

NKUBAP.03.GA.16.063

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

**Yürütücü: Prof. Dr. Fatih KONUKCU
Araştırmacı: Öğr. Gör. Dr. Huzur DEVECİ
Araştırmacı: Öğr. Gör. Dr. Bahadır ALTÜRK**

2017

ÖNSÖZ

İklim değişikliğinin bir çok sektör yanında tarım sektörünü de olumsuz etkileyeceği tahmin edilmektedir. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmak için öncelikle iklim değişikliğinin tahmin edilmesi daha sonra olası değişikliklerin tarımsal üretime etkilerinin iyi değerlendirilmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. İklim değişikliğinin tarımsal üretim veya verime etkisi son yıllarda yoğun bir şekilde çalışılmaktadır.

İklim değişikliğinin tarımsal üretime yani verime etkilerinin değerlendirilerek yerel yönetimlere, araştırmacılara ve ileriye dönük karar vericilere veri sağlamak amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı, AquaCrop ve WOFOST (World Food Studies) verim tahmini modelleri ile Trakya Bölgesi'nde iklim değişikliğinin kısa (2020-2030), orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) 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. Böylece iklim değişikliğine karşı hassasiyetin azaltılması ile gelecek yıllara projeksiyon tutacak olan bu çalışma, **Namık Kemal Üniversitesi BAP tarafından (NKUBAP.03.GA.16.063) desteklenmiştir.**

ÖZET

Trakya Bölgesi'nde İklim Değişikliğinin Buğday Verimine Etkisinin Tahmin Edilmesi

Prof. Dr. Fatih KONUKCU, Öğr. Gör. Dr. Huzur DEVECİ, Öğr. Gör. Dr. Bahadır ALTÜRK

İklim değişikliğinin birçok sektör yanında tarım sektörünü de olumsuz etkileyeceği tahmin edilmektedir. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmak için öncelikle iklim değişikliğinin tahmin edilmesi daha sonra olası değişikliklerin tarımsal üretime etkilerinin iyi değerlendirilmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, AquaCrop Model ve WOFOST (World Food Studies) verim tahmin modelleri ile Trakya Bölgesi'nde iklim değişikliğinin kısa (2020-2030), orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) vadede buğday verimine etkisini modellemektir. İklim değişikliğinin tahmininde RegCM3 Bölgesel İklim Modeli, referans ve A2 senaryosu çıktıları kullanılmıştır. 1970-1990 yılları için araştırma alanından ölçülen sıcaklık ve yağış verileri ile model referans verileri karşılaştırılarak kısa (2020-2030), orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) dönemler için sıcaklık ve yağış değişimi tahmin edilmiştir. Çorlu Pınarbaşı Havzasında yer alan üç farklı mevkide (Akıncılar, Sofular, Çövenli) çiftçi tarlalarından 2016-2017 döneminde elde edilen buğday verimleri, modellerle tahmin edilen buğday verimleri ile karşılaştırılmış, söz konusu modeller ile test edilmiş ve gelecek dönemler için verim değerleri tahmin edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre araştırma alanında, kısa (2020-2030) dönemde model referans yıllarına göre ortalama 0,27 °C sıcaklık azalışı, orta (2045-2055) dönemde ortalama 1,43 °C ve uzun (2075-2085) dönemde ise ortalama 3,05 °C sıcaklık artışı olacağı, kısa (2020-2030) dönemde toplam yağışın 87 mm artacağı (% 13), orta (2045-2055) dönemde toplam yağışın 91 mm azalacağı (% 14) ve uzun (2075-2085) dönemde toplam yağışın 78 mm azalacağı (% 12) tahmin edilmiştir. 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 ve Sofular'da %40'a varan verim artışları, Çövenli'de ise % 2 - % 7 aralığında verim azalışlarının gözleneceği tahmin edilmiştir.

Anahtar kelimeler: İklim değişikliği, Verim tahmini, AquaCrop Model, WOFOST Model, Buğday, Trakya

2017, 59 sayfa

ABSTRACT

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

Prof. Dr. Fatih KONUKCU, Öğr. Gör. Dr. Huzur DEVECİ, Öğr. Gör. Dr. Bahadır ALTÜRK

It is estimated that climate change will negatively affect agriculture sector as well as many other sectors. To decrease the vulnerability and take the required precautions against climate change, it is crucial to forecast the climate change and then estimate its effects on agricultural production. The aim of this study was to model the effects climate change on the yield of wheat in short (2020-2030), mid (2045-2055) and long (2075-2085) terms in Trakya region using AquaCrop and WOFOST models. RegCM3 Regional Climate Model, reference and A2 scenario outputs were used in the estimation of climate change. The changes in temperature and precipitation were estimated for the future period of 2020-2030, 2045-2055 and 2075-2085 by comparing temperature and precipitation data measured in the study area for the period of 1970-1990 and model reference data. Wheat yields obtained from three different sites (Akıncılar, Sofular, Çövenli) farmland fields in Çorlu Pınarbaşı Basin were compared with wheat yields estimated by the models in 2016-2017 season, tested with the corresponding models and yield for the future periods were simulated. Temperature rises of 0,27 °C, 1,43 °C, and 3,05°C were forecasted for the short (2020-2030), mid (2045-2055) and long (2075-2085) terms, respectively when compared with the data of reference year whereas 87 mm (%13) increase during 2020-2030, 91 mm (14%) 78 mm (12%) decreases for the periods of 2045-2055 and 2075-2085, respectively, were predicted. In AquaCrop Model, yield increases of up to 50% in Akıncılar and Cövenli and yield decreases between 6% and 34% in Sofular were simulated. In WOFOST Model, yield increases of up to 40% in Akıncılar and Sofular were found while yield decreases in the range of 2% - 7% was forecasted in Cövenli.

Keywords: Climate Change, Yield Prediction, AquaCrop Model, WOFOST Model, Wheat, Thrace

2017, 59 pages

İÇİNDEKİLER	Sayfa No
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	v
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1.GİRİŞ.....	1
2.KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
2.1. İklim ve İklim Değişikliği.....	3
2.2. İklim Değişikliğinin Nedenleri.....	5
2.3. İklim Değişikliği Tahmin Modelleri.....	7
2.4. İklim Değişikliğinin Etkileri.....	10
2.4.1. İklim Değişikliğinin Bitki Verimine Etkisi.....	10
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	18
3.1. MATERYAL.....	18
3.1.1. Araştırma Alanı.....	18
3.1.2. Araştırma Alanının İklimi.....	18
3.1.3. Araştırma Alanının Toprak Özellikleri.....	19
3.1.4. Buğday Bitkisi.....	19
3.1.5. ETo Calculator (ETo Hesaplayıcı).....	22
3.1.6. Verim Tahmin Modeli: AquaCrop.....	22
3.1.7. Verim Tahmin Modeli: WOFOST.....	26
3.2. YÖNTEM.....	29
3.2.1. İklim Değişikliğinin Modellenmesi.....	29
3.2.2. Hassasiyet Analizi.....	29
3.2.3. ETo Calculator ile ETo Hesaplanması.....	29
3.2.4. Verim Tahmininin Modellenmesi.....	30
3.2.4.1. AquaCrop Model ile Verim Tahmininin Modellenmesi.....	30
3.2.4.2. WOFOST Model ile Verim Tahmininin Modellenmesi.....	35
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	39

4.1. Pınarbaşı Havzası Olası İklim Değişikliği Sonuçları.....	39
4.1.1. 1970-1990 Yılları Arası Referans Sıcaklık ve Yağış Değerleri.....	39
4.1.2. Kısa (2020-2030), Orta (2045-2055) ve Uzun (2075-2085) Dönem Sıcaklık ve Yağış Değerlerinin Modellenmesi.....	44
4.2. Hassasiyet Analizi.....	44
4.3. 2016-2017, Kısa (2020-2030), Orta (2045-2055) ve Uzun (2075-2085) Dönem ETo Sonuçları.....	47
4.4. Verim Tahmini Sonuçları.....	47
4.4.1. 2016-2017 Dönemi Ölçülen ve Tahmin Edilen Verim Değerleri.....	48
4.4.2. Buğday Veriminin AquaCrop ve WOFOST Model ile Kısa (2020-2030), Orta (2045-2055) ve Uzun (2075-2085) Dönemler için Simülasyonu.....	48
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	55

SİMGELER DİZİNİ

ppm	: Milyonda bir kısım
ppb	: Milyarda bir kısım
ET _o	: Referans evapotranspirasyon (mm gün ⁻¹)
R _n	: Net radyasyon (Mj m ⁻² gün ⁻¹)
G	: Toprağın ısı iletkenliği (Mj m ⁻² gün ⁻¹)
T	: 2 m yükseklikteki hava sıcaklığı (°C)
U ₂	: 2 m yükseklikteki rüzgâr hızı (m s ⁻¹)
e _s	: Havanın doygun buhar basıncı (kPa)
e _a	: Gerçek buhar basıncı (kPa)
e _s -e _a	: Buhar basınç açığı (kPa)
Δ	: Buhar basınç eğimi (kPa °C ⁻¹)
γ	: Psikometrik sabite (kPa °C ⁻¹)
Y _x	: Maksimum verimi (t ha ⁻¹)
Y _a	: Gerçek verimi (t ha ⁻¹)
k _y	: Bağıl verim kaybının bağıl evapotranspirasyona olan oranı
ET _x	: Maksimum evapotranspirasyon (mm gün ⁻¹)
ET _a	: Gerçek evapotranspirasyon (mm gün ⁻¹)
B	: Biyokütle (ton ha ⁻¹)
WP	: Su verimlilik parametresi (g m ⁻²)
Tr	: Bitkiden olan terleme (mm)
Y	: Verim (ton ha ⁻¹)
HI	: Hasat indeksi (%)
GD	: Büyüme derece (Growing degree)
CC _o	: Filizlenme % 90'ının tamamlandığı zamandaki bitki örtüsü (m ² m ⁻²)
CGC	: Bitki gelişim katsayısı
CDC	: Bitki zayıflama katsayısı
BDG	: Büyüme derece gün
Kcb	: Bitkiden olan terleme katsayısı
Ke	: Nemli toprak yüzeyinden olan buharlaşma katsayısı
PWP	: Solma noktası (%)
FC	: Tarla kapasitesi (%)

SAT	: Doygunluk yüzdesi (%)
TAW	: Kök bölgesindeki toplam kullanılabilir su miktarı (mm m^{-1})
Ksat	: Doymuş hidrolik iletkenlik (mm gün^{-1})
tau	: Drenaj katsayısı
REW	: Kolayca buharlaşan su değeri
θ_{FC}	: Tarla kapasitesindeki birim hacimde bulunan su miktarı ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
$\theta_{\text{air dry}}$: Kuru havada birim hacimde bulunan su miktarı ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
$Z_{e,\text{surf}}$: Buharlaşmanın olduğu toprak yüzeyinin kalınlığı (m)
θ_{PWP}	: Solma Noktasındaki toprak su içeriği ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
θ_{res}	: Kalıcı nem içeriği ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
θ_{sat}	: Doygun nem içeriği ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
α	: Ana kuruma eğrisi alfa katsayısı
LAI	: Yaprak alan indeksi

KISALTMALAR

IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
ICCAP	: Impact of Climatic Change on Agricultural Production in Arid Areas (Kurak Alanlarda İklim Değişiminin Tarımsal Üretime Etkisi)
PRECIS	: Providing Regional Climates for Impacts Studies (Etkilerin Çalışılabilmesi için Bölgesel İklim Değişikliğinin Sağlanması)
RIHN	: Research Institute for Humanity and Nature (İnsan ve Doğa Araştırma Enstitüsü)
SRES	: Emisyon Senaryoları Özel Raporu
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TÜMAS	: Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv ve Yönetim Sistemi
HCFC	: Hidrokloroflorokarbon
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change (İklim Değişikliği Birleşmiş Milletler Çerçeve Sözleşmesi)
TERCH-RAMS	: Terrestrial Environment Research Center- Regional Atmospheric Modeling System (Karasal Çevre Araştırma Merkezi-Bölgesel Atmosferik Modelleme Sistemi)
RegCM3	: Third-Generation Regional Climate Model (Üçüncü Nesil Bölgesel İklim Modeli)
KAMAG	: Kamu Araştırmaları Destek Grubu
CERES	: Crop Environment Resource Synthesis (Bitki Çevre Kaynak Sentezi)
DSSAT	: Decision Support System for Agrotechnology Transfer (Tarım Teknolojileri Transferi için Karar Destek Sistemi)
SIMWASER	: Simulation Von Wasser und Ertrag (Su ve Verim Simülasyonu)
CropSyst	: Cropping Systems Simulation Model (Bitki Sistemleri Simülasyon Modeli)
WOFOST	: World Food Studies (Dünya Gıda Çalışmaları)
CRU	: Climatic Research Unit (İklim Araştırma Birimi)
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization of United Nations)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. 0-2005 yılları için sera gazı konsantrasyonları (ton CO ₂ eşd./kişi) (Forster ve ark. 2007, Blasting 2008).....	6
Şekil 2.2. 1900-2010 yılları için sıcaklık anomalisi (Anonim 2016).....	6
Şekil 3.1. Pınarbaşı Havzası'nın konumu	18
Şekil 3.2. Eşitlik 3.21.'in şematik gösterimi (Raes ve ark. 2009a).....	24
Şekil 3.3. AquaCrop Model akış şeması (Raes ve ark. 2009a).....	25
Şekil 3.4. WOFOST Model meteoroloji dosyası.....	36
Şekil 3.5. WOFOST Model bitki dosyası.....	37
Şekil 3.6. WOFOST Model toprak dosyası.....	38
Şekil 4.1. 1970-1990 yılları arası Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli minimum sıcaklık (°C) değerleri.....	40
Şekil 4.2. 1970-1990 yılları arası Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli maksimum sıcaklık (°C) değerleri.....	40
Şekil 4.3. 1970-1990 yılları arası Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli ortalama sıcaklık (°C) değerleri.....	41
Şekil 4.4. 1970-1990 yılları arası Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli yağış (mm) değerleri.....	41
Şekil 4.5. Minimum sıcaklık değişimi.....	45
Şekil 4.6. Maksimum sıcaklık değişimi.....	45
Şekil 4.7. Yağış değişimi.....	46
Şekil 4.8. Radyasyon değişimi.....	46
Şekil. 4.9. Akıncılar alt havzası gelecek yıllar verim tahminleri.....	50
Şekil. 4.10. Sofular alt havzası gelecek yıllar verim tahminleri.....	50
Şekil. 4.11. Çövenli alt havzası gelecek yıllar verim tahminleri.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ	Sayfa No
Çizelge 3.1. Araştırma alanına ilişkin iklim değerlerinin uzun yıllar ortalamaları (1970–2011).....	20
Çizelge 3.2. Araştırma alanındaki toprakların bazı önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	21
Çizelge 3.3. Buğday bitkisinin özellikleri.....	22
Çizelge 4.1. 1970-1990 yılları Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli ortalama sıcaklıklarının (°C) karşılaştırılması.....	42
Çizelge 4.2. 1970-1990 yılları Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli aylık ortalama yağışın (mm) karşılaştırılması.....	43
Çizelge 4.3. 2016-2017 ve gelecek yıllar Eto sonuçları (mm gün ⁻¹).....	47
Çizelge 4.4. Ölçülen ve tahmin edilen verim değerleri ve sapma miktarları	48
Çizelge 4.5. Gelecek yıllar buğday ortalama verim, yağış ve sıcaklık değerleri ile 2016-2017 yılından sapma miktarları.....	48

1. GİRİŞ

Yıllardan beri bilinen ve tartışılan iklim değişikliği günümüzde en büyük tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır. Küresel ısınmanın önemli oranda insan kaynaklı sera gazları tarafından gerçekleştiği, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin son toplantısında da tartışmalara yer bırakmayacak şekilde vurgulanmıştır. Türkiye ise bugüne kadar insan kaynaklı iklim değişikliği ile ilgili çalışmalarını küresel ölçekte incelemiş, bunların ülkemiz coğrafyasına etkilerini değerlendirmede ise kısmen yetersiz kalmıştır. 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).

