

Bölüm 7

TR21 Trakya Bölgesi'nde İklim Değişikliğinin Ayçiçeği ve Buğday Verimine Etkisinin Modellenmesi

Bahadır ALTÜRK¹, Fatih BAKANOGULLARI², Fatih KONUKCU³, Selçuk ALBUT³

¹ Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ
balturk@nku.edu.tr

²Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Kırklareli
fatih.bakanogullari@tarimorman.gov.tr

³ Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ
fkonukcu@nku.edu.tr; salbut@nku.edu.tr

1. Giriş

İklim-toprak-besin birleşiminin 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 (Kadıoğlu ve diğ., 2017). 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).

Türkiye sahip olduğu farklı iklim bölgeleri sayesinde ürün çeşitliliğinin çok olduğu bir ülkedir. Bu çeşitliliğin neticesinde tarımsal üretimde Dünya'da öne çıkan ülkeler arasında yer almaktadır. Özellikle verimli tarım arazilerine sahip Trakya Bölgesi'nde, buğday ve ayçiçeği

retimi önemli yer tutmaktadır. Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli illerini kapsayan TR21 Bölgesi Türkiye yzlmnn %2.3'lk kısmını kaplamasına rağmen, 2017 yılı verilerine göre; Türkiye buğday üretiminin %9.03'n (Anonim, 2018a), ayıeği üretiminin ise %44.81'ini karęılamaktadır (Anonim, 2018b).

Bitki gelişim simulasyon modelleri, bitkisel üretim aşamalarını izlemeye ve tahmin etmeye yararlanan en önemli araçlardan bir tanesidir. Bu modellerde iklim, toprak ve üretim yönetimi koşullarında, bitkinin fizyolojik gelişme aşamaları dinamik olarak tanımlanmaktadır (Ma ve diğ., 2006). Bu çalışmada, bitki gelişim aşamalarının belirlenmesi ve verim tahmini için WOFOST modelinden faydalanılmıştır. Trakya Bölgesi'nde, WOFOST ile yapılan önceki çalışmalarda, modelin buğday verimini (aldağ ve diğ., 2012; Konukcu ve diğ., 2017) ve ayıeği verimini (Koç, 2011) tahmin etmeye başarılı bir performans gösterdiği ve geleceğe yönelik tahminlerde bu modelin güvenilir bir şekilde kullanılabileceği ortaya koyulmuştur. Her ne kadar ülkemizde farklı bölgeler için bitki verim tahminine yönelik modelleme çalışmaları son yıllarda artmış olsa da, yeni temsili seragazı konsantrasyon rotalarına (RCP2.6, RCP4.5, RCP6 ve RCP8.5) dayalı iklim değişikliğinin (IPCC, 2014), bitki gelişimi ve bitki verimi üzerine etkisini belirlemeye yönelik yapılan çalışmalar henüz sınırlıdır. Bu araştırmada, CMIP5 arşivinden seçilmiş HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR küresel modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 salım senaryoları ıktıları ile TR21 Bölgesi'nde iklim değişikliğinin buğday ve ayıeği verimine etkisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

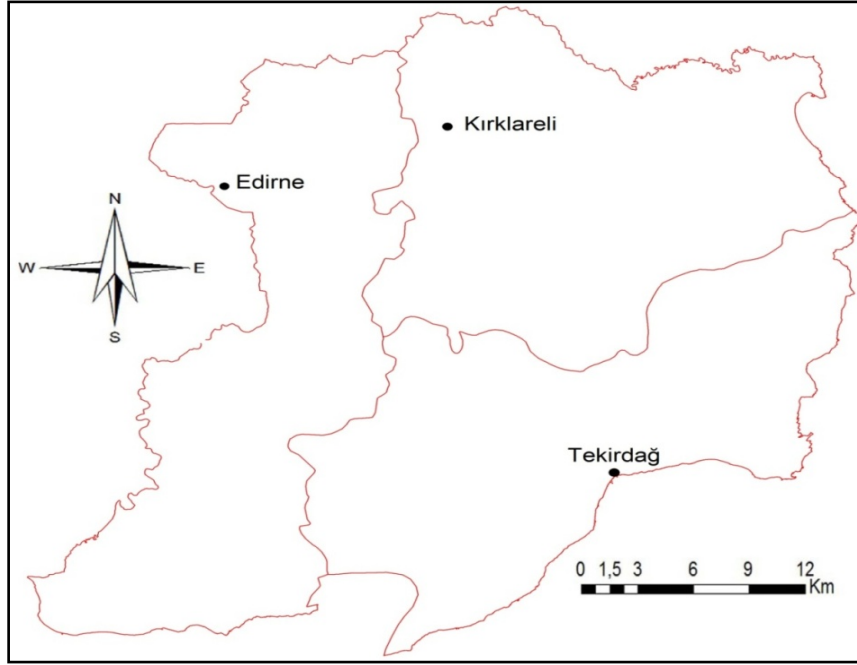
2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

TR21 Bölgesi Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinin tamamını kapsamaktadır. Buğday ve ayıeği verim tahmininde Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü-Edirne (D 27° 12', K 41° 42'), Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü-Kırklareli (D 26° 35', K 41° 38') ve Namık Kemal Üniversitesi-Tekirdağ'da (D 27° 58', K 40° 99') kurulan denemelere ait veriler kullanılmıştır (şekil 1). 3 il de Trakya Bölgesi'nde bulunmasına karşın Edirne il sınırlarında karasal iklim koşulları, Tekirdağ il sınırlarında yarı karasal ve nemli iklim koşulları, Kırklareli il sınırlarında ise karasal iklim koşulları ile birlikte bir bölümünde Karadeniz ikliminin nemli koşulları hüküm sürmektedir.

