla ait iklim verileri kullanılarak LINTUL model ile hesaplanan verim değeri ile karşılaştırılarak kalibre edilmiş ve daha sonra HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR küresel iklim modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarından elde edilen iklim verileri ile 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ve 2071-2080 dönemleri için verim değerleri tahmin edilmiştir. Ekim ve hasat tarihleri değiştirilmeden iki şekilde verim tahmini yapılmıştır: Birincisinde, ortalama en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimi dikkate alınarak verim hesaplaması yapılmıştır. İkincisinde ise solar radyasyon değerleri 2004-2021 dönemi için sabit tutulurken, ortalama en düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimleri hesaba katılmıştır. Birinci yaklaşımda, HadGEM2-ES modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için tahmin edilen verim değişimleri sırasıyla %1,5-%7,5 ve -%7,5-%7,5 arasında hesaplanırken, MPI-ESM-MR modeli için yine aynı sırayla %9,0-%13,4 ve %3,0-%16,4 arasında simüle edilmiştir. İkinci yaklaşımda, HadGEM2-ES modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için tahmin edilen verim değişimleri sırasıyla %4,5-%9,0 ve -%7,5-%7,5 arasında hesaplanırken, MPI-ESM-MR modeli için yine aynı sırayla %10,4-%13,4 ve %4,5-%19,5 arasında tahmin edilmiştir. Verim tahminlerinde sıcaklık ve yağışla birlikte solar radyasyonun etkisinin de mutlaka göz önünde bulundurulması gerektiği; iklim değişimi ile verimin genelde artış yönünde olacağı tahmin edildiğinden gıda güvenliği için Trakya Bölgesi tarım arazilerinin değişimine izin verilmemesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İklim Değişikliği, Buğday, LINTUL Model, Verim Tahmini, Trakya Bölgesi

## ABSTRACT

### PREDICTION OF THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON WHEAT YIELD IN THRACE REGION

Ahmet COŞKUN

Department of Biosystem Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Co-Supervisor: Lecturer Dr. Huzur DEVECİ

The effects of climate change have begun to be experienced intensely nowadays. Precise estimation of how crop production and/or yield will be affected by climate change is of great importance for food security. The aim of this study is to model the effect of climate change on the yield of wheat in Thrace Region. For this purpose, the 2020-2021 period wheat yield value taken from the farmer's field was calibrated by comparing it with the one calculated with the LINTUL model using the climate data of the same year and then yield values were estimated for the 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 and 2071-2080 periods with the climate data obtained from the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios of HadGEM2-ES and MPI-ESM-MR global climate models. Yield estimations were made in two ways without changing the sowing and harvest dates: In the first, yield calculations were made by considering the average lowest and highest temperature, solar radiation and precipitation change. In the second, while the solar radiation values were kept constant for the period 2004-2021, average minimum and maximum temperature and precipitation changes were taken into account. In the first approach, the estimated yield changes for the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios of the HadGEM2-ES model were calculated between 1,5%-7,5% and -7,5%-7,5%, respectively, while for the MPI-ESM-MR model they were simulated between 9,0%-13,4% and 3,0%-16,4% in the same order. It was concluded that in yield estimations, the effect of solar radiation along with temperature and precipitation must be taken into account. For food security, the agricultural lands of the Thrace Region should not be used beyond their purposes since yield is forecasted to increase generally with climate change.

**Keywords:** Climate Change, Wheat, LINTUL Model, Yield Forecast, Thrace Region

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER DİZİNİ .....	vii
KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
TEŞEKKÜR .....	ix
<b>1. Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>	
1.1. Literatür Özeti .....	2
1.1.1. İklim Değişikliği .....	2
1.1.2. İklim Modelleri ve Senaryolar .....	3
1.1.3. Trakya Bölgesi İklim Değişikliği Projeksiyonları .....	4
1.1.4. İklim Değişikliğinin Verime Etkisi .....	6
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	9
<b>2. MATERYAL.....</b>	<b>11</b>
2.1. Araştırma Alanı .....	11
2.2. Araştırma Alanının İklimi .....	11
2.3. Araştırma Alanının Toprak Özellikleri .....	12
2.4. Buğday ( <i>Triticum aestivum</i> ) Bitkisine Ait Özellikler .....	13
2.5. İklim Değişikliği Tahmin Modelleri .....	13
2.6. Verim Tahmin Modeli: LINTUL .....	14
<b>3. YÖNTEM .....</b>	<b>15</b>
3.1. İklim Değişikliği Verilerinin Değerlendirilmesi .....	15
3.2. Ölçülen ve Tahmin Edilen Verim Değerlerinin Karşılaştırılması .....	15
3.3. Buğday Verim Tahmini .....	15
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>17</b>
4.1. İklim Verilerinin Değerlendirilmesi .....	17
4.2. Ölçülen ve Tahmin Edilen Verim Değerinin Değerlendirilmesi .....	21
4.3. Buğday Verim Tahmini .....	21
4.3.1. En Düşük ve En Yüksek Sıcaklık, Solar Radyasyon ve Yağış Değişimli Verim Tahmini .....	21
4.3.2. En Düşük ve En Yüksek Sıcaklık ve Yağış Değişimli Verim Tahmini .....	25

4.3.3. En Düşük ve En Yüksek Sıcaklık, Solar Radyasyon ve Yağış Değişimli Verim Tahminleri ile En Düşük ve En Yüksek Sıcaklık ve Yağış Değişimli Verim Tahminlerinin Karşılaştırılması .....	29
4.3.4. Verim Tahmini Sonuçlarının Değerlendirilmesi ... ..	30
4.3.5. Sonuç .....	32
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>33</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>38</b>



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Temsili konsantrasyon rotalarının (RCPS) türleri (Demircan vd, 2014)	4
Çizelge 1.2.	Tekirdağ ili sıcaklık ve yağış projeksiyonları (Hanedar vd, 2019)	5
Çizelge 1.3.	Edirne ili sıcaklık ve yağış projeksiyonları (Hanedar vd, 2019)	5
Çizelge 1.4.	Kırklareli ili sıcaklık ve yağış projeksiyonları (Hanedar vd, 2019)	6
Çizelge 2.1.	Araştırma alanına ilişkin iklim değerlerinin uzun yıllar ortalamaları (1940-2021)	12
Çizelge 2.2.	Araştırma alanının bazı önemli fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri	12
Çizelge 4.1.	Gelecek yıllar ortalama en düşük, en yüksek sıcaklık ve toplam yağış değerleri	17
Çizelge 4.2.	Araştırma alanı 2004-2021 ve 2031-2080 yıllar arası aylık yağış değerleri	18
Çizelge 4.3.	Araştırma alanı 2004-2021 ve 2021-2080 yıllar arası aylık solar radyasyon değerleri	20
Çizelge 4.4.	Gelecek yıllar en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim değerleri ve 2021-2022 döneminden (670 kg/ha) sapma miktarı	22
Çizelge 4.5.	Gelecek yıllar en düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim değerleri ve 2021-2022 döneminden (670 kg/ha) sapma miktarı	26
Çizelge 4.6.	En düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim tahminlerinden, en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim tahminleri farkları	30

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Araştırma Alanı	11
Şekil 4.1.	2004-2021 ve 2031-2080 uzun yıllar ortalamaları yağış değerleri (mm)	19
Şekil 4.2.	2004-2021 ve 2031-2080 uzun yıllar ortalamaları radyasyon değerleri (mj/m <sup>2</sup> /gün)	20
Şekil 4.3.	En düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim değerleri (kg/da)	23
Şekil 4.4.	HadGEM2-ES modeli RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim değerleri	24
Şekil 4.5.	MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları en düşük ve en yüksek sıcaklık solar radyasyon ve yağış değişimli verim değerleri	25
Şekil 4.6.	En düşük, en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim değerleri	27
Şekil 4.7.	HadGEM2 -ES modeli RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları en düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim değeri	28
Şekil 4.8.	MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları en düşük ve en yüksek sıcaklık.ve yağış değişimli verim değerleri	28



## SİMGELER DİZİNİ

%	Yüzde
°C	Santigrat derece
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
cm	Santimetre
m	Metre
mm	Milimetre
pH	Pondus hydrogenyum



## KISALTMALAR DİZİNİ

IPCC	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
AR5	IPCC 5. Değerlendirme Raporu
CMIP	Coupled Model Intercomparison Project - Klimatolojide Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi
HadGEM2	Hadley Centre Global Environment Model Version 2 - Hadley Center Küresel Çevre Modeli Versiyonu 2
RegCM3	Regional Climate Model Version 3 - Bölgesel İklim Modeli Version 3
RegCM4	Regional Climate Model Version 4 - Bölgesel İklim Modeli Version 4
MPI-ESM-MR	Max Planck Meteorology Institute Earth System Model - Max Plank Meteoroloji Enstitüsü Yer Sistem Modeli
CNRM-CM5.1	Centre National de Recherches Météorologiques - Fransa Ulusal Meteorolojik Araştırma Merkezi
RCP	Representative Concentration Pathways - Temsili Konsantrasyon Rotaları
T21	Trakya Bölgesi
CERES	Crop Environment Resource Synthesis (Bitki Çevre Kaynak Sentezi)
DSSAT	Decision Support System for Agrotechnology Transfer (Tarım Teknolojileri Transferi için Karar Destek Sistemi)
SIMWASER	Simulation Von Wasser und Ertrag (Su ve Verim Simülasyonu)
CROPSYST	Cropping Systems Simulation Model (Bitki Sistemleri Simülasyon Modeli)
WOFOST	World Food Studies (Dünya Gıda Çalışmaları)
CROPGRO	Mechanistic Crop Simulation Model
LINTUL	Light Interception and Utilisation
ETP	Evapotranspirasyon
RMSE	Root Mean Square Error - Ortalama Hata Kare Kökü
MAE	Mean Absolute Error - Ortalama Mutlak Hata
MAPE	Mean Absolute Percentage Error - Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitiminin boyunca bana yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Fatih KONUKCU hocama ve tez çalışmamda bana daima yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Öğr. Gör. Dr. Huzur DEVECİ hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans eğitiminin boyunca bana maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

Ahmet COŞKUN

Biyosistem Mühendisi

## 1. GİRİŞ

Küresel iklim değişimiyle birlikte Türkiye’de ve dünyada olduğu gibi sıcaklık, yağış, kuraklık ve sel gibi kimi iklim olaylarının sıklık ve şiddetlerinde önemli değişiklikler meydana gelmektedir.

İklim değişikliğinin başlıca göstergeleri arasında yağış paterni değişimleri, buzulların erimesi, sıcaklık artışları, deniz seviyesindeki yükselme ve nehir akımlarında değişimler yer almaktadır. Yapılan iklim değişikliği öngörülerine göre 1990-2100 yılları arasında ortalama deniz seviyesinde 9-88 cm, küresel sıcaklıkta ise 1,4 °C - 5,8 °C artış olacaktır (UNFCC, 1992).

Kimi iklim olaylarındaki değişimde ise yüzyılın sonuna doğru; don olan günlerin sayısı Edirne’de 60 günden 30 güne, Tekirdağ’da 30 günden 10 günün altına, Kırklareli’nde 50 günden 30 güne düşeceği; bitki gelişme sezonu uzunluğu Edirne’de 230 günden 265 güne, Tekirdağ’da 240 günden 280 günün üzerine, Kırklareli’nde 220 günden 260 güne uzayacağı; tropik gecelerin (tüm gün boyunca >20 °C) sayısı her üç ilde de birkaç günden 60 güne kadar çıkacağı; ardışık kurak gün sayısı her üç ilde de 20 günden 40 güne kadar artacağı, çok şiddetli yağışlı gün sayısında her üç ilde de az da olsa artışlar yaşanacağı; standartlaştırılmış yağış, buharlaşma ve terleme indeksine göre her üç ilde de tüm model ve senaryolara göre özellikle 2050’li yıllardan sonra şiddetli kuraklık yaşanacak günlerin sayısında artış beklenmektedir (Çağlar vd., 2019).

Sıcak hava dalgalarındaki hızlı artış yanında özellikle kar yağışının azalması yaz aylarında nehirlerdeki su debilerinin düşmesine veya kurummasına barajlardaki su seviyesinin düşmesine neden olacaktır. Diğer taraftan tarım alanlarında sulama suyu ihtiyacı önemli ölçüde artacaktır. Suya en çok ihtiyaç duyulan yaz aylarında tarım, turizm, sanayi ve şehirler gibi rakip sektörlerde su stresini büyük ölçüde artıracaktır (Kadıoğlu vd., 2017; Konukcu vd., 2019). Yüzey su kaynaklarının yetersizliği yeraltı sularının yenilenebilir potansiyeli üzerinde kullanılmasına neden olacaktır. Trakya Bölgesi’nde ve Konya’da yeraltı sularının aşırı çekilmesi, önlem alınmaması durumunda bu bölgelerde çok yakın bir gelecekte ciddi problemler yaşanacağı aşikârdır (Konukcu vd., 2019).

İklim, toprak, besin bileşiminin doğru bir şekilde yönetilmesi bitkinin fizyolojik olarak gelişiminin tamamlanmasına yardımcı olmakla birlikte, verim değerlerinin de o koşullar altında en uygun seviyeye çıkmasını sağlamaktadır. Tarımsal üretimlerde bitki veriminin hesaplanması

hem gıda güvenliği hem de ülke ekonomisi açısından son derece önemlidir. Ancak, çok hassas bir ekosisteme sahip olan tarım sektörü iklim değişikliğinden olumsuz olarak etkilenmektedir (Kadioğlu vd., 2017).

## **1.1 Literatür Özeti**

### **1.1.1 İklim Değişikliği**

Hava olayları, “yeryüzünün herhangi bir yerinde ve herhangi bir anda yaşanan ya da gözlenen atmosferik olayların tümü”dür. İklim ise “yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca yaşanan ya da gözlenen tüm hava koşullarının ortalama özelliklerinin yanı sıra, onların oluşma sıklıklarının zamansal dağılımlarının, gözlenen ekstrem (aşırı, uç) değerlerin, şiddetli olayların ve tüm değişkenlik tiplerinin bileşimi” biçiminde tanımlanır (Türkeş, 2001). Hava olayları ve iklim; insan etkinliklerini, refahını ve sağlığını çok değişik yollardan etkiler. İnsanoğlu yüzyıllar boyunca barınaklarını, yiyecek ve enerji üretimlerini genel olarak iklim ve çevre koşullarıyla uyumlu bir yaşam tarzı yaratmak için düzenleme ve kendisini bu kaynağa uyarlama çabası içinde olmuştur. İklim değişikliği ise “iklimin ortalama durumunda ya da onun değişkenliğinde onlarca ya da daha uzun yıllar boyunca süren istatistiksel olarak anlamlı değişimler” olarak tanımlanabilir (Türkeş 2008).