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 uluslar arası düzeyde çalışmalar yapılması gerekmektedir. Her bölgede sektörler, kendi sektörü bazında alması gereken önlemleri bilmek ve gerekenleri yapmak zorundadır. İklim değişikliğinin ülkemizde de su kaynaklarını ve tarımsal üretimi kısıtlayıcı bir rol oynayacağı beklenmektedir. Bu nedenle ülkemiz su kaynaklarının planlaması ve yönetimi yanında tarımsal üretimde iklim değişikliğinin potansiyel etkileri dikkate alınmalı, olası değişimlere karşı hassasiyetleri irdelenmelidir (Özkul ve ark., 2008). Bu etkileri azaltmak için öncelikle iklim değişikliğinin çok iyi tahmin edilmesi daha sonra olası değişikliklerin su kaynakları ve tarımsal üretime etkilerinin iyi değerlendirilmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

İklim değişikliğinin etkilerinin önlenmesi ya da en az düzeye indirilmesi için geleceğe yönelik iklim değişikliği senaryolarının oluşturulması ve bu senaryolara göre etki değerlendirilmelerinin yapılması gerekmektedir. İklim değişikliğinin etkileri alansal ve zamansal ölçekte farklılık gösterecektir. Hangi bölgelerde, hangi sektörlerin, hangi düzeyde etkileneceğinin belirlenmesi, ülkelerin iklim değişikliğinin sonuçlarına hazırlıklı olması ve iklim değişikliğine uyum bakımından çok önemlidir (Demir ve ark., 2008a).

İklim değişikliğinin tüm sektörleri etkilemesi beklenirken, tarım sektörü üzerine etkisinin çok daha büyük düzeyde olacağı bildirilmektedir (Kanber ve ark., 2010). Bu nedenle bölgesel bazda tarıma ve özellikle verime etkisi mutlaka incelenmelidir.

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 büyük farklılıklar ve % 90'a varan verim artışı gibi spekülatif veriler elde edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, AquaCrop ve WOFOST (World Food Studies) verim tahmini modelleri ile Trakya Bölgesi'nde iklim değişikliğinin kısa (2020-2030), orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) 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;

- AquaCrop ve WOFOST modellerde verim tahmininde iklim parametrelerinden hangisinin etkisi daha fazla yada daha hassas olduğunun belirlenebilmesi için hassasiyet analizleri yapılacak;
- 2016-2017 yılı iklim verileri ve Trakya Bölgesi'ni temsilen seçilen üç lokasyondaki Ergene Havzası içinde yer alan Akıncılar, Sofular ve Çövenli'de arazi verileri kullanılarak, AquaCrop ve WOFOST (World Food Studies) modelleri ile bu lokasyonlardaki 2016-2017 dönemi buğday verimleri tahmin edilecek;
- Üç lokasyonda 2016-2017 dönemi için ölçülen buğday verimleri, modellerin hesapladığı tahmini buğday verimleri ile karşılaştırılarak, modellerin hassasiyetleri belirlenecek;
- Seçilen arazilere ait veriler ve RegCM3 Bölgesel İklim Modelinden elde edilen gelecekteki iklim verileri kullanılarak, iklim değişikliğinin kısa (2020-2030), orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) vadede buğday verimine etkisi tespit edilecek;
- AquaCrop ve WOFOST modelleri 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.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. İklim ve İklim Değişikliği

İklim, “yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca yaşanan ya da gözlenen tüm hava koşullarının ortalama durumu” olarak tanımlanmaktadır. İklim tanımı, aşırı olayları, sıklık dağılımlarını, olasılıkları ve değişkenliği de içermek zorundadır. Bu yüzden son yıllarda iklimi tanımlarken, “hava olaylarının ya da koşullarının ortalama durumu” yerine, “hava olaylarının, atmosferik süreçlerin ve iklim elemanlarının değişkenlikleri, uç oluşumları ve ortalama değerleri gibi uzun süreli istatistiklerle karakterize edilen sentezi” yaklaşımı seçilmektedir (Türkeş, 1997). İklim değişikliği ise, “nedeni ne olursa olsun, iklim koşullarındaki büyük ölçekli (küresel) ve önemli yerel etkileri bulunan, uzun süreli ve yavaş gelişen değişiklikler” biçiminde tanımlanmaktadır (Türkeş, 1997). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’nde (UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change) “karşılaştırılabilir bir zaman periyodunda gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan etkinlikleri sonucunda iklimde oluşan bir değişiklik” biçiminde tanımlanmıştır (Türkeş, 2007).

İklim değişikliği, bugün Dünya’da karşılaştığımız küresel ölçekte en büyük çevre sorunlarından birisi olarak kabul edilmektedir. Bugün geline nokta itibariyle iklim değişikliği; fiziksel ve doğal çevre, şehir hayatı, kalkınma ve ekonomi, teknoloji, tarım ve gıda, temiz su ve sağlık olmak üzere hayatımızın her safhasını etkilemekte ve ülkelerin bu konularda çözüm çabalarını arttırmalarını zorunlu kılmaktadır. Ülkeler bu konuda ortak hareket edebilmek amacıyla, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’ni geliştirmişlerdir. Sözleşme, ülkelerin 2000 yılına kadar olan yükümlülüklerini kapsamaktadır. Kyoto Protokolü ile 2008-2012 dönemi için yükümlülükler düzenlenmiştir. 2005 yılında başlayan ve 2009 yılında sonuçlandırılan süreçte, 2012 sonrası için iklim değişikliğiyle mücadele hedefleri belirlenmiştir (Anonim, 2008a).

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ile sanayileşmiş ülkelerin sera gazı salımlarını stabilize etmeleri yönünde bağlayıcı olmayan bir yükümlülük tanımlamışken, Kyoto Protokolü sanayileşmiş ülke taraflarına bağlayıcı sera gazı salım sınırlama ve azaltım yükümlülükleri getirmiştir. 2008-2012 yılları arasında kapsayan ilk yükümlülük döneminde toplam sera gazı salımlarını 1990 yılının % 5 altına indirmelerini öngören, toplu bir hedef veya tavan koymuştur. Sözleşmenin nihai amacı, atmosferdeki sera gazı birikimlerini, iklim sistemi üzerindeki tehlikeli insan kaynaklı etkiyi önleyecek bir düzeyde durdurmaaktır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi bir çerçeve sözleşme olarak genel kuralları, esasları ve yükümlülükleri tanımlamaktadır. Sözleşme, iklim sisteminin bütünlüğü, başta endüstri ve diğer sektörlerden kaynaklı karbondioksit ve öteki sera gazı salımlarından etkilenebilecek, ortak bir varlık olduğunu kabul etmektedir (Anonim, 2014a). Türkiye, resmen 24 Mayıs 2004 tarihinde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’ne ve 26 Ağustos 2009 tarihinde de Kyoto Protokolü’ne taraf olmuştur.

Türkiye’deki iklim değişikliğine bakıldığında konum olarak Türkiye subtropikal kuşakta kıtaların batı bölümünde oluşan ve Akdeniz iklimi olarak adlandırılan bir büyük iklim bölgesinde yer almaktadır. Üç yanı denizlerle çevrili ve ortalama yüksekliği yaklaşık 1100 m olan Türkiye’de, birçok alt iklim tipi belirmiştir. İklim tiplerindeki bu çeşitlilik, Türkiye’nin yıl boyunca, orta enlem/polar ve tropikal

kuşaklardan kaynaklanan çeşitli basınç sistemleri ve hava tiplerinin etki alanına giren bir geçiş bölgesi üzerinde yer almasıyla bağlantılıdır. Buna, topografik özelliklerinin karmaşıklığı ve kısa mesafelerde değişme eğiliminde olması vb. fiziki coğrafya etmenleri de eklenebilir (Türkeş ve ark., 2000). Bu özellikleri nedeniyle, Türkiye'nin farklı bölgeleri iklim değişikliğinden farklı biçimde ve değişik derecelerde etkilenecektir. Örneğin, sıcaklık artışından daha çok çölleşme tehdidi altında bulunan Güney Doğu ve İç Anadolu gibi, kurak ve yarı kurak bölgelerle, yeterli suya sahip olmayan yarı nemli Ege ve Akdeniz bölgeleri daha fazla etkilenmiş olacaktır (Öztürk, 2002). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change) 4. Değerlendirme Raporu'nda, Akdeniz Havzası'nda genel sıcaklık artışının 1-2 °C'ye ulaşacağı, kuraklığın geniş bölgelerde hissedileceği ve özellikle iç kesimlerde sıcak hava dalgalarının ve aşırı sıcak günlerin sayısının artacağı ifade edilmektedir. Türkiye'de ise yıllık ortalama sıcaklığın gelecek yıllarda 2,5 °C- 4 °C artacağı, Ege ve Doğu Anadolu Bölgeleri'nde 4 °C'yi, iç bölgelerinde ise bu artışın 5 °C'yi bulacağı tahmin edilmektedir (IPCC 2007).

İklim değişikliği ile ilgili olarak Türkiye'de de bir takım çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan ilki ICCAP (Impact of Climatic Change on Agricultural Production in Arid Areas) projesidir. ICCAP, kurak alanlarda küresel ısınmanın neden olduğu iklim değişiminin tarımsal üretim üzerine etkilerini araştıran, çok uluslu bir bilimsel projedir. Proje, TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu)-Türkiye ile RIHN (Research Institute for Humanity and Nature)-Japonya tarafından 5 yıl süre ile (2002-2007) yürütülmüştür. Çalışmada, iklim ve tarımsal sistemler arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Proje iklim değişikliğinin Seyhan Havzası su kaynakları genelinde bir azalmaya neden olacağını ve yüzeysuyu kaynakları, kar depolaması ve yeraltısuyu potansiyelinde % 30'a varan önemli düşüşler gerçekleşeceğini göstermektedir. Diğer bir çalışma Çevre ve Şehircilik Bakanlığı İklim Değişikliği Şube Müdürlüğü tarafından 2005-2006 yılları arasında yapılan "Türkiye'nin İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildiriminin Hazırlanması" adlı çalışmadır. İklim değişikliğine uyumun Türkiye'nin ulusal planlarına entegrasyonu, iklim değişikliği risklerinin yönetimi için kurumsal kapasitenin geliştirilmesi, Seyhan Nehri Havzası'nda toplum esaslı uyum kapasitesinin geliştirilmesi ve iklim değişikliğine uyumun Türkiye'deki Birleşmiş Milletler programlama çerçevesine entegrasyonu amacıyla 2008 yılında "Türkiye'nin İklim Değişikliğine Uyum Kapasitesinin Geliştirilmesi Projesi" başlatılmıştır (Anonim, 2014b). Ekim 2008'de ise ülke önceliklerinin belirlenerek küresel çevre anlaşmalarına (iklim değişikliği, biyoçeşitliliğin korunması ve çölleşme ile mücadele) yönelik kapasite geliştirmek için "Küresel Çevre Anlaşmalarının Yönetiminde Ulusal Kapasitenin Değerlendirilmesi Projesi" ve 31.12.2008'de ise Türkiye'nin uluslararası iklim değişikliği müzakerelerine etkin katılımının sağlanması ve gönüllü karbon piyasalarında daha iyi deneyimler elde ederek Kyoto Protokolü'nün esneklik mekanizmalarından yararlanması yönünde kapasitenin geliştirilmesi amacı ile "İklim Değişikliği ile Mücadele İçin Kapasitelerin Artırılması Projesi" başlamıştır (Anonim, 2014c). 2009 yılında "Türkiye'nin İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planının Geliştirilmesi Projesi, HCFC (Hidrokloroflorokarbon) Sonlandırma Yönetim Planının Hazırlanması Projesi, Ozon Tabakasını İncelten Maddelerin Bertarafı Projesi ve Kurumsal Kapasite Geliştirme Projesi" başlatılmıştır (Anonim, 2014c). 2010 yılında ise "Köpük Sektörüne Yönelik Pilot Proje Uygulaması" ve ardından Türkiye'nin İklim Değişikliği İkinci Ulusal Bildiriminin Hazırlanması" adlı proje çalışması başlatılmıştır (Anonim, 2014c). Ayrıca TÜBİTAK tarafından "İklim Değişikliğinin Baraj Haznelerinin Arz Güvenilirliklerine Olan Etkilerinin Belirlenmesi" adlı araştırma projesi, "Merkezi Gerçek Zamanlı Nehir İzleme ve Kirlilik Kontrol Sistemi" ve "Türkiye için İklim Değişikliği Senaryoları" adlı

TÜBİTAK KAMAG (Kamu Araştırmaları Destek Grubu) projeleri gerçekleştirilmiştir. Türkiye için İklim Değişikliği Senaryoları Projesi kapsamında, insan kökenli etkiler sonucu oluşmuş ve oluşacak iklim değişikliklerinin Türkiye ve bölgesine nasıl yansıtacağı araştırılmış, proje ile küresel iklim modelleriyle üretilen iklim projeksiyonlarının dinamik yöntemler yardımıyla ölçeklerinin küçültülmesi ve bu yolla, özellikle iklim değişikliğinin etkilerini ve iklim değişikliklerine uyum çalışmalarının temel girdisini oluşturacak uzaysal ayrıntılı bölgesel projeksiyonlar elde edilmiştir (Anonim, 2014d).

İklim değişikliğinin etkileri tüm Dünya'da olduğu gibi Türkiye'de de şimdiden gözlenmektedir ve gelecekte de daha etkin bir şekilde hissedilecektir. Tüm ülkeler ortak stratejiler belirleyip, uygulayarak iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini en aza indirebileceklerdir.

