

## Trakya Bölgesi'nde İklim Değişikliğinin Buğday Verimine Etkisinin AquaCrop ve WOFOST Modeller ile Tahmin Edilmesi

Modelling of the Effect of Climate Change on Wheat Yield in Thrace Region with AquaCrop and WOFOST Models

Fatih KONUKCU<sup>1</sup>, Huzur DEVECİ<sup>2</sup>, Bahadır ALTÜRK<sup>3</sup>


### Öz


İklim değişikliği birçok sektörle birlikte tarım sektörünü de olumsuz etkileyeceğinden, iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerine etkilerinin tahmin edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı; AquaCrop ve WOFOST Modeller ile Trakya Bölgesi'nde iklim değişikliğinin kısa (2020-2030), orta (2046-2055) ve uzun (2076-2085) dönemde buğday verimine etkisini belirlemektir. İklim değişikliğinin tahmininde RegCM3 Bölgesel İklim Modeli, referans ve A2 senaryo çıktıları kullanılmıştır. 1970-1990 döneminde araştırma alanından ölçülen sıcaklık ve yağış verileri, model referans verileri ile karşılaştırılarak kısa, orta ve uzun dönemlerde değişimler tahmin edilmiştir. Çorlu Pınarbaşı Havzası'nda yer alan üç farklı mevkideki (Akıncılar, Sofular, Çövenli) çiftçi tarlalarından 2016-2017 döneminde alınan buğday verimleri, model sonuçlarıyla karşılaştırılarak, kalibrasyon yapılmış, gelecek dönemlerde verim değerleri tahmin edilmiştir. Sonuç olarak, kısa dönemde, model referans yıllarına göre sıcaklıklarda ortalama 0,27 °C azalış, orta ve uzun dönemlerdeyse sırasıyla 1,43 °C ve 3,05 °C artış, toplam yağışta kısa dönemde 87 mm (%13) artış, orta ve uzun dönemlerdeyse 91 mm (%14) ve 78 mm (%12) azalış olacağı tahmin edilmiştir. AquaCrop Model ile Akıncılar ve Çövenli'de % 50'ye varan verim artışları, Sofular'da ise yaklaşık %6 - %34 oranlarında verim azalışları tahmin edilirken, WOFOST Modelde Akıncılar'da %40'a, Sofular'da %12'ye varan artışlar, Çövenli'de ise %2-%7 aralığında verim azalışları olacağı modellenmiştir.


**Anahtar Kelimeler:** RegCM3 Bölgesel İklim Modeli, Verim Tahmini, Buğday, Çorlu Pınarbaşı Havzası

### Abstract

Since climate change will adversely affect the agricultural sector as well as many other sectors, the effects of climate change on agricultural production should be estimated and necessary measures should be taken. The aim of this study is to determine the effect of climate change on wheat yield in the short (2020-2030), medium (2046-2055) and long (2076-2085) term periods in the Thrace Region using AquaCrop and WOFOST models. RegCM3 Regional Climate Model, reference and A2 scenario outputs were used to predict climate change. In the 1970-1990 period, the measured temperature and precipitation data measured in the research area were compared with the model reference data and changes were estimated in the short, medium and long term periods. Wheat yields obtained from farmer fields in three different locations (Akıncılar, Sofular, Çövenli) in Çorlu Pınarbaşı sub-basin in 2016-2017 growing period were compared with the model prediction in order to do the calibration and yields were forecasted in the future periods. As a result, in the short term, an average 0.27 °C decrease in temperature

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Huzur Deveci, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Yapı Denetim Programı, Tekirdağ. E-mail: [huzurdeveci@nku.edu.tr](mailto:huzurdeveci@nku.edu.tr)  OrcID: 0000-0002-0143-2185

<sup>1</sup>Fatih Konukcu, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ. E-mail: [fkonukcu@nku.edu.tr](mailto:fkonukcu@nku.edu.tr)  OrcID: 0000-0003-2873-990X

<sup>3</sup>Bahadır Öztürk, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, Mobilya ve Dekorasyon Programı, Tekirdağ. E-mail: [balturk@nku.edu.tr](mailto:balturk@nku.edu.tr)  OrcID: 0000-0003-1282-6558

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

©Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayımlanmıştır. Tekirdağ 2020

were forecasted whereas 1,43 °C and 3,05 °C increase were estimated for medium and long terms, respectively when compared to model reference years. In total rainfall, 87 mm (13%) increase, 91 mm (14%) and 78 mm (12%) decreases were simulated for the short, medium and long-terms. AquaCrop Model predicted yield increases up to 50% in Akıncılar and Çövenli and yield decreases of 6% - 34% in Sofular whereas WOFOST Model predicted increases of 40% in Akıncılar and 12% in Sofular and decrease up to 2 - 7% in Çövenli.

**Keywords:** RegCM3 Regional Climate Model, Yield Prediction, Wheat, Corlu Pınarbaşı Basin

## Extended Summary

It is estimated that climate change will adversely affect agriculture as well as many other sectors. In order to mitigate the negative effects of climate change, it is necessary to first estimate the climate change, then to evaluate the effects of possible changes on agricultural production and to take necessary measures. In this study, climate change was forecasted and the effect of climate change on wheat yield was modelled in the short (2020-2030), medium (2046-2055) and long (2076-2085) term periods in Tekirdağ-Çorlu Pınarbaşı watershed of Meriç-Ergene River Basin located in the Thrace Region using AquaCrop and WOFOST models. RegCM3 Regional Climate Model, reference and A2 SRES scenario outputs were used to predict climate change. In the 1970-1990 period, the measured temperature and precipitation data measured in the research area were compared with the model reference data using t test and changes were estimated in the short, medium and long term periods. The t test showed that there was no significant difference between the measured and estimated temperature (Sig.2-tailed value  $0,887 > 0,05$ ) and precipitation (Sig.2-tailed value  $0,359 > 0,05$ ) with 95% confidence. As a result, in the short term, an average  $0,27$  °C decrease in temperature were forecasted whereas  $1,43$  °C and  $3,05$  °C increase were estimated for medium and long terms, respectively when compared to model reference years. In total rainfall, 87 mm (13%) increase, 91 mm (14%) and 78 mm (12%) decreases were simulated for the short, medium and long-terms. This shows that in the research area, temperatures will increase and rainfall will decrease in the future periods, particularly in the long term, when compared to the reference years. The impacts of climate change are already being observed in the study area, as in the rest of the world, and are expected to be felt more strongly in the future.

In order to determine the effect of climate change by AquaCrop Model on agricultural production, ETo values were calculated with ETo Calculator. It was estimated that the ETo value, which is 2,4 mm in the reference period, will not change in the short term, 2,8 mm (16% increase) in the medium term and 2,9 mm (20% increase) in the long term due to climate change. Wheat yields obtained from farmer fields in three different locations (Akıncılar, Sofular, Çövenli) in Çorlu Pınarbaşı sub-basin in 2016-2017 growing period were compared with the AquaCrop and WOFOST models prediction in order to do the calibration and yields were forecasted in the future periods. Model calibration for the growth period 2016-2017 was performed by altering the change of vegetation according to phenological stages, maximum root length, reference harvest index in AquaCrop Model whereas TSUM1 (Thermal time from emergence to anthesis), TSUM2 (Thermal time from anthesis to maturity) and AMAXTB (Maximum leaf CO<sub>2</sub> assimilation rate as a function of development stage of the crop) values in WOFOST Model. The deviation between the measured and estimated yield values were found in the range of 1,87% - 8,30% and the absolute error range of 11,4 - 48,4 kg da<sup>-1</sup>.

As a result, AquaCrop Model predicted yield increases up to 50% in Akıncılar and Çövenli and yield decreases of 6% - 34% in Sofular whereas WOFOST Model predicted increases of 40% in Akıncılar and 12% in Sofular and decrease up to 2 - 7% in Çövenli.

Yıllardan beri bilinen ve tartışılan iklim değişikliği günümüzde en büyük tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır. Küresel iklim değişikliğinin önemli oranda insan kaynaklı sera gazları tarafından gerçekleştiği, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin son toplantısında (Pachauri ve ark., 2014) tartışmalara yer bırakmayacak şekilde vurgulanmıştır. İklim değişikliği senaryolarının küresel ölçekte iklim modelleri yoluyla bölgesel ölçeğe indirgenmesi ve sonuçlarının incelenmesi, ülkemizin, enerji, tarım ve su kaynakları yönetimi gibi alanlardaki gelecekle ilgili planlamalarını yakından ilgilendirmektedir (Önol ve ark., 2009; Şen ve ark., 2013; İklimSu, 2016).

İklim değişikliği ile 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 çalışma alanı kapsamındaki alması gereken önlemleri bilmek ve gerekenleri yapmak zorundadır. İklim değişikliğinin ülkemizde de su kaynaklarını ve tarımsal üretimi kısıtlayıcı bir rol oynayacağı beklenmektedir. Bu nedenle ülkemizin su kaynaklarının planlaması ve yönetimi yanında tarımsal üretimde iklim değişikliğinin potansiyel etkileri dikkate alınmalı, olası değişimlere karşı hassasiyetleri irdelenmelidir (Özkul ve ark., 2008; İklimSu, 2016). İklim değişikliğinin etkilerini azaltmak için öncelikle iklim değişikliğinin karbon emisyon senaryoları ışığında bölgesel olarak yüksek çözünürlükle tahmin edilmesi daha sonra olası değişikliklerin su kaynakları ve tarımsal üretime etkilerinin iyi değerlendirilmesi ve uyum kapasitesinin geliştirilmesi gerekmektedir. İklim değişikliğinin etkileri alansal ve zamansal ölçekte farklılık göstermektedir. Hangi bölgelerde, hangi sektörlerin, hangi düzeyde etkileneceğinin

belirlenmesi, ülkelerin iklim değişikliğinin sonuçlarına hazırlıklı olması ve iklim değişikliğine uyum bakımından çok önemlidir (Demir ve ark., 2008).

İklim değişikliğinin tüm sektörleri etkilemesi beklenirken, tarım sektörü üzerine etkisinin çok daha büyük düzeyde olacağı bildirilmektedir (Kanber ve ark., 2008). Bu nedenle bölgesel bazda tarıma ve özellikle verime etkisi mutlaka incelenmelidir.

