



Prediction of The Effect of Climate Change on Wheat Yield in Thrace Region

Ahmet Coşkun^{1,a}, Huzur Deveci^{2,b,*}, Fatih Konukcu^{3,c}

¹Institute of Natural and Applied Sciences, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye

²Vocational School of Technical Sciences, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye

³Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 02-03-2023 Accepted : 29-05-2023</p> <p>Keywords: Climate change Wheat LINTUL model Yield forecast Thrace Region</p>	<p>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 data 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 unlike other parts of Türkiye.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11(5): 933-945, 2023

Trakya Bölgesi'nde İklim Değişikliğinin Buğday Verimine Etkisinin Tahmin Edilmesi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 02-03-2023 Kabul : 29-05-2023</p> <p>Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği Buğday LINTUL model Verim tahmini Trakya Bölgesi</p>	<p>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; Türkiye'nin diğer bölgelerinin aksine iklim değişikliği ile verimin genelde artış yönünde olacağı tahmin edildiğinden gıda güvenliği için Trakya Bölgesi tarım arazilerinin değişimine izin verilmemesi gerektiği sonucuna varılmıştır.</p>

^a coskunahmet26@gmail.com

^b <https://orcid.org/0000-0003-1569-3279>

^b huzurdeveci@nku.edu.tr

^b <https://orcid.org/0000-0002-0143-2185>

^c fkonukcu@nku.edu.tr

^b <https://orcid.org/0000-0003-2873-990X>



Giriş

İklim değişikliği dünyada ve ülkemizde baş etmeye çalıştığımız bir tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır. İklim değişikliğinin bilinmeyen etkilerini belirleyebilmek ve bilinen etkilerine karşı ise önlemler alarak bu etkilerden korunmaya çalışmak en büyük amaç haline gelmiştir. İklim değişikliğine karşı, tarımsal üretimde hassasiyetin azaltılmasında verim tahminleri yapabilmek için çok çeşitli bitki gelişim simülasyon modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin temeli genel olarak iklim, bitki, toprak bileşenlerine bağlıdır. Kontrol edemediğimiz iklim değişikliğiyle birlikte öncelikle iklim parametrelerindeki değişimin tahmin edilmesi, sonrasında ise verimi nasıl etkileyebileceğinin modeller yardımı ile ortaya konulması çok önemlidir (Deveci ve Konukcu, 2022).

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 CO₂ 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 verim tahminlerinin yapılabilmesi gibi çalışmalara ağırlık verilmesi gerekmektedir (Deveci, 2015).

Trakya Bölgesi ise Türkiye’de buğday üretimine katkısı olan önemli bölgelerimizden biridir. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığının Mayıs 2022’de yayınladığı buğday bültenine göre dünyada 2021/22 üretim sezonunda küresel buğday üretiminin bir önceki yıla göre %1’lik artışla 781 milyon ton, tüketiminin bir önceki yıla göre %1’lik artışla 778 milyon ton olacağı öngörülmektedir. Yine aynı rapora göre ülkemizde ise 2021 yılı buğday ekilişi 67,4 milyon dekar, toplam üretim 17,7 milyon tondur. Ekiliş alanlarının 55,4 milyon dekarında 14,5 milyon ton ekmeklik buğday, 12 milyon dekarında 3,2 milyon ton makarnalık buğday üretilmiştir. Dünya’nın en büyük tahıl ihracatçıları arasında yer alan Rusya ve Ukrayna arasında devam eden olumsuzluklar neticesinde tarımsal emtia fiyatlarındaki artış, özellikle Yakın Doğu Asya ve Afrika’daki ithalata bağımlı ülkelerde potansiyel gıda güvenliği risklerine ilişkin endişeleri artırmıştır (Anonim, 2022a). Dolayısı ile iklim değişikliğiyle birlikte öngörülemeyen durumlar da ortaya çıktığında, tarım ve gıda sektöründe önemli bir yer tutan buğday verimini doğru bir şekilde tahmin edebilmek çok önemlidir.

Dünya’da ve Türkiye’de pek çok bitki iklim simülasyon modelleri geliştirilip kullanılarak çok çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan LINTUL Model Türkiye’de ve dünyada birçok kullanıcı tarafından farklı bitkilerde uygulanmıştır (Kooman ve Haverkort,1995; Van Haren ve Haverkort, 1998; Haverkort ve ark., 2004; Wiertsema, 2015; Haverkort ve ark., 2015; Machakaire ve ark., 2016; Volta ve ark., 2016; Euzi ve ark., 2018; Yagiz ve ark., 2020; Deveci ve Konukcu,2022; Deveci, 2022). Son yıllarda bölgemizde yürütülen verim tahminleri ile ilgili çalışmalar da