2.2. Bitki Verim Tahmininin Modellenmesi

Araştırmada kullanılan WOFOST modeli, Wageningen (Netherlands), Alterra, Wageningen University & Research Centre tarafından geliştirilen bitki gelişim benzeşim modelidir. Araştırmada kullanılan WOFOST modeli, Wageningen (Netherlands), Alterra, Wageningen University & Research Centre tarafından geliştirilen bitki gelişim benzeşim modelidir. Modelde, tek yıllık bir bitkinin toprak ve iklim koşullarına bağlı olarak ekolojik büyümesi



Şekil 1. Bitki verim tahmininin yapıldığı örnekleme bölgeleri

tahmin edilmektedir. Üretim; potansiyel koşullar, su ve gübre limitli koşullar altında belirlenebilmektedir (Boogaard ve diğ., 2014). Modelde 4 temel girdi verisi; bitki, iklim, toprak ve fenolojik zamanlar bulunmaktadır. Model, bitkinin gelişme aşamalarına yönelik biyokütle miktarı, dane verimi, yaprak alan indeksi, termal sıcaklıkların toplamı, toprak su bileşenleri dengesi, terleme vb. parametreler hakkında her bir üretim seviyesi için detaylı çıktı vermektedir (Boogaard ve diğ., 2014). Araştırmada, gübre ve su limitlerinin bitkilerin gelişimini sınırlamadığı potansiyel üretim koşulları altında verim tahmini hesaplanmıştır.

Modelin sonuçları ve gözlem değerlerinin tutarlılığı modele ait girdi parametrelerinin güvenilirliğine bağlıdır. Bu veriler de kontrollü deneme alanlarında yapılan bitki ıslah ve gelişimine yönelik araştırma çalışmaları sayesinde elde edilmektedir. Bu bağlamda TR21 Bölgesi'nin farklı iklim koşullarını temsil eden modelleme alanları; Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ için modele ait bitki ve toprak girdileri sırasıyla, Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü ve Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi'nden elde edilmiştir. Modellemenin kalibrasyon aşamasında meteorolojik girdi olarak, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün Edirne merkez, Kırklareli merkez ve Tekirdağ merkez ölçüm istasyonlarının verileri kullanılmıştır.

2.2.1. Modelin Kalibrasyonu

Kalibrasyon aşamasında dikkat edilecek hususlardan bir tanesi bitkilerin fenolojik gelişme dönemlerine ait ortalama tarihlerinin, kalibre edilen dönem için bölge değerleri civarında olmasıdır. Bu tarihler verim tahmininde modelin performansını etkilemektedir. Bununla birlikte modelleme yapılan alanların uzun dönemli verim ortalaması kalibrasyon yapılan

zaman dilimindeki gözlem verimlerine yakın değerler olmalıdır. Bunun sebebi farklı meteorolojik koşullar sebebiyle yıllar temelinde verim değerlerinde fazla sapmalar meydana gelmesidir. Araştırmada deneme alanlarını kapsayan Edirne, Tekirdağ ve Kırklareli il merkezi sınırları için buğday ve ayçiçeği verimlerinin referans dönemi 2007-2017 olarak belirlenmiştir. 2007-2017 yılına ait verimlerin ortalaması Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TÜİK) elde edilmiştir.

Kalibrasyon sürecinde Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ bölgeleri için gözlemlenen ve modellenen verim değerleri arasındaki mutlak ve bağıl hata buğday ve ayçiçeği bitkisi için değerlendirilmiştir.

2.2.2. İklim Değişikliğinin Bitki Verimine Etkisi

Buğday ve ayçiçeği verimlerinin geleceğe yönelik tahminlerinde, TR21 Bölgesi'nin farklı iklim koşullarını temsil eden üç bölge için, Orman ve Şu İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün "İklim Değişiminin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi" kapsamında temsili seragazi konsantrasyon rotalarına dayanan senaryolar ve iklim modelleri ile 2015-2100 dönemi için 10x10 km çözünürlükte üretilen meteorolojik veriler kullanılmıştır. Bu kapsamda, bitki verim tahmininde kullanılmak üzere, RegCM4.3 bölgesel iklim modelinin başlangıç ve sınır koşullarını oluşturan HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR küresel iklim modellerinin simülasyonları, RCP4.5 ve RCP8.5 temsili konsantrasyon rotalarına dayanarak 10x10 km grid çözünürlüğünde ve 20 yıllık dönemler (2020-2040, 2040-2060, 2060-2080, 2080-2099) halinde, en düşük ve en yüksek sıcaklıklar, solar radyasyon, buhar basıncı, ortalama rüzgar hızı ve toplam yağış parametreleri için günlük olarak hesaplanmıştır. Verim tahmininin geleceğe yönelik modellemesinde kullanılan iklim simülasyonlarına ait meteorolojik değerler, örnekleme bölgelerini temsil eden Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ meteoroloji gözlem istasyonlarının bulunduğu 10x10 km çözünürlüklü gride karşılık gelen alanlar için 2007-2017 referans dönemi temel alınarak hesaplanmıştır.

Verimdeki değişimin nedenlerini anlayabilmenin en önemli koşullarından bir tanesi modelleme yapılan bitkinin gelişme döneminde hangi meteorolojik parametrelere daha duyarlı olduğunu belirlemektir. Hassasiyet analizleri bitkilerin meteorolojik değişimlere nasıl tepki verdiğini anlamak için yapılan hesaplamalardır. Sıcaklık, yağış ve radyasyondaki değişimler bitkinin fenolojik dönemlerine etki eden en önemli değişkenlerdir (Mearns ve diğ., 1992; Şaylan, 1995; Çaldağ, 2009; Koç, 2011; Konukcu ve diğ., 2017). Bu bakımdan sıcaklık, yağış ve radyasyondaki değişimler gelecekte verim miktarının değişiminde önemli rol oynayacaktır.

3. Bulgular

3.1. Kalibrasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneme alanlarında, araştırma bölgelerinin 2007-2017 dönemine ait ortalama verim değerlerine yakın olan değerlerin elde edildiği yıllar kalibrasyon dönemi olarak belirlenmiştir.