İklim değişikliğinin tarımsal üretimde stratejik bir öneme sahip olan buğday verimine etkisi dünyada farklı ülkelerde birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Andarzian ve ark., 2011; Mkhabela ve Bullock, 2012; Singh ve ark., 2013; Tripathy ve ark., 2013; Mishra ve ark., 2013; Bregaglio ve ark., 2015). Ülkemizde ise konu bölgesel anlamda zamansal ve mekansal olarak farklı araştırmacılar tarafından, geniş bir şekilde incelenmiştir (Kapur ve ark., 2007; Şimşek ve ark., 2007; Kapur, 2010; Koç, 2011; Kale ve Tarı, 2012). Gerek dünyada ve gerekse Türkiye'nin farklı bölgelerinde yapılan bu çalışmalarda iklim ve diğer yerel koşullara bağlı olarak, iklim değişikliğinin, buğdayda farklı düzeylerde verim artışı ve azalışına sebep olacağı rapor edilmiştir. Trakya Bölgesi'nde yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde ise, buğday bitkisinde yer yer %50'ye varan ve hatta bölgenin bazı kesimlerinde %50'nin üzerinde verim artışları olacağı tahmin edilmiştir (Çaldağ, 2000; Çaldağ, 2009; Şaylan ve ark., 2011; Çaldağ ve ark., 2012; Deveci, 2015; Deveci ve Konukcu, 2016; Bakanoğulları ve ark., 2017; Konukcu ve ark., 2017). Trakya Bölgesi'nde iklim değişiminin buğday verimini nasıl etkileyeceğinin ileriye dönük tahmini, bölgede iklim değişikliğinin buğday verimine olumlu etkisinin tam olarak anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. İklim değişiminin buğday verimine etkisi üzerine yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Türkiye'nin önemli buğday üretim alanlarından biri olan Trakya Bölgesi'nde de bu konuda çok sınırlı sayıda araştırma yapılmış olup; CERES-Wheat ve AquaCrop Modelleri ile yapılan araştırma sonuçlarına göre iklim değişikliğinin buğday verimine etkisi konusunda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak, karar vericilere daha sağlıklı bilgi üretebilmek için, bölgede bu konu ile ilgili araştırmaların çeşitlendirilmesi ve detaylandırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmanın amacı, AquaCrop ve WOFOST (WORld FOod STUDIES) verim tahmini modelleri ile Trakya Bölgesi'nde iklim değişikliğinin kısa, orta ve uzun vadede buğday verimine etkisini modellemektir. İklim değişikliğinin buğday verimine etkisini tahmin etme açısından hem bu iki model birbiri ile hem de daha önceki tahminlerle karşılaştırılmış olacaktır. Bu kapsamda;

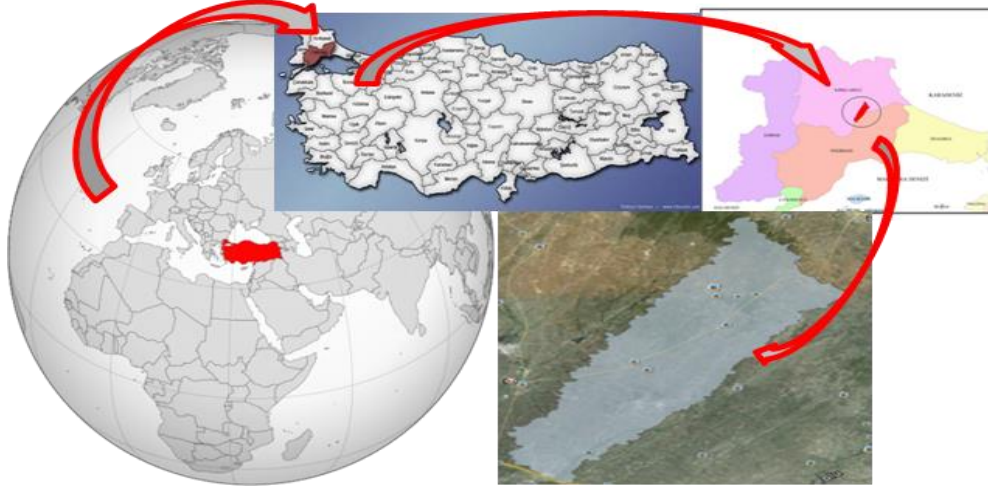
- Küresel iklim modelleri ile tahmin edilen iklim değişikliği verileri, RegCM3 Bölgesel İklim Modeli yardımıyla ölçek küçültme yöntemiyle Trakya Bölgesi için daha yüksek çözünürlükte iklim değişikliği verilerine dönüştürülecek;
- 2016-2017 yılı iklim verileri ve Trakya Bölgesi'ni temsilen seçilen üç lokasyondaki Çorlu Pınarbaşı Havzası içinde yer alan Akıncılar, Sofular ve Çövenli'de arazi verileri kullanılarak, AquaCrop ve WOFOST Modeller ile bu lokasyonlardaki 2016-2017 dönemi buğday verimleri tahmin edilecek;
- Bu tahminler ile ölçülen buğday verimleri karşılaştırılarak, modellerin hassasiyetleri belirlenecek;
- Seçilen arazilere ait veriler ve RegCM3 Bölgesel İklim Modelinden elde edilen gelecekteki iklim verileri kullanılarak, iklim değişikliğinin kısa, orta ve uzun vadede buğday verimine etkisi tespit edilecek;
- AquaCrop ve WOFOST Modeller birbiriyle ve daha önceki modellerle karşılaştırılarak; Trakya Bölgesi için olası iklim değişikliğinin buğday verimine etkisi daha net bir şekilde belirlenecektir.

Elde edilen sonuçlara dayanarak, iklim değişikliğinin tarımsal üretime yani verime etkisi değerlendirilerek yerel yönetimlere, araştırmacılara ve ileriye dönük karar vericilere veri sağlanacaktır. İklim değişikliğine karşı hassasiyetin azaltılması ile gelecek yıllara projeksiyon tutulacaktır.

## Materyal ve Yöntem

### Araştırma Alanı

Araştırma alanı, Trakya Bölgesi'nde Meriç-Ergene Ana Havzası içerisinde yer alan Tekirdağ-Çorlu Pınarbaşı Havzası'nı kapsamaktadır. Havza alanı 119,61 km<sup>2</sup>'dir. Rakımı 85-268 m'ler arasında olan havza, Batı 548285,708548 m, Doğu 563270,708548 m, Kuzey 4602318,717398 m ve Güney 4579428,717398 m koordinatları arasında yer almaktadır. Havza kendi içerisinde farklı büyüklüklere sahip dört alt havzayı içermektedir. Bunlar Topçu, Çövenli, Sofular ve Akıncılar alt havzalarıdır (Deveci ve Konukcu, 2019). Araştırma alanının konumu Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Araştırma Alanı  
Figure 1. Research area

### Araştırma Alanının İklimi

Araştırma alanı, Marmara Denizi kıyısı şeridi boyunca görülen Karadeniz-Akdeniz ve iç kesimlerde görülen karasal iklim etkisi altındadır. Kışları serin ve yağışlı, yazları kurak ve sıcaktır. Çizelge 1’de Çorlu Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü’nden elde edilen iklim verileri sunulmuştur. Araştırma alanının uzun yıllar (1970-2011) meteorolojik verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 12,8 °C’dir. Aylık sıcaklık ortalamaları açısından en soğuk ay 3,5 °C ile Ocak, en sıcak ay ise 22,7 °C ile Temmuz aylarıdır. Yıllık ortalama toplam yağış miktarı 572,3 mm’dir. Yağışın büyük bir kısmı Ekim ile Mayıs ayları arasındaki dönemde gerçekleşmektedir. Yıllık ortalama rüzgâr hızı ise 3,5 m s<sup>-1</sup>, yıllık ortalama bağıl nem %77,2’dir (Anonim 2012).

Çizelge 1. Araştırma alanına ilişkin iklim değerlerinin uzun yıllar ortalamaları (1970–2011) (Anonim 2012)  
Table 1. Long-term average climate values of the research area (1970–2011) (Anonymous 2012)

Aylar	Ortalama sıcaklık (°C)	Ortalama en yüksek sıcaklık (°C)	Ortalama en düşük sıcaklık (°C)	Ortalama bağıl nem (%)	Ortalama rüzgâr hızı (m s <sup>-1</sup> )	Ortalama toplam yağış (mm)
Ocak	3,5	6,8	0,6	85,3	3,9	55,6
Şubat	4,0	7,9	0,9	82,1	4,0	52,1
Mart	6,5	11,1	2,8	79,4	3,7	51,0
Nisan	11,2	16,7	6,8	75,2	3,0	44,6
Mayıs	16,1	22,0	10,9	73,2	3,0	48,4
Haziran	20,6	26,7	15,0	69,8	2,9	36,7
Temmuz	22,7	29,0	16,9	68,6	3,5	27,9
Ağustos	22,3	28,8	16,7	71,8	3,6	18,6
Eylül	18,6	24,9	13,6	73,9	3,3	34,1
Ekim	14,0	19,1	10,0	79,2	3,5	58,9
Kasım	9,1	13,3	5,7	83,0	3,3	72,5
Aralık	5,4	8,7	2,4	85,1	3,8	71,9
Yıllık Ortalama	12,8	17,9	8,5	77,2	3,5	47,7
Yıllık Toplam						572,3

### Araştırma Alanının Toprak Özellikleri

Araştırma alanında Akıncılar, Sofular ve Çövenli’de toprak özelliklerini belirlemek için seçilen çiftçi tarlalarına birer adet profil çukuru açılmıştır. 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm’lik katmanlardan bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınıp, laboratuvarında analize uygun hale getirilerek tarla kapasitesi, solma noktası,

toprağın bünyesi, bünye sınıfı, birim hacim ağırlık, toplam tuz ve pH değerlerinin belirlenmesi için Tarım ve Orman Bakanlığı, Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne gönderilmiştir. Burada yapılan analiz sonuçları Çizelge 2'de gösterilmektedir.

### Buğday Bitkisine Ait Özellikler

Araştırma alanında buğday bitkisi rastgele seçilen çiftçi tarlalarından Akıncılar'a 08.11.2016, Sofular'a 05.11.2016 ve Çövenli'ye de 31.10.2016 tarihlerinde ekilmiş, Akıncılar'da 14.07.2017, Sofular'da 15.07.2017 ve Çövenli'de 09.07.2017 tarihlerinde hasat edilmiştir. Tohum ekimi mibzerle yapılmıştır. Ekilen buğday çeşidi Akıncılar ve Çövenli'de Esperia ve Sofular'da Gelibolu olup, ekmeclik buğdaydır. Araştırma alanında ayçiçeği - buğday şeklinde münavebe yapılmaktadır.