İklim değişikliğinin su kaynaklarına, tarıma, ormanlara, insan sağlığına, kıyı alanlarına, deniz ve sahil çevresine, kara ve deniz ekosistemlerine, deniz seviyesi yükselmesine vb. olmak üzere birçok etkisi bulunmaktadır. Özellikle küresel ısınma sonucu; su kaynaklarında azalma, orman yangınları ve kuraklık ile bunlara bağlı ekolojik bozulmalar olacağı öngörülmektedir. Akarsu havzalarındaki yıllık akımlarda meydana gelecek azalma sonucunda kentlerde su sıkıntıları başlayacak; tarımsal ve kentsel su gereksinimi artacaktır. İklim değişikliği nedeniyle su kaynaklarındaki azalma, tarımsal üretim üzerinde olumsuz etki yapacaktır. Kurak ve yarı kurak alanların genişlemesine ek olarak, yıllık ortalama sıcaklığın artması, çölleşmeyi, tuzlanmayı ve erozyonu arttıracaktır. Mevsimlik kar ve kar örtüsünün kapladığı alan azalacak, karla örtülü dönem kısalmaktadır. Kar erimesinden kaynaklanan akış zamanı ve hacmindeki değişiklik, su kaynakları, tarım, ulaşım ve enerji sektörlerini olumsuz etkileyecektir. Bunlara ek olarak küresel ısınma, buzulların erimesi, deniz düzeyinin yükselmesi, iklim kuşaklarının kayması gibi değişikliklere de neden olacaktır (Türkeş vd., 2000).

IPCC 5. Değerlendirme Raporunda (AR5) Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz Havzası'nın sıcaklık artışı ve kuraklıktan en çok etkilenecek bölgelerden biri olduğu, bununla

birlikte yağış rejiminde meydana gelecek değişimlerin ve aşırı hava olaylarının tarımsal üretimi gelecekte olumsuz etkileyeceği vurgulanmaktadır (IPCC, 2014).

IPCC 5. Değerlendirme Raporunda (AR5) sıcaklık artışı ve kuraklıktan en çok etkilenecek bölgelerden biri olarak Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz Havzası gösterilmektedir. Bu bölgede oluşması beklenen gelecek yağış rejimi değişimleri ve aşırı hava olayları meydana gelerek, bunların tarımsal üretimi gelecekte olumsuz etkileyeceği vurgulanmaktadır (IPCC, 2014).

### **1.1.2 İklim Modelleri ve Senaryolar**

İklim modelleri, mevsimselden on yıllık zaman ölçeklerinde iklim öngörülerini ile önümüzdeki yüzyıl boyunca ve ötesinde gelecek iklim projeksiyonları yapmak ve çeşitli zorlamalara iklim sisteminin yanıtını araştırmak için kullanılabilir birincil araçlardır (IPCC, 2014; Demircan vd., 2014).

Gelecekte iklimin nasıl olacağına dair bilgiler yer sistem modellerinin kullanılması ile elde edilir. İklim Modelleri; atmosfer, litosfer, biyosfer, hidrosfer ve kriyosfer gibi iklim sistemi bileşenleri arasındaki ilişkiyi “kantitatif (ölçülebilir ve gözlemlenebilir)” metotlarla göstermeye çalışan modellerdir. Dinamik bitki örtüsü, okyanus biyolojisi ve atmosfer kimyası süreçlerini içeren yer sistem modelleri, fiziksel iklim ile etkileşimde bulunan biyokimyasal süreçleri temsil eden ve bu nedenle insan kaynaklı sera gazı emisyonları ile ilişkili olan zorlama ile etkileşebilen küresel iklim modelleridir (Flato, 2011). Başlangıçta enerji dengesi ve radyoaktif transferin matematik modelleri yardımıyla basit analog modeller gibi kavramsal modeller ile ortaya çıkan iklim modelleri, 1990'lı yıllardan itibaren başlayarak tüm iklim sisteminin giderek daha kapsamlı bir şekilde içerildiği birleşik model anlayışına doğru geliştirilmektedirler. Günümüzde bir yer sistem modelinin herhangi bir fiziksel bileşenini değerlendirmesi giderek daha kapsamlı ve sofistike hale gelmektedir. Bu tür modeller iklim değişkenliği, insan faaliyetleri ve gelecekteki iklim değişikliğinin olası azaltma eylemleri üzerinde etkili bir rol oynayabilirler. Halen uygulamada olan 50'nin üzerinde küresel model bulunmaktadır (Hanedar vd., 2019)

Türkiye'de İklimSu Projesi (SYGM, 2016) kapsamında öncelikle referans periyodu için CMIP5 veri tabanından seçilen, halen dünyada yaygın bir şekilde kullanılan HadGEM2-ES, MPI-ESMMR ve CNRM-CM5.1 küresel modellerinin 10x10 km<sup>2</sup> çözünürlüğe sahip referans dönemi iklim simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Küresel modelin referans dönemi

simülasyonları gözlem verileri kullanılarak yapılan simülasyonlarla karşılaştırılarak, küresel modelin iklim simülasyonlarındaki yanlılığı araştırılmıştır. Küresel İklim Modellerinin 2100 yılında 4.5 W/m<sup>2</sup> ve 8.5 W/m<sup>2</sup> iklim zorlamalarına karşılık gelen RCP4.5 ve RCP8.5 temsili konsantrasyon rotaların dayanan simülasyonlarıyla eşleştirilen RegCM4.3 bölgesel iklim modeli ile 2015-2100 yılları arasında 10x10 km<sup>2</sup> çözünürlükteki iklim simülasyonları elde edilmiştir (Hanedar vd., 2019). Temsili konsantrasyon rotalarının türleri Çizelge 1.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Temsili konsantrasyon rotalarının (RCPs) türleri (Demircan vd., 2014)

Adı (RCP’s)	Işınimsal Zorlama	Zaman	Işınimsal Zorlama Değişimi	Konsantrasyonlar (CO <sub>2</sub> eş değer)	Emisyonlar (Kyoto Prtokolü Sera Gazları)
<b>RCP8.5</b>	> 8,5 W/m <sup>2</sup>	2100’de	Yükselme	> ~ 1370 ppm (2100’de)	2100’e kadar artış devam ediyor
<b>RCP6.0</b>	~ 6,0 W/m <sup>2</sup>	2100 sonrası	Hedefi geçmeden stabilizasyon	~ 850 ppm (2100’de)	Yüzyılın son çeyreğinde düşüş
<b>RCP4.5</b>	~ 4,5 W/m <sup>2</sup>	2100 öncesi	Hedefi geçmeden stabilizasyon	~ 650 ppm (2100’de)	Yüzyılın ortalarından itibaren düşüş
<b>RCP3-PD*</b>	~ 3,0 W/m <sup>2</sup>	2100 öncesi	3.0 W/m <sup>2</sup> ’e ulaşmadan zirve ve düşüş	Zirve ~ 490 ppm ve düşüş (2100’de)	Yüzyılın ilk çeyreğinde düşüş

*IPCC 2007’ye göre*

### 1.1.3 Trakya Bölgesi İklim Değişikliği Projeksiyonları

Hanedar vd. (2019) tarafından yılında “TR21 Bölgesi İklim Değerlendirmesi: Mevcut Durum ve Projeksiyonlar” adlı çalışmaya göre Tekirdağ ilinde oluşması muhtemel sıcaklık ve yağış projeksiyonları Çizelge 1.2’de gösterilmiştir. Buna göre RCP4.5 ve RCP8.5’da her üç modelde de sıcaklıklarda artışlar oluşacaktır. Aynı şekilde, yağışlarda ise dönem dönem azalış ve artışlar oluşacaktır. RCP4.5’e göre 0,52-3,20 °C, RCP8.5’e göre 0,44-5,31°C arasında sıcaklık artışları olacaktır. Yağışlarda ise HadGEM2-ES ve MPI-ESMMR göre dönem yağış artış ve azalışları oluşurken CNRM-CM5.1 RCP4.5 senaryosuna göre artışlar oluşacaktır. Her üç modelde de RCP8.5’te artış ve azalışlar oluşacaktır.

Çizelge 1.3'te Edirne ilinde oluşması muhtemel sıcaklık ve yağış projeksiyonları gösterilmiştir (Hanedar vd., 2019). RCP4.5 ve RCP8.5'a göre her üç modelde sıcaklıklarda artışlar oluşurken, yağışlarda ise dönem dönem azalış ve artışlar olacağı görülmektedir. RCP8.5 ve RCP4.5'e göre sırasıyla 0,43-5,31 °C ve 0,43-3,13 °C arasında sıcaklık artışları oluşacaktır. Yağışlarda ise RCP4.5 senaryosuna göre her üç modelde azalış ve artışlar oluşurken, RCP8.5 MPI-ESMMR'ye göre azalışlar ve diğer iki modele göre de dönem dönem azalış ve artışlar oluşacaktır.

Çizelge 1.2. Tekirdağ ili sıcaklık ve yağış projeksiyonları (Hanedar vd., 2019)

<b>TEKİRDAĞ</b>		<b>RCP</b>	<b>2015- 2020</b>	<b>2021- 2030</b>	<b>2031- 2040</b>	<b>2041- 2050</b>	<b>2051- 2060</b>	<b>2061- 2070</b>	<b>2071- 2080</b>	<b>2081- 2090</b>	<b>2091- 2099</b>
<b>SI</b>	MPI	RCP8.5	0,53	0,75	1,08	1,36	1,88	2,09	2,78	3,31	3,73
	HadGEM	RCP8.5	1,68	1,57	2,05	2,40	2,85	3,78	3,99	4,78	5,31
	CNRM	RCP8.5	0,44	0,79	1,03	1,37	1,94	2,73	2,59	3,07	3,82
<b>LI</b>	MPI	RCP4.5	0,52	0,80	1,18	1,14	1,34	1,43	1,41	1,20	1,82
	HadGEM	RCP4.5	1,24	1,87	1,94	2,08	2,42	2,71	2,57	2,92	3,10
	CNRM	RCP4.5	0,68	0,46	0,78	0,83	1,46	1,51	1,83	1,89	2,38
<b>YAĞIŞ</b>	MPI	RCP8.5	-8,26	-2,94	-1,66	1,02	3,18	-2,52	-9,85	-15,07	-12,71
	HadGEM	RCP8.5	-10,20	12,38	7,74	0,21	-8,92	-0,64	-1,19	-0,60	2,74
	CNRM	RCP8.5	-7,64	-8,08	-1,24	3,77	3,70	10,86	7,02	4,72	3,66
<b>(mm)</b>	MPI	RCP4.5	-9,80	-8,84	-4,02	-0,23	11,46	-2,51	9,76	9,99	2,02
	HadGEM	RCP4.5	6,93	1,98	9,67	12,98	-2,27	-7,75	11,12	1,11	5,62
	CNRM	RCP4.5	18,60	3,17	5,54	8,37	17,18	11,73	12,70	8,66	18,14

Çizelge 1.3. Edirne ili sıcaklık ve yağış projeksiyonları (Hanedar vd., 2019)

<b>EDİRNE</b>		<b>RCP</b>	<b>2015- 2020</b>	<b>2021- 2030</b>	<b>2031- 2040</b>	<b>2041- 2050</b>	<b>2051- 2060</b>	<b>2061- 2070</b>	<b>2071- 2080</b>	<b>2081- 2090</b>	<b>2091- 2099</b>
<b>SI</b>	MPI	RCP8.5	0,58	0,81	1,15	1,40	1,93	2,16	2,92	3,51	3,90
	HadGEM	RCP8.5	1,67	1,55	2,04	2,37	2,90	3,85	4,07	4,90	5,31
	CNRM	RCP8.5	0,43	0,82	1,06	1,41	1,96	2,76	2,64	3,08	3,93
<b>LI</b>	MPI	RCP4.5	0,57	0,87	1,24	1,19	1,36	1,52	1,45	1,25	1,91
	HadGEM	RCP4.5	1,22	1,89	1,91	2,07	2,42	2,80	2,58	2,95	3,13
	CNRM	RCP4.5	0,57	0,43	0,83	0,84	1,52	1,53	1,85	1,91	2,42
<b>YAĞIŞ</b>	MPI	RCP8.5	-12,44	-7,69	-4,04	-6,12	-3,32	-13,53	-10,24	-16,99	-16,99
	HadGEM	RCP8.5	-12,13	8,80	0,79	0,12	-13,12	-7,05	-9,32	-8,93	-3,34
	CNRM	RCP8.5	-13,57	-6,39	-2,83	0,84	3,34	6,47	4,27	-1,58	-1,68
<b>(mm)</b>	MPI	RCP4.5	-14,00	-16,98	-5,98	-2,80	5,71	-5,42	6,27	1,17	-5,70
	HadGEM	RCP4.5	8,46	-1,06	7,39	7,95	-9,05	-10,92	12,79	4,56	6,24
	CNRM	RCP4.5	19,05	4,79	-1,06	1,21	12,96	5,35	8,80	4,66	11,94



Çizelge 1.4'te Kırklareli ilinde oluşması muhtemel sıcaklık ve yağış projeksiyonları gösterilmiştir (Hanedar vd., 2019). Yağışlarda dönem dönem azalış ve artışlar olacağı her üç modelde RCP4.5 ve RCP8.5'a göre sıcaklıklarda artışlar oluşacaktır. RCP8.5 ve RCP4.5'e göre sırasıyla 0,45-5,38 °C ve 0,53-3,86 °C arasında sıcaklık artışları olacaktır. Yağışlarda ise RCP8.5 MPI-ESMMR'ye göre azalışlar ve diğer iki modele göre dönem dönem artış ve azalışlar oluşurken, RCP4.5 senaryosuna göre her üç modelde artış ve azalışlar oluşacaktır.