Örnekleme bölgesini temsil eden Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ il merkezi sınırları için 2007-2017 dönemi buğday verimi ortalamaları sırasıyla, 400 kg/da, 335 kg/da, 411 kg/da, ayçiçeği verimi ortalaması sırasıyla, 214 kg/da, 204 kg/da, 202 kg/da'dır. Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ için buğday bitkisine ait sonuçlar Çizelge 1'de, ayçiçeği bitkisine ait sonuçlar Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Buğday verim tahmininde WOFOST modeli ile elde edilen mutlak ve bağıl hata değerleri

İller	Gözlemlenen Verim (kg/da)	Modellenen Verim (kg/da)	Mutlak Hata (kg/da)	Bağıl Hata (%)
Edirne	450	412	38	8.44
Kırklareli	444	403	41	9.23
Tekirdağ	475	454	21	4.42

Çizelge 2. Ayçiçeği verim tahmininde WOFOST modeli ile elde edilen mutlak ve bağıl hata değerleri

İller	Gözlemlenen Verim (kg/da)	Modellenen Verim (kg/da)	Mutlak Hata (kg/da)	Bağıl Hata (%)
Edirne	230	209	21	9.13
Kırklareli	220	251	31	14.09
Tekirdağ	310	293	17	5.48

Buğday verim tahmininde, modellenen değerlerin gözlemlenen değerlere yakın sonuçlar verdiği ve gözlemlenen değerlerden daha az olduğu, Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ için mutlak hata değerlerinin sırasıyla, 38 kg/da, 41 kg/da ve 21 kg/da, bağıl hata değerlerinin sırasıyla, %8.44, %9.23, %4.42 olduğu Çizelge 1'de görülmektedir. Çizelge 2'de, ayçiçeği verim tahmininde, buğday verim tahmininde olduğu gibi modellenen değerlerin gözlemlenen değerlere yakın sonuçlar verdiği, Edirne ve Tekirdağ için model değerlerinin gözlemlenen değerlerden daha az olduğu, Kırklareli için daha fazla olduğu görülmektedir. Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ için mutlak hata değerleri sırasıyla, 21 kg/da, 31 kg/da ve 17 kg/da, bağıl hata değerleri sırasıyla, %9.13, %14.09 ve %5.48 hesaplanmıştır.

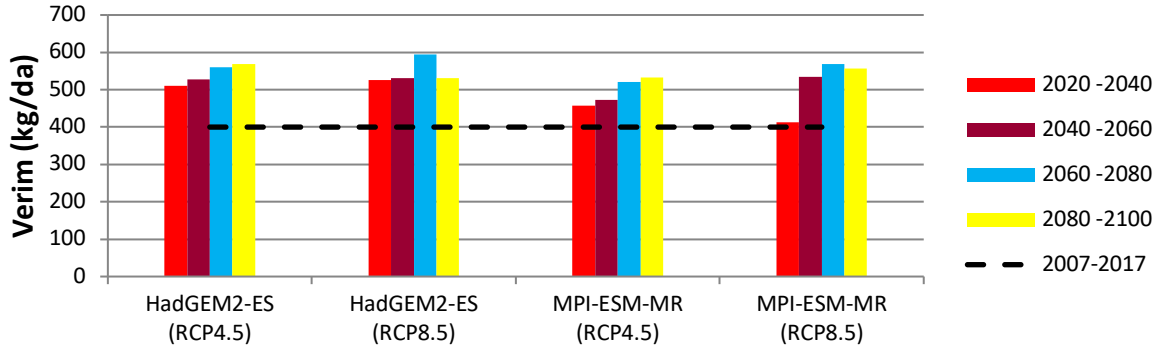
3.2. İklim Değişikliğinin Buğday ve Ayçiçeği Verimine Etkisi

Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ bölgeleri için buğday ve ayçiçeği verimindeki değişimler RCP4.5 ve RCP8.5 temsili konsantrasyon rotalarına göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR modellerine dayalı olarak 2020-2040, 2040-2060, 2060-2080 ve 2080-2099 dönemleri için belirlenmiştir.

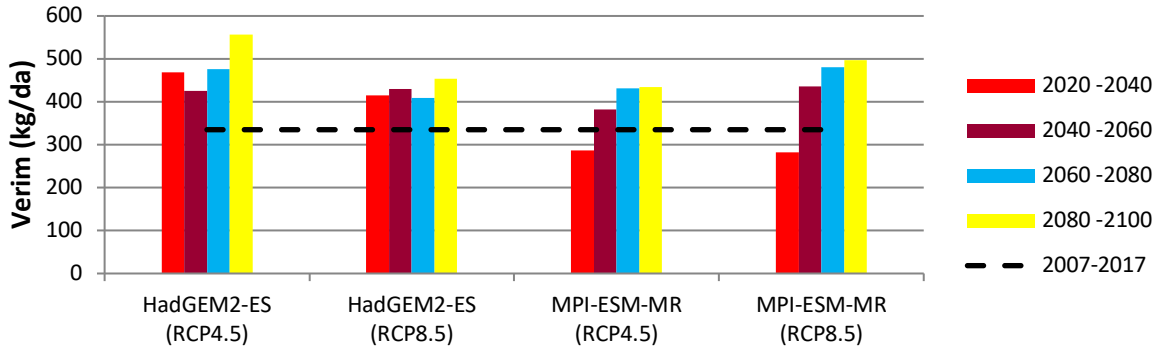
3.2.1. Geleceğe Yönelik Buğday Verimi Tahmini

Buğday verimi tahminleri; Edirne bölgesi için Şekil 2'de, Kırklareli bölgesi için Şekil 3'de ve Tekirdağ bölgesi için Şekil 4'de gösterilmiştir. Verim tahminleri ile beraber yağış, sıcaklık ve

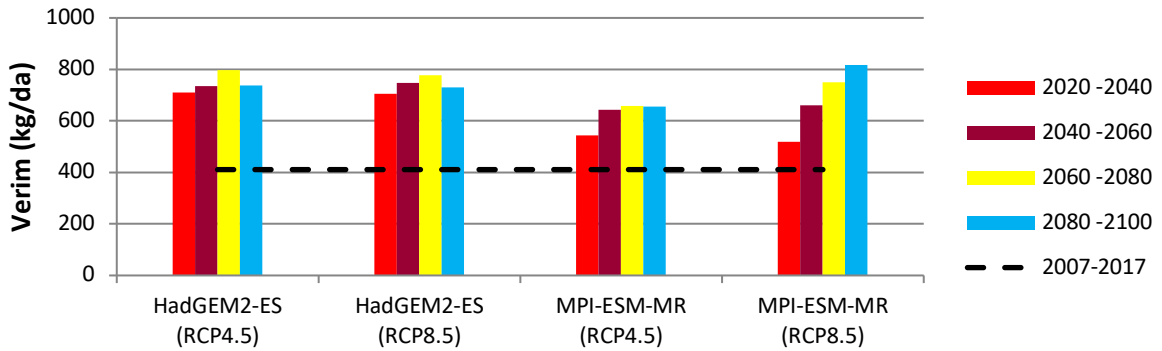
solar radyasyon değerlerinde meydana gelebilecek değişimler (2007-2017 referans dönemine göre) Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ için sırasıyla, Çizelge 3, Çizelge 4 ve Çizelge 5'de sunulmuştur.