*Çizelge 2. Araştırma alanındaki toprakların bazı önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri*  
*Table 2. Some important physical and chemical properties of soils in the research area*

Araştırma Alanı										
	Akıncılar			Sofular			Çövenli			
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	
Derinlik (cm)	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	
Su ile Doygunluk (%)	55	55	55	60	63	60	66	67	68	
pH	7,62	7,66	7,66	7,54	7,57	7,65	7,59	7,56	7,61	
Toplam Tuz (%)	0,06	0,05	0,05	0,08	0,07	0,08	0,09	0,09	0,09	
Bünye	Kil (%)	27,08	29,17	29,17	33,33	29,17	37,5	25,00	41,67	39,58
	Silt (%)	16,67	10,42	10,42	12,50	14,58	12,50	20,83	14,58	14,58
	Kum (%)	56,25	60,42	60,42	54,17	56,25	50,00	54,17	43,75	45,89
Tarla Kapasitesi (% Ağırlık)	23,20	21,97	28,05	33,97	32,86	30,02	44,47	47,39	37,96	
Solma Noktası (% Ağırlık)	14,33	15,62	16,40	23,09	22,78	23,15	20,43	26,60	27,54	
Hacim Ağırlığı (gr cm <sup>-3</sup> )	1,57	1,72	1,71	1,53	1,53	1,46	1,35	1,38	1,37	
Bünye Sınıfı	Kumlu Killi Tın	Kumlu Killi Tın	Kumlu Killi Tın	Kumlu Killi Tın	Kumlu Killi Tın	Kumlu Killi	Kumlu Killi Tın	Killi	Kumlu Killi Tın	

### Bölgesel İklim Değişikliği Tahmin Modeli: RegCM3

Bu çalışmada, İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü'nün yürütücüsü olduğu "Türkiye için İklim Değişikliği Senaryoları" projesi kapsamında RegCM3 Bölgesel İklim Modeli ve A2 SRES (Emisyon Senaryoları Özel Raporu) senaryosu ile üretilmiş 27x27 km çözünürlüklü iklim verileri kullanılmıştır (Dalfes ve ark., 2008). RegCM3 Modeli Amerikan Atmosferik Araştırmalar Ulusal Merkezi (NCAR) tarafından geliştirilen dinamik ölçek küçültme yöntemi ile çalıştırılan bir bölgesel iklim modelidir. RegCM3 Bölgesel İklim Modeli'nin çalıştırılması başlangıçta iki temel adıma dayanmaktadır. Birincisi model alanının topografyasının ve arazi kullanımının RegCM3 gridlerinde oluşturulması diğeri ise başlangıç ve sınır koşullarının belirlenmesidir. RegCM3 Modeli'nin çıktıları temel olarak dört ana grupta toplanmıştır. Bunlar sırasıyla atmosfer, radyasyon, yüzey ve kimya değişkenleridir. ECHAM5 Genel Dolaşım Modeli'ne ait düşük çözünürlüklü veriler dinamik ölçek küçültme yöntemiyle RegCM3 Modeli kullanılarak bölge ölçeğine indirgenmiştir. Çalışmada, 1961-1990 yılları arasındaki 30 yıl referans dönemi 2000-2099 yılları ise gelecek dönemi kapsamaktadır. Araştırmada kullanılan model çıktıları günlük olarak, minimum sıcaklık (°K), maksimum sıcaklık (°K), rüzgâr hızı (m s<sup>-1</sup>), yağış (mm) ortalama bağıl nem (%) ve global güneş radyasyonu (W cm<sup>-2</sup>) değerlerini kapsamaktadır.

### ETo Hesaplama Aracı

AquaCrop verim tahmin modelinin kullanılabilmesi için referans evapotranspirasyonun (ETo) hesaplanması gerekmektedir. Çalışmada bu amaçla ETo Calculator (Version 3.2) yazılımı kullanılmıştır. ETo Calculator programına girdi olarak günlük toplam güneşlenme süresi (h), minimum sıcaklık (°C), maksimum sıcaklık (°C), günlük ortalama nem (%) ve rüzgâr hızı (m s<sup>-1</sup>) verileri ile birlikte meteoroloji istasyonunun adı, yeri, konumu, enlem, boylam ve rakım değerleri girilmekte ve çıktı olarak referans evapotranspirasyon (mm) değerleri hesaplanmaktadır (Raes, 2012).

## Verim Tahmin Modelleri

**AquaCrop:** Verim tahmininde, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından geliştirilmiş bir bitki iklim modeli olan AquaCrop (Version 5.0) kullanılmıştır. Modelde girdi olarak iklim, bitki, toprak (toprak profili, taban suyu), yönetim (sulama, toprak işleme) ve başlangıç su içeriği değerleri kullanılmaktadır. Model çıktı olarak bitki verimi, transpirasyon, evaporasyon, potansiyel ve gerçek biyokütle, toprak su bileşenleri dengesi ayrıca derinliğin bir fonksiyonu olarak toprak su içeriği değerlerini vermektedir (Raes ve ark., 2009).

**WOFOST:** Kullanılan diğer model Hollanda Wageningen Üniversitesi Dünya Gıda Çalışmaları Merkezi (CWFS), yine aynı üniversitedeki Teorik Üretim Ekolojisi Bölümü (WAU-TPE) ve Wageningen'de bulunan Agrobiyolojik Araştırma ve Toprak Verimliliği Merkezi (AB-DLO) tarafından geliştirilmiş olan WOFOST Control Centre 2.1 ve WOFOST 7.1.7 bitki gelişim simülasyon modelidir. Modelde girdi olarak genel veriler, iklim, bitki, zamanlama, besin ve toprak verileri kullanılmaktadır. Model çıktı olarak her bir üretim seviyesi için detaylı çıktı vermektedir. Bu çıktılar potansiyel büyüme, suya sınırlı büyüme, su dengesi ve besin maddesi gereksinimleri dosyalarını kapsamaktadır. Dosyalarda özet olarak hasat indeksi, biyokütle, transpirasyon, zemin üstü toplam üretim, transpirasyon katsayısı, depolama organlarının toplam kuru ağırlığı, toplam gövde kuru ağırlığı, yaprak ve köklerin toplam kuru ağırlığı, toprak su bileşenleri dengesi ayrıca derinliğin bir fonksiyonu olarak toprak su içeriği vb. değerleri yer almaktadır (Boogaard ve ark., 1998).

## Yöntem

### İklim Değişikliğinin Modellenmesi

İklim değişikliğinin modellenmesi aşamasında referans ve gelecek dönemler için havzayı temsil eden günlük olarak, minimum sıcaklık ( $^{\circ}\text{K}$ ), maksimum sıcaklık ( $^{\circ}\text{K}$ ), rüzgâr hızı ( $\text{m s}^{-1}$ ), yağış ( $\text{mm}$ ) ortalama bağıl nem (%) ve global güneş radyasyonu ( $\text{W cm}^{-2}$ ) değerleri kullanılmıştır. Bu verilerin ETo Calculator, AquaCrop ve WOFOST modellerde kullanılabilmesi için birim dönüşümleri yapılmıştır. Ayrıca Çorlu Meteoroloji İstasyonu'nda ölçülen 1970-1990 yılları arasını kapsayan meteorolojik veriler TUMAS'dan (Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv ve Yönetim Sistemi) elde edilerek, RegCM3 Bölgesel İklim Modeli 1970-1990 yılları referans sıcaklık ve yağış verileri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken SPSS 18 Programında (Statistical Package for the Social Science) bağımsız iki grup arası farkların t testi (independent samples "t" test) yapılmıştır. T testi ile iki grubun ortalamaları karşılaştırılarak, aradaki farkın rastlantısal mı, yoksa istatistiksel olarak anlamlı mı olduğu belirlenmiştir.

### ETo Calculator Programı ile ETo Hesaplanması ve İklim Değişikliğinin ETo'ya Etkisinin Belirlenmesi

2016-2017 yıllarında Akıncılar, Sofular ve Çövenli alt havzaları çiftçi buğday tarlalarından elde edilen verim değerlerinin AquaCrop Model ile kalibre edilebilmesi için öncelikle ETo değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. ETo'm hesaplanabilmesi için toplam güneşlenme süresi (h), minimum sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ), maksimum sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ), ortalama bağıl nem (%) ve rüzgâr hızı ( $\text{m s}^{-1}$ ), meteoroloji istasyonunun adı, yeri, enlemi, boylamı ve denizden yüksekliği bilgileri girilerek, ETo değerleri hesaplanmıştır.

İklim değişikliğinin ETo'ya etkisinin belirlenebilmesi için ise RegCM3 Bölgesel İklim Modeli A2 senaryo sonuçlarından elde edilen günlük minimum sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ), maksimum sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ), ortalama bağıl nem (%) ve rüzgâr hızı ( $\text{m s}^{-1}$ ) verileri ile ETo Calculator programı çalıştırılmış ve kısa, orta ve uzun dönemler için ETo değerleri hesaplanmıştır.

### AquaCrop ve WOFOST Modeller ile Verim Tahmininin Yapılması

AquaCrop Modele iklim, bitki, tarımsal faaliyet ve toprak verilerinin girilmesi gerekmektedir. Modelin buğday bitkisi için değişmez olarak kabul ettiği bazı girdi değerleri modelin kullanıcı el kitabında belirtilmiştir. Bu verilere ilave olarak ölçülen ve genel olarak kabul edilmiş girdi değerleri, dikkate alınan bitki, yer ve zaman için AquaCrop Modele girilerek model çalıştırılmıştır. Modelin değişmez kabul ettiği girdi verileri değiştirilmeden, bitki örtüsünün fenolojik safhalara göre değişimi, maksimum kök uzunluğu, referans hasat indeksi değerleri değiştirilerek 2016-2017 dönemi için modelin kalibrasyonu yapılmıştır. WOFOST Modelde ise genel bilgiler, iklim, bitki, zamanlama ve toprak verilerinin girilmesi gerekmektedir. Modele girilmesi gereken bu bilgiler girildikten sonra analiz yapılmış ve TSUM1 (ilk çıkıştan çiçeklenmeye olan termal sıcaklıklar toplamı), TSUM2

(çiçeklenmeden olgunluğa kadar olan termal sıcaklıklar toplamı) ve AMAXTB (ürünün gelişme evresinin bir fonksiyonu olarak maksimum yaprak CO<sub>2</sub> asimilasyon hızı) değerleri değiştirilerek 2016-2017 dönemi için modelin kalibrasyonu yapılmıştır (Wolf ve De Wit, 2003).

AquaCrop ve WOFOST Modellerin geçerliliğinin değerlendirilmesi için, 2016-2017 döneminde Akıncılar, Sofular ve Çövenli için ölçülmüş ve tahmin edilmiş buğday verim değerleri karşılaştırılmış, ölçülen değerden sapma miktarı hesaplanmıştır.