Çizelge 1.4. Kırklareli ili sıcaklık ve yağış projeksiyonları (Hanedar vd., 2019)

KIRKLARELİ		RCP	2015- 2020	2021- 2030	2031- 2040	2041- 2050	2051- 2060	2061- 2070	2071- 2080	2081- 2090	2091- 2099
SI C A K LI K (°C ) Y A ĞI Ş (m m)	MPI	RCP8.5	0,58	0,77	1,12	1,37	1,90	2,14	2,81	3,35	3,77
	HadGEM	RCP8.5	1,67	1,58	2,02	2,40	2,88	3,82	4,05	4,83	5,38
	CNRM	RCP8.5	0,45	0,77	1,00	1,37	1,95	2,77	2,64	3,08	3,86
	MPI	RCP4.5	0,53	0,80	1,20	1,15	1,34	1,45	1,41	1,22	1,82
	HadGEM	RCP4.5	1,22	1,89	1,91	2,08	2,45	2,75	2,56	2,93	3,14
	CNRM	RCP4.5	0,63	0,41	0,78	0,80	1,46	1,52	1,85	1,90	2,39
	MPI	RCP8.5	-10,29	-5,84	-1,84	-5,79	1,56	-5,99	-9,28	-20,32	-15,33
	HadGEM	RCP8.5	-10,93	10,51	1,11	0,44	-13,70	-2,18	-2,15	-2,92	-2,16
	CNRM	RCP8.5	-13,16	-8,47	-3,02	-2,72	2,45	3,10	3,26	-0,91	1,96
	MPI	RCP4.5	-8,47	-11,06	-5,94	-4,50	9,75	-4,13	8,75	8,34	-2,81
	HadGEM	RCP4.5	6,59	-2,15	8,72	9,74	-6,56	-14,50	11,72	-1,29	6,12
	CNRM	RCP4.5	15,56	1,68	5,26	2,01	11,54	7,31	6,07	2,76	10,16

#### 1.1.4 İklim Değişikliğinin Verime Etkisi

Bitkilerin büyümeleri ve gelişmelerini etkileyen birçok faktör vardır. İklim ile ilgili veriler bunların arasında ilk sırada yer almaktadır. İklim parametrelerinden en önemlileri arasında yer alan yağış, sıcaklık ve CO<sub>2</sub> salınımındaki değişikliklerin bitkiler üzerindeki etkilerini tespit edebilmek, gelecek dönemlerde bitki dane verimlerini tahmin etmek ve ön görülerde bulunabilmek için çok önemlidir. Bununla birlikte, nüfusun hızla artması ile her geçen gün su ve besin maddelerine olan ihtiyaç da artmaktadır. Ayrıca, su kaynaklarının da kısıtlı olmasıyla her geçen gün su kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılmasını gündeme getirmektedir. Modelleme çalışmaları ile iklim, bitki, toprak ve çevre faktörlerinin de dikkate alınarak, bitkilerin geleceğe yönelik çeşitli senaryolar oluşturulup verim tahminlerinin yapılabilmesi gibi çalışmalara ağırlık verilmesi gerekmektedir. Dünya'da ve Türkiye'de pek çok bitki iklim simülasyon modelleri geliştirilip kullanılarak çok çeşitli araştırmalar yapılmıştır.

Verim tahmin etme çalışmalarında WOFOST (World Food Studies), CROPGRO, AquaCrop ve LINTUL (Light INTERception and UtiLisation), DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), SIMWASER (Simulation von Wasser und Ertrag), CropSyst (Cropping Systems Simulation Model), CERES (Crop Environment Resource Synthesis) Modeller gurubu içinde yer alan CERES-Rice, CERES-Maize ve CERES-Wheat Modelleri gibi birçok model kullanılmaktadır (Deveci, 2015). Son yıllarda bölgemizde yürütülen önemli çalışmalar mevcuttur. Geliştirilen bu modeller ile ilgili çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Çaldağ (2000) çalışmasında; buğdayda SIMWASER ve CERES-Wheat modellerini kullanılarak kuru madde miktarı, verim, bitki gelişimi ve buharlaşma değişkenlerini ele alıp karşılaştırarak değerlendirmelerde bulunmuştur. Bu tür modellerin bitki gelişimi ve verim tahminleri üzerinde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. CO<sub>2</sub>'nin radyasyon ile birlikte çalışıldığı senaryoların bitki gelişimini etkilediğini tespit etmiştir.

Çaldağ (2009) tarafından yapılan “Trakya Bölgesi'nin Tarımsal Meteorolojik Özelliklerinin Belirlenmesi” adlı diğer tez çalışmasında Trakya Bölgesi'nde CERES-Rice ve CERES-Wheat bitki iklim modelleri ile çeltik ve buğday gelişiminde meteorolojik faktörlerin verime etkileri araştırılmıştır. İklim parametrelerinin değişimleri ile modellerin hassasiyet analizleri yapılmıştır. Kışlık buğday veriminin Tekirdağ'da %13 oranında azalacağı ayrıca, Kırklareli'nde ve Edirne'de ise sırasıyla ortalama %9 ve %30 artış göstereceği belirlenmiştir.

Çaldağ ve Şaylan (2010) yaptıkları araştırmalarında iklim değişikliğinin buğday verimine etkisini, Trakya Bölgesi'nde Kırklareli İlinde CERES-Wheat kullanılarak belirlemişlerdir. Yağışın %40 azaldığında verimin %38,4 düştüğünü, buğdayın, sıcaklık artışlarına olumsuz verim tepkileri verdiğini, CO<sub>2</sub> konsantrasyonundaki artışların verimi arttırdığını bulmuşlardır. CO<sub>2</sub>'nin iki kat artırılması halinde verimin %10,5 artacağını belirlemişlerdir. Kırklareli İlinde 2071-2100 döneminde buğdayda veriminin %9 oranında artış göstereceğini öngörmüşlerdir.

Koç (2011) WOFOST Bitki İklim Modeli ile Kırklareli İlinde buğdayda olası iklim değişikliği etkilerini araştırmıştır. Öncelikle modelde yağış, radyasyon ve sıcaklık parametrelerindeki değişime karşı hassasiyet analizi yapmıştır. Daha sonra yağış ve sıcaklık bakımından RegCM3 Bölgesel İklim Modeli IPCC-A2 senaryosu için öngörülen değişimlerin sonuçlarını incelemiştir. Buğdayda 2088-2089 gelişme dönemi için 2009-2010 gelişme

döneminde dane veriminde (5128 kg/ha) ve biyokütlede (19097 kg/ha) ise %60 oranında azalış, 2095-2096 gelişme döneminde biyokütlede %63 azalma olabileceği öngörülmüştür.

Çaylak (2015) Kırklareli İlinde buğdayın olası iklim değişikliğine karşı RegCm4, ECHAM5 global iklim modellerinin çıktıları kullanarak DSSAT ve CERES-Wheat modelleri ile verim tahminini yapmıştır. Sonuçları değerlendirdiğinde sıcaklığın 5°C artması halinde verimin %35,9 azaldığını, Rg ve CO<sub>2</sub> değerlerinin verimi arttırdığını, yağıştaki azalmanın buğday verimini azalttığını belirlemiştir. 2013-2040, 2041-2070 ve 2071-2100 dönemlerinde verimin ortalama meteorolojik verilerine göre sırasıyla %8, %12 ve %20'ye kadar azaldığını öngörmüştür. Ayrıca 1975-2010 dönemine göre 2013-2100 döneminde verimde %3 ile %6 arasında bir azalma olacağı tahmin edilmiştir.

Deveci (2015) tarafından Çorlu Pınarbaşı Havzasında buğday ve ayçiçeğinde verim tahmininde AquaCrop Model kullanılmıştır. Araştırma sonucunda buğday veriminde %50'nin üzerinde verim artışları gözleneceği tahmin edilmiştir. Bu tahmin yapılırken vejetasyon dönemi kısılamı dikkate alınmamıştır (Deveci ve Konukcu 2016). Benzer bir çalışmada da Trakya Bölgesi'nde verim tahmini için WOFOST modelden faydalanılmıştır. Altürk vd. (2019) WOFOST Model ile Tekirdağ ili buğday verimini HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR küresel iklim modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarından elde edilen iklim verileri ile 2020-2040, 2040-2060, 2060-2080 ve 2080-2099 dönemleri için belirlemişlerdir. Verimde en fazla artışın 2080-2098 döneminde %99 (818 kg/da) olacağı, en az artışın ise 2020-2040 döneminde %26 (519 kg/da) olacağı, kısaca verimde artışlar oluşacağı sonucuna varmışlardır.

Konukcu vd. (2020) iklim değişikliğinin Trakya Bölgesi'nde buğday verimine etkisini WOFOST ve AquaCrop Modeller ile belirlemişler. Bu tahminleri kısa (2020-2030), orta (2046-2055) ve uzun (2076-2085) dönemler için gerçekleştirmişlerdir. Akıncılar ve Çövenli'de %50'ye varan verim artışları ve Sofular'da ise yaklaşık %6-%34 oranlarında verim azalışları olacağını, AquaCrop Model ile yapılan tahmin ederlerken, WOFOST Model ile yaptıkları tahminlerde ise Sofular'da %12'ye, Akıncılar'da %40'a varan artışlar, Çövenli'de ise %2-%7 aralığında verim azalışları olacağını tahmin etmişlerdir.

Çalışmada kullanılan LINTUL model ile dünyada ve ülkemizde birçok çalışma yapılmıştır. (Kooman vd., 1995; Van Haren vd., 1998; Haverkort vd., 2004; Wiertsema 2015; Haverkort vd., 2015; Machakaire vd., 2016; Volta vd., 2016; Euzi vd., 2018; Yagiz vd., 2020).

Türkiye’de Yağız vd. (2020) iklim değişikliğinin patates büyüme dönemi, verimleri ve su kullanımı değişim üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve bunu yaparken NASA ve ulusal uzun dönem iklim verileri karşılaştırarak kullanmışlardır. Ülkedeki tüm yetiştirme alanlarında gelecekte patates veriminde bir artış olacağını tahmin etmişlerdir.

Deveci ve Konukcu (2022) LINTUL modelde Trakya’da buğday verim tahmininde iklim parametrelerindeki değişime karşı hassasiyet analizi gerçekleştirmişler sonuç olarak, buğday verim tahmini yapılırken LINTUL modelde en hassas parametrenin solar radyasyon olduğu belirlenmiştir. En yüksek verim değeri solar radyasyonunun %30 artırılması halinde, en düşük verim değeri ise solar radyasyonunun %30 azaltılması halinde elde etmişlerdir.

Deveci (2022) “Trakya Bölgesi’nde LINTUL Model ile Farklı İklim Parametreleri Kombinasyonlarında Buğday Verim Tahmini Yapılması” adlı çalışma ile uzun yıllar ortalama minimum sıcaklık ve maksimum sıcaklık değerlerinin 1°C artırılması ve aynı zamanda yağış miktarının %30 azaltılması durumunda en düşük buğday verim tahmini, uzun yıllar ortalama minimum sıcaklık ve maksimum sıcaklık değerlerinin 3°C artırılması ve aynı zamanda güneş radyasyonu değerinin %30 artırılması durumunda en yüksek buğday verim tahmini yapmışlardır.

## **1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

İklim değişikliği, tarih boyunca sürüp giden doğal bir olgudur ancak, hiçbir dönem bugünkü kadar hızlı gerçekleşmemiş ve insanın tespit edilen etkisi de bu kadar büyük olmamıştır. Son yıllarda dünyanın birçok bölgesinde şiddet, etki, süre ve oluştuğu yer bakımından ekstrem çok sayıda hava olayı meydana gelmekte, aynı zamanda dünya üzerindeki canlı yaşamını ve toplumların sosyo-ekonomik gelişimini tehdit etmektedir (Kadıoğlu, 2012).

İklim değişikliğiyle birlikte yağış dağılımı, miktarı ve sıcaklık değerlerinin büyük ölçüde değişeceği öngörülmektedir. Bu değişiklikten de birçok sektörün etkileneceği tahmin edilmektedir. Dolayısı ile iklim değişikliğinin sektörler üzerine etkilerini azaltmak ve önlemek için yerel, bölgesel, ulusal veya uluslararası düzeyde çalışmalar yapılması gerekmektedir. Her bölgede sektörler, kendi sektörü bazında alması gereken önlemleri bilmek ve gerekenleri yapmak zorundadır. İklim değişikliğinin Türkiye’de de su kaynaklarını ve tarımsal üretimi kısıtlayıcı bir rol oynayacağı beklenmektedir. Bu nedenle ülkemiz su kaynaklarının planlaması ve yönetimi yanında tarımsal üretimde iklim değişikliğinin potansiyel etkileri dikkate alınmalı, olası değişimlere karşı hassasiyetleri irdelenmelidir (Özkul vd., 2008). Bu etkileri azaltmak için

öncelikle iklim değişikliğinin çok iyi tahmin edilmesi daha sonra olası değişikliklerin su kaynakları ve tarımsal üretime etkilerinin iyi değerlendirilmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı; Trakya Bölgesi'nde Tekirdağ'da bir çiftçi tarlasından 2020-2021 döneminde ölçülmüş buğday verim değerini LINTUL model ile test edip, modeli MPI-ESM-MR ve HadGEM2ES modeli RCP4.5 ve RCP8.5 iklim verileri kullanılarak 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ve 2071-2080 dönemlerinde iklim değişikliğinin buğday verimine muhtemel etkisini modellemek ve bununla birlikte tarımsal üretim üzerine olası iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin azaltılması için öneriler sunmaktır.



## 2. MATERYAL

### 2.1. Araştırma Alanı

Araştırma alanı Trakya Bölgesi'nde Tekirdağ ili, Malkara ilçesi, Camiatik mahallesi 462 ada, 18 parselde bulunan 29222,00 m<sup>2</sup> tapu alanına sahip bir çiftçi tarlasıdır. Şekil 2.1'de araştırma alanının konumu gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Araştırma Alanı

### 2.2. Araştırma Alanının İklimi

Araştırma alanının uzun yıllar iklim verileri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Uzun yıllar (1940-2021) meteorolojik verilerine göre araştırma alanının yıllık ortalama sıcaklık değeri 14,1 °C'dir. Ocak ayı soğuk bir ay olup 4,8 °C, ağustos ayı ise aylık sıcaklık ortalamaları açısından sıcak bir ay olup 23,8 °C'dir. Yıllık ortalama en yüksek sıcaklık 28,2 °C ile ağustos ayı, yıllık ortalama en düşük sıcaklık 2 °C sıcaklık ile ocak ayıdır. Yıllık toplam yağış miktarı 583,5 mm'dir. Ekim ile haziran ayları arasındaki dönemde yağışın büyük bir kısmı gerçekleşmektedir.

Çizelge 2.1. Araştırma alanına ilişkin iklim değerlerinin uzun yıllar ortalamaları (1940–2021) (Anonim 2022)

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)
<b>Ocak</b>	4,8	8,1	2,0	2,7	10,76	69,5
<b>Şubat</b>	5,5	9,0	2,5	3,3	10,35	54,6
<b>Mart</b>	7,3	11,1	4,1	4,2	11,65	53,9
<b>Nisan</b>	11,7	15,7	8,1	5,8	8,24	41,1
<b>Mayıs</b>	16,7	20,6	12,7	7,3	8,41	37,6
<b>Haziran</b>	21,1	25,3	16,7	8,6	7,82	38,7
<b>Temmuz</b>	23,7	28,0	19,0	9,4	3,24	24,2
<b>Ağustos</b>	23,8	28,2	19,4	8,5	1,59	15,4
<b>Eylül</b>	20,2	24,5	16,1	6,8	5,35	33,4
<b>Ekim</b>	15,6	19,5	12,1	4,6	9,41	61,4
<b>Kasım</b>	11,3	14,8	8,1	3,2	8,88	73,2
<b>Aralık</b>	7,2	10,4	4,3	2,5	11,12	80,5
<b>Yıllık</b>	14,1	17,9	10,4	5,6	96,80	583,5

### 2.3. Araştırma Alanının Toprak Özellikleri

T.C. Tekirdağ Ticaret Borsası Tarımsal Amaçlı Analiz Laboratuvarı'nda araştırma alanının toprak özelliklerini belirlemek için analizler yapılmıştır. Burada toprağın bünyesi, organik madde, pH, tuz ve kireç değerleri belirlenmiş olup Çizelge 2.2'de toprak analiz raporu sonuçları verilmiştir.