Şekil 2. Edirne bölgesinde HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR modelleri ve RCP4.5 RCP8.5 senaryolarına göre 20 yıllık dönemlerde buğday verimi tahmini.



Şekil 3. Kırklareli bölgesinde HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR modelleri ve RCP4.5 RCP8.5 senaryolarına göre 20 yıllık dönemlerde buğday verimi tahmini.



Şekil 4. Tekirdağ bölgesinde HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR modelleri ve RCP4.5 RCP8.5 senaryolarına göre 20 yıllık dönemlerde buğday verimi tahmini.

Çizelge 3. Edirne ilinde buğdayın ekimden hasada kadar olan dönemi süresince solar radyasyon, sıcaklık ve yağış parametrelerindeki ve buğday verimindeki 20'şer yıllık değişim.

Model/Dönemler	Yağış (%)		Solar Radyasyon (%)		En düşük sıcaklık (°C)		En yüksek sıcaklık (°C)		Verim değişimi (%)	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
HadGEM2-ES										
2020 -2040	-15.9	-10.4	17.5	15.4	0.7	0.4	0.5	0.0	28	32
2040 -2060	-15.9	-23.6	16.5	17.8	0.9	1.1	0.5	0.9	32	33
2060 -2080	-18.3	-24.7	17.6	18.2	1.2	2.4	1.0	2.3	40	48
2080 -2098	-18.0	-23.6	17.5	18.8	1.5	3.5	1.3	3.3	42	33
MPI-ESM-MR										
2020 -2040	-29.3	-24.7	18.9	17.7	-0.2	-0.4	-0.1	-0.5	14	3
2040 -2060	-18.9	-25.0	17.5	17.2	0.1	0.4	-0.1	0.2	18	34
2060 -2080	-26.3	-31.8	17.3	19.1	0.3	1.2	0.1	1.2	30	42
2080 -2099	-22.9	-35.9	16.9	20.6	0.4	2.1	0.1	2.3	33	39

Çizelge 4. Kırklareli ilinde buğdayın ekimden hasada kadar olan dönemi süresince solar radyasyon, sıcaklık ve yağış parametrelerindeki ve buğday verimindeki 20'şer yıllık değişim.

Model/Dönemler	Yağış (%)		Solar Radyasyon (%)		En düşük sıcaklık (°C)		En yüksek sıcaklık (°C)		Verim değişimi (%)	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
HadGEM2-ES										
2020 -2040	-14.9	-13.8	23.6	17.5	0.8	0.4	0.2	1.2	40	24
2040 -2060	-21.8	-13.7	22.6	16.5	1.0	0.7	0.3	1.3	27	29
2060 -2080	-18.5	-16.2	23.3	17.6	1.3	1.0	0.7	1.8	42	22
2080 -2098	-19.5	15.9	23.6	17.5	1.6	1.3	1.0	2.0	66	36
MPI-ESM-MR										
2020 -2040	-27.8	-22.5	24.4	23.4	-0.1	-0.3	-0.5	-0.8	-15	-16
2040 -2060	-17.0	-24.5	22.7	22.8	0.3	0.5	-0.4	-0.1	14	30
2060 -2080	-20.7	-28.6	22.7	24.8	0.4	1.3	-0.2	0.8	29	44
2080 -2099	-19.7	-35.8	22.3	26.2	0.5	2.2	-0.2	1.9	30	48

Çizelge 5. Tekirdağ ilinde buğdayın ekimden hasada kadar olan dönemi süresince solar radyasyon, sıcaklık ve yağış parametrelerindeki ve buğday verimindeki 20'şer yıllık değişim.

Model/Dönemler	Yağış (%)		Solar Radyasyon (%)		En düşük sıcaklık (°C)		En yüksek sıcaklık (°C)		Verim değişimi (%)	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
HadGEM2-ES										
2020 -2040	1.0	8.8	10.5	8.6	2.3	2.3	0.0	-0.2	73	72
2040 -2060	4.2	-3.2	9.5	9.5	2.7	2.9	0.3	0.5	79	82
2060 -2080	4.0	-0.3	9.7	9.7	3.0	4.1	0.7	1.8	94	89
2080 -2098	-5.5	1.2	9.8	9.8	3.1	5.1	0.9	2.8	80	78
MPI-ESM-MR										
2020 -2040	-5.6	2.7	11.8	10.3	1.4	1.2	-0.7	-1.0	32	26
2040 -2060	9.8	-2.0	9.6	10.8	1.8	1.9	-0.6	-0.3	57	61
2060 -2080	2.2	-15.3	10.2	11.6	1.9	2.6	-0.4	0.5	60	82
2080 -2099	0.0	-20.6	9.5	12.6	1.9	3.7	-0.4	1.6	60	99

Edirne için üretilmiş sonuçlara göre, ortalama buğday veriminin her iki modele ait çıktılar doğrultusunda hem RCP4.5 hem de RCP8.5 senaryolarına göre artacağı belirlenmiştir (Şekil 2). Referans dönemle kıyaslandığında, en fazla artışın 2060-2080 döneminde %48 (594 kg/da) olacağı, en az artışın ise 2020-2040 döneminde %3 (421 kg/da) olacağı Çizelge 3'de belirtilmektedir.

Kırklareli için üretilmiş sonuçlara göre, ortalama buğday veriminin özellikle HadGEM2-ES modeline ait çıktılar doğrultusunda hem RCP4.5 hem de RCP8.5 senaryosuna göre artacağı (Şekil 3), MPI-ESM-MR modeline ait çıktılara göre, 2020-2040 döneminde %15-16 azalacağı, daha sonraki üç dönemde ise artacağı Çizelge 4'de belirtilmektedir. Referans dönemle kıyaslandığında, en fazla artışın 2080-2098 döneminde %66 (557 kg/da) olacağı, en fazla azalışın 2020-2040 döneminde %16 (282 kg/da) olacağı sonucuna varılmıştır.