AquaCrop Model ile verim tahmininin gelecek yıllar için modellenmesi aşamasında ise, RegCM3 Bölgesel İklim Modeli A2 senaryo sonuçlarından elde edilen iklim değerleri ETo Calculator programına girilmiş ve ETo değerleri hesaplatılmıştır. Minimum sıcaklık (°C), maksimum sıcaklık (°C), yağış (mm) verileri ile birlikte ETo (mm) değerleri AquaCrop Modele kısa, orta ve uzun dönemler için girilmiş ve bu yıllar için buğday verim değerleri tahmin edilmiştir. WOFOST Modelde ise, RegCM3 Bölgesel İklim Modeli A2 senaryo sonuçlarından elde edilen iklim verileri WOFOST modele girilerek kısa, orta ve uzun dönemler için verim değerleri tahmin edilmiştir.

## Bulgular ve Tartışma

### Çorlu Pınarbaşı Havzası Olası İklim Değişikliği Sonuçları

Çorlu Pınarbaşı Havzası için olası iklim değişikliği belirlenirken öncelikle referans 1970-1990 yılları arası Çorlu Meteoroloji İstasyonuna ait TUMAS'dan elde edilen ölçülmüş iklim verileri ile RegCM3 Bölgesel İklim Modelinden elde edilen veriler karşılaştırılarak havza için kullanılabilirliğine bakılmış, daha sonra ise kısa, orta ve uzun dönemler olası iklim değişikliği tahmin edilerek elde edilen sonuçlara aşağıda yer verilmiştir.

#### Referans (1970-1990) dönem sıcaklık ve yağış değerleri

1970-1990 yılları arası ölçülen ve RegCM3 Bölgesel İklim Modelinden elde edilen minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık, ortalama sıcaklık ve yağış verileri sırasıyla Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5, Çizelge 3 ve Çizelge 4'te karşılaştırılarak gösterilmiştir. Buna göre, ortalama sıcaklık verileri 1970-1990 yılları arasında model referans verileri ile 12,97 °C ve Çorlu Meteoroloji İstasyonu ölçülen verileri ile 12,57 °C dolayısıyla 0,4 °C'lik bir sapma ile tahmin edilmiştir. Toplam yağış verileri ise 1970-1990 yılları arasında model referans verileri ile 660 mm ve Çorlu Meteoroloji İstasyonu ölçülen verileri ile 559 mm dolayısıyla 101 mm'lik bir sapma ile tahmin edilmiştir (Çizelge 3 ve Çizelge 4). Ölçülen ve tahmin edilen sıcaklık değerlerinin t testinin "Sig.(2-tailed)" değeri 0,887>0,05 olduğundan ve yağış değerlerinin t testinin "Sig.(2-tailed)" değeri 0,359>0,05 olduğundan her iki testte de %95 güvenle ölçülen ve tahmin edilen sıcaklık ve yağış değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur. Bu sonuçlar doğrultusunda gelecek yıllar için yapılan tahminlerde havza için RegCM3 Bölgesel İklim Modeli iklim verileri, sonuçlarının kullanılmasının uygun olduğu, modelin iyi bir performans gösterdiği görülmüştür. Benzer şekilde, Kapur ve ark., (2007), TERCH-RAMS adlı bölgesel iklim modeli ile Çukurova Bölgesi'nde yaptıkları çalışmada, ortalama sıcaklıkta 0,82 °C ve toplam yağışta 96 mm farkla tahmin etmişlerdir.

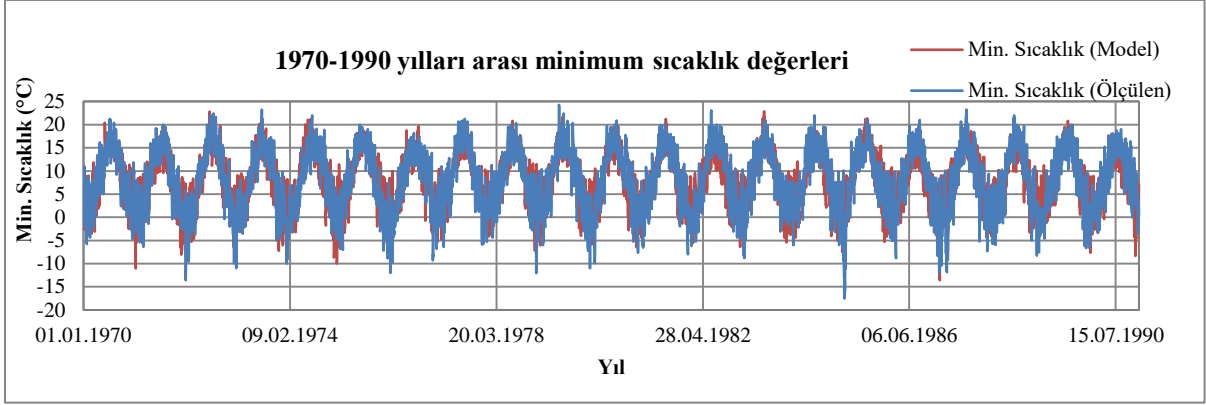
#### Kısa, orta ve uzun dönem sıcaklık ve yağış değerlerinin modellenmesi

Çorlu Pınarbaşı Havzası gelecek yıllar olası iklim değişikliği için RegCM3 Bölgesel İklim Modelinden elde edilen sonuçlar için Çizelge 3'e bakıldığında kısa dönemde model referans yıllarına göre ortalama 0,27 °C, orta dönemde ortalama 1,43 °C ve uzun dönemde ise ortalama 3,05 °C sıcaklık farkı olacağı tahmin edilmiştir.

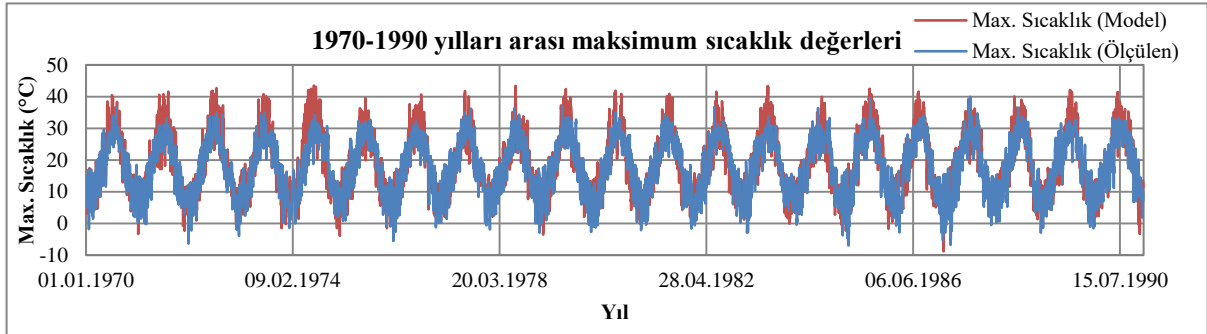
Sıcaklık değerlerinin referans yıllara göre kısa dönemde azalma, orta ve uzun dönemde ise artma eğiliminde olduğu tahmin edilmiştir. IPCC'nin 2007 yılında yayınladığı raporda Türkiye'de yıllık ortalama sıcaklığın gelecek yıllarda 2,5 °C ile 4 °C artacağı tahmin edilmektedir. Önoğlu ve ark. (2009), RegCM3 Bölgesel İklim modeli ile A2 simülasyonuna göre, Türkiye üzerinde sıcaklıklardaki en dramatik değişimin, yaz mevsiminde Ege Bölgesi üzerindeki 5 ila 6 °C'ler arasındaki artış olacağını, kış ayları dışındaki mevsimlerde artışın 3 ile 4 °C arasında değişeceğini ve gelecek simülasyonundaki minimum artışın kış mevsiminden 2 ile 3 °C olacağını hesaplamışlardır. Ayrıca Demir ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, Türkiye ve bölgesinde sıcaklıkların yüzyılın sonunda artacağını öngörmüşlerdir. Söz konusu artışı Türkiye üzerinde kötümser senaryoya göre 4 - 6 °C, iyimser senaryoya göre ise 1 - 3,5 °C olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada gelecek periyotta sıcaklıklarda her ne kadar azalma varmış gibi gözükse de bu durumun en yakın gelecek olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Yapılan araştırmalarda öngörülen tahminlerle, orta ve uzak gelecekte aynı doğrultuda tahminlerde bulunulmuştur.



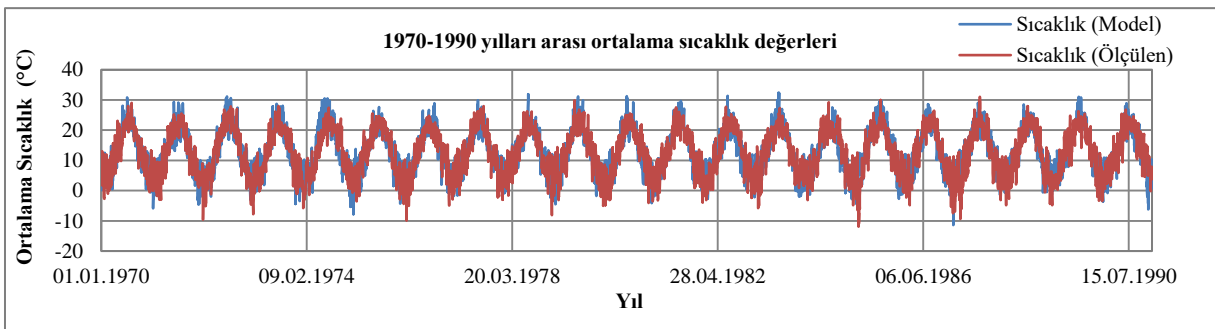
Çorlu Pınarbaşı Havzası gelecek yıllar olası iklim değişikliği için RegCM3 Bölgesel İklim Modelinden elde edilen sonuçlar için Çizelge 4'e bakıldığında kısa dönemde model referans yıllarına göre toplam yağışın 87 mm artacağı (%13), orta dönemde toplam yağışın 91 mm azalacağı (%14) ve uzun dönemde toplam yağışın 78 mm azalacağı (%12) tahmin edilmiştir. Demir ve ark. (2010), bölgesel ve alansal olarak farklılık göstermekle birlikte yağışlarda genelde %10 - %40 arasında azalma olacağını tahmin etmişlerdir. Kısa vadede toplam yağışın %13 artacağı gözükse de bu durumun en yakın gelecek periyot olmasından kaynaklandığı ve 10'ar yıllık tüm dönemler analiz edildiğinde eğilimin azalan yönde olacağı tahmin edilmektedir.