mevcuttur. Bu bölgede Çaldağ (2009), Çaldağ ve Şaylan (2010), Özdoğan (2011), Koç (2011), Çaylak (2015), Deveci (2015), Altürk ve ark. (2019), Konukcu ve ark. (2020), Deveci (2022) tarafından yapılan çalışmalar 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 bazıları benzerlik, bazıları ise farklılık göstermiştir. Dolayısıyla bu benzerlik ve farklılıklardan dolayı başka modellerin de denenmesine ihtiyaç duyulmuştur. Yapılan bu çalışma ile daha önce bu bölgede hiç denenmemiş bir model olan LINTUL model ile buğday verim tahmini yapılarak hem diğer denenen modeller ile verim değerlerinde karşılaştırma yapılmış olacak, hem de bölgemizde ilk kez bu model ile buğday verimi tahmin edilmeye çalışılacaktır. İklim değişikliğiyle birlikte öngörülemeyen durumlar da ortaya çıktığında, tarım ve gıda sektöründe önemli bir yer tutan buğday verimini doğru bir şekilde tahmin edebilmek üreticilere, karar vericilere ve uygulayıcılara yol gösterici olacaktır.

Bu çalışmanın amacı; Trakya Bölgesi’nde Tekirdağ’da bir çiftçi tarlasından 2020-2021 döneminde ölçülmüş buğday verim değerini LINTUL model ile test edip, MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES küresel iklim modelleri RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları 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.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Araştırma Alanı

Araştırma alanı Trakya Bölgesi’nde Tekirdağ ili, Malkara ilçesi, Camiatik mahallesi 462 ada, 18 parselde bulunan 29.222,00 m² tapu alanına sahip bir çiftçi tarlasıdır. Şekil 1’de araştırma alanının konumu gösterilmiştir.



Şekil 1. Araştırma alanı
Figure 1. Research area

Araştırma Alanının İklimi

Araştırma alanının uzun yıllar iklim verileri Çizelge 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 2,0°C sıcaklık ile ocak ayıdır. Yıllık toplam yağış miktarı 583,5 mm’dir. Ekim ile haziran ayları arasındaki dönemde yağışın büyük bir kısmı gerçekleşmektedir.

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’de toprak analiz raporu sonuçları verilmiştir.

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 çıkışı 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 ekmeleklik buğday olup, çeşidi Enoladır. Tohum ekimi mibzerle yapılmıştır. Araştırma alanında çiftçi tarlasından elde edilen 2020-2021 dönemi buğday verim değeri 652 kg/da’dır.

İklim Değişikliği Tahmin Modelleri

İklimSu Projesi (SYGM, 2016) kapsamında öncelikle referans periyodu için CMIP5 veri tabanından seçilen, halen dünyada yaygın bir şekilde kullanılan 10×10 km² 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 yanlışlığı araştırılmıştır. Küresel İklim Modellerinin 2100 yılında 4,5 W/m² ve 8,5 W/m² iklim zorlamalarına karşılık gelen RCP4.5 ve RCP8.5 temsilî konsantrasyon rotalarına dayanan simülasyonlarıyla elde edilen RegCM4.3 bölgesel iklim modeli ile 2015-2100 yılları arasında 10×10 km² çözünürlükteki iklim simülasyonları elde edilmiştir.

Çizelge 1. Araştırma alanına ilişkin iklim değerlerinin uzun yıllar ortalamaları (1940–2021) (Anonim 2022b)

Table 1. Long-term averages of climate data of the research area (1940–2021) (Anonim 2022b)

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)
Ocak	4,8	8,1	2,0	2,7	10,76	69,5
Şubat	5,5	9,0	2,5	3,3	10,35	54,6
Mart	7,3	11,1	4,1	4,2	11,65	53,9
Nisan	11,7	15,7	8,1	5,8	8,24	41,1
Mayıs	16,7	20,6	12,7	7,3	8,41	37,6
Haziran	21,1	25,3	16,7	8,6	7,82	38,7
Temmuz	23,7	28,0	19,0	9,4	3,24	24,2
Ağustos	23,8	28,2	19,4	8,5	1,59	15,4
Eylül	20,2	24,5	16,1	6,8	5,35	33,4
Ekim	15,6	19,5	12,1	4,6	9,41	61,4
Kasım	11,3	14,8	8,1	3,2	8,88	73,2
Aralık	7,2	10,4	4,3	2,5	11,12	80,5
Yıllık	14,1	17,9	10,4	5,6	96,80	583,5

Çizelge 2. Araştırma alanının bazı önemli fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri

Table 2. Some important soil physical and chemical properties of the research area

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

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.

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 (Light Interception and Utilization) Model'idir. Bu çalışmada 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 ve ark., 2013; Franke ve ark., 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).