2.2. İklim Değişikliğinin Nedenleri

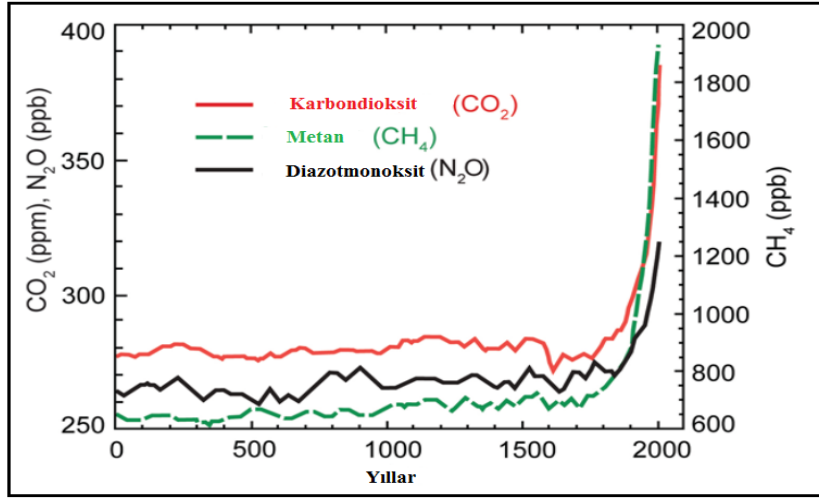
İklim, yerkürenin oluşumundan itibaren sürekli bir değişim eğilimi göstermiştir. Bu değişimin bir kısmı doğal etkiler sonucunda oluşabilmesine karşılık, 19. yüzyılın ortasında sanayi devriminden günümüze bu doğal değişime ek olarak insan etkilerinin de iklimi etkilediği yeni bir sürece girilmiştir. IPCC'nin yayınladığı 4. Değerlendirme Raporu ile bu gerçekler bilimsellik kazanmıştır. Son dönemdeki sıcaklık artışlarının sorumlusu olarak insan kaynaklı sera gazları gösterilmiştir (Topçu, 2000).

Küresel ısınmaya sebep olan 35 çeşit gaz vardır. Ancak bu gazlardan 4 tanesi küresel ısınmaya doğrudan katkıda bulunurlar. Bunlar diazot oksit (N_2O), karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), kloroflorokarbonlar (CFC)'dir. Küresel ısınmaya neden olan bu gazlar diğer bir kirletici olan partiküller ile birleşerek yapay bir atmosferik tabaka oluştururlar. Güneşin dünyamıza gönderdiği mor ötesi ışınlar yeryüzünü ısıtır ve bir kısmı kızıl ötesi ışınlar olarak geriye döner. Yeryüzünden yansıyan kızıl ötesi ışınları tutarak bitkileri yetiştirme amacı ile kullanılan seralar gibi işlev gören ve dünyada ısı artışına sebep olan atmosferik tabakanın sebep olduğu olay bu yüzden sera etkisi olarak adlandırılır (Topçu, 2000).

Fosil ve biyokütle yakıtlarının kullanılması, insan kaynaklı sera gazı salımlarının en büyük kaynağını oluşturmaktadır. Çimento üretimi ile karbondioksit; tarımsal işlevler ve katı atık depolama sahaları ile metan gazı; gübre kullanımı ve naylon üretimi ile diazot monoksit; buzdolabı ile soğutucular ise florine gazı salmaktadır. Arazi kullanımındaki değişiklikler de iklim sistemini önemli ölçüde etkilemektedir. Tarım amaçlı kullanım için arazi açılması, koyu renkli yüzeyi genişleterek güneş radyasyonunun emilmesine neden olmaktadır. Ayrıca, çayır-meraların açılması, ormanların tahrip edilmesi, karbon yutak alanlarını azaltarak, salımları artırmaktadır. Enerji santrallerinin çalışması, orman yangınlarının ve anız yakılmasının sonucu ortaya çıkan dumanlardan üretilen sülfür ve kükürt dioksit gazı da iklimin değişmesini etkilemektedir. Çölleşme, atmosfere geçen toz miktarını artırdığından, güneşten gelen enerjiyi azaltarak, küresel ısınmayı yavaşlatmaktadır. Şehirleşme, şehir ısı adalarının, oluşmasına yol açarak sera etkisini kuvvetlendirmekte ve yerkürenin ısınmasına neden olmaktadır (Kapur, 2010).

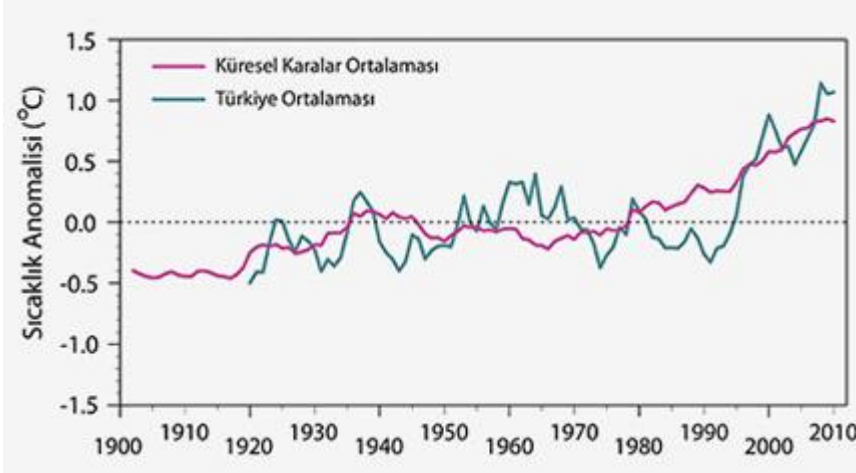
IPCC 4. Değerlendirme Raporuna göre; CO_2 konsantrasyonu, sanayi öncesi yaklaşık 280 ppm iken 2005 yılında 379 ppm düzeyine ulaşmıştır. Yıllık ortalama CO_2 artışına bakıldığında 155 yılda (1850-2005 yılları arası) $0,65 \text{ ppm yıl}^{-1}$, son 10 yıldaki (1995-2005 yılları arası) artış ise $1,90 \text{ ppm yıl}^{-1}$ olmuştur. CH_4 konsantrasyonu sanayi öncesi (1850 yılı) yaklaşık 715 ppb iken 1990'lı yıllarda ortalama 1732 ppb, 2005

yılında ise 1774 ppb olmuştur. N₂O konsantrasyonu; sanayi öncesi (1850) yaklaşık 270 ppb iken 2005 yılında ise 319 ppb olmuştur (Şekil 2.1) (IPCC, 2007).



Şekil 2.1. 0-2005 yılları için sera gazı konsantrasyonları (ton CO₂ eşd./kişi) (Forster ve ark., 2007, Blasting, 2008)

Türkiye’de ise 1990-2011 sera gazı emisyon envanterine göre 2011 yılında toplam sera gazı emisyonu CO₂ eşdeğeri olarak 422,4 milyon ton olarak tahmin edilmiştir. 2011 yılı emisyonlarında CO₂ eşdeğeri olarak en büyük payı % 71 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken, bunu sırasıyla % 13 ile endüstriyel işlemler, % 9 ile atık ve % 7 ile tarımsal faaliyetler takip etmiştir. CO₂ eşdeğeri olarak 2011 yılı toplam sera gazı emisyonu 1990 yılına göre % 124 artış göstermiştir. 1990 yılında kişi başı CO₂ eşdeğer emisyonu 3,42 ton/kişi olarak hesaplanırken, bu değer 2011 yılında 5,71 ton/kişi olarak hesaplanmıştır (TUİK, 2013).



Şekil 2.2. 1900-2010 yılları için sıcaklık anomalisi (Anonim, 2016)

İklim değişikliği, bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Aynı zamanda bölgesel değişiklikler dünyadaki genel eğilimden farklı da olabilmektedir. Türkiye’de yaşanan sıcaklık değişimi incelendiğinde, dünya genelinde yaşanan ortalama değişim ile karşılaştığımızda bazı önemli farklılıklar olduğu görülmektedir. Türkiye’de sıcaklıklarda görülmeye başlanan artış eğilimi, 1990’dan sonra ortaya çıkmış, oysa küresel ısınma eğilimi çok daha erken, 1980’lerden önce başlamıştır (Şekil 2.2). Türkiye’nin ikliminde sıcaklık artışında görülen bu gecikmeye rağmen, Türkiye’de görülen artış aynı dönemdeki küresel artıştan fazladır (Anonim, 2016).

2.3. İklim Değişikliği Tahmin Modelleri

Dünya üzerindeki iklim sistemiyle ilgili olarak farklı çözünürlük ve kabullere dayanan birçok model kullanılmaktadır. Bu modeller kullanıldıkları amaca göre farklılıklar göstermektedir. Küresel öngörülerde çözünürlüğü 200 km civarında olan genel dolaşım modelleri kullanılmaktadır. Bunların dışında, daha yüksek çözünürlüğe sahip bölgesel iklim modelleri de yaygın olarak kullanılmaktadır. Genel dolaşım modellerinin bölgesel ihtiyaçlara cevap verememesi bölgesel iklim modellerinin başlıca çıkış noktasıdır. Artık sadece iklimsel ortalamalar insanlığın ihtiyaçlarına yetmemektedir. Sayısal hava tahmin modelleri ile 10 güne kadar kabul edilebilir nitelikte hava tahminleri yapılabilmektedir. Genel dolaşım modelleri ile 50-100 yıllık simülasyonlar yapılabilmektedir. Ancak çözünürlükler çok az (200 km) olduğundan yerel anlamda istenilen verim alınamamaktadır. Genel dolaşım modelleri ve sayısal hava tahmin modelleri yerine lokal etkileri içine alarak uzun dönemlerde iklimi simüle edebilen bölgesel iklim modelleri geliştirilmiştir. Çözünürlüğü sayısal hava tahminlerine yakın bu modeller bugün artık dünyanın değişik iklimsel özelliklerine sahip bölgelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Önal, 2001).

Dünya’da ve Türkiye’de pek çok araştırmacı tarafından kullanılan bölgesel iklim modellerinden bazıları; İngiltere’deki Meteoroloji Servisi Hadley İklim Tahmin ve Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen PRECIS (Providing REgional Climates for Impacts Studies), İtalya’daki Uluslararası Teorik Fizik Merkezi’nin geliştirilen RegCM3 (Third-Generation Regional Climate Model), Colorado Devlet Üniversitesin’de çok yönlü sayısal atmosfer fiziği yasalarıyla oluşturulmuş ve Japonya’da Tsukuba Üniversitesinde geliştirilen TERCH-RAMS (Terrestrial Environment Research Center-Regional Atmospheric Modeling System) ve Amerika’daki Amerika Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi-İklim Araştırması Birimi (NCAR-CRU) tarafından geliştirilen MAGICC/SCENGEN’dir. Bu modellerin Dünya’da ve Türkiye’de farklı iklime sahip bölgeler için uygulamaları mevcuttur.

Demir ve ark. (2007) “Türkiye ve Bölgesi için PRECIS Bölgesel İklim Modeli Çalışmaları” adlı çalışmada, geçmiş simülasyonlar için Avrupa Orta Vadeli Tahminler Merkezi (ECMWF)’inin reanaliz veri seti (ERA40) ve gelecek simülasyonlar için Hadley Merkezi’nin Atmosferik Genel Dolaşım Modeli, HadAMP3’ün A2 senaryosu çıktılarını kullanmışlardır. Geçmiş 30 yıllık çalışmaların sonuçları, küresel kara gözlem ağından elde edilen gözlem verileri ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. 2071-2080 dönemi maksimum, minimum, ortalama yüzey sıcaklık değerlerinin ve yağış miktarının, 1961-1990 dönemi ortalamalarına göre yıllık ve mevsimlik değişimleri değerlendirilmiştir. Ortalama sıcaklıklarda Türkiye genelinde 2071-2080 yılları için 4-5 °C artış öngörülmüştür. Aynı dönemde, ortalama maksimum sıcaklık artış oranı, Türkiye’nin doğusunda 5-6 °C, diğer alanlarda ise 4-5 °C’dir. Sıcaklıkların mevsimlik değerlendirmelerinde, en yüksek artışlar yaz mevsimindedir. Yıllık toplam yağış miktarında değişim öngörülleri ise, Türkiye genelinde azalma eğilimi şeklinde kendini göstermiştir. Özellikle kış mevsiminde, Toros Dağları boyunca yağışlarda belirgin düşüşler dikkati çekmektedir, bununla birlikte, Akdeniz kıyı şeridinde ve Doğu Karadenizde yer yer yağışlarda artışlar söz konusu olmuştur.

Demir ve ark. (2008a) “PRECIS Bölgesel İklim Modeli ile Türkiye için İklim Öngörülleri: HaDAMP3 Sres A2 Senaryosu” adlı çalışmada İngiltere Meteoroloji Servisi Hadley İklim Tahmin ve Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen Bölgesel İklim Modeli, PRECIS’i kullanarak, Hadley Merkezi’nin Atmosferik Genel Dolaşım Modeli, HadAMP3 çıktıları ile çalıştırmışlar ve referans dönem (1961-1990) simülasyonları ile gelecek dönem (2071-2100) A2 senaryosu simülasyonlarını iklim

değişikliğini belirlemek için karşılaştırmışlardır. Simülasyon sonuçlarında, Türkiye’de kıyı bölgeleri dışında ortalama sıcaklıklarda 5-6 °C’lik artışlar öngörülmüştür. Kış mevsiminde sıcaklıklar doğuda 4-6 °C, buna karşılık yaz mevsiminde batıda 6-7 °C daha fazla artacaktır. Maksimum, yani gündüz en yüksek sıcaklıklarda değişim, genel olarak artış yönünde olacaktır. Yaz mevsiminde, geniş ölçekli 8 °C’yi bulan yüksek artışlar göze çarpmaktadır. Minimum gece en düşük sıcaklıkları, kış mevsiminde doğu bölgelerinde 5-6 °C ve yaz mevsiminde Ege Bölgesi’nin iç bölümlerinde daha fazla 7-8 °C artacaktır. Yağış rejimindeki değişikliklerde, doğudan batıya doğru gidildikçe % 40 azalma dikkati çekmektedir. Kış mevsiminde güney ve batı bölümlerde yağışlarda düşüşler olacaktır. Yaz mevsiminde ise tersi söz konusudur. Su bütçesi bakımından kar kalınlığı gelecekte, Doğu Anadolu ve Doğu Karadeniz’de azalacaktır. Yağıştaki azalma ve sıcaklıklardaki artışa paralel olarak buharlaşmadaki artış sonucunda, su kaybının da artması beklenmektedir. Yağış ve buharlaşma arasındaki farklılıklarda ise, gelecekte Türkiye genelinde alansal olarak geniş ölçekli belirgin değişiklikler göze çarpmamakla birlikte, Güney Marmara, Ege, Doğu Karadeniz, Güneydoğu Anadolu’nun kuzeyi ve Toros Dağları hattında azalmalar görülmektedir.

Demir ve ark. (2008b) yaptıkları çalışmada, Türkiye’nin ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları ve yağış dizilerini, uzun süreli değişikliklerin ve eğilimlerin belirlenmesi amacıyla çözümlenmişlerdir. Buna göre Türkiye ortalama sıcaklıklarının, küresel ortalama yüzey sıcaklıklarına benzer şekilde artış eğiliminde olduğunu, yıllık maksimum sıcaklık dizilerindeki değişimlerin de genelde artış yönünde olduğunu ve Akdeniz, Güney Doğu Anadolu ile Doğu Anadolu’nun güney kesimlerinde ısınma eğilimlerinin istatistiksel açıdan anlamlı olduğunu belirlemişlerdir. Minimum sıcaklık dizilerinde ise kış mevsimi dışında artış eğilimi belirlemişler, yağış dizilerindeki belirgin değişikliklerin daha çok kış mevsiminde gözlemlendiğini ayrıca sonbahar mevsimindeki yağışların ise Türkiye’nin önemli bir bölümünde artış göstereceği sonucuna varmışlardır.