Tekirdağ için üretilmiş sonuçlara göre, buğday veriminin özellikle her iki modele ait çıktılar doğrultusunda hem RCP4.5 hem de RCP8.5 senaryosuna göre artacağı Şekil 4'de belirtilmektedir. Referans dönemle kıyaslandığında, en fazla artışın 2080-2098 döneminde %99 (818 kg/da) olacağı, en az artışın ise 2020-2040 döneminde %26 (519 kg/da) olacağı sonucuna varılmıştır (Çizelge 5).

Bitki gelişimini etkileyen en önemli iklim parametrelerinden yağış, sıcaklık ve radyasyondaki değişim üç bölge için farklılık göstermektedir. Referans döneme göre, Edirne bölgesinde toplam yağışların 2020-2099 dönemini boyunca yaklaşık %10 - %36 aralığında azalacağı, solar radyasyon miktarında yaklaşık %15 - %20 aralığında artış olacağı belirlenmiştir. En düşük ve en yüksek sıcaklıklarda ise 2020-2040 dönemi hariç artış olacağı belirlenmiştir. Model ve senaryo sonuçları beraber değerlendirildiğinde, en düşük sıcaklıklar için, 2040 yılından sonra yüzyılın sonuna kadar sıcaklık artışının 0.1 °C - 3.5 °C aralığında olacağı hesaplanmıştır (Çizelge 3). En yüksek sıcaklıklarda özellikle 2080-2098 döneminde HadGEM2-ES modeli RCP8.5 senaryosuna göre 3.3 °C artış beklenmektedir (Çizelge 3).

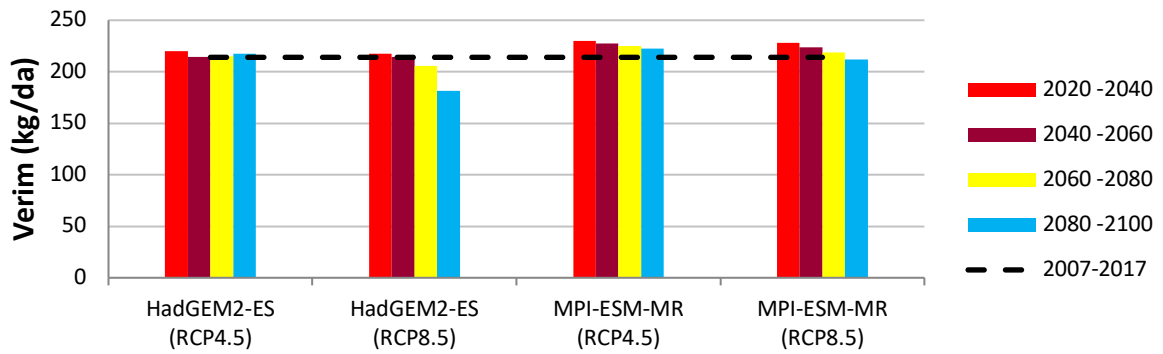
Kırklareli bölgesinde toplam yağışların 2020-2099 döneminde yaklaşık %13 - %36 aralığında azalacağı, solar radyasyon miktarında yaklaşık %16 - %26 aralığında artış olacağı belirlenmiştir. En düşük sıcaklıklarda 2020-2040 dönemi hariç artış olacağı, en yüksek sıcaklıklarda ise HadGEM2-ES modeli çıktılarına göre artış olacağı ve MPI-ESM-MR modeli çıktılarına göre ise 2060 yılından sonra yüzyılın sonuna kadar RCP8.5 senaryo sonuçları hariç azalış olacağı belirlenmiştir. Model ve senaryo sonuçları beraber değerlendirildiğinde, en düşük sıcaklıklarda, en fazla artışın 2.2 °C ile 2080-2099 döneminde olacağı hesaplanmıştır (Çizelge 4). En yüksek sıcaklıklarda, RCP8.5 senaryosuna göre 2080-2098 döneminde sıcaklık artışı 2 °C olacaktır (Çizelge 4).

Çizelge 5 'de, Tekirdağ bölgesinin toplam yağışlarında, her iki model ve senaryo sonuçlarına göre, belirli bir artış ve azalış eğilimi gözükmemektedir. En fazla azalış %20 ile MPI-ESM-MR modeli RCP8.5 senaryosuna göre 2080-2099 döneminde, en fazla artış MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 senaryosuna göre 2040-2060 döneminde olacaktır. Projeksiyon dönemi boyunca solar radyasyon miktarında beklenen artış yaklaşık %8 - %12, en düşük sıcaklıklarda ise beklenen artış 1.2 °C - 5.1 °C aralığındadır (Çizelge 5). En yüksek

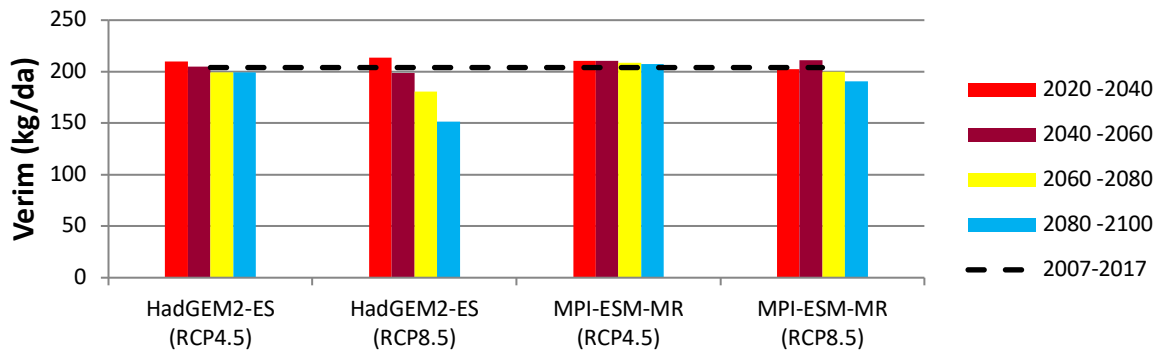
sıcaklıklarda, HadGEM2-ES modeli çıktılarına göre özellikle 2040 yılından sonra belirgin bir artışın olacağı, her iki modelin RCP8.5 senaryosuna göre 2080-2098 döneminde sıcaklık artışının 1.6 °C - 2.8 °C aralığında olacağı Çizelge 5'de gösterilmektedir. MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 çıktılarına ise RCP8.5 senaryosunun aksine 0.4°C - 0.7°C aralığında azalış beklenmektedir.