Yöntem

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 10×10 km çözünürlükte, 2015-2100 dönemi için üretilen meteorolojik veriler kullanılmıştır (SYGM, 2016). Model sonuçları RegCM4.3 bölgesel iklim modelinin 10×10 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 dayanarak günlük; en düşük sıcaklık (°C), en yüksek sıcaklık (°C), yağış (mm), rüzgâr hızı (m/s), ortalama nem (%) ve global güneş radyasyonu (W/cm²) verilerini kapsamaktadır. 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ve 2071-2080 dönemleri için elde edilen bu veriler LINTUL modelin kullanacağı şekilde düzenlenmiştir.

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 1, Eşitlik 2, Eşitlik 3) (Nash ve Sutcliffe, 1970; Willmott ve Matsuura, 2005; De Myttenaere ve ark. 2016). Eşitlik 1, 2 ve 3'te O_i , gözlenen değer, P_i tahmin edilen değer ve n ise ölçüm sayısıdır.

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

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{n} \quad (2)$$

$$MAPE = 100 \times \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \right| \quad (3)$$

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.

Sonuçlar ve Tartışma

İklim Verilerinin Değerlendirilmesi

İklim verileri gelecek 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ve 2071-2080 dönemleri için düzenlenerek Çizelge 3'de gösterilmiştir. Çizelge 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 3). 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.

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'te 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). Ocak ayında yağış miktarı 69,5 mm'den 155,2 mm'ye çıkması beklenmektedir (Çizelge 4). Toplam yağışta dikkat çekici bir fark oluşmasa da aylar bazında farklılıklar göze çarpmaktadır.

Çizelge 4 ve Şekil 2'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 yetiştirme döneminde genellikle gelecek dönemlerde 1940-2021 uzun yıllar ortalamalarına göre yüksek olma eğilimindedir.

Araştırma alanındaki HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR iklim modelleri RCP4.5, RCP8.5 senaryolarına göre solar radyasyon değerleri Çizelge 5'te gösterilmiştir. Bölgede solar radyasyon değerleri uzun yıllar ölçüm aralığı 2004-2021 dönemidir. Çizelge 5'teki 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/m²/gün iken 2004-2021 dönemi ortalama solar radyasyon değerleri 14,1 MJ/m²/gün'dür. Dolayısıyla günümüz koşullarına göre gelecek dönemlerde ortalama solar radyasyon değerlerinin 14,1 MJ/m²/gün'e göre 0,4 MJ/m²/gün daha fazla olacağı yönünde bir tahmin yapılmıştır.

Çizelge 3. Gelecek yıllar ortalama en düşük, en yüksek sıcaklık ve toplam yağış değerleri

Table 3. Average lowest temperature, highest temperature and total precipitation data in the future periods

İklim Modelleri	Yıllar	Senaryolar	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Toplam Yağış (mm)
HadGEM2-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

Çizelge 4. Araştırma alanı 2004-2021 ve 2031-2080 yılları arası aylık yağış değerleri

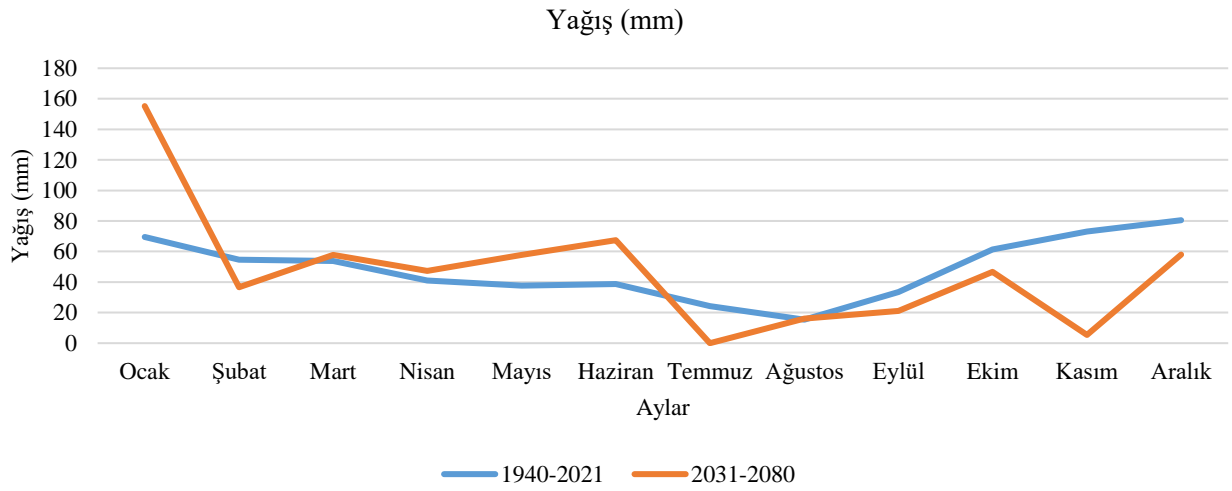
Table 4. Monthly rainfall data in 2004-2021 and 2031-2080 in the research area