Şen ve ark. (2008) “Seyhan Havzasında İklim Değişikliğinin Tarımsal Su Kullanımına Etkileri” adlı çalışmalarında bölgesel iklim modeli RegCM3’ü kullanarak Doğu Akdeniz Bölge’sinde yer alan Seyhan Havzası’nda 2071-2100 yılları arasındaki olası maksimum, minimum ve ortalama sıcaklıklar ile yıllık toplam yağış ve bunlara bağlı olarak tarımsal su gereksinimini tahmin etmişlerdir. RegCM3 Modeli 1961-1990 yılları arası referans verileriyle ve küresel iklim modeli olan HadCM3H’in A2 senaryosu ve gelecek 2071-2100 dönemi için çalıştırılmıştır. Öngörülen iklim bilgileri doğrultusunda bölgedeki su kaynakları ve kullanımındaki değişimi kestirmede önemli iki faktör olan etkin yağış ve referans evapotranspirasyon değerleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Seyhan Havzası’nda etkin yağışlarda ve dolayısıyla su kaynaklarında azalma buna karşın bitki su gereksiniminde artış olacağı öngörülmüştür.

Önol ve ark. (2009)’nın, “İklim Değişimi Senaryosunun Türkiye Üzerindeki Etkilerinin Modellenmesi” adlı çalışmada Bölgesel İklim Modeli (RegCM3) kullanılarak günümüz (1961-1990, RF) ve gelecek (2071-2100, A2) simülasyonları için, IPCC tarafından belirlenmiş sera gazları emisyon senaryoları dikkate alınmıştır. A2 ve RF simülasyonlarının sıcaklık ve yağış için yapılan mevsimsel analizleri Türkiye’nin iklimsel bölgeleri üzerinde alansal ortalama alınarak ayrı ayrı incelenmiştir. A2 simülasyonuna göre, Türkiye üzerinde sıcaklıklardaki en dramatik değişim, yaz mevsiminde Ege Bölgesi üzerindeki 5 ila 6 °C’ler arasındaki artıştır. Kış ayları dışındaki mevsimlerde artış, 3-4 °C arasında değişmektedir. Gelecek simülasyonundaki minimum artış, kış mevsiminden 2-3 °C olarak hesaplanmıştır.

Yine A2 simülasyonunda, Doğu Karadeniz dağları boyunca uzanan bölgede kış yağışlarındaki artış, rüzgâr paterninin değişmesiyle orografik etkinin güçlenmesine bağlıdır. Türkiye'nin güneyi üzerinde de rüzgâr paterninin değişimine bağlı olarak kış yağışlarında çok ciddi azalmalar (% 34) model sonuçlarında ortaya çıkmıştır. Sonbahar mevsiminde ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yağışlarda % 50'lere varan artışlar görülmüştür.

Şen (2009) "Bölgesel İklim Modelleri Kullanılarak Çukurova Yöresi'nde İklim Değişikliğinin 1. ve 2. Ürün Mısır Verimine Olası Etkilerinin Belirlenmesi" adlı doktora çalışmasında bölgesel iklim modeli RegCM'yi kullanarak Çukurova Yöresi'nde 2071-2100 yılları arasındaki iklimi kestirmek ve iklim değişikliğinin 1. ve 2. ürün mısır verimine etkisini belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmada RegCM Modelinin Türkiye için kullanılabilirliği çeşitli test ve doğrulama çalışmalarıyla denenmiştir. Yağış benzeşim sonuçlarının tutarlılığının topoğrafik yapıyla yakından ilgili olduğu belirlenmiş ayrıca gelecek dönemlere ilişkin yapılan kestirimler sonucunda günümüz koşullarına göre ortalama, ortalama maksimum, yıllık maksimum, ortalama minimum, yıllık minimum sıcaklıklarda sırasıyla 3,0-4,5, 2,9-4,7, 3,1-6,2, 3,0-4,5 ve 3,3-8,5 (°C) arasında değişen artışlar öngörülmüştür.

Demir ve ark. (2010) Türkiye ve bölgesi için gelecekte sıcaklık ve yağış değişimlerinin belirlenmesi amacıyla İngiltere Meteoroloji Servisi Hadley İklim Tahmin ve Araştırma Merkezi'nin PRECIS ve İtalya'daki Uluslararası Teorik Fizik Merkezi'nin RegCM3 Bölgesel İklim Modelinin sonuçları kullanılmıştır. HadAM3P küresel modelinin referans (1961-1990) ve gelecek A2 senaryosunun (2071-2100) Türkiye ve bölgesini kapsayan alan için çözünürlüğünün artırılmasında PRECIS modeli 25 km yatay çözünürlükte, RegCM3 ise aynı bölge için 27 km yatay çözünürlükte ECHAM5 referans (1961-1990) ve gelecek B1 senaryosu (2071-2099) ile çalıştırılmıştır. Her iki modelin farklı küresel model çıktılarına ait A2 ve B1 senaryolarına göre Türkiye ve bölgesinde sıcaklıkların yüzyılın sonunda artacağı öngörülmektedir. Söz konusu artış Türkiye üzerinde kötümser senaryoya göre 4-6 °C, iyimser senaryoya göre ise 1-3,5 °C olarak belirlenmiştir. Ayrıca her iki senaryoya göre en yüksek sıcaklık artışının yaz mevsiminde gerçekleşeceği beklenmektedir. Yağış miktarındaki en önemli azalmanın kış mevsiminde gerçekleşeceği öngörülmektedir. Bu azalma oranları bölgesel ve alansal olarak farklılık göstermekle birlikte genelde % 10-40 arasında değişmektedir. İlkbahar mevsiminde kötümser senaryoya (A2) göre ülke genelinde azalma beklenirken, iyimser senaryoya (B1) göre ise güney ve doğu bölgeleri dışında kalan alanlar için artış beklenmektedir.

Biberoğlu (2011) "Küresel İklim Değişikliğinin Türkiye Yağış ve Sıcaklıkları Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi" adlı yüksek lisans çalışmasında Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin 2007 yılında hazırladığı Dördüncü Değerlendirme Raporu kapsamındaki 23 iklim modelinden seçilen 9 tanesinin (BCM2.0, CGCM3.1(T63), CNRM-CM3, ECHAM/MPI-OM, GFDL-CM2.1, GISSER, INM-CM3.0, MIROC3.2(medres), UKMO-HadCM3) Türkiye üzerindeki tahminlerini parametrik Korelasyon Katsayısı t-testi ve parametrik olmayan Spearman's Rho Testi ile Mann-Kendall Sıra Korelasyon Testi ile analiz etmiş ve çalışma sonucunda, küresel iklim modellerinin 1971-2000 dönemindeki Türkiye yağış ve sıcaklık tahminlerinin, İklim Araştırma Birimi (CRU)'den temin edilen gözlenmiş yağış ve sıcaklık değerlerinden önemli ölçüde farklı olduğunu; bunun yanında tahminler ile gözlenmiş değerlerin eğilim yapılarının da büyük farklılıklar gösterdiğini belirlemiştir.

Bozkurt ve ark. (2012) "Değişik Model ve Senaryolara Göre İklim Değişikliğinin Fırat-Dicle Havzasına Olan Etkileri" adlı çalışmalarında gelecek iklim değişikliğinin havzadaki hidro-iklimsel etkilerini araştırmak için değişik küresel

sirkülasyon modeli (ECHAM5, CCSM3 ve HadCM3) ve emisyon (A1FI, A2, B1) çıktılarının dinamik ölçek yöntemi ile küçültmüş yüksek çözünürlüklü projeksiyonları kullanmışlardır. Farklı modellerin farklı emisyon senaryo çıktıları kullanılarak yapılan analizlerinde, havzada kış yüzey sıcaklıklarının artacağını ve bu artışın havzanın yüksek yerlerinde daha fazla olacağını bulmuşlardır. Tüm simülasyonlarda, kış yağışının havzanın dağlık alanlarında ve kuzey kesimlerinde azaldığı, havzanın güney kesimlerinde arttığı yönünde genel bir uyumluluk olduğu görülmüştür.

Demir ve ark. (2013) CMIP5 projesi kapsamında kullanılan RCP4.5 konsantrasyon senaryosu ile üretilen HadGEM2-ES küresel dolaşım modeli çıktıları kullanmıştır. Bu çıktılardan RegCM4.3.4 Bölgesel İklim Modeli kullanılarak dinamik ölçek küçültme yöntemi ile ülkemiz ve bölgesi için 20 km çözünürlükte 2013-2099 yılları için sıcaklık ve yağış projeksiyonları üretilmiştir. Elde edilen çıktılara göre 2099'a kadar ilk periyotta sıcaklık artışı (1-1,5 °C) sınırlıyken özellikle son periyotta (2070-2099) Kıyı Ege ve Güney Doğu Anadolu'da yaz sıcaklıklarında artış (4-5 °C) dikkat çekmiştir. Yağışlarda ise, ilk periyotta Marmara, Kıyı Ege ve Batı Akdeniz'de sonbahar ve kış yağışlarında artışlar gözlenirken, özellikle son periyotta Doğu Akdeniz, Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu'nun güneyinde kış ve ilkbahar yağışlarında azalmalar gözlenmiştir.

2.4. İklim Değişikliğinin Etkileri

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

2.4.1. İklim Değişikliğinin Bitki Verimine Etkisi

Bitkilerin büyüme ve gelişmelerini etkileyen pek çok etken vardır. Bunların en başında iklim ile ilgili veriler gelmektedir. İklim parametrelerinden özellikle sıcaklık, yağış ve CO₂ salınımindaki değişikliklerin bitkiler üzerindeki etkilerini belirleyebilmek, gelecekte bitki dane verimlerini tahmin etmek için çok önemlidir. Çünkü nüfusun hızla artması ile birlikte su ve besin maddelerine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bunun yanı sıra su kaynaklarının kısıtlı olmasıyla birlikte daha verimli bir şekilde kullanılması gündeme gelmektedir. Bitkilerin geleceğe yönelik çeşitli senaryolar ile iklim, bitki, toprak ve çevre faktörlerinin de dikkate alınarak, verim tahminlerinin yapılabilmesi için modelleme çalışmalarına ağırlık verilmesi gerekmektedir. Bunun

için Türkiye’de ve Dünya’da pek çok bitki için bitki iklim simülasyon modelleri kullanılarak çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Verim tahmin etme çalışmalarında CERES (Crop Environment Resource Synthesis) Modeller gurubu içinde yer alan CERES-Rice, CERES-Maize ve CERES-Wheat Modelleri, DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), SIMWASER (Simulation von Wasser und Ertrag), CropSyst (Cropping Systems Simulation Model), WOFOST (World Food Studies), SWAP (Soil Water Atmosphere Plant), Cropgro ve AquaCrop gibi modeller kullanılmaktadır. Geliştirilen bu modeller ile ilgili Türkiye’de son yıllarda yürütülen önemli çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Çaldağ (2000) çalışmasında; Türkiye’de ve Dünya’da en önemli besin kaynağı olan buğday bitkisinin gelişimine meteorolojik faktörlerin ve bu faktörlerde meydana gelmesi muhtemel değişikliklerin yapacağı etkileri tarımsal meteorolojik açıdan araştırmıştır. Çalışma Kırklareli Köy Hizmetleri Atatürk Araştırma Enstitüsü’nde uygulamalı olarak yürütülmüştür. Çalışmada, buğday bitkisinin 1997-1998 ve 1998-1999 gelişme dönemlerinde ölçülen meteorolojik, toprak ve bitki gelişimi ile ilgili veriler kullanılmıştır. Modelleme kapsamında gerçekleştirilen benzetimlerde açıklamalı bitki-iklim modellerinden CERES-Wheat ve SIMWASER modelleri kullanılarak her iki ölçüm dönemi için bitki gelişimi meteorolojik faktörlerin etkisi altında analiz edilmiştir. Uygulanan benzeşimlerin sonuçları, bitki gelişimi, kuru madde miktarı, verim ve buharlaşma değişkenleri açısından ele alınmış ve bu model sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sonuçta açıklamalı modellerin bitki gelişimi ve verimi üzerinde oldukça tatmin edici ön tahminler gerçekleştirebildikleri ortaya çıkmıştır. CERES-Wheat modeli 98-99 döneminde 1 °C sıcaklık senaryosunda dikkate değer bir ürün miktarı değişimi öngörmemiştir. Ancak sıcaklığın 2°C değişimi durumunda verimin yaklaşık % 9 oranında sapacağı belirlenmiştir. Tüm benzetimlerde bitki gelişiminin en hassas olduğu parametre güneş radyasyonu olarak tespit edilmiştir. Yine çalışmanın yapıldığı 97-98 gelişme dönemi için, güneş radyasyonunda gerçekleşmesi muhtemel % 20 oranındaki değişimin, ürün miktarında % 20 ile % 30 arasında artış veya azalış şeklinde yansıtacağı SIMWASER modeli tarafından tahmin edilmiştir. CERES-Wheat modeli ile karbondioksit (CO₂) değişimlerine yönelik benzetimlerde gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. CO₂’nin özellikle radyasyon parametresi ile birlikte dikkate alındığı senaryoların bitki gelişimini önemli düzeyde etkilediği belirlenmiştir.

Mor (2005) tarafından yapılan çalışmada ise DSSAT V4 (Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4) bitki-iklim modelinin, Bursa’da yetiştirilen Gönen, Pehlivan ve Köksal-2000 ekmeklik buğday çeşitlerinin farklı su uygulama düzeylerinde, kimi verim parametrelerinin tahmin edilmesinde, kullanım olanağı araştırılmıştır. Bu amaçla Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi arazisinde, 2001-2002 ve 2002-2003 yıllarında, anılan çeşitlere ilişkin tarla denemeleri kurulmuş, susuz, 25 mm, 50 mm, 100 mm sulama suyu uygulanmış, elde edilen verim parametreleri, model sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Araştırmanın yürütüldüğü her iki yılda da, model sonuçları ile arazi sonuçları büyük benzerlik göstermiş, ilk yılda sırasıyla 6613 kg ha⁻¹-6240 kg ha⁻¹, ikinci yılda ise 3517 kg ha⁻¹-3447 kg ha⁻¹ çeşitler ortalaması olarak elde edilmiştir. Her iki yılda da tane verimi, hasat indeksi, biomas ve vejetatif ağırlık değerleri, gerçek değerlere yakın olduğundan, bu parametrelerin model ile tahmin edilebileceği, birim tane ağırlığının ise gerçek değerlerden düşük olması nedeniyle, özellikle ikinci yıl, 50 mm ve 100 mm su uygulama düzeyleri için tahmin edilemeyeceği söylenmiştir.