Çizelge 2.2. Araştırma alanının bazı önemli fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri

Toprak Özellikleri	Derinlik (0-30cm)
Organik Madde (%)	1,99
pH	7,60
Tuz (%)	0,04
Kireç (%)	3,19
Bünye Sınıfı	Siltli Killi Tın
<b>Bünye</b>	
Kil (%)	36,464
Silt (%)	46,000
Kum (%)	17,596

## 2.4. Buğday (*Triticum aestivum*) Bitkisine Ait Özellikler

Buğday iklim isteği olarak yetiştirme döneminin ilk devrelerinde düşük sıcaklık ve bol nemli hava istemektedir. Özellikle çimlenme ve kardeşlenme sırasında buğdayın istediği nem ise %60 ve sıcaklık derecesi 5–10 °C'dir. Buğday gelişmesinin ikinci devresi olan sapa kalkmada ise 10–15 °C sıcaklık ve %65 oranında nispi nem isteği olmaktadır. Buğday tarımında dekardan yüksek verim ve kaliteli ürün elde etmenin ön koşullarından biri de uygun bir zamanda ekim yaparak düzenli bir çimlenme ve çıkış sağlamaktır. Buğday bitkisi her çeşit toprakta yetişmekle birlikte genellikle yüksek verim; derin, killi, tınlı-killi, humusça zengin topraklardan alınmaktadır. Buğday tarımında ekim zamanını belirleyen en önemli faktörlerden biri de tohum yatağındaki toprak sıcaklığıdır. Toprak sıcaklığının 8-10 °C olduğu zaman ekim yapılırsa kök gelişmesi hızlı ve kök tacı da derin olur. Bu uygun zamandaki ekim, soğuğa ve kurağa karşı dayanıklılığı artırır. Erken ekim ve geç ekim, kış dönemindeki şiddetli soğukların bitkinin zarar görmesine neden olacağı için sakıncalıdır. En uygun ekim tarihi, Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nde yapılan denemeler sonucuna göre 15 Ekim-15 Kasım tarihleri arası olarak belirlenmiştir. Kışlık buğday ekimi 5-6 cm derinliğe yapılabilir. Ekilecek tohumluğun bin tane ağırlığına veya iriliğine bakarak bu derinlik küçük tohumlarda 4-5 cm, iri tohumlarda 5-6 cm olabilir (Süzer, 2022). Araştırma alanında buğday bitkisi 05.11.2020 tarihinde ekilmiş, 01.07.2021 tarihinde de hasat edilmiştir. Ekilen buğday ekmeçlik buğday olup, çeşidi Enoladır. Tohum ekimi mibzerle yapılmıştır. Araştırma alanında çiftçi tarlasından elde edilen 2020-2021 dönemi buğday verim değeri 652 kg/da'dır.

## 2.5. İklim Değişikliği Tahmin Modelleri

İklimSu Projesi (SYGM, 2016) kapsamında öncelikle referans periyodu için CMIP5 veri tabanından seçilen, halen dünyada yaygın bir şekilde kullanılan 10x10 km<sup>2</sup> çözünürlüğe sahip MPI-ESMMR ve HadGEM2-ES küresel modellerinin referans dönemi iklim simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Küresel modelin referans dönemi simülasyonları gözlem verileri kullanılarak yapılan simülasyonlarla karşılaştırılarak, küresel modelin iklim simülasyonlarındaki yanlılığı araştırılmıştır. Küresel İklim Modellerinin 2100 yılında 4.5 W/m<sup>2</sup> ve 8.5 W/m<sup>2</sup> iklim zorlamalarına karşılık gelen RCP4.5 ve RCP8.5 temsili konsantrasyon rotalarına dayanan simülasyonlarıyla elde edilen RegCM4.3 bölgesel iklim modeli ile 2015-2100 yılları arasında 10x10 km<sup>2</sup> çözünürlükteki iklim simülasyonları elde edilmiştir.



**HadGEM2-ES:** Bu çalışmada iklim değişikliğini tahmin etmek için HadGEM2-ES model sonuçları kullanılmıştır. İngiltere Meteoroloji Servisi'ne bağlı bir enstitü olan Hadley Centre tarafından geliştirilen ikinci nesil bir yer sistem modeli HadGEM2 (Hadley Centre Global Environment Model Version 2)' dir (Met Office, 2022).

**MPI-ESM-MR:** Bu çalışmada iklim değişikliğini tahmin etmek için kullanılan bir diğer model ise Almanya'da bulunan Max Planck Meteoroloji Enstitüsü'ne ait MPI-ESM-MR küresel dolaşım modeli çıktılarıdır.

## **2.6. Verim Tahmin Modeli: LINTUL**

Bu çalışmada buğday verimi tahmini yapmak amacıyla kullanılan model Hollanda Wageningen Üniversitesi tarafından geliştirilmiş basit bir bitki büyüme modeli olan LINTUL Model'idir. Bu araştırmada verimin tahmin edilmesi amacıyla LINTUL model kullanılmıştır. İlk versiyonları Fortran'da programlanan LINTUL-POTATO-DSS modeli, Güney Afrika'daki Bloemfontein Üniversitesi'nden Linus Franke tarafından MS-Excel'e kopyalanmıştır (Haverkort vd., 2013; Franke vd., 2013). Modele girdi olarak iklim, bitki ve toprak verilerinin sağlanması gerekmektedir. Model için gerekli girdiler; mahsulün ekim veya dikim ve hasat tarihleri, günlük hava durumu (güneş radyasyonu, ortalama gündüz ve gece sıcaklıkları, evapotranspirasyon (ETP) ve yağış), ekim derinliği, köklenme derinliği, toprağın tekstürü, filiz büyüme sınırı, radyasyon kullanım verimliliği, kuru madde konsantrasyonu, %100 toprak örtüsü, fotosentezin başlaması için minimum sıcaklık, optimal fotosentez için minimum sıcaklık, optimal fotosentez için maksimum sıcaklık, maksimum sıcaklık vb. verilerdir. Modelin çıktıları ise su kısıtlı ve su kısıtsız verim, bitki büyüme periyodu, ekim ve ilk çıkış arası gün sayısı, %100 toprak örtüsü ve hasat arası gün sayısı, ekim ve hasat arasındaki ETP, su ihtiyacı, toprak su rezervi vb. değerlerdir (Deveci, 2022; Deveci ve Konukcu, 2022).

### 3. YÖNTEM

#### 3.1 İklim Değişikliği Verilerinin Değerlendirilmesi

Araştırmada Orman ve Şu İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün “İklim Değişiminin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi” kapsamında temsili sera gazı konsantrasyon rotalarına dayanan senaryolar ve iklim modelleri ile 10x10 km çözünürlükte, 2015-2100 dönemi için üretilen meteorolojik veriler kullanılmıştır (SYGM, 2016). Model sonuçları RegCM4.3 bölgesel iklim modelinin 10x10 km grid çözünürlüğünde başlangıç ve sınır koşullarını oluşturan MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES küresel iklim modelinin simülasyonları, RCP4.5 ve RCP8.5 temsili konsantrasyon rotalarına dayanılarak günlük; en düşük sıcaklık (°C), en yüksek sıcaklık (°C), yağış (mm), rüzgâr hızı (m/s), ortalama nem (%) ve global güneş radyasyonu (W/cm<sup>2</sup>) verilerini kapsamaktadır. 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ve 2071-2080 dönemleri için elde edilen bu veriler LINTUL modelin kullanacağı şekilde düzenlenmiştir.

#### 3.2 Ölçülen ve Tahmin Edilen Verim Değerlerinin Karşılaştırılması

LINTUL model ile Tekirdağ İli, Malkara İlçesinde buğday verimi tahmininde öncelikle 2020-2021 döneminde LINTUL model ile elde edilen verim değeri buğday ekili bir tarladan elde edilen verim değeri ile karşılaştırılarak kalibre edilmiştir. Ölçülen ve simüle edilen değerler RMSE (Root Mean Square Error), MAE (Mean Absolute Error) ve MAPE (Mean Absolute Percentage Error) istatistiksel testleri ile değerlendirilmiştir (Eşitlik 3.1, Eşitlik 3.2, Eşitlik 3.3) (Nash ve Sutcliffe, 1970; Willmott ve Matsuura, 2005; Myttenaere vd., 2016). Eşitlik 3.1, 3.2 ve 3.3'te  $O_i$ , gözlenen değer,  $P_i$  tahmin edilen değer ve  $n$  ise ölçüm sayısıdır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (3.1)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{n} \quad (3.2)$$

$$MAPE = 100 * \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \right| \quad (3.3)$$

#### 3.3 Buğday Verim Tahmini

LINTUL model ile Tekirdağ İli, Malkara İlçesinde buğday verimi tahmininde 2020-2021 döneminde buğday ekili bir tarladan elde edilen verim değeri, LINTUL model ile elde

edilen verim değeri ile karşılaştırılarak kalibre edilmiş, daha sonra ise MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES küresel iklim modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarından elde edilen iklim verileri ile 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ve 2071-2080 dönemleri için verim değerleri tahmin edilmiştir. Verim değerleri tahmin edilirken ekim ve hasat tarihleri değiştirilmeden ortalama en düşük ve ortalama en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimi dikkate alınarak ve ortalama en düşük ve ortalama en yüksek sıcaklık ve yağış değişimi dikkate alınarak yani solar radyasyon değeri 2004-2021 dönemindeki değerlerde sabit tutularak iki Şekilde verim tahmini yapılmıştır.



## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 4.1 İklim Verilerinin Değerlendirilmesi

İklim verileri gelecek 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ve 2071-2080 dönemleri için düzenlenerek Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Çizelge 2.1’de 1940-2021 uzun yıllar ortalama verileri değerlendirildiğinde ortalama en yüksek sıcaklığın 17,9 °C ve ortalama en düşük sıcaklığın 10,4 °C olduğu görülmektedir. MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES iklim modellerine ve RCP4.5, RCP8.5 senaryolarına göre ortalama en yüksek sıcaklığın 15,3 °C ile 18,3 °C aralığında ve ortalama en düşük sıcaklığın ise 6,1 °C ile 9,1 °C aralığında değişmekte olacağı tahmin edilmiştir (Çizelge 4.1). Yani gelecekte, 1940-2021 uzun yıllar ortalama en yüksek sıcaklık değerlerinin üzerinde ve altında tahminler yapılırken, ortalama en düşük sıcaklık değerlerinde ise 1940-2021 uzun yıllar ortalamalarının altında kalan değerler tahmin edilmiştir.

Çizelge 4.1. Gelecek yıllar ortalama en düşük, en yüksek sıcaklık ve toplam yağış değerleri

İklim Modelleri	Yıllar	Senaryolar	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Toplam Yağış (mm)
HadGEM 2-ES	2031-2040	RCP4.5	17,3	8,0	569,42
	2041-2050		17,2	7,9	569,41
	2051-2060		16,9	7,5	569,40
	2061-2070		16,5	7,3	569,41
	2071-2080		16,7	7,4	569,42
	2031-2040	RCP8.5	17,2	7,9	569,42
	2041-2050		16,9	7,6	569,42
	2051-2060		16,4	7,2	569,21
	2061-2070		15,5	6,3	569,40
	2071-2080		15,3	6,1	569,42
MPI-ESM-MR	2031-2040	RCP4.5	18,2	9,0	569,42
	2041-2050		18,2	9,0	569,42
	2051-2060		18,1	8,7	569,41
	2061-2070		18,0	8,7	569,43
	2071-2080		18,0	8,7	569,42
	2031-2040	RCP8.5	18,3	9,1	569,42
	2041-2050		18,0	8,8	569,43
	2051-2060		17,6	8,3	569,41
	2061-2070		17,3	8,1	569,43
	2071-2080		16,6	7,5	569,43

HadGEM2-ES küresel iklim modeli RCP4.5 senaryosuna göre ortalama en yüksek sıcaklık 16,5 °C ile 17,3 °C arasında, ortalama en düşük sıcaklık 7,3 °C ile 8,0 °C arasında, RCP8.5 senaryosuna göre ortalama en yüksek sıcaklık 15,3 °C ile 17,2 °C arasında, ortalama en düşük sıcaklık 6,1 °C ile 7,9 °C arasında değişeceği tahmin edilmektedir. MPI-ESM-MR küresel iklim modeli RCP4.5 senaryosuna göre ortalama en yüksek sıcaklık 18,0 °C ile 18,2 °C arasında, ortalama en düşük sıcaklık 8,7 °C ile 9,0 °C arasında, RCP8.5 senaryosuna göre ortalama en yüksek sıcaklık 16,6 °C ile 18,3 °C arasında, ortalama en düşük sıcaklık 7,5 °C ile 9,1 °C arasında değişeceği tahmin edilmektedir.