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

Çizelge 5. Araştırma alanı 2004-2021 ve 2031-2080 yılları arası aylık solar radyasyon değerleri

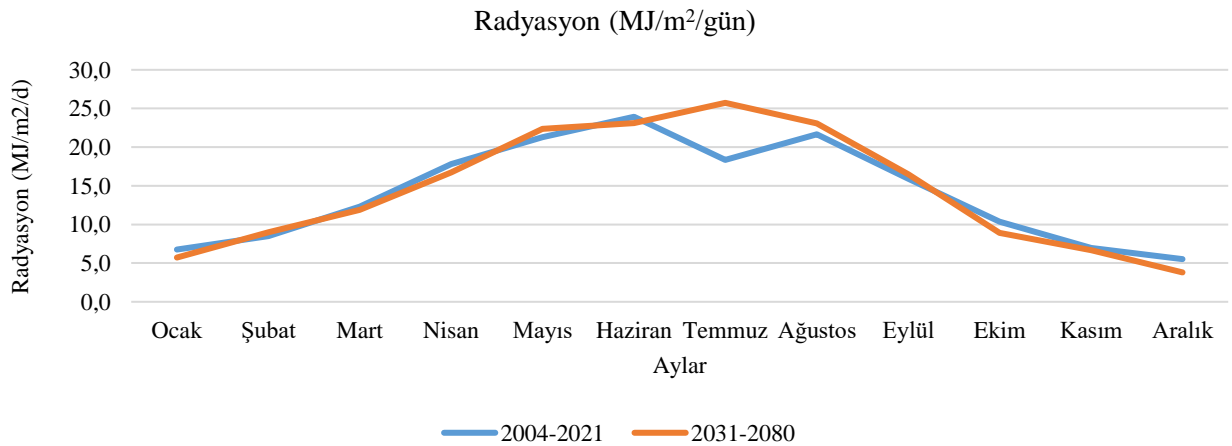
Table 5. Monthly solar radiation data in 2004-2021 and 2031-2080 in the research area

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



Şekil 2. 1940-2021 ve 2031-2080 uzun yıllar ortalama yağış değerleri (mm)

Figure 2. The predicted long-term average precipitation values (mm) for 1940-2021 and 2031-2080 periods

Şekil 3. 2004-2021 ve 2031-2080 uzun yıllar ortalama radyasyon değerleri (MJ/m²/gün)Figure 3. The predicted long-term average radiation values (MJ/m²/gün) 1940-2021 and 2031-2080 periods

Çizelge 5 ve Şekil 3 incelendiğinde 2031-2080 döneminde 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 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 üstüne çıktığı görülmektedir.

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.

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.

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 6 ve Şekil 4'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 3'te 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 3). Bu değerler Çizelge 3'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 6'da 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 6 ve Şekil 4 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.

HadGEM2-ES iklim modelinde Çizelge 6'da 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.

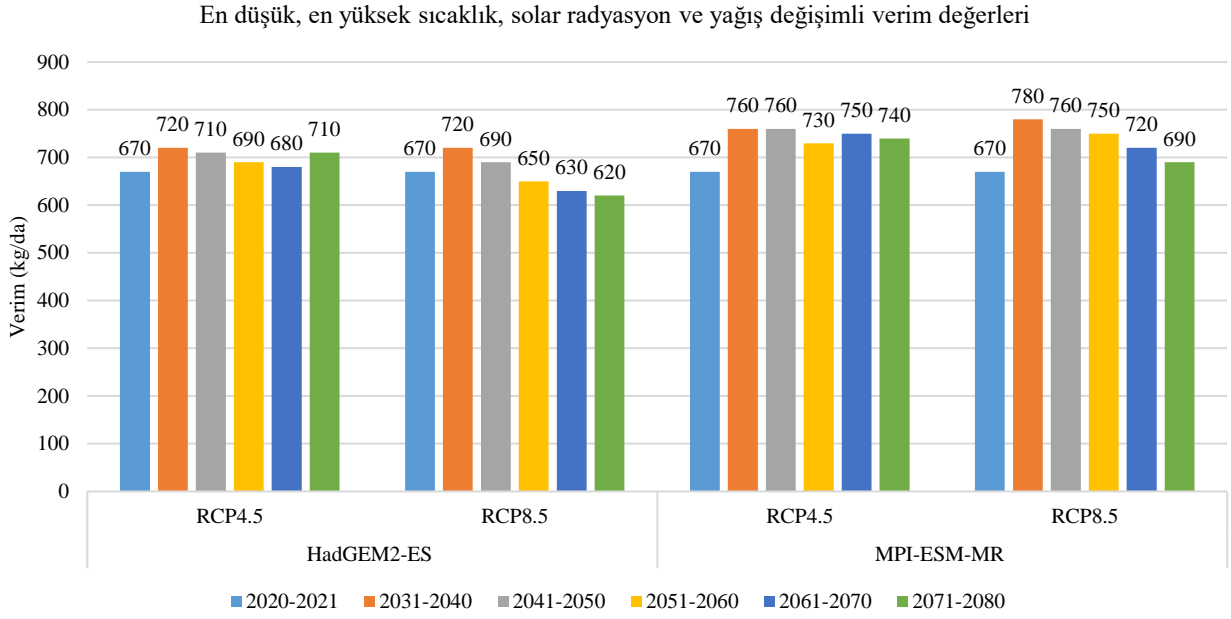
MPI-ESM-MR iklim modelinde Çizelge 6'da RCP4.5 senaryosunda 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ile 2071-2080 dönemlerinde sırasıyla %13,4, %13,4, %9,0, %11,9 ve %10,4 ve RCP8.5 senaryosunda ise 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070 ile 2071-2080 dönemlerinde sırasıyla %16,4, %13,4, %11,9, %7,5 ve %3,0 oranlarında verim artışları gözleneceği tahmin edilmiştir.