Şimşek ve ark. (2007) AgroMetShell Modeli kullanarak “Türkiye’de Buğdayın Verim Tahmini” adlı çalışmayı yapmışlar ve sonuçta 2005 ve 2006 yılları için il

bazında verim tahminlerini elde etmişlerdir. Daha sonra TÜİK'ten alınan istatistik verim değerleri ile modelin 2005, 2006 verim tahmini değerlerini kullanarak haritalar oluşturmuşlardır. Tahmin edilen verim değerleri ile gerçekleşen değerler arasında $R^2=0,9067$ düzeyinde bir ilişki tespit etmişlerdir. Buna göre en yüksek verim değerlerine sahip olan iller Hatay, İstanbul, Tekirdağ ve Kırklareli'dir. Verimi en düşük olan iller Kars, Siirt, Van, Erzurum, Ordu, Tunceli, Muş, Giresun ve Bayburt'tur. Verim tahminleri normalleri ile kıyaslandığında % 77,7'lik artışla ilk sırada Iğdır ili, ikinci sırada % 74,7'lik artışla Şanlıurfa, üçüncü sırada ise % 60,4'lük artışla Karaman gelmektedir. % 30'un üzerinde artışa sahip iller Elazığ (% 54,4), Ardahan (% 51,2), Aksaray (% 45,2), Çorum (% 37,7), Ankara (% 35,7), Mardin (% 35,5), Bartın (% 31,1), ve Bayburt (% 30,0) olarak sıralanabilir. % 1'den daha az değişim gösteren iller Çanakkale, Tunceli, Kayseri ve Kahramanmaraş'tır. En büyük verim düşüşü ise % 31,8'lik düşüşle Siirt ilinde görülmüştür. % 26,1'lik düşüşle Kars ikinci, % 19,2'lik düşüşle İzmir üçüncü sırada verim düşüşü yaşamıştır. 2006 verim tahminleri ile gerçekleştirmeleri arasındaki farkları karşılaştırdığımızda, 2005 yılına göre en yüksek verim artışı % 43,5'lik değerle Mardin ilinde meydana gelmiştir. % 39,0'lık artış değeriyle Ardahan ikinci, % 30,5'lik artışla ise Bolu üçüncü sırada yer almıştır. En büyük düşüş % 50,5 değeri ile Siirt ilinde gerçekleşmiştir. İkinci en büyük düşüş % 33,6'lık değerle Kilis ilinde, % 31,4'lük değerle Amasya ilinde gerçekleşmiştir. Tekirdağ ise 2006 yılı verim tahmini ile ortalama arasındaki fark % 0,01-% 20 arasındaki iller arasındadır.

Kapur ve ark. (2007) "Çukurova Bölgesi'nde Küresel İklim Değişikliği ve Buğday Verimliliği Üzerine Etkilerine Genel Bir Yaklaşım" adlı çalışmalarında akdeniz iklimi koşullarını yansıtan Çukurova'da buğday yetiştirilen alanlarındaki artan CO₂'in ve iklim değişiminin olası etkilerinin değerlendirmesini yapmışlardır. Gelecekte öngörülen iklimin oluşturulması için TERCH-RAMS adlı bölgesel iklim modeli koşullarında iklim değişimi senaryosu oluşturulmuş ve bu sonuçlar doğrultusunda öngörülen değişikliğin buğday üzerine etkileri genel olarak değerlendirilmiştir. Tarımsal adaptasyon stratejileri kısa-dönem ve uzun dönem olarak belirlenmiştir.

Şen (2009) "Bölgesel İklim Modelleri Kullanılarak Çukurova Yöresi'nde İklim Değişikliğinin 1. ve 2. Ürün Mısır Verimine Olası Etkilerinin Belirlenmesi" adlı doktora çalışmasında bölgesel iklim modeli RegCM'yi kullanarak Çukurova Yöresi'nde 2071-2100 yılları arasındaki iklimi kestirmiş ve iklim değişikliğinin yöredeki başat ürünlerden mısır verimine olan etkilerini belirlemek amacıyla WOFOST bitki büyüme modeli kullanmış ve modelin uyumluluğu duyarlılık ve ayarlama testleriyle irdelemiştir. WOFOST bitki büyüme modeli ile kestirilen 1. ve 2. ürün mısır dane verimleri gözlenenlerden sırasıyla % 4,5 ve % -5,0 oranında farklılık göstermiştir. Gelecekte uygulanabilecek değişik kısıntılı sulama uygulamalarının mısır bitkisinin gelişimi ve verimine olası etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda Çukurova Yöresi'nde sulama suyunun kısıtlı olması durumunda 1. ve 2. ürün mısır veriminde % 58 ve % 43,4 oranlarında azalma öngörülmüştür.

Çaldağ (2009) tarafından yapılan "Trakya Bölgesi'nin Tarımsal Meteorolojik Özelliklerinin Belirlenmesi" adlı diğer tez çalışmasında meteorolojik faktörlerin Trakya Bölgesi'nde buğday ve çeltik gelişimine ve verimine olası etkileri bitki iklim modelleri kullanılarak analiz edilmiştir. Öncelikle modellerin sıcaklık, yağış, toplam güneş radyasyonu ve CO₂'deki değişimlere karşı hassasiyeti, CERES-Wheat ve CERES-Rice modelleri kullanılarak araştırılmıştır. Bu adımı, RegCM3 Bölgesel İklim Modelinin IPCC A2 senaryosuna göre 2071-2100 arası dönem için verdiği değişimlerden bitkilerin etkilenme derecesinin incelenmesi izlemiştir. Bölgesel iklim modelinin günlük çıktıları 2071-2100 yılları arasında olası en kurak ve en sıcak

gelişme dönemlerinin belirlenmesi için düzenlenmiş ve bitkilerin (buğday, çeltik) gelişme ile verim durumlarının ekstrem meteorolojik koşullardan etkilenme durumu ortaya konmuştur. 1975-2005 arası gerçekleşen verim değerleri ile modellerin çıktıkları karşılaştırılmıştır. En iyi model yaklaşımının % 3,14 oranında bağıl hata ile Kırklareli-Buğday için CERES-Wheat Modeli ile elde edildiği simülasyonlarda Edirne-Buğday için bağıl hata, % 14,83'e yükselmiştir. Bağıl hatalar Tekirdağ buğdayı için % 9,33 olarak gerçekleşmiştir. Modellere uygulanan meteorolojik parametre değişim analizleri ile modellerin hassasiyetleri de ortaya konmuştur. Bu noktada öncelikle meteorolojik değişkenlerin tek başına ve ikili kombinasyonlar halinde değişimleri incelenmiş, örneğin Kırklareli'nde buğdayın, (Rg+% 30;CO₂x4) kombinasyonuna % 67'nin üzerinde dane verimi artış tepkisi vereceği öngörülmüştür. Hassasiyet analizleri, kışık buğdayın özellikle yağış azalışına olumsuz verim tepkileri vereceği belirlenmiştir. Söz konusu azalış, başka değişkenlerle olan kombinasyonlarda şiddetini arttırmakta olup, (T+5;P- % 40) kombinasyonu Tekirdağ'da dane veriminin % 57 oranında düşmesine sebebiyet verecektir. Küresel CO₂ artışları, birçok hassasiyet uygulamasının dikkat çekici sonuçlarına kaynak teşkil etmiştir. Edirne'de kışık buğday verimi (T-1;CO₂x4) uygulamasına % 75'e varan bir dane verimi artışı tepkisi vermiştir. Hassasiyet analiz simülasyonları, 3 ve 4 meteorolojik faktörün birlikte değiştiği kombinasyonlar için de sırasıyla uygulanmıştır. Genelde sıcaklığın 3°C'den fazla arttığı durumlar yağış azalışı ile birleştiğinde özellikle buğday veriminde önemli düşmelerin yaşanabileceği görülmüştür. Bununla birlikte 1975-2005 arasında en düşük dane verimine sahip olan Edirne, (T+4;Rg+% 40;P-% 40;CO₂x4) simülasyonu neticesinde dane verimi açısından Kırklareli'ni ve Tekirdağ'ı geride bırakabilecektir. Bu verim yükselişinde en önemli rolü, CO₂ artışı oynamaktadır. Kırklareli'nde ve Edirne'de kışık buğday veriminin sırasıyla ortalama % 9 ve % 30 artış göstereceği, Tekirdağ'da ise % 13 oranında azalacağı belirlenmiştir. Edirne'de çeltik veriminin de yaklaşık % 53 azalacağı öngörülmüştür. (Çaldağ ve Şaylan, 2010).

Kapur (2010) "Artan CO₂ ve Küresel İklim Değişikliğinin Çukurova Bölgesi'nde Buğday Verimliliği Üzerine Etkileri" adlı diğer doktora tez çalışmasında bölgesel ölçekli TERCH-RAMS iklim modelini kullanarak Çukurova için gelecek iklimi kestirmiş; sonra da tam kontrollü koşullar altında öngörülen atmosferik karbondioksit konsantrasyonu (CO₂), sıcaklık ve yağış değişikliğinin bölgede en önemli tarımsal ürün olan Adana-99 buğday çeşidinin büyüme-gelişme ve verimi üzerine etkileri incelenmiştir. Gelecek kestirimlerde ortalama sıcaklıklarda yaklaşık 3 °C'lik bir artış, yağışlarda ise % 25 ile % 40 arasında azalma saptanmıştır. İki farklı (CO₂) (400 ppm ve 700 ppm), iki sıcaklık (17/11 °C ve 20/14 °C) ve iki sulama (tam ve kısıtlı) rejiminde incelenen Adana-99 buğday çeşidinde sıcaklıktaki 1 °C artış için çiçeklenmeye dek geçen sürenin 5, olgunluğa dek geçen sürenin ise 9 gün kısalacağı gözlenmiştir. Artan (CO₂) kardeş ve başak sayısını % 69 ve % 15 artırmıştır. (CO₂) artması ile vejetatif organlarda özellikle de köklerde önemli ağırlık artışları saptanmıştır. (CO₂) artışı ile dane veriminde kısıtlı sulanan sıcak koşullarda hiç değişim olmazken; kısıtlı sulanan normal sıcaklık koşullarında % 13, tam sulanan normal sıcaklık koşullarında % 17, tam sulanan sıcak koşullarda ise % 34 oranında artış gerçekleşmiştir.

Koç (2011) "İklim değişikliğinin Tarıma Olası Etkilerinin WOFOST Bitki İklim Modeli ile Araştırılması" adlı yüksek lisans tezinde 2009-2010 buğday gelişme dönemi için uygulama arazisinde gerekli ölçümler, gözlemler yapılmış ve bu ölçümler kullanılarak WOFOST modeli ile kışık buğday bitkisinin gelişimi benzetilmiştir. Modelin hata ihtimali göz önünde tutularak modelin ilgili bitki çeşidi için kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyondan önce, maksimum LAI değerinin gerçek değerle

kıyaslanması sonucu elde edilen hata oranı % 63,3 iken kalibrasyondan sonra bu oran % 0,2'ye düşmüştür. Buna ek olarak, kalibrasyondan sonra, gerçek verim değeri ile model sonuçları arasındaki farkın azaldığı belirlenmiştir, verim değeri için modelin hata payı tek bir gelişme dönemi için değerlendirildiğinde % 1,2 olarak hesaplanmıştır. Kalibrasyondan sonra modelin hassasiyet analizi yapılmıştır. Hassasiyet analizi ile WOFOST'un duyarlı olduğu meteorolojik parametreler belirlenmiş, parametrelerdeki olası değişiklikler için model çıktıları değerlendirilmiştir. Sıcaklık artışının 1-2 °C ile sınırlı kalması durumunda LAI ve toprak üstü biyokütle değerlerinin azalması ve verim değerlerinin yaklaşık % 10 oranında artış göstermesi, 2009-2010 yılına ait yağış verileri kullanılarak yağışta % 40 oranında azalma olduğu takdirde verimde 5 kg/ha'lık azalma olabileceği öngörülmüştür. Radyasyonda % 10 ve % 20 oranında artış olma ihtimali göz önünde bulundurulduğunda, LAI ve biyokütle değerlerinde artış, verim değerlerinde ise yaklaşık % 20 oranında azalış belirlenmiştir. Sıcaklıkta 2 °C ve radyasyonda % 10 oranındaki artış, verimin % 23 artmasına, sıcaklıkta yine 2 °C ve radyasyonda % 20 oranındaki artış da verimin % 37 oranında yükselmesine neden olmaktadır. Sıcaklığın 1 ve 2 °C artması durumunda verim artarken, 3 °C artması söz konusu olduğunda verim değişmemekte, sıcaklığın 4 °C artması halinde ise verim yaklaşık % 20 azalmaktadır. 2012-2100 aralığında yağış en fazla ve en az, sıcaklığın maksimum ve minimum olarak gerçekleşebileceği yıllar için RegCM3 Bölgesel İklim Modeli ile IPCC-A2 senaryosuna göre hazırlanmış yağış ve sıcaklık öngörülerini kullanarak, WOFOST ile bahsi geçen yıllar arasında bitki gelişimi simüle edildiğinde maksimum sıcaklığın gözlenmesinin muhtemel olduğu 2088-2089 gelişme döneminde, 2009-2010 gelişme dönemi ve buğday çeşidi için belirlenen LAI değerlerinde önemli bir değişiklik beklenmezken, biyokütlerde ve verimde % 60'lık kayıpların meydana gelebileceği tahmin edilmiştir. Minimum yağışın beklediği, 2095-2096 gelişme döneminde ise, biyokütlerde % 63 oranında azalma olabileceği model tarafından belirlenmiştir.

Baydar ve Kanber (2012) Aşağı Seyhan Ovasında gelecek yıllarda olası iklim değişikliğinin etkilerinin pamuk bitkisinin verimine, fizyolojik özelliklerine, sulamasına ve artan CO₂ ile sıcaklığın meydana getirebileceği olumlu veya olumsuz etkilerin belirleyip, Terch-Rams Bölgesel Atmosferik Model sonuçları kullanılarak gelecek koşullardaki iklim belirlenmiş ve DSSAT versiyon 4.0.2 paket programı içerisinde bulunan Cropgro bitki benzeşim modeli gelecek yıllar için koşullar pamuk bitkisinin iklim değişikliklerine karşı tepkisi kestirilmiştir. 2070-2079 yılları arasında artan sıcaklıklar ve CO₂ miktarlarına bağlı olarak pamuk bitkisinin verimi % 5 azalarak 3,578 kg ha⁻¹ olacağı, biyokütlenin % 8'lik bir artış ile 13,979 kg ha⁻¹ olacağı ve gelecek koşullarda hasat indeksinin ise % 15 azalacağı belirlenmiştir.

Özdere (2012), AquaCrop Modelin 3.1 versiyonunu kullanarak yağışın, sıcaklık artışının, farklı fenolojik safhalardaki yağış eksiklerinin ve sulamanın 2010 yılında Kırklareli iline ekilen ayçiçeği bitkisinin gelişimine olan etkilerini analiz etmiştir. Her bir fenolojik safhadaki yağışları ayrı ayrı kaldırarak, yağışın hangi fenolojik safhalarda önemli olduğunu araştırmıştır. Model, ekimden çimlenmeye kadar geçen dönemde ve çiçeklenme safhalarında yağış eksikliği sonucunda ayçiçeği bitkisi için verimde ve biyokütlerde azalmalar göstermiştir. Ayçiçeği için ekimden hasata kadar yağış almadığında ve sulama yapılmadığında verimin % 63 oranında ve ayrıca çiçeklenme safhasında yağış almayan ve sulama yapılmayan durumda da yaklaşık aynı oranda (% 62) düşüş gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışı senaryolarında, topraktan olan buharlaşmanın arttığını dolayısıyla modelin bu durumda sıcaklık artışlarının verim ve biyokütle miktarında azalmaya neden olarak bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyeceğini tahmin etmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, sıcaklığın ayçiçeği gelişimi

ve verimi üzerindeki etkilerinin sulamanınki ya da yağışınki kadar büyük olmamakla birlikte göz ardı da edilemeyeceğine dikkat çekmiştir.