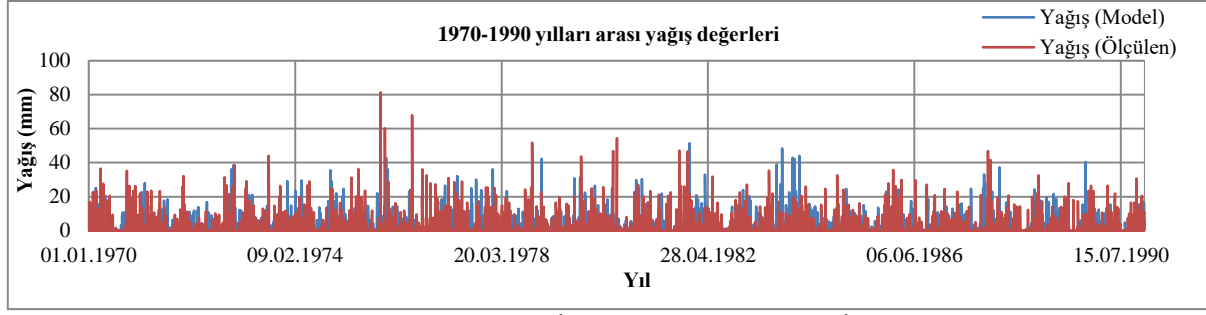
Şekil 2. 1970-1990 yılları arası Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli minimum sıcaklık (°C) değerleri  
Figure 2. Çorlu Meteorology Station and RegCM3 Regional Climate Model minimum temperature (°C) values



Şekil 3. 1970-1990 yılları arası Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli maksimum sıcaklık (°C) değerleri  
Figure 3. Çorlu Meteorology Station and RegCM3 Regional Climate Model maximum temperature (°C) values



Şekil 4. 1970-1990 yılları arası Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli ortalama sıcaklık (°C) değerleri  
Figure 4. Çorlu Meteorology Station and RegCM3 Regional Climate Model average temperature (°C) values between 1970-1990



Şekil 5. 1970-1990 yılları arası Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli yağış (mm) değerleri  
Figure 5. Corlu Meteorology Station and RegCM3 Regional Climate Model precipitation (mm) values between 1970-1990

Çizelge 3. 1970-1990 yılları Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli ortalama sıcaklıklarının (°C) karşılaştırılması

Table 3. 1970-1990 Comparison of Corlu Meteorological Station and RegCM3 Regional Climate Model average temperature (°C)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ort.
Çorlu Meteoroloji İstasyonu Ortalama Sıcaklık (°C) Değerleri (1970-1990)	3,37	3,90	6,32	11,28	15,77	20,22	22,18	21,51	18,39	13,50	8,89	5,48	12,57
RegCM3 Bölgesel İklim Modeli Ortalama Sıcaklık (°C) Değerleri (1970-1990)	4,73	6,35	8,36	11,60	16,06	20,84	23,07	21,86	17,42	11,90	8,06	5,40	12,97
Çorlu Meteoroloji İstasyonu ile RegCM3 Bölgesel İklim Modeli Ortalama Sıcaklık (°C) Farkı (1970-1990)	1,36	2,45	2,04	0,32	0,29	0,62	0,89	0,35	-0,97	-1,60	-0,83	-0,08	-0,40
RegCM3 Bölgesel İklim Modeli Ortalama Sıcaklık (°C) Değerleri kısa (2020-2030) dönem	5,02	5,58	7,93	12,03	16,22	21,07	23,65	22,33	17,52	12,63	7,56	5,59	12,70
RegCM3 Bölgesel İklim Modeli Ortalama Sıcaklık (°C) Farkı (1970-1990 ile 2020-2030) yılları arası	0,29	-0,77	-0,43	0,43	0,16	0,23	0,58	0,47	0,10	0,73	-0,50	0,19	-0,27
RegCM3 Bölgesel İklim Modeli Ortalama Sıcaklık (°C) Değerleri orta (2046-2055) dönem	6,23	7,17	9,19	12,93	17,41	23,30	25,32	23,16	18,56	13,95	9,02	6,54	14,40
RegCM3 Bölgesel İklim Modeli Ortalama Sıcaklık (°C) Farkı (1970-1990 ile 2046-2055) yılları arası	1,50	0,82	0,83	1,33	1,35	2,46	2,25	1,30	1,14	2,05	0,96	1,14	1,43
RegCM3 Bölgesel İklim Modeli Ortalama Sıcaklık (°C) Değerleri uzun (2076-2085) dönem	8,16	8,35	10,44	13,90	19,23	24,45	26,85	25,37	22,43	15,34	9,45	8,24	16,02
RegCM3 Bölgesel İklim Modeli Ortalama Sıcaklık (°C) Farkı (1970-1990 ile 2076-2085) yılları arası	3,43	2,00	2,08	2,30	3,17	3,61	3,78	3,51	5,01	3,44	1,39	2,84	3,05

**Çizelge 4. 1970-1990 yılları Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli aylık ortalama toplam yağışın (mm) karşılaştırılması**

**Table 4. Comparison of monthly average total rainfall (mm) of 1970-1990 in Çorlu Meteorology Station and RegCM3 Regional Climate Model)**

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ort.	Toplam
Çorlu Meteoroloji İstasyonu Ortalama Yağış (mm) Değerleri (1970-1990)	63	46	50	44	48	39	26	17	26	53	77	70	47	559
RegCM3 Bölgesel İklim Modeli Ortalama Yağış (mm) Değerleri (1970-1990)	92	77	60	61	69	32	23	14	26	55	79	72	55	660
Çorlu Meteoroloji İstasyonu ile RegCM3 Bölgesel İklim Modeli Ortalama Yağış (mm) Farkı (1970-1990)	29	31	10	17	21	-7	-3	-3	0	2	2	2	8	101
RegCM3 Bölgesel İklim Modeli Ortalama Yağış (mm) Değerleri kısa (2020-2030) dönem	97	67	76	67	53	44	22	20	25	40	114	94	60	747
RegCM3 Bölgesel İklim Modeli Ortalama Yağış (mm) Farkı (1970-1990 ile 2020-2030) yılları arası	5	-10	16	6	-16	12	-1	6	-1	-15	35	22	5	87
RegCM3 Bölgesel İklim Modeli Ortalama Yağış (mm) Değerleri orta (2046-2055) dönem	70	64	63	61	51	21	10	14	24	41	89	61	47	569
RegCM3 Bölgesel İklim Modeli Ortalama Yağış (mm) Farkı (1970-1990 ile 2046-2055) yılları arası	-22	-13	3	0	-18	-11	-13	0	-2	-14	10	-11	-8	-91
RegCM3 Bölgesel İklim Modeli Ortalama Yağış (mm) Değerleri uzun (2076-2085) dönem	116	63	55	59	48	22	14	10	12	36	76	73	49	582
RegCM3 Bölgesel İklim Modeli Ortalama Yağış (mm) Farkı (1970-1990 ile 2076-2085) yılları arası	24	-14	-5	-2	-21	-10	-9	-4	-14	-19	-3	1	-6	-78

## Referans, Kısa, Orta ve Uzun Dönem ETo Sonuçları

İklim değişikliğinin verime etkisinin AquaCrop Model ile belirlenebilmesi için öncelikle referans (2016-2017), kısa, orta ve uzun dönemler için Çorlu Pınarbaşı Havzasında buğday tarlalarında ETo değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu kısımda öncelikle referans, kısa, orta ve uzun dönemler için ETo değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 5'te gösterilmiştir. Buna göre referans dönemi ortalama ETo değeri 2,4 mm'dir. 2016-2017 dönemi en düşük ETo değeri 07.01.2017 ve 08.01.2017 tarihlerinde 0,2 mm, en yüksek ETo değeri 01.07.2017 tarihinde 9,3 mm olarak hesaplanmıştır. Kısa, orta ve uzun dönemlerde ise en düşük ETo değerlerinin her üç dönemde de sırası ile 0,1-0,3-0,3 mm olacağı tahmin edilmiştir. Kısa dönem ortalama ETo değeri 2,4 mm, orta dönem ETo değeri 2,8 mm ve uzun dönem ortalama ETo değeri 2,9 mm olarak tahmin edilmiştir. Çorlu Pınarbaşı Havzası 1970-1990 yılları arası sıcaklık verilerine göre RegCM3 Bölgesel İklim Modeli ile yapılan tahminlerde ortalama sıcaklıkların kısa dönemde 0,27 °C azalacağı, orta dönemde 1,43 °C ve uzun dönemde ise 3,05 °C artacağı ve toplam yağışların kısa dönemde %13 artacağı, orta dönemde %14 ve uzun dönemde ise %12 azalacağı tahmin edilmiştir. Dolayısıyla iklim değişikliği ile birlikte sıcaklığın artması ve yağış değerlerinin azalması ile ETo değerleri ilişkili olduğundan, 2016-2017 yıllarında ortalama ETo değerlerinin yakın gelecek için değişmeyeceği, orta dönemde 2,8 mm'ye (%16) ve uzun dönemde ise 2,9 mm'ye (%20) çıkacağı tahmin edilmektedir. Özkul ve ark. (2008), Gediz ve Büyük Menderes havzalarında yaptıkları çalışmalarında bitki su ihtiyaçlarının (potansiyel evapotranspirasyonun) 2030, 2050 ve 2100 yılları için sırasıyla yaklaşık olarak %10, %15 ve %30 oranında artacağını tahmin etmişlerdir. Benzer şekilde Şen ve ark. (2008), Seyhan

Havzası'nda etkin yağışlarda ve dolayısıyla su kaynaklarında azalma, buna karşın bitki su gereksiniminde artış olacağını öngörmüşlerdir. Ayrıca Devenci (2015)'de de benzer artışlar söz konusudur.

Çizelge 5. 2016-2017 ve gelecek yıllar ETo sonuçları (mm gün<sup>-1</sup>)  
Table 5. ETo results for 2016-2017 and future years (mm day<sup>-1</sup>)

ETo (mm gün <sup>-1</sup> )	Referans Dönem (2016-2017)	Kısa Dönem (2020-2030)	Orta Dönem (2046-2055)	Uzun Dönem (2076-2085)
Ortalama	2,4	2,4	2,8	2,9
En Düşük	0,2	0,1	0,3	0,3
En Yüksek	9,3	9,5	9,5	9,5

## AquaCrop ve WOFOST Modeller ile Verim Tahmini Sonuçları

İklim değişikliğinin verime etkisinin AquaCrop ve WOFOST Modelleri ile belirlenebilmesi için 2016-2017 yılı için hesaplanan verim değerleri karşılaştırılarak kalibre edilmiş ve devamında buğday bitkisi için Akıncılar, Sofular ve Çövenli'de kısa, orta ve uzun dönem verim değerleri tahmin edilerek sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

### 2016-2017 dönemi ölçülen ve tahmin edilen verim değerleri

Buğday bitkisi için verim değerinin gelecek yıllar için modellenmesi aşamasında öncelikle 2016-2017 yılı ölçülen verim ile tahmin edilen verim değerleri karşılaştırılmış ve Çizelge 6'daki değerler elde edilmiştir. Buna göre ölçülen ve tahmin edilen verim değerlerinin %1,87 - %8,30'luk sapma aralığı ve 11,4 - 48,4 kg mutlak hata aralığı ile tahmin edildiği görülmüştür.