3.2.2. Geleceğe Yönelik Ayçiçeği Verimi Tahmini

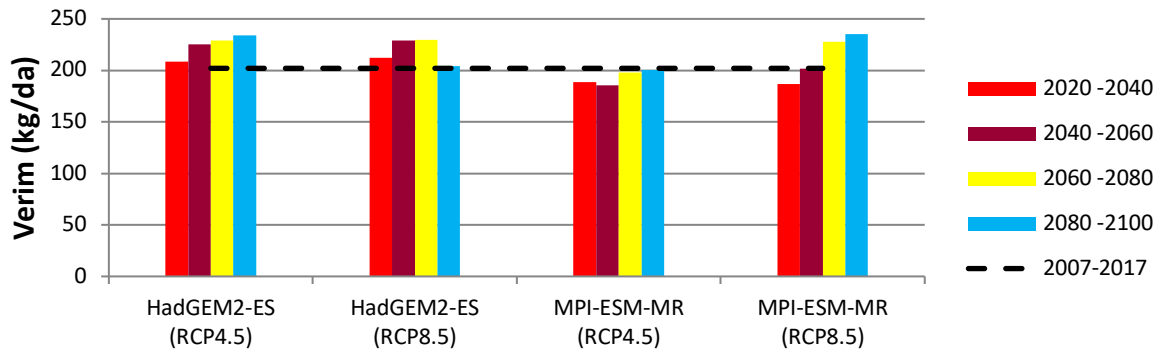
Ayçiçeği verim tahminleri Edirne bölgesi için Şekil 5'de, Kırklareli bölgesi için Şekil 6'da ve Tekirdağ bölgesi için Şekil 7'de gösterilmiştir. Verim tahminleri ile beraber, yağış, sıcaklık ve solar radyasyon değerlerinde meydana gelebilecek değişimler (2007-2017 referans dönemine göre) Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ için sırasıyla, Çizelge 6, Çizelge 7 ve Çizelge 8'de sunulmuştur.



Şekil 5. Edirne bölgesinde HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR modelleri ve RCP4.5 RCP8.5 senaryolarına göre 20 yıllık dönemlerde ayçiçeği verimi tahmini.



Şekil 6. Kırklareli bölgesinde HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR modelleri ve RCP4.5 RCP8.5 senaryolarına göre 20 yıllık dönemlerde ayçiçeği verimi tahmini.



Şekil 7. Tekirdağ bölgesinde HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR modelleri ve RCP4.5 RCP8.5 senaryolarına göre 20 yıllık dönemlerde ayçiçeği verimi tahmini.

Çizelge 6. Edirne ilinde ayçiçeği bitkisinin ekimden hasada kadar olan dönemi süresince solar radyasyon, sıcaklık ve yağış parametrelerindeki ve ayçiçeği verimindeki 20'şer yıllık değişim.

Model/Dönemler	Yağış (%)		Solar Radyasyon (%)		En düşük sıcaklık (°C)		En yüksek sıcaklık (°C)		Verim değişimi (%)	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
HadGEM2-ES										
2020 -2040	-38.8	-13.1	18.9	17.0	0.6	0.8	0.4	0.1	3	2
2040 -2060	-27.4	-20.7	17.3	17.2	1.4	1.9	0.7	1.3	0	0
2060 -2080	-22.5	-30.1	17.3	17.8	2.0	3.6	1.2	2.9	0	-4
2080 -2098	-24.6	-31.9	18.0	18.5	2.3	4.9	1.6	4.2	1	-15
MPI-ESM-MR										
2020 -2040	-15.7	-7.0	18.3	17.2	-0.3	-0.2	-0.7	-0.7	7	6
2040 -2060	7.2	-2.2	16.6	17.0	0.0	0.3	-0.8	-0.4	6	5
2060 -2080	6.7	-21.1	15.7	18.3	0.2	1.6	-0.7	1.1	5	2
2080 -2099	-9.0	-26.8	16.5	19.2	0.4	2.8	-0.4	2.5	4	-1

Çizelge 7. Kırklareli ilinde ayçiçeği bitkisinin ekimden hasada kadar olan dönemi süresince solar radyasyon, sıcaklık ve yağış parametrelerindeki ve ayçiçeği verimindeki 20'şer yıllık değişim.

Model/Dönemler	Yağış (%)		Solar Radyasyon (%)		En düşük sıcaklık (°C)		En yüksek sıcaklık (°C)		Verim değişimi (%)	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
HadGEM2-ES										
2020 -2040	-39.0	-17.3	-20.8	-21.8	0.6	0.8	0.5	0.3	3	5
2040 -2060	-26.8	-25.1	-21.9	-22.0	1.5	1.9	0.9	1.5	1	-3
2060 -2080	-19.9	-28.0	-21.8	-21.6	1.9	3.5	1.4	3.0	-2	-11
2080 -2098	-21.9	-36.2	-21.3	-21.1	2.2	4.7	1.8	4.3	-2	-26
MPI-ESM-MR										
2020 -2040	-21.6	-17.1	-21.3	-21.8	-0.4	-0.2	-0.6	-0.5	3	-1
2040 -2060	5.5	-9.1	-22.3	-22.0	0.0	0.3	-0.6	-0.2	3	4
2060 -2080	0.1	-27.1	-22.8	-21.0	0.1	1.5	-0.5	1.2	2	-2
2080 -2099	-8.1	-36.9	-22.4	-20.4	0.3	2.7	-0.3	2.5	2	-6

Çizelge 8. Tekirdağ ilinde ayçiçeği bitkisinin ekimden hasada kadar olan dönemi süresince radyasyon, sıcaklık ve yağış parametrelerindeki ve ayçiçeği verimindeki 20'şer yıllık değişim.