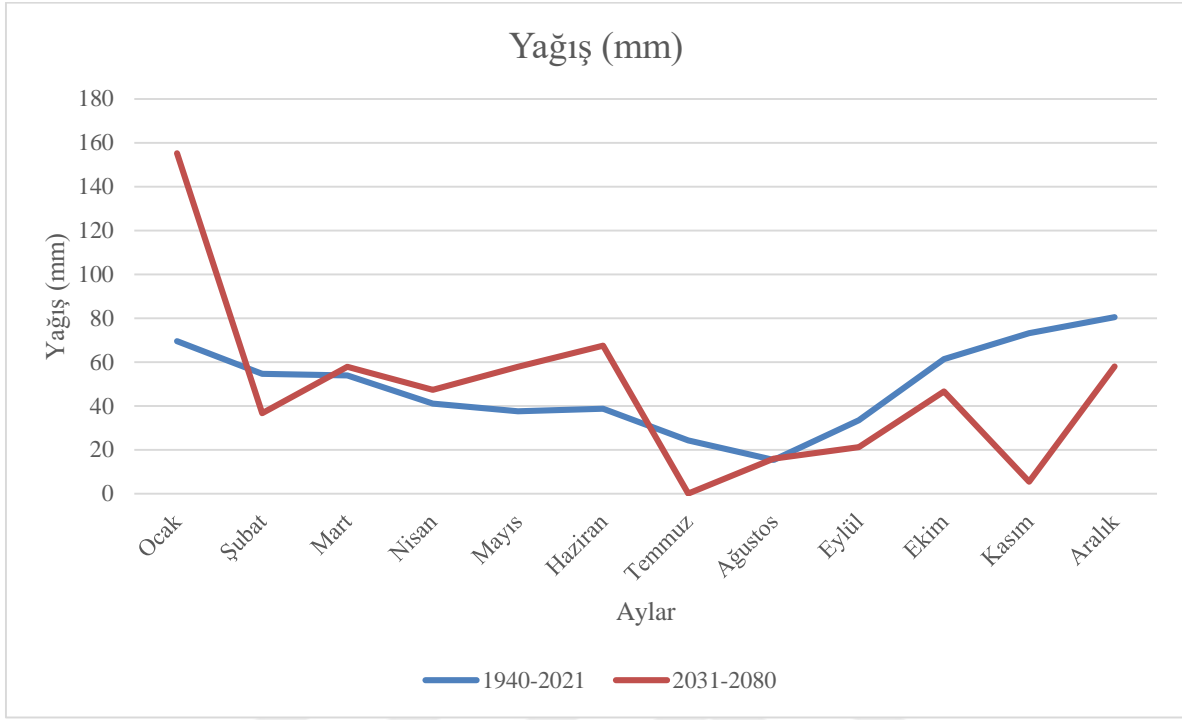
Çizelge 4.2’de 1940-2021 uzun yıllar yıllık toplam yağış miktarı 583,5 mm iken MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES iklim modellerine ve RCP4.5, RCP8.5 senaryolarına göre 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ve 2071-2080 dönemlerinde yıllık toplam yağış miktarının 569,4 mm olacağı tahmin edilmiştir. Toplam yağışta ise 14,1 mm’lik bir azalma söz konusudur. 2031-2080 döneminde, 1940-2021 dönemine göre en büyük farkın ocak ayında oluşacağı tahmin edilmiştir (Çizelge 4.2). Ocak ayında yağış miktarı 69,5 mm’den 155,2 mm’ye çıkması beklenmektedir (Çizelge 4.2). Toplam yağışta dikkat çekici bir fark oluşmasa da aylar bazında farklılıklar göze çarpmaktadır.

Çizelge 4.2. Araştırma alanı 2004-2021 ve 2031-2080 yılları arası aylık yağış değerleri

Aylar	Yağış (mm)	
	1940-2021	2031-2080
<b>Ocak</b>	69,5	155,2
<b>Şubat</b>	54,6	36,6
<b>Mart</b>	53,9	57,8
<b>Nisan</b>	41,1	47,4
<b>Mayıs</b>	37,6	57,8
<b>Haziran</b>	38,7	67,4
<b>Temmuz</b>	24,2	0,0
<b>Ağustos</b>	15,4	16,0
<b>Eylül</b>	33,4	21,2
<b>Ekim</b>	61,4	46,6
<b>Kasım</b>	73,2	5,4
<b>Aralık</b>	80,5	58,0
<b>Toplam</b>	583,5	569,4

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1’de aylara göre yağış dağılımına bakıldığında aylar bazında değişkenlikler görülmektedir. 2031-2080 döneminde 1940-2021 dönemine göre aylık yağış miktarı ocak, mart, nisan, mayıs, haziran ve ağustos aylarında yüksek, diğer aylarda düşüktür.

Bu değişkenlikler bitki yetişme döneminde genellikle gelecek dönemlerde 1940-2021 uzun yıllar ortalamalarına göre yüksek olma eğilimindedir.



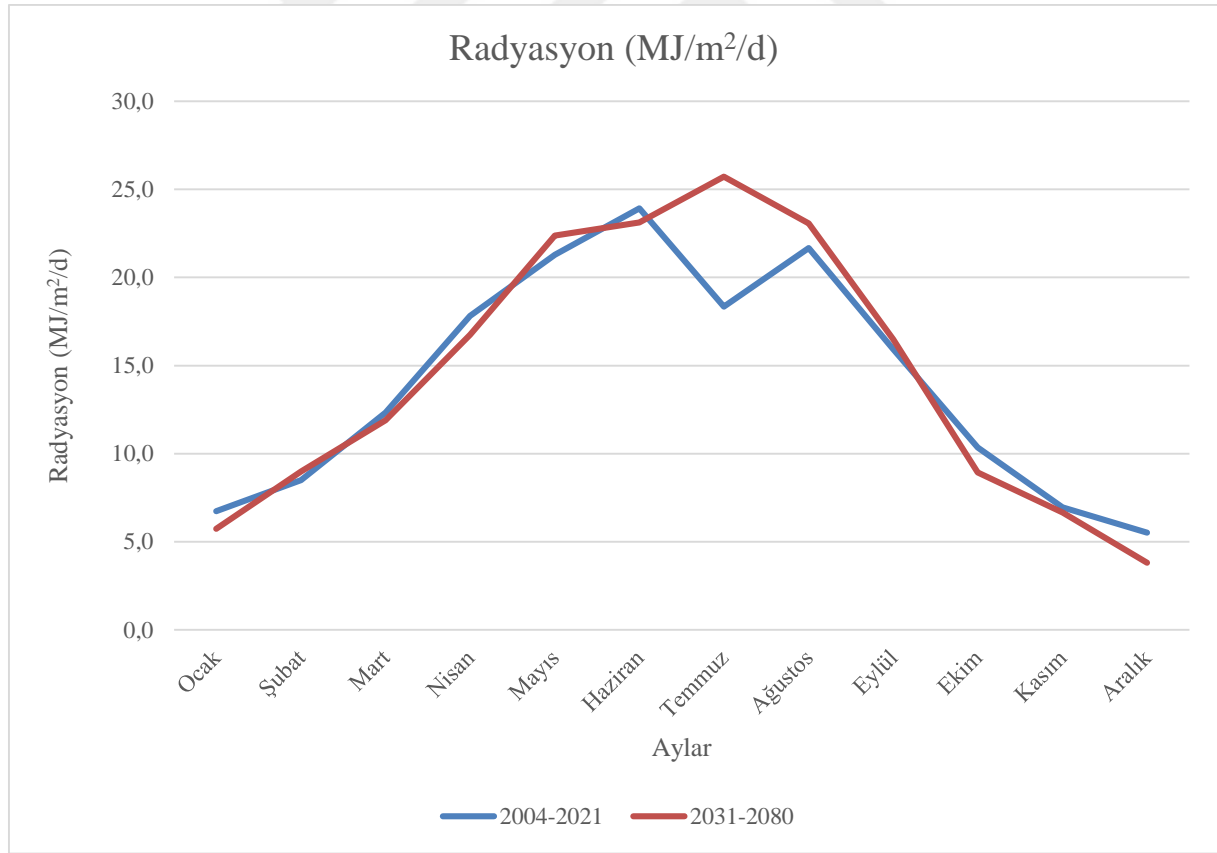
şekil 4.1. 1940-2021 ve 2031-2080 uzun yıllar ortalama yağış değerleri (mm)

Araştırma alanındaki HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR iklim modelleri RCP4.5, RCP8.5 senaryolarına göre solar radyasyon değerleri izelge 4.3'te gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR iklim modelleri RCP4.5, RCP8.5 senaryo sonuçları gelecek yıllar ortalama solar radyasyon değerleri ortalaması 14,5 MJ/m<sup>2</sup>/gün iken 2004-2021 dönemi ortalama solar radyasyon değerleri 14,1 MJ/m<sup>2</sup>/gün'dür. Dolayısıyla günümüz koşullarına göre gelecek dönemlerde ortalama solar radyasyon değerlerinin 14,1 MJ/m<sup>2</sup>/gün'e göre 0,4 MJ/m<sup>2</sup>/gün daha fazla olacağı yönünde bir tahmin yapılmıştır.

Çizelge 4.3 ve şekil 4.2 incelendiğinde 2031-2080 döneminde şubat, mayıs, temmuz, ağustos ve eyll aylarında solar radyasyon değerinin 2004-2021 dnemininzerine çıktığı, diğer aylarda ise altında kaldığı görülmektedir. Her iki dönemde de bitki gelişme dönemlerinde solar radyasyon değerlerinin birbirine yakın gittiği görülmektedir. 2004-2021 ve 2031-2080 her iki dönemde ortalama solar radyasyon değerlendirildiğinde ise 2031-2080 yılları tahminlerinin 2004-2021 uzun yıllar ortalamalarınınstne çıktığı görülmektedir.

Çizelge 4.3. Araştırma alanı 2004-2021 ve 2031-2080 yılları arası aylık solar radyasyon değerleri

Aylar	Solar Radyasyon (MJ/m <sup>2</sup> /gün)	
	2004-2021	2031-2080
<b>Ocak</b>	6,7	5,7
<b>Şubat</b>	8,5	9,0
<b>Mart</b>	12,3	11,9
<b>Nisan</b>	17,8	16,8
<b>Mayıs</b>	21,3	22,4
<b>Haziran</b>	23,9	23,1
<b>Temmuz</b>	18,3	25,7
<b>Ağustos</b>	21,7	23,1
<b>Eylül</b>	15,9	16,5
<b>Ekim</b>	10,3	8,9
<b>Kasım</b>	7,0	6,7
<b>Aralık</b>	5,5	3,8
<b>Ortalama</b>	14,1	14,5



Şekil 4.2. 2004-2021 ve 2031-2080 uzun yıllar ortalama radyasyon değerleri (MJ/m<sup>2</sup>/gün)

Elde edilen iklim verileri değerlendirilerek, iklim değişikliğinin buğday verimine etkisinin modellenmesi aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada çiftçi tarlasından 2020-2021 dönemi için LINTUL modelin hesapladığı verim değeri karşılaştırılarak kalibre edilmiş ve daha sonra ise MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES küresel iklim modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarından elde edilen iklim verileri ile 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ve 2071-2080 dönemleri için verim değerleri hesaplanmıştır. Verim değerleri tahmin edilirken ekim ve hasat tarihleri değiştirilmeden en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimi dikkate alınarak ve en düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimi dikkate alınarak yani solar radyasyon değeri 2004-2021 dönemindeki değerlerde sabit tutularak iki şekilde verim tahmini yapılmıştır.

#### **4.2 Ölçülen ve Tahmin Edilen Verim Değerlerinin Değerlendirilmesi**

Araştırma alanında çiftçi tarlasından elde edilen 2020-2021 dönemi buğday verim değeri 652 kg/da'dır. LINTUL Model ile simüle edilen değer 670 kg/da olarak bulunmuştur. Ölçülen ve simüle edilen değerler için istatistiksel değerlendirmeler yapıldığında RMSE (18), MAE (18) ve MAPE (%2,8) değerleri elde edilmiştir. Ölçülen ve simüle edilen değerler birbirine oldukça yakındır ve istatistiksel olarak fark bulunmamıştır.

#### **4.3 Buğday Verim Tahmini**

İklim değişikliğinin buğday verimine etkisinin modellenmesi aşamasında çiftçi tarlasından 2020-2021 dönemi için LINTUL modelin hesapladığı verim değeri karşılaştırılarak kalibre edilmiş ve daha sonra ise MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES küresel iklim modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarından elde edilen iklim verileri ile 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ve 2071-2080 dönemleri için verim değerleri hesaplanmıştır. Verim değerleri tahmin edilirken ekim ve hasat tarihleri değiştirilmeden ortalama en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimi dikkate alınarak ve ortalama en düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimi dikkate alınarak yani solar radyasyon değeri 2004-2021 dönemindeki değerlerde sabit tutularak iki şekilde verim tahmini yapılmıştır.

##### **4.3.1 En düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim tahmini**

LINTUL model ile MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES iklim modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ve 2071-2080 dönemleri için en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim tahminleri



yapılarak Çizelge 4.4 ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Buna göre en yüksek verim tahmini MPI-ESM-MR iklim modelinin RCP8.5 senaryosunda 2031-2040 döneminde 780 kg/da iken, en düşük verim değeri HadGEM2-ES iklim modeli RCP8.5 senaryosu 2071-2080 döneminde 620 kg/da olarak tahmin edilmiştir. Bunun sebebini şu şekilde açıklamak mümkündür. Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi HadGEM2-ES iklim modeli, RCP8.5 senaryosu, 2071-2080 yıllarında ortalama en yüksek sıcaklık 15,3 °C ve ortalama en düşük sıcaklık 6,1 °C'dir. MPI-ESM-MR iklim modeli, RCP8.5 senaryosu, 2031-2040 yıllarında ortalama en yüksek sıcaklık 18,3 °C ve ortalama en düşük sıcaklık 9,1 °C'dir (Çizelge 4.1). Bu değerler Çizelge 4.1'e göre bütün dönemler göz önüne alındığında en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleridir ve yağış ile solar radyasyon değerleri her iki iklim modelinde de birbirine çok yakın değerlerde tahmin edildiğinden bu koşullarda verimi en çok sıcaklık değerlerinin değiştirdiği anlaşılmıştır. Sonuçların bu şekilde tahmin edilmesi iklim verilerindeki değişime göre normal olarak değerlendirilmiştir. Çizelge 4.4'te ise bu durum en düşük 2021-2022 döneminden -%7,5 verim azalışı ve %16,4 verim artışı olarak görülmektedir. En büyük ve en küçük verim artış ve azalışlarında iklim modelleri farklı olsa da ortak noktaları ise RCP8.5 senaryosunda gerçekleşmesidir.

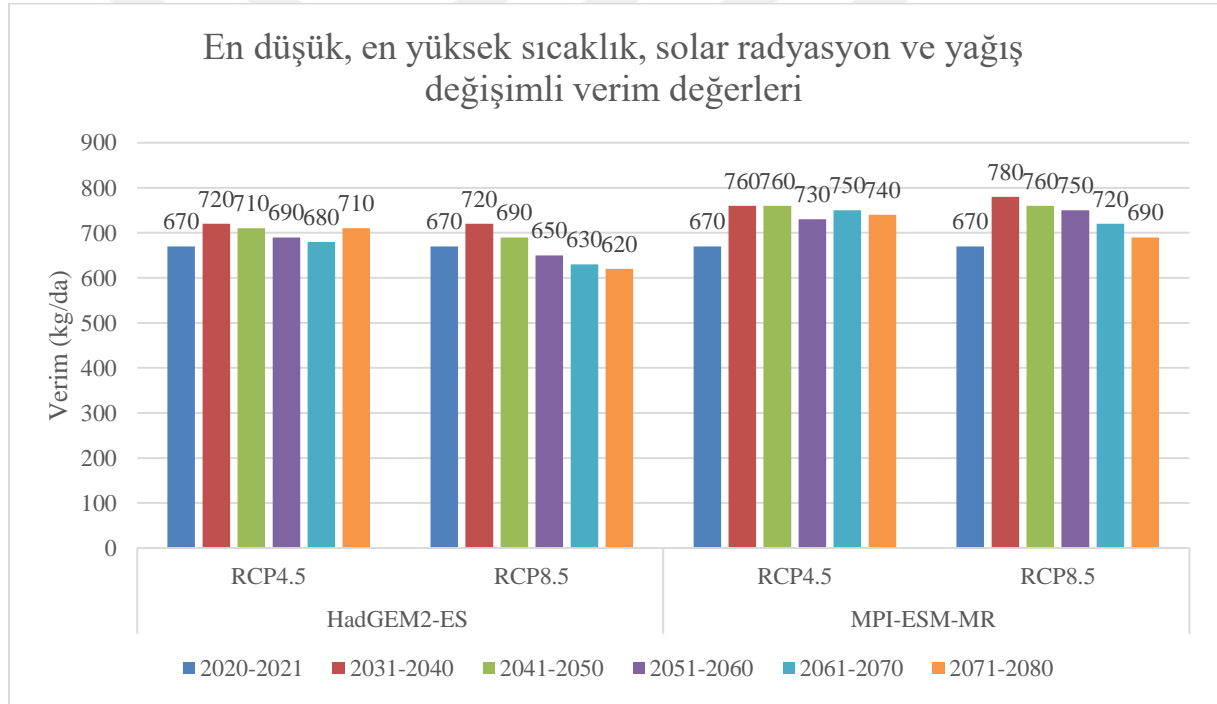
LINTUL model ile verim tahminlerinde Çizelge 4.4 ve Şekil 4.3 incelendiğinde MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES iklim modellerinin RCP8.5 senaryosunda kısa dönemden uzun döneme doğru gidildikçe verim azalışları olacağı, her iki iklim modelinde ise RCP4.5 senaryosunda dönem dönem azalışlar ve artışlar olacağı tahmin edilmiştir.