Kale ve Tarı (2012) AquaCrop Modeli İç Anadolu Bölgesi Bala Tarım İşletmesinde arazi şartlarında sulu ve susuz koşullar altında elde edilen buğday verilerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Model tarafından tahmin edilen ve arazide ölçülen değerleri istatistiksel olarak karşılaştırmışlardır. Ortalama sapma (α), standart hata (RMSE) ve model etkinlik katsayısını (E) sırasıyla, biyokütle için 1,16, 1,17 ve 0,67 ve verim için ise 0,32, 0,326 ve 0,83 olarak bulmuşlardır. Model tarafından kök bölgesindeki toprak nemi, bitki örtü yüzdesi ve dane verimi değerleri doğru bir şekilde tahmin edilirken, biyokütle değerleri yüksek bulunmuştur.

Deveci (2015) "Trakya Bölgesi'nde İklim Değişikliğinin Yüzey Su Kaynakları, Toprak Nemi ve Bitki Verimine Etkisinin Modellenmesi" adlı doktora çalışmasında önce RegCM3 Bölgesel İklim Modeli, referans ve A2 senaryosu çıktıları kullanılmıştır. 1970-1990 yılları için araştırma alanından ölçülen sıcaklık ve yağış verileri ile model referans verileri karşılaştırılarak 2016-2025, 2046-2055 ve 2076-2085 yılları için sıcaklık ve yağış değişimi tahmin etmiştir. 1970-1990 yıllarına göre, 2016-2025, 2046-2055 ve 2076-2085 yılları arasında sıcaklıkların sırası ile 0,12 °C, 1,43 °C, 3,05 °C artacağı, yağışların ise 2016-2025 yılları arasında % 9 artacağı, 2046-2055 ve 2076-2085 yılları arasında ise sırası ile % 14 ve % 12 azalacağı tahmin edilmiştir. Sonrasında ise iklim değişikliği ile birlikte, 2012 yılına göre ortalama ETo değerlerinin 2016-2025, 2046-2055 ve 2076-2085 yılları arasında sırasıyla % 7, % 20 ve % 33 artacağı tahmin edilirken; AquaCrop Model ile ayçiçeği veriminde önce % 9,4'e kadar artış daha sonra % 22'ye kadar azalma; buğday veriminde ise vejetasyon dönemi kısılamı dikkate alınmadan Akıncılar ve Sofulara % 50'nin üzerinde, Çövenli'de ise yaklaşık % 23 ile % 41 oranlarında verim artışları gözleneceği tahmin edilmiştir.

Dünya çapında da pek çok araştırmacı farklı ürünler için ve farklı koşullarda AquaCrop ve WOFOST Modelleri denemişler ve güvenilir doğrulukta sonuçlar elde etmişlerdir. AquaCrop Model ile farklı bitkilerde yapılan çalışmalara örnek olarak arpa (*Hordeum vulgare*) (Araya ve ark. 2010a); teff (*Eragrostis tef*) (Araya ve ark. 2010b); pamuk (*Gossypium hirsutum*) (Baumhardt ve ark. 2009); quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) (Geerts ve ark. 2009a), (Geerts ve ark. 2009b), (Geerts ve ark. 2010); mısır (*Zea mays* L.) (Heng ve ark. 2009), (Hsiao ve ark. 2009), (Abedinpoura ve ark. 2012), (Zinyengere ve ark. 2011), (Greaves ve ark. 2016) (Hassanlı ve ark. 2016); patates (*Solanum tuberosum* L.) (Vanuytrecht ve ark. 2011) ve kanola (*Brassica napus* L.) (Zeke ve ark. 2011) bitkileri verilebilmektedir.

Buğday bitkisi için farklı koşullarda AquaCrop Model ve WOFOST Model ile simülasyonlar yapılmıştır. Sekhar ve ark. (2008) WOFOST Modeli buğday bitkisi verimi için 2004-05, 2005-06 ve 2006-07 üç ardışık sezon için uygulamışlar ve yaklaşık % 11'lik sapma ile 57 kg ha⁻¹ fazla tahmin etmişlerdir.

Stricevic ve ark. (2011) sulama yapılmamış doğal koşullarda ve sulama yapılmış, yeterli miktarda ek besin verilmiş koşullarda mısır, şeker pancarı ve ayçiçeğinin gelişimini AquaCrop Model ile inceleyerek verim ve sulama suyu kullanım randımanını simüle etmişlerdir. Sulama için su kaynaklarının stratejik planlanmasında ve su yönetiminde kullanılabilir olduğunu ayrıca farklı iklim koşulları altında verim, biyokütle ve su gereksinim simülasyonları için modelin uygulanabilir olduğunu belirtmişler, modelin veri girişinin ve kullanımının kolay olduğunu vurgulamışlardır.

İran'da Andarzian ve ark. (2011) tarafından yapılmış olan bir çalışmada yeterli miktarda sulanmış ve kuraklık etkisine maruz bırakılmış buğday bitkisinin üretimi AquaCrop Model ile test edilmiştir. Sulama uygulaması bitki gelişim dönemlerinde ve farklı derinliklere su uygulaması yapılması şeklinde iki farklı senaryo

şeklinde uygulanmıştır. Kök bölgesindeki toprak su içeriği, bitkisel biyokütle ve tane verimi simüle edilerek % 10'dan daha az bir hata ile doğru sonuçlar elde edilmiştir.

Plosuo ve ark. (2011) kışlık buğday (*Triticum aestivum* L.) için yaygın olarak kullanılan, bitki büyüme simülasyon modellerinin (APES, CROPSYST, DAISY, DSSAT, FASSET, HERMES, STTİK ve WOFOST) performansını Kuzeybatı, Orta ve Güneydoğu Avrupa'da 8 kısımda 49 büyüme döneminde karşılaştırmışlardır. Verim tahmini ile ilgili en iyi performansı, DAISY ve DSSAT (1428 ve 1603 kg ha⁻¹) göstermiştir. Sırasıyla HERMES, STICS ve WOFOST (1174, 1272 ve 1213 kg ha⁻¹) bunları takip ederken, CROPSYST (1186 kg ha⁻¹) daha düşük hesaplamıştır. APES, DAISY, HERMES, STICS ve WOFOST, yüksek biyokütle tahminleri yaparken, CROPSYST, DSSAT ve FASSET modelleri daha düşük hesaplamıştır. Sonuç olarak, DSSAT ve FASSET yüksek hasat indeksi değerleri üretmiş ve onu HERMES ve WOFOST izlemiştir. Öte yandan APES ve DAISY'de düşük hasat indeksi değerleri hesaplanmıştır. Fenolojik gözlemlerin yapılmasına rağmen, buğday fenolojisi için kalibrasyon sonuçları, yani anthesis ve olgunluğun tahmini tarihleri, şaşırtıcı derecede değişken çıkmıştır; APES için olgunluk gün sayısı 20,2 gün ve HERMES için 12,6 gün olarak üretilmiştir.

Mkhabela ve ark. (2012) Kanada topraklarında buğday verimini ve toprak nemini simüle etmişlerdir. Verim değerlerinde gözlenen ve ölçülen değerler arasında % 3'lük bir fark ve toprak neminde ise % 2'lik fark gözlemlenmiştir. AquaCrop Modelin sonuçlarının kabul edilebilir doğrulukla Kanada topraklarında buğday verimini ve toprak nemini belirlemede kullanılabileceğini göstermiştir.

Singh ve ark. (2013), Hindistan'ın batı Bengal bölümünde 10 çeşit buğdayda (DBW 17, RAJ 4120, PBW 621, K 0307, HD 2733, HD 2687, CBW 38, DBW 39, HD 2985 ve PBW 343) Nisan-Aralık döneminde 2008-2009 ve 2009-2010 yılları arası verim değerlerini simüle edilmiştir. 2008-2009 yıllarında buğday veriminin gerçek değeri 410 kg ha⁻¹ iken simüle edilen değeri 416 kg ha⁻¹ olarak model tarafından hesaplanmıştır. 2009-2012 yıllarında ise buğday veriminin gerçek değeri 390 kg ha⁻¹ iken simüle edilen değeri 401 kg ha⁻¹ olarak bulunmuştur. AquaCrop Modelin minimum veri girişi ile sade ve kullanıcı dostu bir model olduğu belirtilmiştir.

Tripathy ve ark. Tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada, Hindistan'ın Pencap eyaletinde, mevsimlik buğday verimi ve yaprak alan indeksi (LAI) tahmin etmede, uzaktan algılama verileri ile simülasyon modeli WOFOST kullanılmıştır. Her grid için simüle edilen buğday tane verimi, uzaktan algılamalı buğday ekin haritasından türetilen her grid için gerçek buğday fraksiyonunu kullanılarak ilçe seviyesine toplanmıştır. Tahmin edilen verim ile Tarım Bakanlığı tarafından rapor edilen verim arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. İşlem üç ürün sezonunda tekrarlanmış ve güvenilirlik kontrol edilmiştir. Sonuçlar, bu tekniğin, eyalet düzeyinde <0,4 ton/ha'lık bir hata ile bölgesel seviyede mekânsal verim tahmini için kullanılabileceğini göstermiştir.

Mishra ve ark. (2013) WOFOST Modeli buğday bitkisinde maksimum LAI için 2009-10, 2010-11 döneminde simüle etmişler RMSE değerlerini sırasıyla 0,11, 0,08 ve 0,08 bulmuşlardır. 2009-10, 2010-11 döneminde gözlemlenen ortalama verimler 3406 ± 223, 3757 ± 684 ve 3581 ± 430 kg ha⁻¹ ve simüle edilmiş ortalama verimler 3496 ± 435, 4061 ± 684 ve 3778 ± 494 kg ha⁻¹'dir. Benzer şekilde, 2009-10 ve 2010-11 döneminde toprak üretiminde ölçülen biyokütle 8349 ± 752, 8495 ± 953 ve 8422 ± 796 kg ha⁻¹, simüle edilmiş biyokütle 8787 ± 698, 8910 ± 733 ve 8889 ± 653 kg ha⁻¹'dir. Korelasyon katsayısı r 0,30 ve standart sapma ± 4,262'dir. Bu durum WOFOST modelinin 2009-10 döneminde hasat indeksinin simülasyonu için başarısızlığını kanıtlamaktadır. Bununla birlikte, ikinci yıl boyunca model verimi ve

hasat indeksini doğru bir şekilde simüle etti. Modelin performansı, gerçekte olduğundan daha az yada daha fazla tahmine dayandı ancak bu oldukça kabul edilebilir sınırlar içinde kalmıştır. WOFOST modeli buğday verimini simüle etmek ve tahmin etmek için kullanılabilir olduğunu kanıtlamaktadır.

Bregaglio ve ark. (2015) WOFOST ve CropSyst modellerini Fas'taki Sidi El Aydi, Khemis Zemamra ve Marchouch deneme alanlarında 2011-2012 ve 2012-2013 yıllarında makarnalık buğday çeşidinde denemişler. Oluşum, sürgün, kök uzama, çiçeklenme ve olgunluğun fenolojik aşamalarını belirlemişlerdir. Mevsim boyunca yer altı biyokütlesi altı kez ölçülmüştür. Bu veriler, WOFOST ve CropSyst'e girilmiş ve sonuçlar her iki modelin iyi tahminlere ulaştığını göstermiştir. R^2 , her zaman 0,91'den yüksektir ve Nash ve Sutcliffe ile pozitif değerler elde edilmiştir.

Huanga ve ark. 2016'da yaptıkları çalışmada uzaktan algılama yöntemini ve WOFOST ürün büyüme modelini kullanarak buğday için LAI'yı hesaplayıp karşılaştırmışlar ve buğday veriminin bölgesel tahminlerini iyileştirmek için güvenilir ve umut vaat eden bir yöntem olduğunu belirlemişlerdir.

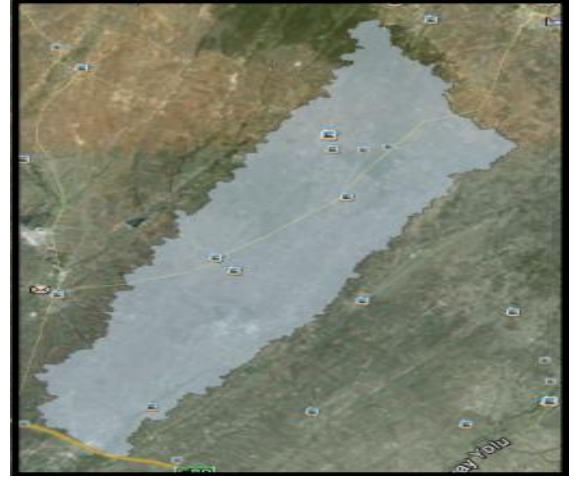
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma Alanı

Araştırma yeri, Trakya Bölgesi'nde Meriç-Ergene Ana Havzası içerisinde yer alan Tekirdağ-Çorlu Pınarbaşı Havzasıdır. Havza alanı 119,61 km² olmak üzere Harita Genel Komutanlığı'ndan bilgisayar ortamında temin edilen ve uygulama alanına isabet eden beş adet 1/25000 ölçekli sayısal yükseklik paftaları (E19d3, E19c4, F19a1, F19a2, F19a4) içinde kalmaktadır. Denizden yüksekliği 85-268 m'ler arasında olan havza, UTM/UPS 35N projeksiyonunda, 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. Araştırma alanının konumu Şekil 3.1'de verilmiştir.

Şekil 3.1. Pınarbaşı Havzası'nın konumu



3.1.2. Araştırma Alanının İklimi

Araştırma alanı, Marmara Denizi kıyı şeridi boyunca görülen Karadeniz-Akdeniz ve iç kesimlerde görülen karasal iklimler etkisi altındadır. Kışları serin ve yağışlı, yazları kurak ve sıcaktır. Çizelge 3.1'deki uzun yıllar (1970-2011) ortalamasına bakıldığında 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 yağış miktarı 47,7 mm'dir. Yağışın büyük bir kısmı Ekim ile Mayıs ayları arasındaki dönemde gerçekleşmektedir. Yıllık ortalama oransal nem % 77,2'dir. Yıllık ortalama rüzgâr hızının 2 m yükseklikteki değeri 3,5 m s⁻¹'dir (Anonim, 2012).