Model/Dönemler	Yağış (%)		Solar Radyasyon (%)		En düşük sıcaklık (°C)		En yüksek sıcaklık (°C)		Verim değişimi (%)	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
HadGEM2-ES										
2020 -2040	-41.4	-19.7	-6.5	-8.3	2.0	2.1	2.0	-2.2	3	5
2040 -2060	-32.9	-24.1	-8.0	-8.1	2.6	3.1	-1.6	-1.1	11	13
2060 -2080	-28.7	-28.9	-7.9	-7.9	3.1	4.4	-1.1	0.3	13	14
2080 -2098	-37.2	-27.9	-7.4	-7.7	3.3	5.6	-0.9	1.5	16	1
MPI-ESM-MR										
2020 -2040	-26.2	-22.1	-6.4	-7.5	0.8	0.8	-3.0	-3.1	-7	-8
2040 -2060	-9.5	-20.6	-8.4	-7.5	1.0	1.3	-3.2	-2.7	-8	0
2060 -2080	-11.7	-30.9	-8.6	-6.7	1.2	2.6	-3.0	-1.3	-2	13
2080 -2099	-18.8	-42.6	-8.3	-6.1	1.4	3.5	-2.7	-0.4	-1	17

Edirne için üretilmiş sonuçlara göre, ortalama ayçiçeği veriminin her iki modele ait çıktılar doğrultusunda çok fazla değişiklik göstermeyeceği, HadGEM2-ES RCP8.5 senaryosuna göre 2060 yılından sonra %4 - %15 aralığında azalacağı belirlenmiştir (Şekil 5). Referans dönemle kıyaslandığında, en fazla artışın, 2060-2080 döneminde %7 (230 kg/da) olacağı, en fazla azalışın ise 2080-2098 döneminde %15 (182 kg/da) olacağı Çizelge 6'da belirtilmektedir.

Kırklareli için üretilmiş sonuçlara göre, ortalama ayçiçeği veriminin her iki modele ait çıktılar doğrultusunda genel bir artış eğilimi göstermeyeceği (Şekil 6), HadGEM2-ES modeli RCP8.5 senaryosuna göre 2060 yılından sonra %11 - %26 aralığında azalacağı belirlenmiştir (Çizelge 7). Referans dönemle kıyaslandığında, en fazla artışın, 2020-2040 döneminde %5 (214 kg/da) olacağı, en fazla azalışın ise 2080-2098 döneminde %26 (152 kg/da) olacağı Çizelge 7'de belirtilmektedir.

Tekirdağ bölgesinde, ortalama ayçiçeği veriminin HadGEM2-ES modeli sonuçlarına göre artış göstereceği, MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 senaryosuna göre bütün dönemlerde ve RCP8.5 senaryosu 2020-2040 döneminde azalış göstereceği belirlenmiştir (Şekil 7). Referans dönemle kıyaslandığında, en fazla artışın, 2080-2099 döneminde %17 (235 kg/da) olacağı, en fazla azalışın ise 2020-2040 döneminde %8 (187 kg/da) olacağı Çizelge 8'de belirtilmektedir.

Buğday gelişme döneminde olduğu gibi, üç bölge için yağış, sıcaklık ve solar radyasyondaki değişimler ayçiçeği gelişme dönemi için analiz edilmiştir. Edirne bölgesinde, referans döneme göre, toplam yağışlarda, HadGEM2-ES modeli sonuçları ve MPI-ESM-MR modeli RCP8.5 senaryosu sonuçları azalış olacağına işaret etmektedir (Çizelge 6). Toplam yağışların özellikle 2020-2040 döneminde, RCP4.5 senaryosunda %38, RCP8.5 senaryosunda %13 azalacağı belirlenmiştir (Çizelge 6). Bununla birlikte 2040-2060 ve 2060-2080 dönemlerinde MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 senaryosuna göre toplam yağışta yaklaşık %7 artış beklenmektedir. Solar radyasyon miktarında bütün dönemler süresince yaklaşık %15 - %19 aralığında artış olacağı, en düşük sıcaklıklarda MPI-ESM-MR modeli 2020-2040 dönemi hariç artış olacağı belirlenmiştir. En düşük sıcaklıklardaki artış 0.2 °C -

4.9 °C aralığında olacaktır (Çizelge 6). En yüksek sıcaklıklarda, HadGEM2-ES modeline göre bütün dönemlerde ve MPI-ESM-MR modeli RCP8.5 senaryosuna göre 2060 yılından yüzyılın sonuna kadar artış, MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 senaryosunda genel olarak azalış beklenmektedir (Çizelge 6). Artışın 0.1 °C - 4.2 °C aralığında olacağı, azalışın ise 0.4 °C - 0.8 °C aralığında olacağı hesaplanmıştır (Çizelge 23).

Kırklareli bölgesinde, referans döneme göre, toplam yağışlarda, HadGEM2-ES modeli sonuçları ve MPI-ESM-MR modeli RCP8.5 senaryosu sonuçları azalış olacağına işaret etmektedir (Çizelge 7). Toplam yağışların özellikle 2020-2040 döneminde, RCP4.5 senaryosunda %39, RCP8.5 senaryosunda %17 azalacağı belirlenmiştir (Çizelge 7). Bununla birlikte 2040-2060 döneminde MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 senaryosuna göre toplam yağışta yaklaşık %5 artış beklenmektedir. Solar radyasyon miktarında bütün dönemler süresince yaklaşık %20 - %23 aralığında azalış olacağı, en düşük sıcaklıklarda MPI-ESM-MR modeli 2020-2040 dönemi hariç artış olacağı belirlenmiştir. En düşük sıcaklıklardaki artış 0.1 °C - 4.7 °C aralığında olacaktır (Çizelge 7). En yüksek sıcaklıklarda, HadGEM2-ES modeline göre bütün dönemlerde ve MPI-ESM-MR modeli RCP8.5 senaryosuna göre 2060 yılından yüzyılın sonuna kadar artış, MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 senaryosunda genel olarak azalış beklenmektedir (Çizelge 7). Artışın 0.3 °C - 4.3 °C aralığında olacağı, azalışın ise 0.2 °C - 0.6 °C aralığında olacağı hesaplanmıştır (Çizelge 7). Tekirdağ bölgesinde, bütün model ve senaryo sonuçları dikkate alındığında, referans döneme göre, toplam yağışlarda ve solar radyasyonda azalış meydana geleceği Çizelge 8'de görülmektedir. Bu azalışın toplam yağışlarda yaklaşık %9 - %42 aralığında, solar radyasyonda ise yaklaşık %6 - %8 aralığında olacağı belirlenmiştir (Çizelge 8). En düşük sıcaklıklarda, yağış ve solar radyasyonun tersine tüm model ve senaryo sonuçları, referans döneme göre artış olacağını göstermektedir (Çizelge 8). Bu artışın 0.8 °C - 5.6 °C aralığında olacağı hesaplanmıştır (Çizelge 8). En yüksek sıcaklıkların, bütün dönemler için MPI-ESM-MR modeli sonuçlarına göre azalacağı belirlenmiştir (Çizelge 8). HadGEM2-ES modeli RCP4.5 senaryosu 2020-2040 döneminde ve RCP8.5 senaryosu 2060-2099 döneminde en yüksek sıcaklıklarda artış beklenmektedir (Çizelge 8). Artış en fazla 2 °C, azalış en fazla 3.2 °C olacaktır.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada CMIP5 arşivinden seçilen HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR küresel iklim modelleri ve RCP4.5 VE RCP8.5 senaryoları kullanılarak elde edilen 2020-2100 dönemi iklim projeksiyonları ile TR21 Bölgesi'nin buğday ve ayçiçeği veriminde meydana gelebilecek değişimler 20 yıllık dönemler halinde 2020-2040, 2040-2060, 2060-2080 ve 2080-2099 dönemleri için hesaplanmıştır. TR21 Bölgesi'nin üç farklı iklim karakteristiğini yansıtan Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ'a ait noktasal deneme alanlarından elde edilen gözlem verileri, WOFOST bitki verim tahmin modelinin kalibrasyonunda kullanılmıştır. Kalibrasyon neticesinde gözlem ve model sonuçlarına ait bağıl hata değerlerinin kabul edilebilir