Çizelge 4.4. Gelecek yıllar en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim değerleri ve 2021-2022 döneminden (670 kg/ha) sapma miktarı

İklim Modelleri	Yıllar	Verim (kg/da)		2021-2022 döneminden sapma (%)	
		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
HadGEM2-ES	2031-2040	720	720	7,5	7,5
	2041-2050	710	690	6,0	3,0
	2051-2060	690	650	3,0	-3,0
	2061-2070	680	630	1,5	-6,0
	2071-2080	710	620	6,0	-7,5
MPI-ESM-MR	2031-2040	760	780	13,4	16,4
	2041-2050	760	760	13,4	13,4
	2051-2060	730	750	9,0	11,9
	2061-2070	750	720	11,9	7,5
	2071-2080	740	690	10,4	3,0

HadGEM2-ES iklim modelinde Çizelge 4.4'te RCP4.5 senaryosunda 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ile 2071-2080 dönemlerinde sırasıyla %7,5, %6,0, %3,0, %1,5 ve %6,0 oranında verim artışları gözleneceği tahmin edilmiştir. RCP8.5 senaryosunda ise 2031-2040 ile 2041-2050 dönemlerinde sırasıyla %7,5 ve %3,0 oranında verim artışı gözleneceği ve 2051-2060, 2061-2070 ile 2071-2080 dönemlerinde sırasıyla -%3,0, -%6,0 ve -%7,5 oranlarında verim azalışları olacağı tahmin edilmiştir.

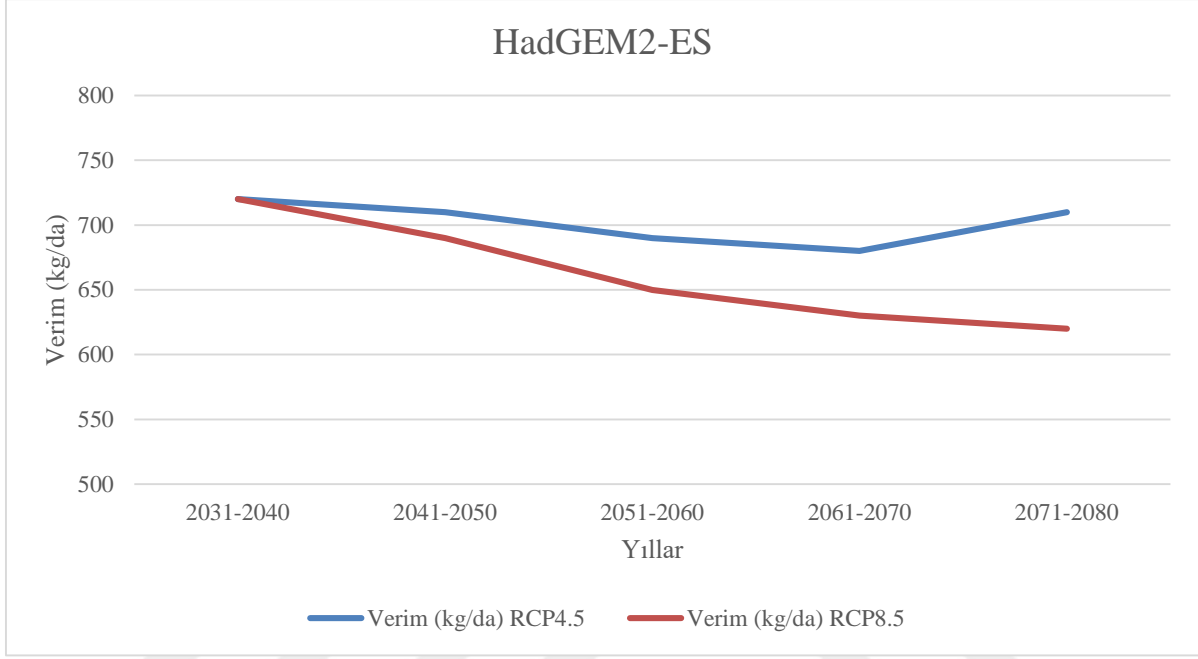
MPI-ESM-MR iklim modelinde Çizelge 4.4'te RCP4.5 senaryosunda 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ile 2071-2080 dönemlerinde sırasıyla %13,4, %13,4, %9,0, %11,9 ve %10,4 ve RCP8.5 senaryosunda ise 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ile 2071-2080 dönemlerinde sırasıyla %16,4, %13,4, %11,9, %7,5 ve %3,0 oranlarında verim artışları gözleneceği tahmin edilmiştir.



Şekil 4.3. En düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim değerleri (kg/da).

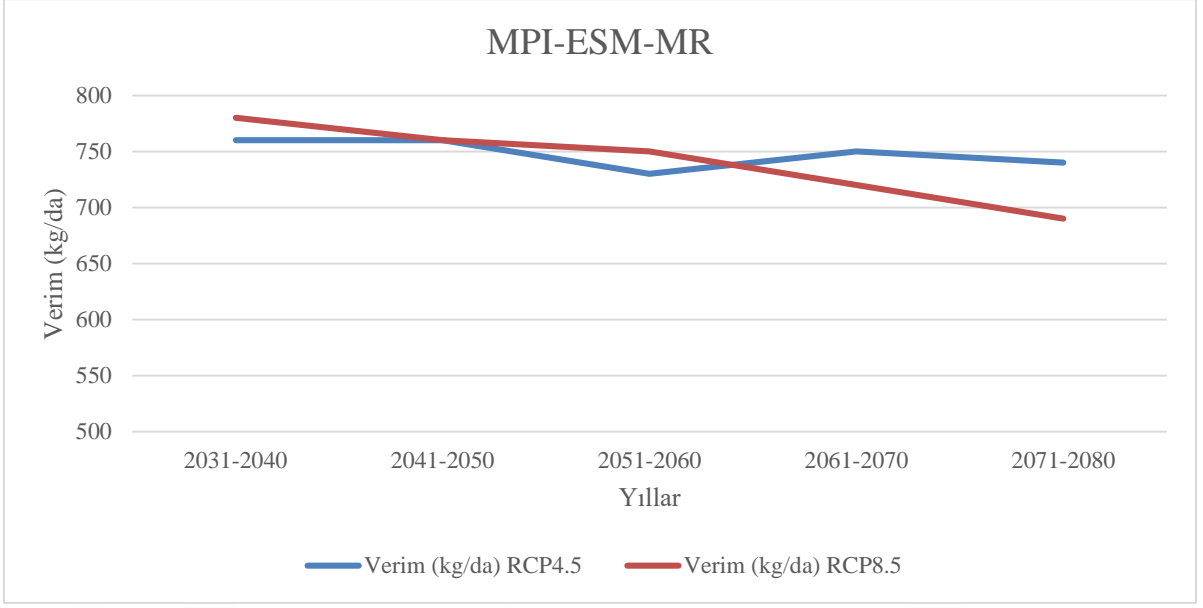
HadGEM2-ES iklim modeli kendi içerisinde değerlendirildiğinde RCP4.5 senaryosunda verim değerleri 680-720 kg/ha arasında değişirken, RCP8.5'te 620-720 kg/ha arasında değişmektedir (Çizelge 4.4). Şekil 4.4'te görüldüğü gibi 2031-2040 döneminden itibaren RCP4.5 senaryosundaki verim tahminleri RCP8.5 senaryosundaki verim tahminlerinden daha yüksektir. Bunun sebebini ise Çizelge 4.1'deki ortalama en yüksek sıcaklık ve ortalama en düşük sıcaklık değerlerine bağlamak mümkündür. Çünkü bütün

dönemlerde bu değerler RCP4.5'te RCP8.5'ten daha yüksektir. HadGEM2-ES iklim modeli Şekil 4.4'te RCP4.5 senaryosunda 2061-2070 dönemine kadar azalan yönde verim artışı olacağı sonraki dönemde ise artan yönde verim artışı olacağı tahmin edilmiştir. RCP8.5 senaryosunda ise verim artışlarının 2031-2040 ve 2041-2050 azalan yönde verim artışı ve sonraki dönemlerde azalan yönde verim azalışları olacağı tahmin edilmiştir.



Şekil 4.4. HadGEM2-ES modeli RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim değerleri

MPI-ESM-MR iklim modeli kendi içerisinde değerlendirildiğinde RCP4.5 senaryosunda verim değerleri 730-760 kg/ha arasında değişirken, RCP8.5'te 690-780 kg/ha arasında değişmektedir. Çizelge 4.1'e göre RCP4.5 senaryosunda ortalama en yüksek sıcaklığın 18,0-18,2 °C ve ortalama en düşük sıcaklığın 8,7-9,0 °C arasında değişeceği tahmin edilmiştir. Sıcaklık değişimi çok fazla olmadığı için verim de de çok fazla bir değişim gözlenmemiştir. Şekil 4.5'te görüldüğü RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosundaki verim tahminleri Çizelge 4.1'deki ortalama en yüksek sıcaklık ve ortalama en düşük sıcaklık değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Ortalama en yüksek sıcaklık ve ortalama en düşük sıcaklık değerleri yüksekken verim değerleri yüksek, sıcaklık değerleri düşükken ise verim değerleri düşüktür. MPI-ESM-MR iklim modeli Şekil 4.5'te RCP4.5 senaryosunda sıcaklık değerleri birbirine çok yakın olduğundan inişli çıkışlı verim değişimleri olacağı, RCP8.5 senaryosunda ise azalan yönde verim artışları olacağı tahmin edilmiştir.



Şekil 4.5. MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim değerleri

#### 4.3.2 En düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim tahmini

LINTUL model ile MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES iklim modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ve 2071-2080 dönemleri için en düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim tahminleri yapılarak yani solar radyasyon değeri sabit tutularak elde edilen verim tahminleri Çizelge 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Buna göre en yüksek verim tahmini MPI-ESM-MR iklim modellerinin RCP8.5 senaryosunda 2031-2040 yılları arasında 800 kg/da iken, en düşük verim değeri HadGEM2-ES iklim modeli RCP8.5 senaryosu 2071-2080 yıllarında 620 kg/da olarak tahmin edilmiştir. HadGEM2-ES iklim modeli, RCP8.5 senaryosu, 2071-2080 yıllarında ortalama en yüksek sıcaklık 15,3 °C ve ortalama en düşük sıcaklık 6,1 °C'dir. MPI-ESM-MR iklim modeli, RCP8.5 senaryosu, 2031-2040 yıllarında ortalama en yüksek sıcaklık 18,3 °C ve ortalama en düşük sıcaklık 9,1 °C'dir. Bu değerler bütün dönemler göz önüne alındığında en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleridir. Bu durum Deveci (2022) tarafından yapılan çalışma ile ilişkilendirilebilir. Bu çalışmada en yüksek buğday verim değerini ortalama en düşük ve ortalama en yüksek sıcaklıkların 3 °C arttırılması ve solar radyasyonun %30 arttırılması halinde elde etmiştir. Dolayısı ile sıcaklıklar en yüksekken solar radyasyonun da etkisi daha çok hissedilmektedir ve bu da verimin daha da artmasına sebep olmuştur. Her ne kadar solar radyasyon değeri 2031-2080 yılları ortalaması 2004-2021 dönemi ortalamasına göre yüksek gibi görünse de aylar

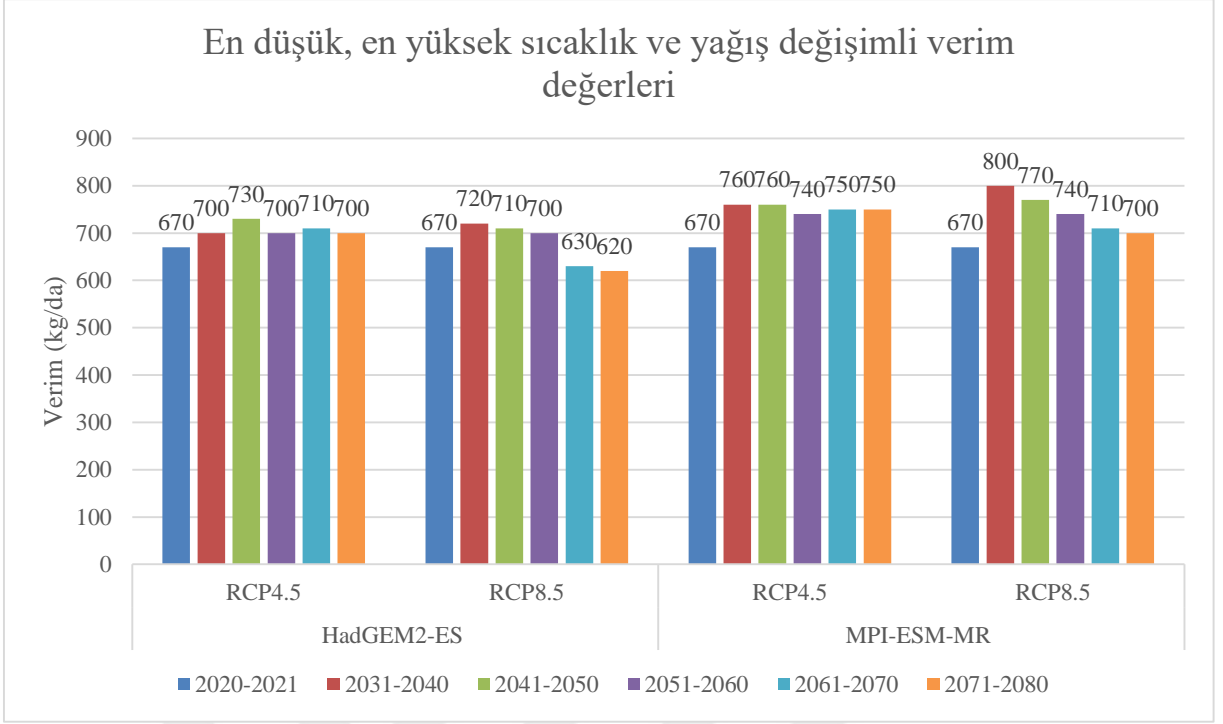
bazında bitki gelişme döneminde bu değerler genel olarak 2004-2021 döneminde daha yüksektir ve bu da verimin artmasını tetikleyen bir durum gibi görünmektedir. Çizelge 4.5'te ise bu durum en düşük 2021-2022 döneminden -%7,5 verim azalışı ve %19,4 verim artışı olarak görülmektedir.