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 6).

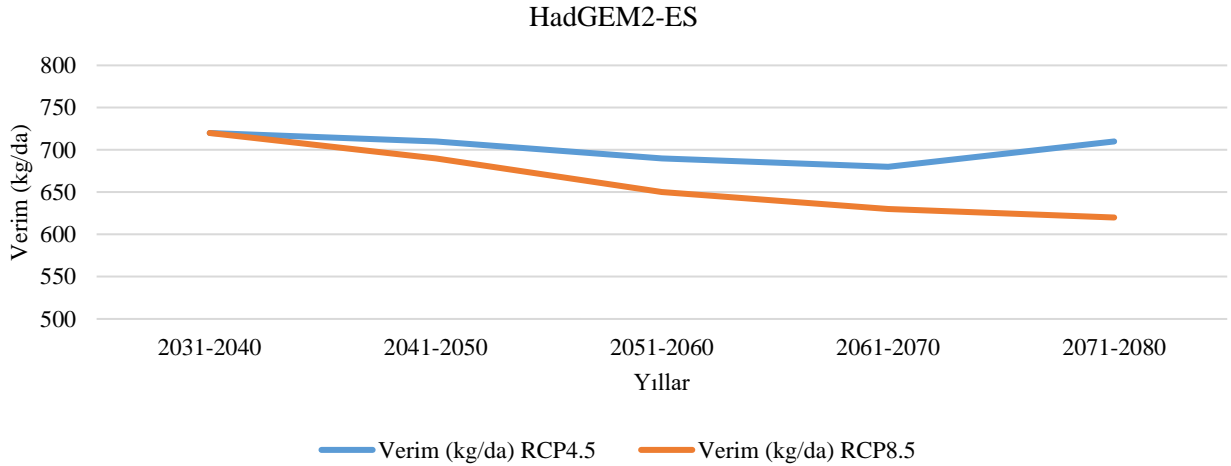
Çizelge 6. Gelecek yıllar en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim değerleri ve 2021-2022 döneminden (670 kg/ha) sapma miktarı

Table 6. The lowest and highest temperature, solar radiation and precipitation variable yield data in the future periods and the amount of deviation from 2021-2022 period (670 kg/ha)

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



Şekil 4. En düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim değerleri (kg/da)
Figure 4. The lowest and highest temperature, solar radiation and precipitation variable predicted yield data



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

Figure 5. HADGEM2-ES MODEL RCP4.5 and RCP8.5 scenarios the lowest and the highest temperature, solar radiation and precipitation variable forecasted yield data

Şekil 5'te görüldüğü gibi 2031-2040 döneminden itibaren RCP4.5 senaryosundaki verim tahminleri RCP8.5 senaryosundaki verim tahminlerinden daha yüksektir. Bunun sebebini ise Çizelge 3'teki 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 5'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.

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 3'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 6'da görüldüğü RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosundaki verim tahminleri Çizelge 3'teki 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 6'da 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.

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 7 ve Şekil 7'de 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 Devci (2022) tarafından yapılan çalışma ile ilişkilendirilebilir. Bu çalışmada en yüksek buğday verim değerini ortalama en düşük ve ortalama en yüksek sıcaklıkların 3°C artırılması ve solar radyasyonun %30 artırılması 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 7'de ise bu durum en düşük 2021-2022 döneminden -%7,5 verim azalışı ve %19,4 verim artışı olarak görülmektedir.