aralıklarda olduğu, modelin kalibrasyon parametreleri ile geleceğe yönelik verim tahminde güvenle kullanılabileceği belirlenmiştir.

Bu araştırmada, potansiyel üretim koşullarında çalıştırılan WOFOST modelinde, buğday ve ayçiçeği veriminin sıcaklık ve solar radyasyon değişimlerine yağış değişimlerinden daha hassas olduğu belirlenmiştir. Özellikle solar radyasyon ve gece sıcaklıklarındaki artış buğday verimine olumlu katkı sağlamıştır. Bununla birlikte, Kırklareli bölgesinde, MPI-ESM-MR modeli RCP8.5 senaryosunun 2020-2040 döneminde en düşük ve en yüksek sıcaklıkların beraber azalması verimde düşüşlere sebep olacaktır. Solar radyasyon ve sıcaklık artışı ayçiçeği verimine buğday verimi kadar olumlu katkı yapmamaktadır. Ayçiçeği bitkisinin gelişme dönemi buğday dönemine göre daha sıcak olan yaz mevsimine denk gelmektedir. En düşük ve en yüksek sıcaklıkların beraber 1 °C'den fazla artması durumunda ayçiçeği verimi düşmektedir. Bu artışla beraber solar radyasyon azaldığı takdirde verimde artışlar meydana gelmektedir.

Sonuç olarak bu araştırmada, TR21 Bölgesi'nin en önemli tarımsal ürünlerinden olan buğday ve ayçiçeğinin verimi, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin 5. Değerlendirme Raporu'nda (IPCC, 2014) ele alınan yeni temsili konstrasyon senaryoları (RCP4.5 ve RCP8.5) ile bölgemizde ilk defa modellenmiştir. Elde edilen sonuçların, kuraklık eylem planı, tarımsal üretim planı ve stratejik planlama gibi TR21 Bölgesi'nin geleceğini yönlendiren çalışmalarda, iklim değişikliğine uyum sağlama ve kapasite geliştirme aşamalarında politikacılara, yerel yöneticilere ve sivil toplum kuruluşlarına karar destek mekanizması sağlayacağı öngörülmektedir.

5. Kaynaklar

- Anonim (2018a). TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası 2018 yılı Buğday Raporu. http://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=30125&tipi=17&sube=0 (erişim tarihi 30.10.2018).
- Anonim (2018b). T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı Kooperatifçilik Genel Müdürlüğü 2017 Yılı Ayçiçeği Raporu. <http://koop.gtb.gov.tr/data/5ad06d4eddee7dd8b423eb25/2017%20Ay%C3%A7i%C3%A7e%C4%9Fi%20Raporu.pdf> (erişim tarihi 05.11.2018).
- Boogaard, H., L., De Wit, A., J., W., Te Roller, J., A., Van Diepen, C., A. (2014). WOFOST Control Centre 2,1 and WOFOST 7,1,7, User's Guide for the WOFOST Control 56 Centre 2,1 and WOFOST 7,1,7 Crop Growth Simulation Model. Alterra, Wageningen University & Research Centre, Wageningen,1-133.
- Çaldağ B. (2009). Trakya Bölgesi'nin Tarımsal Meteorolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çaldağ, B., L., Şaylan, L., Özgür, E., Semizoğlu, E., Çaylak, O., Özkoca, Y. (2012). Comparison of two Crop Simulation Models for the Estimation of Winter Wheat Growth and Yield in Northwest Turkey. BALWOIS, 28 May-2 June 2012, Ohrid, Republic of Macedonia.

- IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp,
- Kadioğlu, M., Yurdanur, Ü., İlhan, A., Yürük, C. (2017). "Türkiye’de İklim Değişikliği ve Tarımda Sürdürülebilirlik" Raporu. İstanbul, Türkiye.
- Koç, E., M. (2011). İklim Değişikliğinin Tarıma Olası Etkilerinin WOFOST Bitki İklim Modeli ile Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Konukcu, F., Deveci, H., Altürk, B. (2017). Trakya Bölgesi’nde İklim Değişikliğinin Buğday Verimine Etkisinin Tahmin Edilmesi. Bilimsel Araştırma Projesi. Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Ma, Y., Wang, S., Zhang, L., Hou, Y., Zhuang, L., He Y., Wang, F. (2006). Monitoring Winter Wheat Growth in North China by Combining a Crop Codel and Remote Sensing Data, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 10(4):426-437.
- Mearns, L. O., Rosenzweig, C., Goldberg, R., (1992). Effect of Changes in Interannual Climatic Variability on CERES-Wheat Yields: Sensitivity and 2xCO₂ General Circulation Model Studies. Agric. For. Meteorol., 62: 159-189.
- Şaylan, L., Şen, O., İncecik, S. (1995). Küresel Isınmanın Bitki Gelişimine Etkisinin Bitki İklim Modeli ile Analizi. II. Hava Kirliliği ve Modellemesi Sempozyumu, Mart 1995. İstanbul Teknik Üniversitesi, 269-279.