Çizelge 6. Ölçülen ve tahmin edilen verim değerleri  
Table 6. Measured and simulated yields

Model	Yer	Ölçülen Verim Değeri (kg da <sup>-1</sup> )	Tahmin Edilen Verim Değeri (kg da <sup>-1</sup> )	Tahmin Derecesi (Sapma) (%)	Mutlak Hata (kg da <sup>-1</sup> )
AquaCrop Model	Akıncılar	500	531	6,18	30,9
	Sofular	610	621	1,87	11,4
	Çövenli	640	664	3,70	23,7
WOFOST Model	Akıncılar	500	542	8,30	41,5
	Sofular	610	567	-7,11	43,4
	Çövenli	640	592	-7,56	48,4

### Buğday veriminin AquaCrop Model ve WOFOST Model ile kısa, orta ve uzun dönemler için simülasyonu

Buğday için Akıncılar, Sofular ve Çövenli'de AquaCrop ve WOFOST Modeller ile kısa, orta ve uzun dönem verim tahminleri ve 2016-2017 döneminden sapmalar hesaplanarak Çizelge 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 7. Referans döneme göre kısa, orta ve uzun vadede AquaCrop ve WOFOST modeli ile tahmin edilen buğday verimlerinde meydana gelecek değişimler

Table 7. Short- medium- and long-term forecasted wheat yields by AquaCrop and WOFOST Model against reference period

Model	Yer	Verim (kg da <sup>-1</sup> )				2016-2017 yılına göre sapma (%)		
		Referans Dönem (2016- 2017)	Kısa Dönem (2020-2030)	Orta Dönem (2046-2055)	Uzun Dönem (2076-2085)	Kısa Dönem (2020-2030)	Orta Dönem (2046-2055)	Uzun Dönem (2076-2085)
AquaCrop Model	Akıncılar	500	630	553	743	26	11	49
	Sofular	610	739	403	572	21	-34	-6
	Çövenli	640	848	789	989	32	23	55
WOFOST	Akıncılar	500	658	695	631	32	39	26

Sofular	610	678	686	625	11	12	2
Çövenli	640	597	630	606	-7	-2	-5

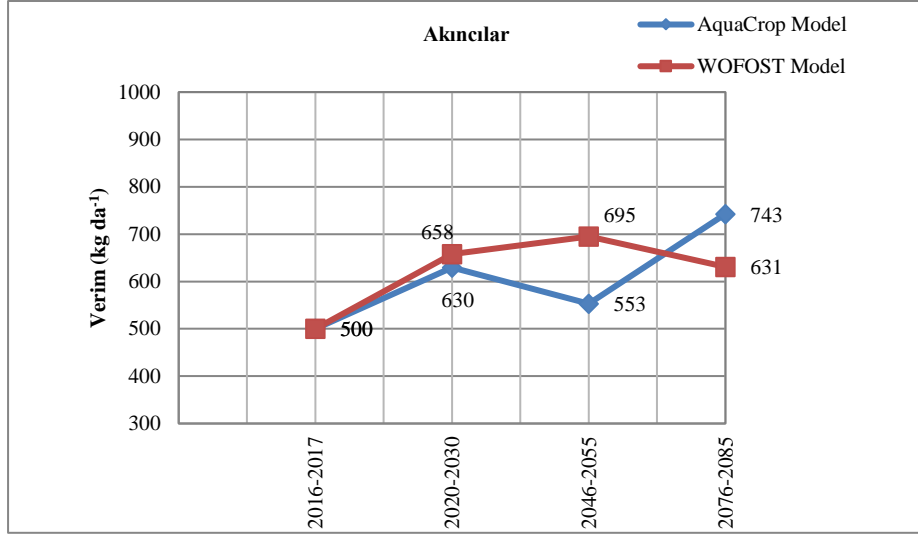
Çizelge 7 incelendiğinde, AquaCrop Modelde en yüksek verim artışı Çövenli uzun dönemde, en düşük verim değeri Sofular’da orta dönemde görülebileceği, WOFOST modelde ise en yüksek verim artışının Akıncılar’da orta dönemde, en düşük verim değerinin ise kısa dönemde Çövenli’de görülebileceği tahmin edilmektedir.

Akıncılar, Sofular ve Çövenli’deki gelecek yıllar verim tahminleri değerlendirildiğinde, AquaCrop Modelde Akıncılar ve Çövenli’de, WOFOST Modelde ise Akıncılar ile Sofular’da benzer eğilim gözlenmektedir (Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8). AquaCrop Modelde Akıncılar ve Çövenli’de aynı eğilimin görülmesi Çizelge 8 ile açıklanabilir. Her üç dönemde de yağışlar ve sıcaklıklar artmaktadır. Bununla birlikte Akıncılar ve Çövenli’de verim de artmaktadır. Çünkü bu iki bölgede de fenolojik gelişim yaklaşık olarak aynıdır. Sofular’da fenolojik gelişimden dolayı (çiçeklenme döneminin daha uzun olmasından) yağış ve sıcaklığın artmasına karşılık orta ve uzun dönemlerde verim değerleri düşmüştür. Yakın gelecekte yani kısa dönemde çok etkisi olmamasının nedeni ise yağış miktarının burada %31 oranında artış göstermesi olarak açıklanabilir. AquaCrop Modelde yağışın sıcaklığa göre daha etkili bir parametre olduğu yapılan hassasiyet analizleri sonrasında belirlenmiştir (Konukcu ve ark., 2019). Bununla beraber, Deveci (2015) bu durumu yaptığı çalışmada “verim üzerinde yağışın sıcaklıktan daha etkili olduğu gözlenmiştir” şeklinde belirtmiştir. Ayrıca Kapur ve ark. (2007), yağışın toprak neminin birincil kaynağı olup; kurak bölgelerde bitki verimine etki eden en önemli etken olduğunu vurgulamışlardır.

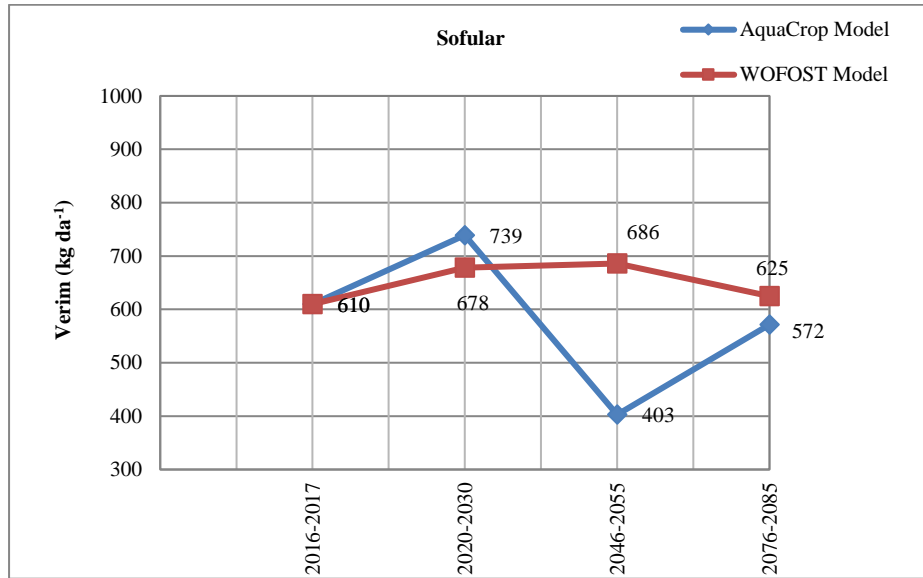
WOFOST Modelde Akıncılar ile Sofular’da benzer eğilim göstermesinin nedenini ise şu şekilde açıklamak mümkündür. Kalibrasyon aşamasında bu iki yerde kullanılan parametreler TSUM1 (ilk çıkıştan çiçeklenmeye olan termal sıcaklıklar toplamı) ve TSUM2 (çiçeklenmeden olgunluğa kadar olan termal sıcaklıklar toplamı)’dir. Çövenli’de ise bunlara ek olarak 3. parametre verimi yükseltebilmek için kullanılan AMAXTB (ürünün gelişme evresinin bir fonksiyonu olarak maksimum yaprak CO<sub>2</sub> asimilasyon hızı) devreye girmektedir. Bu parametrenin kullanılması ile birlikte Çövenli’de gelecek yıllarda eğilim azalma yönünde değişmektedir.

Her iki modelde oranlar değişiklik göstermekle birlikte ortak sonuç olarak Akıncılar’da üç dönemde ve Sofular’da ilk dönemde verim artışları gözlenecektir. Bu artışların AquaCrop Modelde %11 - %49 aralığında, WOFOST Modelde ise %11 - %39 aralığında olacağı tahmin edilmiştir. Deveci (2015), buğday veriminde vejetasyon dönemi kısılamı dikkate alınmadan AquaCrop Model ile yaptığı çalışmada Akıncılar’da %50’nin üzerinde, Çövenli’de ise yaklaşık %23 ile %41 oranlarında verim artışları gözleneceğini tahmin etmiştir. Bulunan sonuçlar çalışmada elde edilenler ile uyumludur.