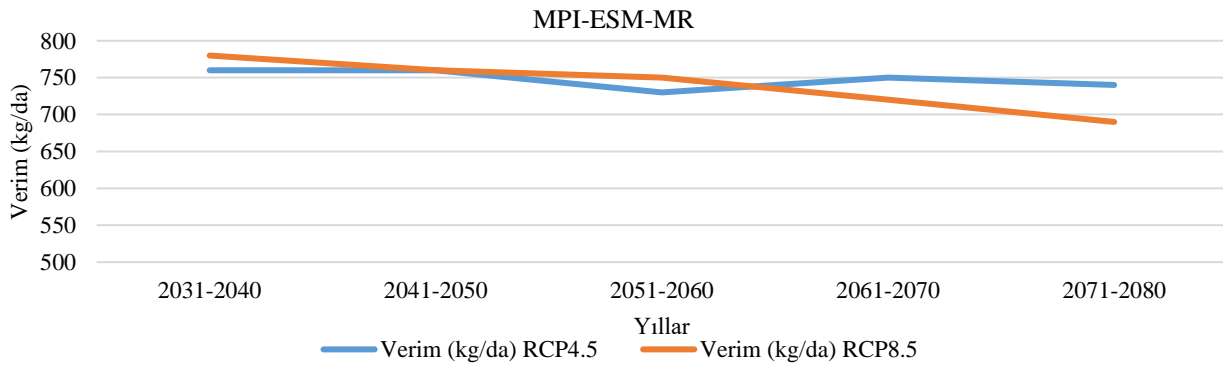
Çizelge 7 ve Şekil 7 incelendiğinde HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR iklim modellerinin RCP8.5 senaryosunda kısa dönemden uzun döneme doğru gidildikçe verim azalışları olacağı, her iki iklim modelinde ise RCP4.5 senaryosunda dönem dönem azalışlar ve artışlar olacağı tahmin edilmiştir.

HadGEM2-ES iklim modelinde Çizelge 7'de 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 6'da 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.

Çizelge 7. Gelecek yıllar en düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim değerleri ve 2021-2022 döneminden (670 kg/ha) sapma miktarı

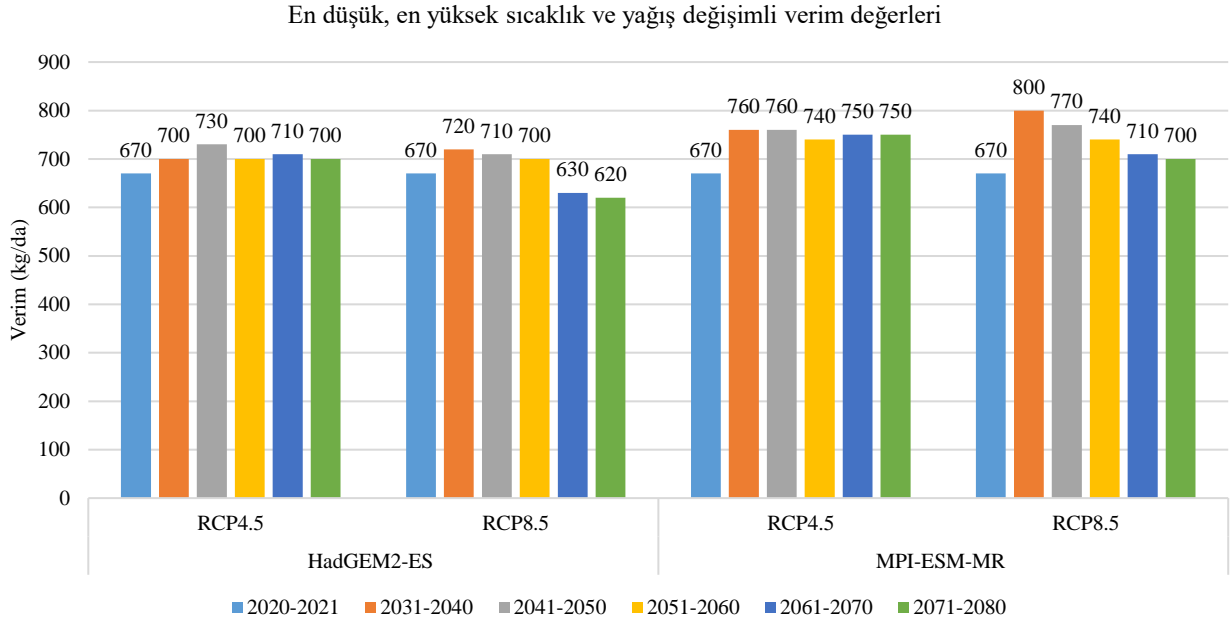
Table 7. The lowest and highest temperature and precipitation variable yield data in the future periods and the amount of deviation from 2021-2022 period (670 kg/ha)