3.1.3. Araştırma Alanının Toprak Özellikleri

Akıncılar, Sofular ve Çövenli’de birer adet profil çukuru açılmıştır. Bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm’lik katmanlardan alınıp, laboratuarda analize uygun hale getirilerek tarla kapasitesi, solma noktası, toprağın bünyesi, bünye sınıfı, birim hacim ağırlık, su ile doygunluk, toplam tuz ve pH değerlerinin belirlenmesi için Kırklareli Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü’ne gönderilmiştir. Burada yapılan analiz sonuçları Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

3.1.4. Buğday bitkisi

Buğday iklim isteğı olarak yetişme döneminin ilk devrelerinde düşük sıcaklık ve bol nemli hava istemektedir. Özellikle çimlenme ve kardeşlenme sırasında buğdayın istediğı sıcaklık 5–10 °C, nem ise % 60 kadardır. Buğday gelişmesinin ikinci devresi olan sapa kalkmada ise 10–15 °C sıcaklık ve % 65 oranında nispi nem isteğı olmaktadır. Buğday bitkisi her çeşit toprakta yetişmekle birlikte genellikle yüksek verim derin, killi, tınlı-killi, humusça zengin topraklardan alınmaktadır. Kaliteli ve bol ürün alabilmek için toprak işleme ve tarla hazırlığı en önemli işlemlerdir. Ekilen tohumluğun zamanında ve yeknesak bir şekilde çimlenebilmesi için tohum yatağının iyi hazırlanmış ve tavda olması gerekir. Özellikle yamaç alanlardaki toprak işlemesinde su erozyonunun önlenmesi için sürüm ve ekim işlemlerinin eğime dik yapılması gerekir. Buğday tarımında dekardan yüksek verim ve kaliteli ürün elde etmenin ön koşullarından biri de uygun bir zamanda ekim yaparak düzenli bir çimlenme ve çıkış sağlamaktır. Ekim zamanı ve yöntemlerinin seçiminde bu amaçlar göz önünde bulundurulmalıdır. Buğday tarımında ekim zamanını belirleyen en önemli faktörlerden biri de tohum yatağındaki toprak sıcaklığıdır. Toprak sıcaklığının 8-10 °C olduğı zaman ekim yapılırsa kök gelişmesi hızlı ve kök tacı da derin olur. Bu uygun zamandaki ekim, soğuşa ve kurağa karşı dayanıklılığı artırır. Erken ekimde, geç ekimde kış dönemindeki şiddetli soğuklardan bitkinin zarar görmesine neden olacağı için sakıncalıdır. En uygun ekim tarihi, Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsünde yapılan denemeler sonucuna göre 15 Ekim-15 Kasım tarihleri arası olarak belirlenmiştir. Kışlık buğday ekimi 5-6 cm derinliğe yapılabilir. Ekilecek tohumluğun bin tane ağırlığına veya iriliğine bakarak bu derinlik küçük tohumlarda 4-5 cm, iri tohumlarda 5-6 cm olabilir. Son yıllarda Trakya’da tahıl ekiminde üreticiler modern ekim makinalarını (mibzer) kullanmaktadırlar. Dekara atılacak tohumluk miktarının belirlenmesinde ekilmek istenen çeşidin kardeşlenme kapasitesi, bin tane ağırlığı, tohumun saflığı önemlidir. Dekara atılacak tohumluk miktarı çeşitten çeşide tohum iriliğine göre de değışmektedir. Yapılan araştırmalar, Trakya ve Marmara Bölgesi’nde birim alandan en yüksek tane verimi alabilmek için dekara 16-18 kg tohumluğun yeterli olacağını göstermiştir (Süzer, 2015). Akıncılar, Sofular ve Çövenli’de ekilen buğday bitkisinin genel özellikleri Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.1. Araştırma alanına ilişkin iklim değerlerinin uzun yıllar ortalamaları (1970–2011) (Anonim, 2012)

Uzun Yıllar İklim Verileri	Aylar												Yıllık Ortalama
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
Ortalama sıcaklık (°C)	3,5	4,0	6,5	11,2	16,1	20,6	22,7	22,3	18,6	14,0	9,1	5,4	12,8
Ortalama max. sıcaklık (°C)	6,8	7,9	11,1	16,7	22,0	26,7	29,0	28,8	24,9	19,1	13,3	8,7	17,9
Ortalama min. sıcaklık (°C)	0,6	0,9	2,8	6,8	10,9	15,0	16,9	16,7	13,6	10,0	5,7	2,4	8,5
Ortalama bağıl nem (%)	85,3	82,1	79,4	75,2	73,2	69,8	68,6	71,8	73,9	79,2	83,0	85,1	77,2
Ortalama rüzgâr hızı* (m s ⁻¹)	3,9	4,0	3,7	3,0	3,0	2,9	3,5	3,6	3,3	3,5	3,3	3,8	3,5
Yağış (mm)	55,6	52,1	51,0	44,6	48,4	36,7	27,9	18,6	34,1	58,9	72,5	71,9	47,7

* 2 m yükseklikte ölçülen değerdir.

Çizelge 3.2. Araştırma alanındaki toprakların bazı önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri

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

Çizelge 3.3. Buğday bitkisinin özellikleri

Özellikler	Pınarbaşı	Sofular	Çövenli
Buğday çeşidi	Esperia	Gelibolu	Esperia
Ekim tipi	Mibzerle	Mibzerle	Mibzerle
Buğdaydan önce ekilen bitki	Ayçiçek	Ayçiçek	Ayçiçek
Ekim Tarihi	08.11.2016	05.11.2016	31.10.2016
Hasat Tarihi	14.07.2017	15.07.2017	09.07.2017

3.1.5. ETo Calculator (ETo Hesaplayıcı)

AquaCrop verim tahmin modelinin kullanılabilmesi için referans evapotranspirasyonun hesaplanması gerekmektedir. Çalışmada bu amaçla ETo Calculator (Version 3.2) kullanılmıştır.

ETo Calculator'a girdi olarak günlük olarak toplam güneşlenme süresi (sa), minimum sıcaklık (°C), maksimum sıcaklık (°C), günlük ortalama nem (%) ve rüzgâr hızı (m sec⁻¹) verileri ayrıca meteoroloji istasyonunun adı, yeri, konumu, enlem, boylam ve deniz seviyesinden yükseklik değerleri girilmekte ve çıktı olarak referans evapotranspirasyon (mm) değerleri hesaplanmaktadır.

Evapotranspirasyon topraktan olan buharlaşma ile yapraktan olan terlemenin toplamıdır. 8-15 cm boyunda, geniş bir yüzey alana sahip, eşit boylu, aktif olarak büyüyen, tamamen yeri gölgeleyen ve su stresinden uzak çim bitkisi ile kaplı alandan meydana gelen su tüketimine referans evapotranspirasyon denir (İşcan ve ark., 2004). Referans evapotranspirasyon ETo ile gösterilir. ETo'ı hesaplamak için meteorolojik verilerden faydalanılır. Bunun için de çok sayıda amirik ve yarı amirik denklemler geliştirilmiştir. Birçok araştırmacı farklı yerler için değişik hesaplama yöntemlerinin performanslarını analiz etmişler ve FAO Penman-Monteith yöntemi ETo hesaplamada standart yöntem olarak tavsiye edilmiştir (Allen ve ark., 1998).

$$ETo = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34u_2)} \quad (3.1)$$

ETo: Referans evapotranspirasyon (mm gün⁻¹)

R_n: Net radyasyon (Mj m⁻² gün⁻¹)

G: Toprağın ısı iletkenliği (Mj m⁻² gün⁻¹)

T: 2 m yükseklikteki hava sıcaklığı (°C)

u₂: 2 m yükseklikteki rüzgâr hızı (m s⁻¹)

e_s: Doygun buhar basıncı (kPa)

e_a: Gerçek buhar basıncı (kPa)

e_s-e_a: Buhar basınç açığı (kPa)

Δ : Buhar basınç eğimi (kPa °C⁻¹)

γ : Psikometrik sabite (kPa °C⁻¹)

3.1.6. Verim Tahmin Modeli: AquaCrop

Bu çalışmada verim tahmini yapmak amacıyla 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, yeraltı suyu), yönetim (sulama, toprak işleme) ve başlangıç su içeriği değerleri kullanılmaktadır. Model çıktı olarak verim, transpirasyon, evaporasyon, potansiyel ve gerçek biyokütle, toprak su bileşenleri dengesi ayrıca derinliğin bir fonksiyonu olarak toprak su içeriği değerlerini vermektedir.

AquaCrop Model, suyun verime olan etkisini belirlemek için Doorenbos and Kassam'ın 1979 yılında ortaya koydukları eşitliği esas almıştır (Raes ve ark., 2009a).

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = k_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \dots\dots\dots (3.2)$$

Y_x : Maksimum verimi ($t ha^{-1}$)

Y_a : Gerçek verimi ($t ha^{-1}$)

k_y : Bağlı verim kaybının bağlı evapotranspirasyona olan oranı

ET_x : Maksimum evapotranspirasyon ($mm gün^{-1}$)

ET_a : Gerçek evapotranspirasyon ($mm gün^{-1}$)

AquaCrop Doorenbos ve Kassam'ın (1979) yaklaşımını evapotranspirasyonu (ET) topraktan olan buharlaşmaya (E) ve bitkiden olan terlemeye (Tr) ayrıca verimi (Y) de biyokütle (B) ve hasat indeksine (HI) ayrıştırarak geliştirmiştir. Böylece eşitlik 3.22 elde edilmiştir (Raes ve ark. 2009a).

$$B = WP \cdot \Sigma Tr \dots\dots\dots (3.3)$$

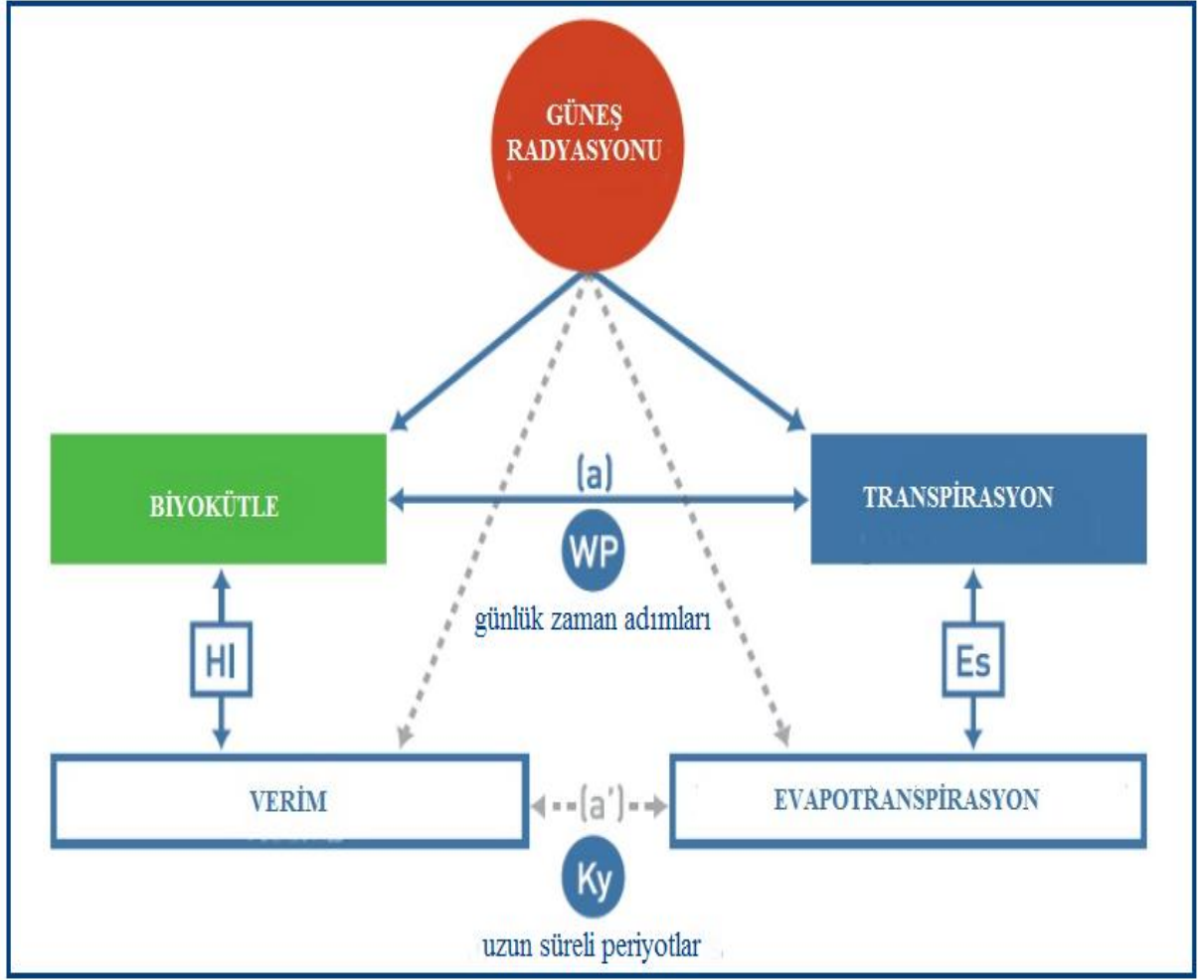
B: Biyokütle ($ton ha^{-1}$)

WP: Su verimlilik parametresi ($g m^{-2}$)

Tr: Bitkiden olan terleme (mm)

Bu iki eşitlik modelin sağlam temellere oturmasını sağlamıştır. AquaCrop Modelin gelişimi Şekil 3.2'de gösterilmiştir (Raes ve ark., 2009a).