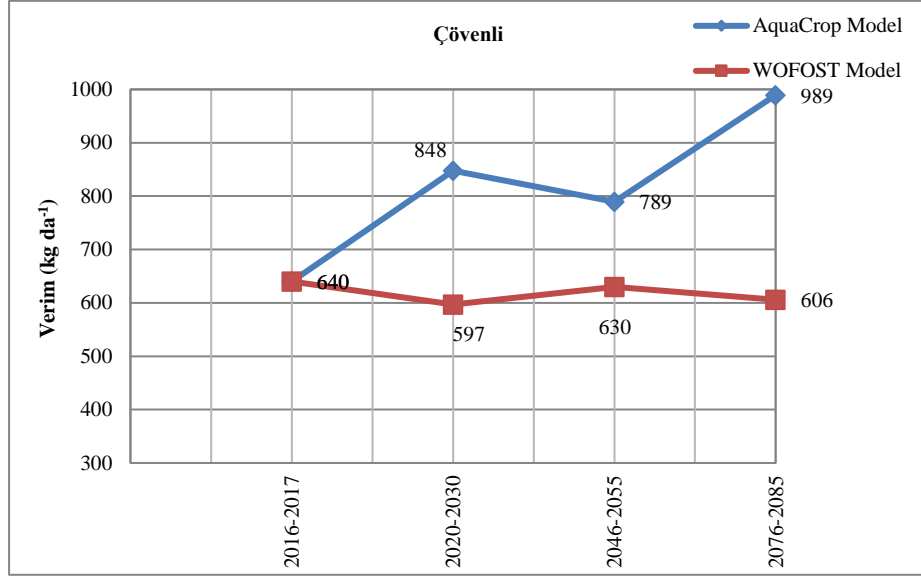
Yine her iki modelde meydana gelen verim düşüşleri yer ve dönem olarak farklılıklar göstermektedir. AquaCrop Modelde göre Sofularda orta ve uzun dönemlerde sırası ile %34 ve %6 oranlarında, WOFOST Modelde ise Çövenli’de her üç dönemde %2 - %7 oran aralığında verim azalışları meydana geleceği tahmin edilmektedir.



Şekil 6. Akıncılar alt havzası gelecek yıllar verim tahminleri  
Figure 6. Forecasted future wheat yields for Akıncılar watershed



Şekil 7. Sofular alt havzası gelecek yıllar verim tahminleri  
Figure 7. Forecasted future wheat yields for Sofular watershed



Şekil 8. Çövenli alt havzası gelecek yıllar verim tahminleri  
Figure 8. Forecasted future wheat yields for Çövenli watershed

Her ne kadar buğday için verim artışı yüksek gibi görünse de Trakya Bölgesi'nde buğday verimi bazı yıllarda dekara 670 kg ile 700 kg'a kadar çıkmaktadır (Çaldağ, 2009). Ayrıca Çaldağ (2009) yaptığı "Trakya Bölgesi'nin Tarımsal Meteorolojik Özelliklerinin Belirlenmesi" adlı doktora tez çalışmasında öncelikle meteorolojik değişkenlerin tek başına ve ikili kombinasyonlar halinde değişimlerini incelemiştir. Buna göre örneğin Kırklareli'nde buğdayın, (Rg+ $\%30$ ; CO<sub>2</sub>x4) kombinasyonuna yani güneş radyasyonunun  $\%30$  ve CO<sub>2</sub> miktarının 4 kat arttığı durumda dane veriminin  $\%67$ 'nin üzerinde artış tepkisi vereceğini öngörmüştür. Hassasiyet analizleri, kışlık buğdayın özellikle yağış azalmasına olumsuz verim tepkileri vereceğini göstermiştir. Söz konusu azalış, başka değişkenlerle olan kombinasyonlarda şiddetini arttırmakta olup, (T+5; P-  $\%40$ ) kombinasyonu yani sıcaklığın 5 derece artması ve yağışın  $\%40$  azalması durumunda Tekirdağ'da dane veriminin  $\%57$  oranında düşmesine sebebiyet vereceğini öngörmüştür. Küresel CO<sub>2</sub> artışları, birçok hassasiyet uygulamasının dikkat çekici sonuçlarına kaynak teşkil etmiştir. Edirne'de kışlık buğday verimi (T-1; CO<sub>2</sub>x4) kombinasyonu yani sıcaklığın 1 derece düşmesi ve CO<sub>2</sub> miktarının 4 kat arttığı durumda  $\%75$ 'e varan bir dane verimi artış tepkisi verdiği tahmin edilmiştir. Çizelge 8'de yıllara göre yağış dağılımı incelendiğinde baz aldığımız 2016-2017 döneme göre RegCM3'ün geleceğe yönelik yağış verilerinin AquaCrop Modele girilmesi ile kısa dönemde Akıncılar, Sofular ve Çövenli'de buğdayın yetiştirme dönemi boyunca yağışlar ortalama  $\%31$  oranına varan artışlar göstermiştir. Buna göre çalışmada yağışlarda  $\%31$  oranına varan artışların olduğu ve CO<sub>2</sub> miktarının A2 senaryosuna göre 2 kat arttığı göz önüne alındığında, araştırma alanında verim artışlarının görülmesi normal olarak değerlendirilmiştir.

Çaldağ (2009), 2071-2100 yılları arasında CERES-Wheat Modelini kullanarak Kırklareli'de ve Edirne'de kışlık buğday veriminin sırasıyla ortalama  $\%9$  ve  $\%30$  artacağını, Tekirdağ'da ise  $\%13$  oranında azalacağını belirlemiştir. Bu çalışmada 1975-2005 yılına kadar uzun yılların buğday üretimi ortalamasını Kırklareli'de 274,1 kg da<sup>-1</sup>, Edirne'de 288,0 kg da<sup>-1</sup> ve Tekirdağ'da 329,0 kg da<sup>-1</sup> almış ve bu değerleri CERES-Wheat Modelinin çıktılarını ile karşılaştırarak Kırklareli için (282,7 kg da<sup>-1</sup>)  $\%3,14$ , Edirne için (245,3 kg da<sup>-1</sup>)  $\%14,83$  ve Tekirdağ için (359,7 kg da<sup>-1</sup>)  $\%9,33$  oranında bağıl hata ile tahmin yapmıştır.

Çizelge 8. AquaCrop Modele göre gelecek yıllar buğday ortalama verim, yağış ve sıcaklık değerleri ile 2016-2017 döneminden sapma miktarları

Buğday	Referans Dönem (2016-2017)	Kısa Dönem (2020-2030)	Orta Dönem (2046-2055)	Uzun Dönem (2076-2085)	Kısa Dönem (2020-2030)	Orta Dönem (2046-2055)	Uzun Dönem (2076-2085)
				Verim (kg da <sup>-1</sup> )			
Akıncılar	500	630	553	743	26	11	49
Sofular	610	739	403	572	21	-34	-6
Çövenli	640	848	789	989	32	23	55
				Yağış (mm)			
Akıncılar	453	591	457	482	31	1	6
Sofular	453	591	457	482	31	1	6
Çövenli	460	601	465	490	31	1	6
				Sıcaklık (°C-gün)			
Akıncılar	2558	2615	3006	3295	2	18	29
Sofular	2612	2670	3065	3357	2	17	29
Çövenli	2541	2600	3005	3303	2	18	30

Kapur 2010 yılında yaptığı çalışmada Adana-99 buğday çeşidi için sıcaklıktaki 1 °C artış için çiçeklenmeye dek geçen sürenin 5, olgunluğa dek geçen sürenin ise 9 gün kısaldığını gözlemlemiştir. Bu çalışmada gelecek dönem tahminlerinde vejetasyon dönemi kısıtlımı dikkate alınmamış ve 2016-2017 yetiştirme dönemi baz alınmıştır. Bu nedenle verim değerlerinde artışlar görülmesi beklenti dahilindedir. Ayrıca özellikle orta ve uzun dönemde olası iklim değişikliği ile sıcaklık değerinin sırasıyla 1,43 °C ile 3,05 °C arttığı göz önüne alındığında buğday için yetiştirme dönemi kısalmaya ve verim değerlerinin de yüzde olarak daha az artış gösterebileceği ihtimal dahilinde olacaktır. Ayrıca Kapur ve ark. (2007), bitki verimliliği için yağışın mevsimsel dağılımının bozulmasının, toplam yağışın azalmasından daha da etkili olabileceğini belirtmişlerdir. Bu bağlamda, uzun dönemde diğer yıllara göre yağış rejiminin oldukça düzensizleşmesinden dolayı en büyük verim artışlarının bu dönemde oluşması normal olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak buğday veriminde vejetasyon dönemi kısıtlımı dikkate alınmadan AquaCrop Model ile Akıncılar ve Çövenli'de %50'ye varan verim artışları, Sofular'da ise yaklaşık %6 - %34 oranlarında verim azalışları tahmin edilirken, WOFOST Modelde Akıncılar'da %40'a, Sofular'da %12'ye varan artışlar, Çövenli'de ise %2 - %7 aralığında verim azalışları olacağı modellenmiştir.

## Sonuç

Yapılan bu çalışma ile RegCM3 Bölgesel İklim Modeli kullanılarak Trakya Bölgesi'nde Meriç-Ergene Havzası'nda yer alan Çorlu Pınarbaşı Havzası'nda kısa, orta, uzun dönemlerde iklim değişimi tahmini yapılmış, olası iklim değişikliğinin buğday bitki verimine etkisi modellenmiştir.

Kısa dönemde model referans yıllarına göre ortalama 0,27 °C sıcaklık azalışı, orta dönemde ortalama 1,43 °C ve uzun dönemde ise ortalama 3,05 °C sıcaklık artışı olacağı ayrıca toplam yağışın kısa dönemde 87 mm (%13) artacağı, orta dönemde 91 mm (%14) ve uzun dönemde 78 mm (%12) azalacağı tahmin edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile araştırma alanının da iklim değişikliğinden gelecek yıllar boyunca etkilenmeyeceği öngörülmüştür. Geçmiş yıllara oranla gelecek dönemlerde sıcaklıkların artacağı ve özellikle uzak yıllarda ise yağışların azalacağı sonucuna varılmıştır. İklim değişikliğinin etkileri tüm dünyada olduğu gibi araştırma alanında da şimdiden gözlenmektedir ve gelecekte de daha etkin bir şekilde hissedileceği tahmin edilmektedir. İlgili makamlarca kısa, orta ve uzun vadede ortak stratejiler belirlenip, uygulanarak, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini en aza indirmek, iklim değişikliğine karşı hassasiyeti azaltmak ana amaç olarak belirlenmelidir.