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

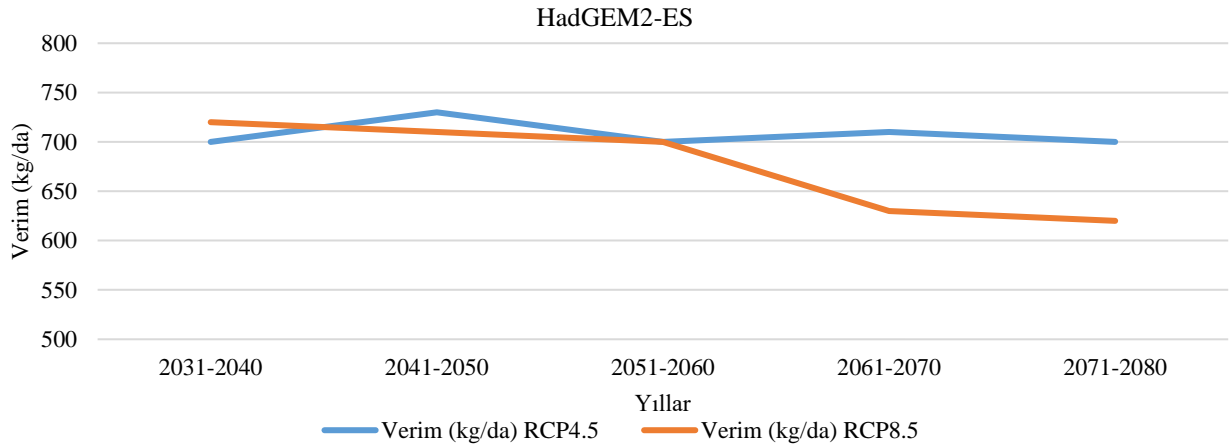


Şekil 6. MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim değerleri

Figure 6. MPI-ESM-MR Model RCP4.5 and RCP8.5 scenarios the lowest and the highest temperature, solar radiation and precipitation variable forecasted yield data



Şekil 7. En düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim değerleri
Figure 7. The lowest and highest temperature and rainfall variable forecasted yield data



Şekil 8. HadGEM2-ES modeli RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları en düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim değerleri

Figure 8. HADGEM2-ES MODEL RCP4.5 and RCP8.5 scenarios the lowest and the highest temperature and rainfall variable forecasted yield data

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 7). Şekil 8'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 3'te 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 9'da 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.

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 8’de 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 8). Devenci ve Konukcu (2022) tarafından yapılan çalışmada LINTUL modelde buğday verimi tahmininde en etkili parametre olarak solar radyasyonu belirlemişlerdir. Ayrıca Devenci (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 olduğu kabul edilmiştir. Bu çalışmada ise Şekil 3’te 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/m²/gün iken 2004-2021 dönemi ortalama solar radyasyon değerleri 14,1 MJ/m²/gün olduğu görülmektedir. Yani gelecek dönem her ne kadar solar radyasyon değeri 0,4 MJ/m²/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.

Verim Tahmini Sonuçlarının Değerlendirilmesi

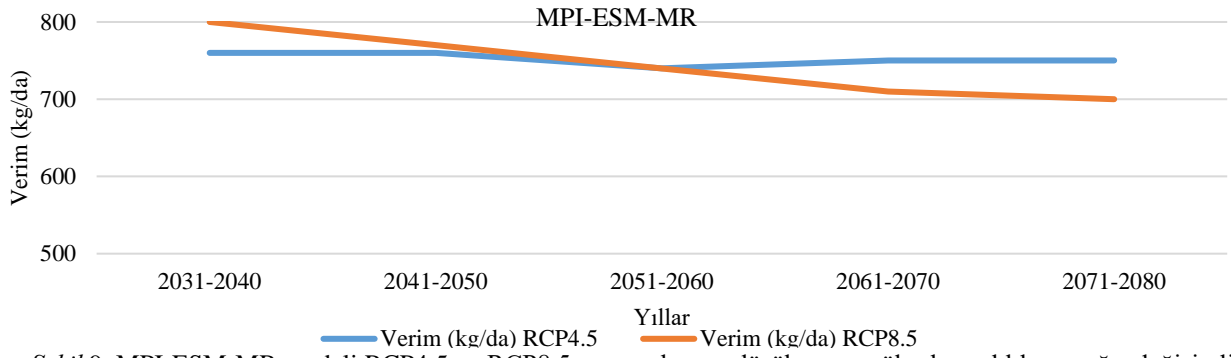
Bu çalışmada verim tahmini en düşük ve en yüksek sıcaklık, solar radyasyon ve yağış değişimli verim tahmini ile en düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli olmak üzere iki şekilde yapılmıştır. Tekirdağ ili Malkara ilçesinde LINTUL model ile MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES iklim modellerinin RCP4.5 ve 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’de %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 6). 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 7).

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.

Çizelge 8. 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

Table 8. The lowest and highest temperature and precipitation variable yield forecasts differences from the lowest and highest temperature, solar radiation and precipitation change yield forecasts

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



Şekil 9. MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları en düşük ve en yüksek sıcaklık ve yağış değişimli verim değerleri

Figure 9. MPI-ESM-MR Model RCP4.5 and RCP8.5 scenarios the lowest and the highest temperature and rainfall variable forecastwed yield data

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), Özdoğan (2011), Koç (2011), Çaylak (2015), Deveci (2015), Altürk ve ark. (2019), Konukcu ve ark. (2020), Deveci (2022) 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.