Çizelge 4.5 ve Şekil 4.6 incelendiğinde HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR iklim modellerinin RCP8.5 senaryosunda kısa dönemden uzun döneme doğru gidildikçe verim azalışları olacağı, her iki iklim modelinde ise RCP4.5 senaryosunda dönem dönem azalışlar ve artışlar olacağı tahmin edilmiştir.

Çizelge 4.5. Gelecek yıllar en düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim değerleri ve 2021-2022 döneminden (670 kg/ha) sapma miktarı

İklim Modelleri	Yıllar	Verim (kg/da)		2021-2022 döneminden sapma (%)	
		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
HadGEM2-ES	2031-2040	700	720	4,5	7,5
	2041-2050	730	710	9,0	6,0
	2051-2060	700	700	4,5	4,5
	2061-2070	710	630	6,0	-6,0
	2071-2080	700	620	4,5	-7,5
MPI-ESM-MR	2031-2040	760	800	13,4	19,4
	2041-2050	760	770	13,4	14,9
	2051-2060	740	740	10,4	10,4
	2061-2070	750	710	11,9	6,0
	2071-2080	750	700	11,9	4,5

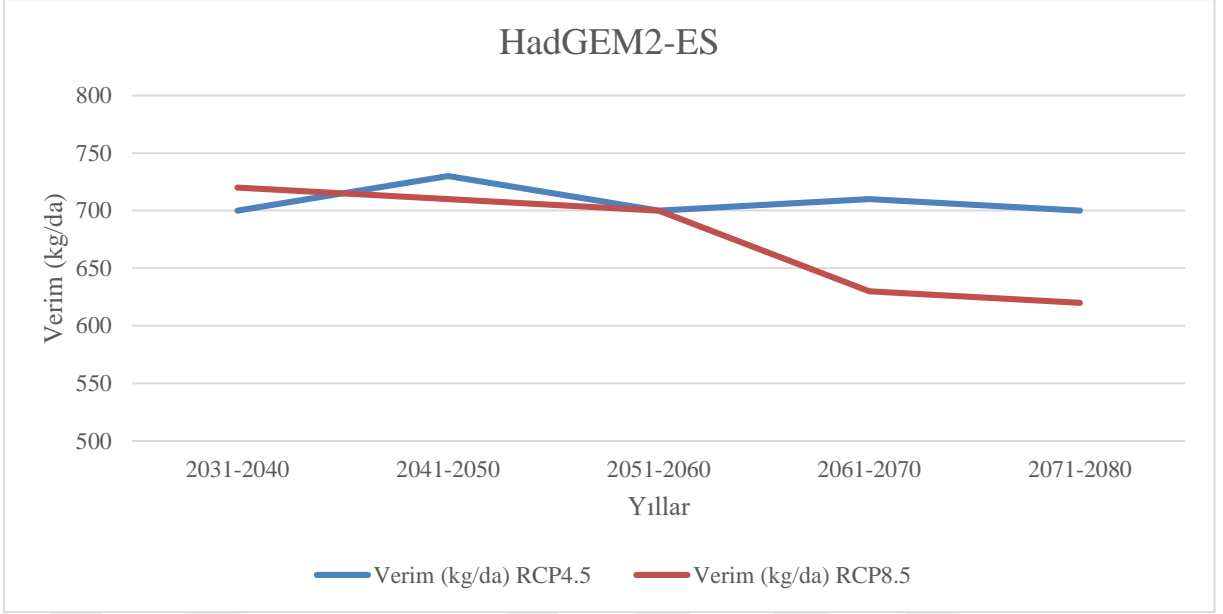
HadGEM2-ES iklim modelinde Çizelge 4.5'te RCP4.5 senaryosunda 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ile 2071-2080 dönemlerinde sırasıyla %4,5, %9,0, %4,5, %6,0 ve %4,5 oranında verim artışları gözleneceği tahmin edilmiştir. RCP8.5 senaryosunda ise 2031-2040, 2041-2050 ve 2051-2060 dönemlerinde sırasıyla %7,5, %6,0 ve %4,5 oranlarında verim artışı gözleneceği, 2061-2070 ve 2071-2080 dönemlerinde sırasıyla -%6,0, ve -%7,5 oranlarında verim azalışları olacağı tahmin edilmiştir. MPI-ESM-MR iklim modelinde Çizelge 4.4'te RCP4.5 senaryosunda 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ile 2071-2080 dönemlerinde sırasıyla %13,4, %13,4, %10,4, %11,9 ve %11,9 ve RCP8.5 senaryosunda ise 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ile 2071-2080 dönemlerinde sırasıyla %19,4, %14,9, %10,4, %6,0 ve %4,5 oranlarında verim artışları olacağı tahmin edilmiştir.



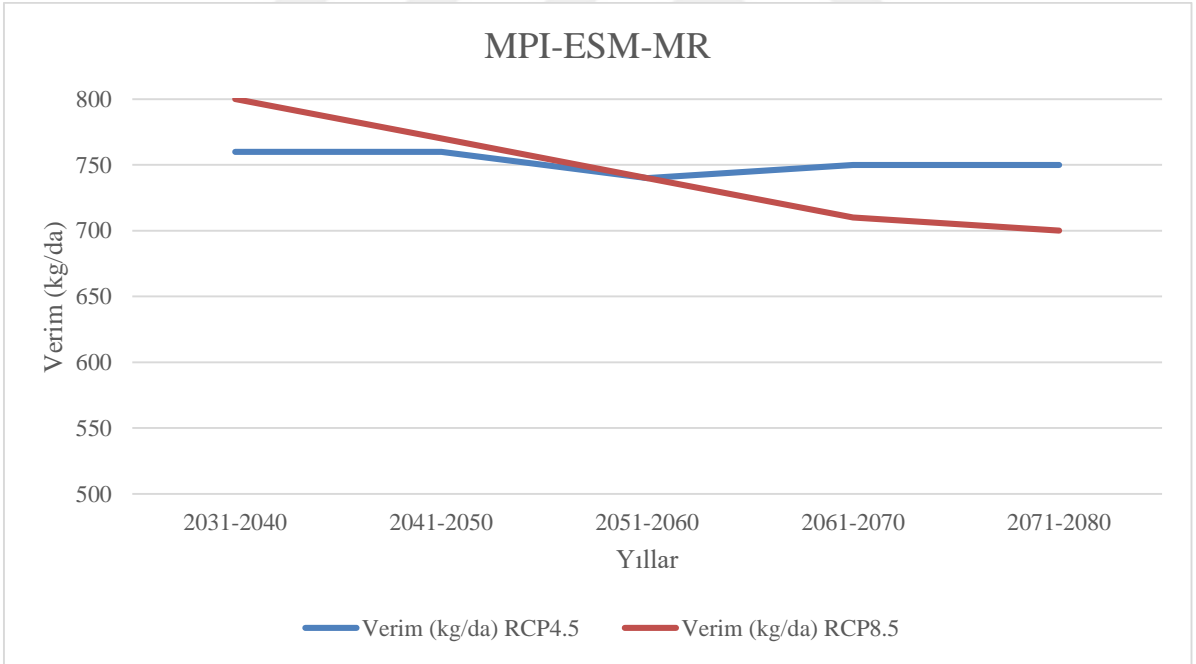
Şekil 4.6. En düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim değerleri

HadGEM2-ES iklim modeli kendi içerisinde değerlendirildiğinde RCP4.5 senaryosunda verim değerleri 700-730 kg/ha arasında değişirken, RCP8.5'te 620-720 kg/ha arasında değişmektedir (Çizelge 4.5). Şekil 4.7'de görüldüğü gibi HadGEM2-ES iklim modeli RCP4.5 senaryosunda inişli çıkışlı verim artışları olacağı, RCP8.5 senaryosunda ise verim artışlarının genel olarak azalan yönde olmak üzere 2031-2040, 2041-2050 ve 2051-2060 dönemlerinde azalma eğilimi daha düşük iken, sonraki dönemlerde azalma eğiliminin daha yüksek olacağı tahmin edilmiştir.

MPI-ESM-MR iklim modeli kendi içerisinde değerlendirildiğinde RCP4.5 senaryosunda verim değerleri 740-760 kg/ha arasında değişirken, RCP8.5'te 700-800 kg/ha arasında değişmektedir. Çizelge 4.1'de RCP4.5 senaryosunda ortalama en yüksek sıcaklığın 18,0-18,2 °C ve ortalama en düşük sıcaklığın 8,7-9,0 °C arasında değişeceği görülmektedir. Sıcaklık değişimi çok fazla olmadığı için en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim tahminindekine benzer bir inişli çıkışlı eğilim oluşacağı tahmin edilmiştir. Şekil 4.8'de MPI-ESM-MR iklim modeli, RCP4.5 senaryosunda 2031-2040 ile 2071-2080 dönemlerinde çok küçük artan, azalan ve hatta değişmeyen yönlerde verim değişiklikleri tahmin edilmiştir. RCP8.5 senaryosunda ise 2031-2040 ile 2071-2080 dönemleri arasında verim artışlarının azalan yönde olacağı tahmin edilmiştir.



Şekil 4.7. HadGEM2-ES modeli RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları en düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim değerleri



Şekil 4.8. MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları en düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim değerleri

### 4.3.3 En düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim tahminleri ile en düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim tahminlerinin karşılaştırılması

LINTUL model ile MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES küresel iklim modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ve 2071-2080 dönemleri için en düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim tahminlerinden, en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ile yağış değişimli verim tahminleri farkları hesaplanarak Çizelge 4.6'da sunulmuştur. Buna göre MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES küresel iklim modelleri ve RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarında 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ve 2071-2080 dönemlerinde -%7,1-%2,9 aralığında verim değişimleri meydana gelmiştir (Çizelge 4.6). Deveci ve Konukcu (2022) tarafından yapılan çalışmada LINTUL modelde buğday verimi tahmininde en etkili parametre olarak solar radyasyonu belirlemişlerdir. Ayrıca Deveci (2022) en yüksek buğday verim değerini ortalama en düşük ve ortalama en yüksek sıcaklıkların 3 °C artırılması ve solar radyasyonun %30 artırılması halinde elde etmiştir. Yapılan her iki çalışmada da söz konusu olan bu artışların her ay düzenli bir şekilde oluştuğu kabul edilmiştir. Bu çalışmada ise Şekil 4.2'de şubat, mayıs, temmuz, ağustos ve eylül aylarında solar radyasyon değerinin 2004-2021 döneminin üzerine çıktığı, diğer aylarda ise altında kaldığı görülmektedir. Her iki dönemde de bitki gelişme dönemlerinde solar radyasyon değerlerinin birbirinin önünde ve gerisinde kalarak birbirine çok yakın gittiği görülmektedir. Aradaki farkın açıldığı dönem bitki gelişme döneminin dışında kalmaktadır. Gelecek yıllar ortalama solar radyasyon değerleri değerlendirildiğinde ise 2031-2080 ortalaması 14,5 MJ/m<sup>2</sup>/gün iken 2004-2021 dönemi ortalama solar radyasyon değerleri 14,1 MJ/m<sup>2</sup>/gün olduğu görülmektedir. Yani gelecek dönem her ne kadar solar radyasyon değeri 0,4 MJ/m<sup>2</sup>/gün fazla gibi görünse de bu aylara yansıyan düzenli bir artış olmadığı için ve bu fark düşük kaldığı için verimde beklenen artışı oluşturamamıştır. Sonuç olarak, solar radyasyon etkisi dikkate alındığında olumlu ve olumsuz değişkenlikler ortaya çıkmıştır. Bu durum buğdayda solar radyasyonlu tahminlerde bazen daha az verim artışına bazen de verim azalışına sebep olmuştur. Dolayısıyla geleceğe yönelik verim tahminleri yapılırken sıcaklık ve yağış değişimleri dikkate alınırken, solar radyasyon etkisinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.



Çizelge 4.6. En düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim tahminlerinden, en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim tahminleri farkları

Yıllar	HadGEM2-ES		MPI-ESM-MR	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Gelecek yıllar en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim değerleri				
2031-2040	720	720	760	780
2041-2050	710	690	760	760
2051-2060	690	650	730	750
2061-2070	680	630	750	720
2071-2080	710	620	740	690
Gelecek yıllar en düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim değerleri				
2031-2040	700	720	760	800
2041-2050	730	710	760	770
2051-2060	700	700	740	740
2061-2070	710	630	750	710
2071-2080	700	620	750	700
Verim Farkları (%)				
2031-2040	2,9	0,0	0,0	-2,5
2041-2050	-2,7	-2,8	0,0	-1,3
2051-2060	-1,4	-7,1	-1,4	1,4
2061-2070	-4,2	0,0	0,0	1,4
2071-2080	1,4	0,0	-1,3	-1,4

#### 4.3.4 Verim Tahmini Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada verim tahmini en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim tahmini ile en düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli olmak üzere iki şekilde yapılmıştır. Tekirdağ ili Malkara ilçesinde LINTUL model ile MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES iklim modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ve 2071-2080 dönemleri verim tahminleri yapılmıştır. En düşük ve en yüksek sıcaklık, radyasyon ve yağış değişimli HadGEM2-ES iklim modeli RCP4.5’da %1,5-%7,5, RCP8.5 senaryosunda -%7,5-%7,5, MPI-ESM-MR iklim modeli RCP4.5 senaryosunda %9,0-%13,4, RCP8.5 senaryosunda %3,0-%16,4 arasında verim değişimleri oluşacağı tahmin edilmiştir (Çizelge 4.4). En düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli HadGEM2-ES iklim modeli RCP4.5 senaryosunda %4,5-%9,0, RCP8.5 senaryosunda -%7,5-%7,5, MPI-ESM-MR iklim modeli RCP4.5 senaryosunda %10,4-%13,4, RCP8.5 senaryosunda %4,5-%19,5 arasında verim değişimleri oluşacağı tahmin edilmiştir (Çizelge 4.5).

En düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim tahmininde en yüksek verim tahmini MPI-ESM-MR iklim modelinin RCP8.5 senaryosunda 2031-2040 döneminde 780 kg/da iken, en düşük verim değeri HadGEM2-ES iklim modeli RCP8.5 senaryosu 2071-2080 döneminde 620 kg/da olarak tahmin edilmiştir. En düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim tahmininde en yüksek verim tahmini MPI-ESM-MR iklim modellerinin RCP8.5 senaryosunda 2031-2040 yılları arasında 800 kg/da iken, en düşük verim değeri HadGEM2-ES iklim modeli RCP8.5 senaryosu 2071-2080 yıllarında 620 kg/da olarak tahmin edilmiştir.

En düşük ve en yüksek sıcaklık, radyasyon ve yağış değişimli verim tahmininde HadGEM2-ES iklim modeli kendi içerisinde değerlendirildiğinde RCP4.5 senaryosunda verim değerleri 680-730 kg/ha arasında değişirken, RCP8.5'te 620-720 kg/ha arasında değişmektedir. MPI-ESM-MR iklim modeli kendi içerisinde değerlendirildiğinde RCP4.5 senaryosunda verim değerleri 730-760 kg/ha arasında değişirken, RCP8.5'te 690-780 kg/ha arasında değişmektedir. En düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim tahmininde HadGEM2-ES iklim modeli kendi içerisinde değerlendirildiğinde RCP4.5 senaryosunda verim değerleri 700-730 kg/ha arasında değişirken, RCP8.5'te 620-720 kg/ha arasında değişmektedir. MPI-ESM-MR iklim modeli kendi içerisinde değerlendirildiğinde RCP4.5 senaryosunda verim değerleri 740-760 kg/ha arasında değişirken, RCP8.5'te 700-800 kg/ha arasında değişmektedir.

LINTUL model ile MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES küresel iklim modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ve 2071-2080 dönemleri için en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli ve en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli tahminler birbirleri ile karşılaştırıldığında kısaca radyasyon değişimi göz önüne alındığında -%7,1-%2,9 aralığında verim değişimleri meydana gelmiştir.

Bu bölgede Çaldağ (2009), Çaldağ ve Şaylan (2010), Koç (2011), Çaylak (2015), Deveci (2015), Altürk vd. (2019), Konukcu vd. (2020) tarafından yapılan son güncel çalışmalar da değerlendirildiğinde, modellenen bölge aynı olsa bile araştırma alanlarının farklı olması, kullanılan iklim modellerinin ve senaryo sonuçlarının, aynı zamanda değerlendirme yapılan dönemlerin ve verim tahmini yapılan modellerin de farklı olmasından dolayı sonuçların bazılarının benzerlik bazılarının farklılık göstermesi normal olarak değerlendirilmiştir.

#### 4.3.5 Sonuç

Geleceğe yönelik buğday verim tahminleri için sıcaklık ve yağış değişimleri dikkate alınırken, solar radyasyon etkisinin de göz önünde bulundurulması büyük önem taşımaktadır. En büyük ve en küçük verim artış ve azalışlarında iklim modelleri farklı olsa da, ortak noktaları RCP8.5 senaryosunda gerçekleşmesidir. En kötü senaryonun oluşmaması için gerekli önlemler alınmalıdır. MPI-ESM-MR küresel iklim modelinde sadece verim artışları oluşurken, HadGEM2-ES küresel iklim modeli her iki senaryoda verim tahminlerinde bazı dönemlerde verim azalışları olacağı tahmin edilmiştir. Bu koşullarda MPI-ESM-MR küresel iklim modelinin HadGEM2-ES küresel iklim modelinden daha iyimser olduğu sonucu çıkarılabilir. Nüfusun hızla artması, küresel iklim değişikliğiyle birlikte su kaynakları üzerindeki baskının artması ve savaş hali gibi beklenilmeyen durumlar da söz konusu olduğunda su ve besin maddelerine olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. İklim değişikliğinin tarımsal üretime etkisinin belirlenmesi kapsamında bu sonuçların değerlendirilerek Türkiye için stratejik bir öneme sahip olan Trakya Bölgesi'nde buğday yetiştiriciliğinin devamlılığının sağlanması gerekmektedir. Bunun için devlet tarafından çiftçilere destek verilmesi sağlanarak üretim teşvik edilmelidir. Bu bölgede genel olarak buğday verim tahmini artış yönünde olacağından toprakların kaybedilmemesi ve tarım alanlarının muhafaza edilmesi büyük önem taşımaktadır.

## KAYNAKLAR

- Altürk, B., Bakanoğulları, F., Konukcu, F. ve Albut, S. (2019). TR21 Trakya Bölgesi'nde iklim değişikliğinin ayçiçeği ve buğday verimine etkisinin modellenmesi. In: Konukcu, F., Albut, S. ve Altürk A. (Ed). TR21 Trakya Bölgesinde iklim değişikliğinin etkileri ve uyum stratejileri. Namık Kemal Üniversitesi Yayınları No: 2.08-027-0030/A-I, 1-22.
- Anonim (2022). <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=TEKIRDAG>
- Çaldağ, B. (2000). *Meteorolojik faktörlerin bitki gelişimine etkilerinin bitki iklim modelleri ile belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çaldağ, B. (2009). *Trakya Bölgesi'nin tarımsal meteorolojik özelliklerinin belirlenmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 258 s, İstanbul.
- Çaldağ, B. ve Şaylan L. (2010). İklim değişikliğinin buğday verimine etkilerinin incelenmesi: Kırklareli örneği. İTÜ Dergisi, 9 (5): 107-112.
- Çağlar, F., Hanedar, A., Yıldırım, I., Görgün, E., Özdemir, A.D., Altürk, B. ve Albut, S. (2019). TR21 Bölgesi'nde ekstrem iklim olaylarının mevcut durumu ve gelecek projeksiyonları. In: Konukcu, F., Albut, S. ve Altürk A. (Ed). TR21 Trakya Bölgesinde iklim değişikliğinin etkileri ve uyum stratejileri. Namık Kemal Üniversitesi Yayınları No: 2.08-027-0030/A-I, 23-45.
- Çaylak, O. (2015). *İklim değişikliğinin buğday bitkisinin gelişimi ve verimine olası etkilerinin bitki-iklim simulasyon modeli ile incelenmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 68 s, İstanbul.
- De Myttenaere, A., Golden, B., Le Grand, B. and Rossi, F. (2016). Mean absolute percentage error for regression models. Neurocomputing, 192, 38-48.
- Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioglu, O., Tüvan, A. ve Akçakaya, A. (2014). "Climate change projections for Turkey with new scenarios", The Climate Change and Climate Dynamics Conference. CCCD2014, 8-10 Ekim, İstanbul, Türkiye
- Deveci, H. (2015). *Trakya Bölgesi'nde iklim değişikliğinin yüzey su kaynakları, toprak nemi ve bitki verimine etkisinin modellenmesi*. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 210 s, Tekirdağ.
- Deveci, H. ve Konukcu, F. (2016). Prediction of climate change and its impact on water resources and crop yields in Ergene river basin. Integrated land use management modeling of Black Sea estuaries (ILMM-BSE): Ergene River Basin. Flato, M.G. (2011). Earth system models: an overview. WIREs Climate Change, 2011.
- Deveci H. (2022). Estimation of wheat yield under combinations of different climate parameters with the LINTUL model in the Thrace region. 8th International Black Sea Coastline Countries Scientific Research Conference. August 29-30, 2022. Sofia, Bulgaria

- Deveci H. ve Konukcu F. (2022). Determining Sensitivity to Change in Climate Parameters in Wheat Product Estimation with LINTUL model. II-International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies. 26-28 July. Batumi, Georgia.
- Ezui, K. S., Leffelaar, P. A., Franke, A. C., Mando, A. and Giller, K. E. (2018). Simulating drought impact and mitigation in cassava using the LINTUL model. *Field Crops Research*, 219, 256-272.
- Flato, M.G. (2011). Earth System Models: An Overview. *WIREs Climate Change*.
- Franke, A. C., Haverkort, A. J. and Steyn, J. M. (2013). Climate 1 change and potato production in contrasting South African agro-ecosystems 2. Assessing Risks and Opportunities of Adaptation Strategies. *Potato Research*, 56(1), 51–66. doi:10.1007/s11540-013-9229-x
- Hanedar, A., Çağlar, F., Görgün, E., Konukcu, F., Altürk, B. ve Albut, S. (2019). TR21 bölgesi iklim değerlendirmesi: mevcut durum ve projeksiyonlar. In: Konukcu, F., Albut, S. ve Altürk, B. (Ed). TR21 Trakya Bölgesinde iklim değişikliğinin etkileri ve uyum stratejileri. Namık Kemal Üniversitesi Yayınları No: 2.08-027-0030/A-I, 1-22.
- Haverkort, A. J., Verhagen, A., Grashoff, A. C. and Uithol, P. W. J. (2004). Potato-zoning: a decision support system on expanding the potato industry through agro-ecological zoning using the LINTUL simulation approach. *Decision Support Systems in Potato Production: Bringing Models to Practice*. Wageningen Academic, Wageningen, 29-44.
- Haverkort, A. J., Franke, A. C., Engelbrecht, F. A. and Steyn, J. M. (2013). Climate change and potato production in contrasting South African agro-ecosystems 1. Effects on Land and Water Use Efficiencies. *Potato Research*, 56(1), 31–50. doi:10.1007/s11540-013-9230-4
- Haverkort, A. J., Franke, A. C., Steyn, J. M., Pronk, A. A., Caldiz, D. O. and Kooman, P. L. (2015). A Robust potato model: LINTUL-potato-DSS. *Potato Research*, 58(4), 313-327.
- 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, Pachauri, R. K. and Meyer, L. A. (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Kadioğlu, M. (2012). Türkiye’de iklim değişikliği risk yönetimi. Türkiye’nin İklim Değişikliği II. Ulusal Bildiriminin Hazırlanması Projesi Yayını, 172s.
- Kadioglu, M., Ünal, Y., İlhan, A. ve Yürük, C. (2017). Türkiye’de iklim değişikliği ve tarımda sürdürülebilirlik. Türkiye Gıda ve İçecek Sanayii Dernekler Federasyonu Yayını. <https://www.tgdf.org.tr/wp-content/uploads/2017/10/iklim-degisikligi-raporelma.compressed.pdf>
- Koç, E. M. (2011). *İklim değişikliğinin tarıma olası etkilerinin WOFOST bitki iklim modeli ile araştırılması*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 77 s, İstanbul.
- Konukcu, F., Albut, S. ve Altürk A. (2019). TR21 Trakya Bölgesinde iklim değişikliğinin etkileri ve uyum stratejileri. Namık Kemal Üniversitesi Yayınları No: 2.08-027-0030/A-I, 46-60.

- Konukcu, F., Deveci, H. ve Altürk, B. (2020). Trakya Bölgesi'nde İklim Değişikliğinin Buğday Verimine Etkisinin AquaCrop ve WOFOST Modeller ile Tahmin Edilmesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 17 (1), 77-96. DOI: 10.33462/jotaf.593883
- Kooman, P. L. and Haverkort, A. J. (1995). Modelling development and growth of the potato crop influenced by temperature and daylength: LINTUL-POTATO. In Potato Ecology and Modelling of Crops Under Conditions Limiting Growth (pp. 41-59). Springer, Dordrecht.
- Machakaire, A. T., Steyn, J. M., Caldiz, D. O. and Haverkort, A. J. (2016). Forecasting yield and tuber size of processing potatoes in South Africa using the LINTUL-potato-DSS model. Potato research, 59 (3), 195-206.
- MetOffice (2022). HadGEM2 family: Met Office climate prediction model. <https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/modelling-systems/unified-model/climate-models/hadgem2>. (Erişim tarihi 18.02.2022).
- Nash J. E and Sutcliffe J. V (1970) River Flow Forecasting Through Conceptual Models; Part I-A Discussion of Principles; Journal of Hydrology; No. 10, 282–290.
- Özkul S., Fıstıkoğlu O. ve Harmancıoğlu N. (2008). İklim Değişikliğine Su kaynaklarının Etkisinin Büyük Menderes ve Gediz Havzaları Örneğinde Değerlendirilmesi. TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi. 309-332, Ankara.
- Süzer, S. (2022). Buğday Yetiştiriciliği. <http://hayrabolutb.org.tr/media/ziraat/Bugday-Tarimi.pdf>. (Erişim tarihi 18.02.2022).
- SYGM (2016). İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi projesi. Proje Nihai Raporu. Ankara: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı (Mülga Orman ve Su İşleri Bakanlığı) Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM), 389 s, Ankara.
- Türkeş M, Sümer U. M ve Çetiner G (2000). Küresel İklim Değişikliği ve Olası Etkileri. Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları, 7-24, Ankara.
- Türkeş, M. (2001). “Hava, iklim, şiddetli hava olayları ve küresel ısınma”, T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri, Teknik Sunumlar, Seminerler Dizisi: 1, 187-205.
- Türkeş, M. (2008). Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. İklim Değişikliği ve Çevre, 1(1), 26-37.
- UNFCCC (1992). United Nations framework convention on climate change, United Nations. <https://unfccc.int/docs/convkp/conveng>, (Erişim tarihi 10.04.2022).
- Van Haren, R. J. F. and Haverkort, A. J. (1998). Agro-ecological description of LINTUL-POTATO: description and application of the LINTUL-POTATO crop growth model. In Information Technology as a Tool to Assess Land Use Options in Space and Time, Proceedings of an international Workshop Lima Peru (CIP, ICASA, PE, AB-DLO). pp (pp. 41-49).

- Volta, A., Villani, G., Marletto, V. and Ceotto, E. (2016). Growth of the perennial energy crop giant reed (*Arundo donax* L) Simulated with ARMIDA, a modified version of the LINTUL model. *Revista Italiana di Agrometeorologia*, 34, 5-12.
- Willmott, C. and Matsuura, K. (2005). Advantages of the Mean Absolute Error (MAE) over the Root Mean Square Error (RMSE) in assessing average model performance, *Clim. Res.*, 30, 79–82.
- Wiertsema, W. (2015). *Obtaining winter wheat parameters for LINTUL from a field experiment comparing old and young winter wheat varieties and evaluating the progress by breeding*. MSc thesis, Plant Production Systems, 96 p, Wageningen University.
- Yagiz, A. K., Cakici, M., Aydogan, N., Omezli, S., Yerlikaya, B. A., Ayten, S., ... and Haverkort, A. J. (2020). Exploration of climate change effects on shifting potato seasons, yields and water use employing NASA and national long-term weather data. *Potato Research*, 63(4), 565-577.