İklim değişikliğinin tarımsal üretime etkisinin belirlenmesi kapsamında, AquaCrop Model ile verim tahminlerinin yapılabilmesi için öncelikle ETo Calculator ile ETo değerleri hesaplanmıştır. İklim değişikliği ile birlikte sıcak ve yağış değerlerinin değişmesiyle ETo değerleri ilişkili olduğundan 2016-2017 yıllarında ortalama ETo değerinin (2,4 mm) yakın gelecek için değişmeyeceği, orta dönemde 2,8 mm'ye (%16) ve uzun dönemde ise 2,9 mm'ye (%20) çıkacağı tahmin edilmektedir. Verim tahmini yapabilmek için 2016-2017 dönemi içinde Akıncılar, Sofular ve Çövenli alt havzaları buğday çiftçi tarlalarından elde edilen verim değerleri, AquaCrop ve WOFOST Modellerde hesaplanan verim değerleri ile karşılaştırılarak kalibre edilmiştir. Buna göre ölçülen ve tahmin edilen verim değerlerinin %1,87 - %8,30'luk sapma aralığı ve 11,4 - 48,4 kg da<sup>-1</sup> mutlak hata aralığı ile



tahmin edildiği görülmüştür. Daha sonra ise buğday bitkisi için Akıncılar, Sofular ve Çövenli'de RegCM3 Bölgesel İklim Modelinden elde edilen iklim verileri ile kısa, orta ve uzun dönemler için verim değerleri tahmin edilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada olası iklim değişikliğinin buğday veriminde vejetasyon dönemi kısılamı dikkate alınmadan AquaCrop Modelde Akıncılar ve Çövenli'de %50'ye varan verim artışları, Sofular'da ise yaklaşık %6 ile %34 oranlarında verim azalışları gözleneceği, WOFOST Modelde ise Akıncılar'da %40'a ve Sofular'da %12'ye varan verim artışları, Çövenli'de ise %2 - %7 aralığında verim azalışlarının gözleneceği tahmin edilmiştir. Bu durumda günümüz koşullarında tarım arazilerinin sanayileşme, konutlaşma gibi nedenlerle gittikçe azalması ile birlikte nüfusun da ne oranda artacağı önemlidir. Çünkü nüfusun hızla artması ile birlikte su ve besin maddelerine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Ayrıca Trakya Bölgesi şu haliyle buğdayda potansiyele yakın verim elde edilen ender tarım arazilerine sahiptir. İklim değişikliğinden de çok fazla etkilenmeden Türkiye için stratejik bir bölge olarak önemini arttıracakı düşünülmektedir. Dolayısıyla arazi kullanım değişikliğinin engellenmesi ile birlikte tarım arazilerinin diğer sektörlere kaydırılmasına şiddetle karşı çıkılması gerekmektedir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından NKUBAP.03.GA.16.063 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

## Kaynakça/References

- Andarzian, B., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M. E., Barati, M. A., Rahnama, A. (2011). Validation and testing of the AquaCrop Model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management*. 100: 1-8.
- Anonim, (2012). Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Tekirdağ İl Müdürlüğü veri bankası.
- Bakanogullari, F., Yesilkoy, S., Akataş, N., Saylan, L., Çaldağ, B. (2017). Modelling the adaptation capabilities of sunflower and winter wheat to crop rotation and possible climatic change in Thrace. *International Scientific*. 135.
- Boogaard, H. L., Van Diepen, C. A., Rotter, R. P., Cabrera, J. M. C. A., Van Laar, H. H. (1998). *WOFOST 7.1; user's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5* (No. 52). SC-DLO.
- Bregaglio, S., Frasso, N., Pagani, V., StellaT., Francone, C., Cappelli, G., Acutis, M., Balaghi, R., Ouabbou, H., Paleari, L., Confalonieri, R. (2015). New multi-model approach gives good estimations of wheat yield under semi-arid climate in Morocco. *Agron. Sustain. Dev.* 35: 157-167.
- 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*. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Çaldağ, B., Şaylan, L., Özgür, E., Semizoğlu, E., Çaylak, O., Özkoca, Y. (2012). Comparison of two crop simulation for the estimation of winter wheat growth and yield in northwest Turkey. *BALWOIS 2012 - Ohrid, Republic of Macedonia - 28 May, 2 June 2012*.
- Dalfes, N., Karaca, M., Şen, Ö. L., Kindap, T., Önal, B., Turunçoğlu, U. U., Bozkurt, D., Fer, İ., Akın, H. S., Çankur, R., Ural, D., Kılıç, G., Coşkun, M., Demir, İ. (2008). Türkiye için iklim değişikliği senaryoları, TÜBİTAK. Proje No:105G015. <http://gaia.itu.edu.tr/>, (erişim tarihi: 19.11.2018).
- Demir, İ., Kılıç, G., Coşkun, M. (2008). PRECIS Bölgesel İklim Modeli ile Türkiye için iklim öngörülere: HADAMP3 SRES A2 senaryosu. *IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 25-28 Mart, 365-373*, İstanbul.
- Demir, İ., Kılıç, G., Alan, D., Tüvan, A., Demirbaş, H. (2010). Bölgesel iklim modeli projeksiyonları ve önemi, *1. Meteoroloji Sempozyumu*. Ankara. 2010. 195-208.
- Deveci, H. (2015). *Trakya Bölgesi'nde iklim değişikliğinin yüzey su kaynakları, toprak nemi ve bitki verimine etkisinin modellenmesi*. Doktora Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 210 s, Tekirdağ.
- Deveci, H., 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*. Tekirdağ, 269-282.
- Deveci, H., Konukcu, F. (2019). Çorlu Pınarbaşı Havzasının bazı havza karakteristiklerinin ve toprak özelliklerinin coğrafi bilgi sistemi (CBS) yardımı ile belirlenmesi. *Hasat Uluslararası Tarım ve Orman Kongresi, Bildiriler Kitabı, 21-23 Haziran, Ankara, Türkiye, 1067-1085*.
- İklimSu, (2016). İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi raporu. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, *Proje Nihai Raporu, Yönetici Özeti*, 67 s. [http://iklim.ormansu.gov.tr/ckfinder/userfiles/files/iklim\\_Nihai%20Rapor\\_YoneticisiOzeti.pdf](http://iklim.ormansu.gov.tr/ckfinder/userfiles/files/iklim_Nihai%20Rapor_YoneticisiOzeti.pdf), (erişim tarihi: 27.01.2019).
- Kale, S., Tarı, A. F. (2012). Sulu ve kuru koşullar altında kışlık buğday için FAO-AQUACROP modelinin performansının değerlendirilmesi. *Toprak Su Dergisi*, 2: 119-131.
- Kanber, R., Kapur, B., Ünlü, M., Tekin, S., Koç, L. D. (2008). İklim değişiminin tarımsal üretim sistemleri üzerine etkisinin değerlendirilmesine yönelik yeni bir yaklaşım: ICCAP projesi. *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi*. Ankara. 83-94.
- Kapur, B., Topaloğlu, F., Özfidaner, M., Koç, M. (2007). Çukurova Bölgesi'nde küresel iklim değişikliği ve buğday verimliliği üzerine etkilerine genel bir yaklaşım. *Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Etkileri Sempozyumu*, 18-20 Ekim, Konya.
- Kapur, B. (2010). *Artan CO<sub>2</sub> ve küresel iklim değişikliğinin Çukurova Bölgesi'nde buğday verimliliği üzerine etkileri*. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana.
- Koç E. M. (2011). *İklim değişikliğinin tarıma olası etkilerinin WOFOST bitki iklim modeli ile araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Konukcu, F., Deveci, H., Altürk, B. (2017). Trakya Bölgesi'nde iklim değişikliğinin buğday verimine etkisinin matematiksel modellerle tahmin edilmesi. *BAP projesi*. Tekirdağ. NKUBAP.03.GA.16.063. <http://hdl.handle.net/20.500.11776/2959>, (erişim tarihi: 25.01.2019).
- Konukcu, F., Deveci, H., Altürk, B. (2019). Buğday verim tahmininde AquaCrop ve WOFOST modeller ile iklim parametrelerindeki değişime karşı hassasiyetin belirlenmesi. *Hasat Uluslararası Tarım ve Orman Kongresi, Bildiriler Kitabı, 21-23 Haziran, Ankara, Türkiye, 1054-1066*.
- Mishra, S. K., Shekh, A. M., Yadav, S. B., Kumar, A., Patel, G. G., Pandey, V., Patel, H. R. (2013). Simulation of growth and yield of four wheat cultivars using WOFOST Model under middle Gujarat Region. *Journal of Agrometeorology*, 15 (1): 43-50.

- Mkhabela, M. S., Bullock, P. R. (2012). Performance of the FAO AquaCrop Model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. *Agricultural Water Management*, 110: 16-24.
- Önol, B., Ünal, Y. S., Dalfes, H. N. (2009). İklim değişimi senaryosunun Türkiye üzerindeki etkilerinin modellenmesi. *İTÜ Dergisi*, 8 (5): 169-177.
- Özkul, S., Fıstıkoğlu, O., Harmancıoğlu, N. (2008). İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisinin Büyük Menderes ve Gediz havzaları örneğinde değerlendirilmesi. *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi*. Ankara, 309-322.
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... Dubash, N. K. (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*. R. Pachauri and L. Meyer (editors). Geneva, Switzerland, IPCC, 151 p., ISBN: 978-92-9169-143-2.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E. (2009). AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water. *FAO Land and Water Division*, FAO, Rome.
- Raes, D. (2012). *The ETo calculator. Reference Manual Version 3.2*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Singh, A., Saha, S., Mondal, S. (2013). Modelling irrigated wheat production using the FAO, AquaCrop Model in West Bengal India for sustainable agriculture. *Irrigation and Drainage*. 62: 50-56.
- Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanogulları, F., Çaylak, O., Koç, E. M., Özkoca, Y., Semizoğlu, E., Karayusufoğlu, S., Özgür, E., Gürbüz, M. A., Günay, S. (2011). Project "analysis of climate change effects on crop growth by crop simulation models". *EMS Annual Meeting Abstracts*, Vol. 8, EMS2011-744, 11th EMS / 10th ECAM.
- Şen, B., Topçu, S., Giorgi, F., Xunqiang, B., Kamt, E. G., Dalkılıç, T. (2008). Seyhan Havzasında iklim değişikliğinin tarımsal su kullanımına etkileri. *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi*, Ankara, . 71-82.
- Şen, Ö. L., Bozkurt, D., Göktürk, O. M., Dündar, B., Altürk, B. (2013). Türkiye’de iklim değişikliği ve olası etkileri. 3. *Taşkın Sempozyumu*. 29-30 Nisan 2013.
- Şimşek, O., Mermer, A., Yıldız, H., Özyayın, K. A., Çakmak, B. (2007). Türkiye’de buğdayın verim tahmini. *Tarım Bilimleri Dergisi*. 13 (3): 299-307.
- Tripathy, R., Chaudhari, K. N., Mukherjee, J., Ray, S. S., Patel, N. K., Panigrahy, S., Parihar, J. (2013). Forecasting wheat yield in Punjab state of India by combining crop simulation model WOFOST and remotely sensed inputs. *Remote Sensing Letters*. Vol. 4(1): 19–28.
- Wolf, J., De Wit, A. (2003). Calibration of WOFOST crop growth simulation model for use within CGMS. *Report, RIZA, SC. DLO*. Wageningen, the Netherlands.