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 olduğundan toprakların kaybedilmemesi ve tarım alanlarının muhafaza edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Ahmet Coşkun'un "Trakya Bölgesi'nde İklim Değişikliğinin Buğday Verimine Etkisinin Tahmin Edilmesi" isimli yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

- Altürk B, Bakanoğulları F, Konukcu F, Albut, S. 2019. TR21 Trakya Bölgesi'nde iklim değişikliğinin ayçiçeği ve buğday verimine etkisinin modellenmesi. In: Konukcu F, Albut S, Altürk A (Ed). TR21 Trakya Bölgesinde iklim değişikliğinin etkileri ve uyum stratejileri. Namık Kemal Üniversitesi Yayınları No: 2.08-027-0030/A-I, 104-117. https://iklimdegisikligi.tekirdag.bel.tr/file/iklim_degisikligi_kitabi.pdf [Erişim tarihi 28 Şubat 2023].
- Anonim. 2022a. Buğday Bülteni. <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/Belgeler/YATIRIMCI%20 REHBER%C4%B0%20%C4%9Fday%20 May%C4%B1s%20B%C3%BCiteni.pdf> [Erişim tarihi 28 Şubat 2023].
- Anonim. 2022b. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m= TEKIRDAG> [Erişim tarihi 11 Mart 2022].

- Çaldağ B. 2009. Trakya Bölgesi'nin Tarımsal Meteorolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 258 s, İstanbul.
- Çaldağ B, Şaylan L. 2010. İklim değişikliğinin buğday verimine etkilerinin incelenmesi: Kırklareli örneği. İTÜ Dergisi, 9 (5): 107-112.
- Çaylak O. 2015. İklim Değişikliğinin Buğday Bitkisinin Gelişimi Ve Verimine Olası Etkilerinin Bitki-İklim Simulasyon Modeli İle İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 68 s, İstanbul.
- De Myttenaere A, Golden B, Le Grand B, Rossi F. 2016. Mean absolute percentage error for regression models. *Neurocomputing*, 192: 38-48. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.12.114>
- Deveci H. 2015. Trakya Bölgesi'nde İklim Değişikliğinin Yüzeysel Su Kaynakları, Toprak Nemi Ve Bitki Verimine Etkisinin Modellenmesi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 210 s, Tekirdağ.
- 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, 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 KS, Leffelaar, PA, Franke AC, Mando A, Giller KE. 2018. Simulating drought impact and mitigation in cassava using the LINTUL model. *Field Crops Research*, 219: 256-272. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.033>
- Franke AC, Haverkort AJ, Steyn JM. 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. <https://doi.org/10.1007/s11540-013-9229-x>
- Haverkort AJ, Verhagen A, Grashoff AC, Uithol P. WJ. 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 AJ, Franke AC, Engelbrecht FA, Steyn, JM. 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. <https://doi.org/10.1007/s11540-013-9230-4>
- Haverkort AJ, Franke AC, Steyn JM, Pronk AA, Caldiz DO, Kooman PL. 2015. A Robust potato model: LINTUL-potato-DSS. *Potato Research*, 58(4): 313-327. <https://doi.org/10.1007/s11540-015-9303-7>
- Koç EM. 2011. İklim Değişikliğinin Tarıma Olası Etkilerinin WOFOST Bitki İklim Modeli İle Araştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 77 s, İstanbul.
- 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. <https://doi.org/10.33462/jotaf.593883>
- Kooman PL, Haverkort AJ. 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. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0051-9_3
- Machakaire AT, Steyn JM, Caldiz DO, Haverkort AJ. 2016. Forecasting yield and tuber size of processing potatoes in South Africa using the LINTUL-potato-DSS model. *Potato research*, 59 (3): 195-206. <https://doi.org/10.1007/s11540-016-9321-0>
- 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 Şubat 2022].
- Nash JE, Sutcliffe JV. 1970. River flow forecasting through conceptual models; part I-A discussion of principles; *Journal of Hydrology*; No. 10: 282-290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Özdoğan M. 2011. Modeling the impacts of climate change on wheat yields in Northwestern Turkey. *Agriculture, ecosystems & environment*, 141(1-2): 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.001>
- Süzer S. 2022. Buğday yetiştiriciliği. <http://hayrabolutb.org.tr/media/ziraat/BugdayTarimi.pdf>. [Erişim tarihi 18 Şubat 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.
- Van Haren RJF, Haverkort AJ. 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. 41-49.
- Volta A, Villani G, Marletto V, 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, 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. <https://doi.org/10.3354/cr030079>
- 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 AK, Cakici M, Aydoğan N, Omezli S, Yerlikaya BA, Ayten S, ... Haverkort AJ. 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. <https://doi.org/10.1007/s11540-020-09457-x>