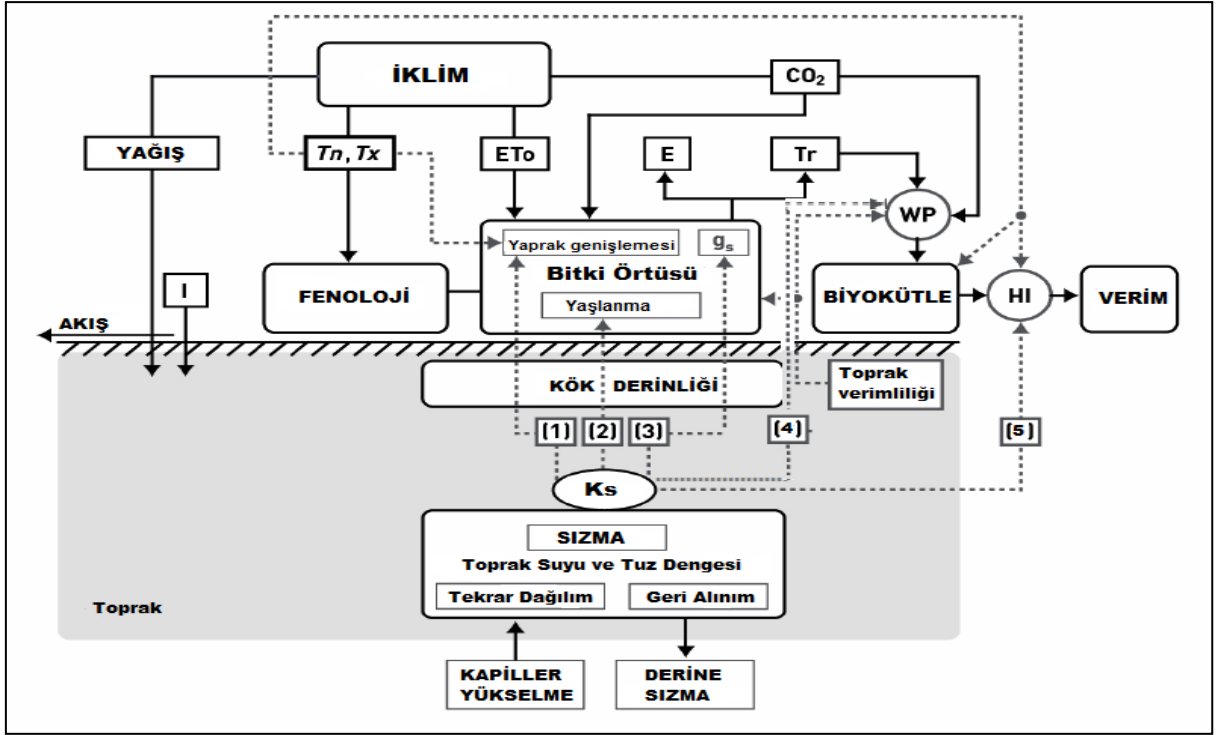
Eşitlik 3.22'ye bağlı olarak gelişen modelin işlevsel olması için modelin ek bileşenlerinin eksiksiz girilmesi gerekmektedir. AquaCrop Modelin de diğer birçok modelde olduğu gibi yapısı toprak, bitki, atmosfer bileşenlerinin ilişkisine dayanmakta ve bunlar arasında bağlantı kurmaktadır. AquaCrop, bu yapıyı oluşturan bileşenlerin toprak bileşeninden su dengesini; bitki bileşeninden bitkinin büyümesini, gelişimini ve verim sürecini; atmosfer bileşeninden termal dengeyi, buharlaşmayı, yağışı ve CO2 konsantrasyonunu ayrıca toprak, bitki, atmosfer bileşenlerinin yanı sıra bu bileşenleri ve verimi etkileyen sulama, gübreleme gibi tarımsal faaliyetleri de yapısına katar. Fakat model yabancı otların, hastalık ve zararlıların verime olası etkilerini dikkate almamıştır. Modelin yapısını oluşturan bileşenler ve verimi etkileyen diğer tarımsal faaliyetler arasındaki ilişkiler Şekil 3.3'te verilmiştir (Raes ve ark., 2009a).



Şekil 3.2. Eşitlik 3.21.'in şematik gösterimi (Raes ve ark., 2009a)

Şekil 3.3'te görüldüğü gibi sıcaklık parametresi fenolojiyi etkiler, CO₂ konsantrasyonu ve ETo bitki örtüsünün gelişimini etkiler. CO₂ konsantrasyonu ayrıca su verimlilik parametresi olan WP'yi de etkiler. Diğer yandan meteorolojik parametrelerden yağış, bitkinin kök bölgesindeki su dengesini etkiler (Raes ve ark., 2009a).

Su verimlilik parametresine bağlı olarak çalışan model WP sayesinde biyokütle artışıyla ilgili olan aradaki bazı işlem basamaklarını kullanmaz. WP parametresi iklime göre değiştirilebilir. Biyokütle WP yardımıyla bulunarak hasat indeksi ile çarpılırsa verimlilik hesaplanır. Hasat indeksi (HI) su eksikliği ve bitkinin gelişimi boyunca değişen su stresi şiddetine göre değişebilir (Raes ve ark., 2009a).



Tn: Minimum sıcaklık	Tx: Maksimum sıcaklık
E: Gerçek toprak evaporasyonu	Tr: Gerçek bitki transpirasyonu
I: Sulama	WP: Su verimlilik parametresi
g _s : Stoma iletkenliği	HI: Hasat İndeksi
Ks: Su stres katsayısı	CO ₂ : Atmosferik CO ₂ konsantrasyonu

Şekil 3.3. AquaCrop Model akış şeması (Raes ve ark., 2009a)

Bitki gelişimi boyunca su stresi ile karşılaşılırsa bitki örtüsünün gelişimi zayıf olur, yaşlılık dönemi hızlanır, bitkinin gözenekleri kapanır ve bitki erken ölür. Ayrıca su stresi su verimlilik parametresini ve hasat indeksini de etkiler (Şekil 3.3). Hasat indeksi ve biyokütle kullanılarak biyokütlenin hasat edilebilir kısmı (Y) eşitlik 3.23 yardımıyla hesaplanır (Raes ve ark., 2009a).

$$Y=B \cdot HI \quad (3.4)$$

Y: Verim (ton ha⁻¹)

B: Biyokütle (ton ha⁻¹)

HI: Hasat indeksi (%)

AquaCrop Modelin alt bölümleri aşağıda özetlenmiştir (Raes ve ark., 2009a).

İklim

İklim ile ilgili olarak girilmesi gereken veriler minimum ve maksimum sıcaklık (°C), ETo Calculator ile hesaplanan referans evapotranspirasyon (mm), yağış (mm) ve yıllık olarak atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu (ppm)'dur. Bu veriler günlük olarak girilebileceği gibi on günlük ve aylık olarak da oluşturulabilir.

Bitki

AquaCrop Modelde bitki bölümü 5 ana kısımdan oluşur. Bunlar; bitki gelişme dönemleri, toprak üstü bitki örtüsü, kök derinliği, biyokütle ve hasattır. Model termal sıcaklığı büyüme derece gün ile hesaplar. Model, meyve ve tahıl için ekilen bitkiler, yumru kök bitkileri, sebze (yapraklı) bitkileri ve yem bitkileri olarak bitkileri 4 grupta inceler. Bu bitkilerin hasat edilebilen kısımları ve bitkilerin gelişme aşamaları da birbirlerinden farklıdır.

Birçok modelin bitki örtüsü gelişimi yaprak alan indeksine (LAI) bağlıyken, AquaCrop Modelde bitki örtüsü gelişimi diğer modellerin aksine bitki örtüsünün kapladığı alana bağlıdır. Kök sistemi, etkin kök derinliği ve su alma kapasitesine göre modellenir. Etkin kök derinliği, bitkinin kökleri tarafından alınan suyun büyük bir çoğunluğunun bulunduğu toprak derinliğidir.

Toprak

Toprak girdi verilerinin olduğu kısımda derinliklerine göre alınan toprak parçaları modele tanıtılarak ve her bir toprak örneğinin hidrolik karakteristiği (solma noktası, tarla kapasitesi, su ile doygunluk yüzdesi) girilerek ya da modelin içerdiği USDA üçgeninde bulunan toprak çeşitlerinin genel toprak yapısı ve hidrolik karakteristiği seçilerek çalıştırılabilir. Ayrıca yeraltı suyu seviyesi seçilebilir ya da yeniden oluşturulabilir.

Tarımsal faaliyetler

Tarımsal faaliyetler girdi olarak bu bölümde tanımlanabilir. Toprağın gübre durumu, malçlama yapılıp yapılmadığı, topraktan yüzey akışının olup olmadığı ile ilgili bilgiler bu bölüme girilir.

Sulama

Sulama kısmında sulama yapılıp yapılmadığı, yapıldıysa sulamanın yapıldığı yöntem (yağmurlama, damla sulama, karık sulama, salma sulama), sulamanın zamanı ve miktarı modele girilir. Model otomatik olarak sabit aralıklarla, sabit derinliğe sulama programlaması yapabilmektedir. Kullanıcı sulama dosyasını eğer sulama yapıldıysa kendisi oluşturarak kullanabilmektedir.

3.1.7. Verim Tahmin Modeli: WOFOST

Bu çalışmada verim tahmini yapmak amacıyla kullanılan diğer model WOFOST Control Centre 2.1 ve WOFOST 7.1.7 bitki gelişim simülasyon modelidir. Model Wageningen (Netherlands), Alterra, Wageningen University & Research Centre tarafından geliştirilmiştir.

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 ...v.b. değerleri yer almaktadır.

WOFOST'da ekolojik büyüme, eko-fizyolojik süreçler temelinde simüle edilir. Başlıca süreçler fenolojik gelişim, ışık kesme, CO₂ asimilasyonu, terleme, solunum, asimilatların çeşitli organlara bölünmesi ve kuru madde oluşumudur (Boogaard ve ark., 2014).

Potansiyel ve suya sınırlı büyüme dinamik olarak, bir günün zaman aşaması ile simüle edilir. Besin maddesi ile sınırlı üretim statik olarak, toprak özelliklerine ve suyun sınırlı üretimine göre hesaplanmaktadır (Boogaard ve ark., 2014).

WOFOST'un ekin büyüme alt modelinin çekirdeği SUCROS modelinden alınmıştır (Spitters ve ark., 1989; Van Laar ve ark., 1992). WOFOST'un su modülünün prensipleri Van Keulen ve Wolf'da (1986) tanımlanmıştır. Besin- Sınırlı üretim, QUEFTS modelinin ilkelerine göre hesaplanır (Janssen ve ark., 1990). WOFOST'da kullanılan ana hesaplama prosedürlerinin ana hatlarını asimülasyon ve solunum, fenolojik gelişim, transpirasyon, toprağın su dengesi ve besinler oluşturmaktadır (Boogaard ve ark., 2014). WOFOST Modelin alt bölümleri aşağıda özetlenmiştir (Boogaard ve ark., 2014).

Genel Veriler

Bu bölümde simülasyonun potansiyel, su limitli ya da besin limitli olup olmayacağı belirtilir. Ayrıca su limitli simülasyon seçilecekse sadece kuraklığın etkisi mi yoksa kuraklık ve oksijen kısıtlılığının bir arada etkisinin mi seçileceği belirlenir.

Bitki

Bitki kısmında sol tarafta programın arşivinde bulunan mevcut bitkiler bulunmaktadır. İstenirse eğer ayrıca bitki dosyası modele uygun biçimde oluşturulup buradan seçilerek kullanılabilir. Sağ tarafta ise seçilen bitki dosyası içeriği görünmektedir.

İklim

İklim verilerinin günlük olarak programın kullanabileceği şekilde CABO formatlı olarak hazırlanması gerekmektedir. Meteoroloji ölçüm istasyonunun numarası, enlemi boylamı ve denizden yüksekliği, Ångström katsayıları, ölçüm yapılan yıl, ölçüm yapılan günler, radyasyon ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$), minimum sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), maksimum sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), buhar basıncı (kPa), rüzgar hızı (m s^{-1}) ve yağış (mm) bilgileri girilerek meteoroloji dosyası oluşturulmaktadır.

Zamanlama

Bu bölüme ekim ve hasat tarihi ile simülasyon yapılacak yıl sayısının girilmesi gerekmektedir.

Toprak

Toprak bölümünde örnek toprak dosyaları bulunmaktadır. Ayrıca toprak dosyası oluşturulup buradan seçilerek kullanılabilir. Sağ tarafta ise yer altı suyu ve drenaj derinliği, yüzey depolama miktarı (ilk ve maksimum) gibi bilgilerin girilebileceği alanlar mevcut bulunmaktadır.

Besinler

Besin limitli seçenek işaretlenerek simülasyon yapılacaksa bu bölüm model ana penceresinde gözükür. Azot, fosfor ve potasyum miktarının kg ha^{-1} olarak girilmesi gerekmektedir.

3.2. YÖNTEM

3.2.1. İklim Değişikliğinin Modellenmesi

İklim değişikliğinin modellenmesinde kullanılan iklim verileri İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü'nden elde edilmiştir. Bu veriler RegCM3 Bölgesel İklim Modeli kullanarak yapılan "Türkiye için İklim Değişikliği Senaryoları" adlı projenin çıktılarıdır. Elde edilen veriler referans 1961-1990 ve gelecek 2000-2099 yılları arasını kapsamaktadır. Pınarbaşı Havzası için havza çok küçük olduğundan havzaya isabet eden grid bulunamamıştır. Bundan dolayı havzaya en yakın 4 gridin verileri elde edilmiştir. İklim değişikliğinin modellenmesi aşamasında referans ve gelecek dönemler için günlük olarak, minimum sıcaklık ($^{\circ}\text{K}$), maksimum sıcaklık ($^{\circ}\text{K}$), rüzgâr hızı (m s^{-1}), yağış (mm) ortalama nem (%) ve global güneş radyasyonu (W cm^{-2}) değerleri için ayrı ayrı 4 gridin ortalaması alınmıştır. Ayrıca bu verileri ETo Calculator, AquaCrop ve WOFOST modellerinin kullanacağı hale getirebilmek için birim dönüşümleri yapılmıştır. Verilerde günlük minimum sıcaklık ($^{\circ}\text{K}$) ve maksimum sıcaklık ($^{\circ}\text{K}$) değerleri Celsius'a, global güneş radyasyonu W cm^{-2} 'den kJ m^{-2} 'ye ortalama nem (%) ortalama buhar basıncına (kPa) çevrilmiş, yağış (mm) ve rüzgâr hızı (m s^{-1}) değerlerinde herhangi bir birim çevirme işlemi yapılmamıştır.

Ölçülen ve Tahmin Edilen İklim Verilerinin İstatistiksel Analizi:

Çorlu Meteoroloji İstasyonundan ölçülen 1970-1990 yılları verileri TÜMAS'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.

3.2.2. Hassasiyet Analizi

AquaCrop ve WOFOST modellerde verim tahmininde iklim parametrelerinden hangisinin etkisi daha fazla yada daha hassas olduğunun belirlenebilmesi için hassasiyet analizleri yapılmıştır. Bu analizler her iki modelde de minimum ve maksimum sıcaklıkların 1, 2, 3, 4, ve 5 dereceye kadar arttırılması ve azaltılması, yağışların % 10, % 20, % 30, % 40 ve % 50'ye kadar arttırılması ve azaltılması şeklinde yapılmıştır. WOFOST modelde bunlara ilaveten radyasyon değerleri de % 10, % 20, % 30, % 40 ve % 50'ye kadar arttırılmış ve azaltılmıştır.

3.2.3. ETo Calculator ile ETo Hesaplanması

2016-2017 yıllarında Akıncılar, Sofular ve Çövenli alt havzaları buğday tarlalarından elde edilen verim değerlerinin AquaCrop Model ile kalibre edilebilmesi için öncelikle ETo değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. ETo'nun hesaplanabilmesi için öncelikle bir excel dosyasında toplam güneşlenme süresi (sa), minimum sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), maksimum sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), ortalama nem (%) ve rüzgâr hızı (m s^{-1}) verileri beş sütun halinde günlük olarak alt alta hazırlanmıştır. Girilen bu değerler

excel dosyasında .CXT uzantılı biçimli metin olarak farklı kaydedilerek, not defterine dönüştürülmüştür. Böylece iklim verilerinin ETo Calculator'un okuyabileceği dosya formatına dönüşmesi sağlanmıştır. ETo Calculator'un içinde yer alan "Climatic station" bölümünde meteoroloji istasyonunun adı, yeri, enlemi, boylamı ve denizden yüksekliği gibi bilgiler tanımlanmıştır. "Climatic parameters" penceresinde daha önce oluşturulmuş olan Corlu.CXT iklim verileri dosyasında hangi sütunda hangi verilerin olduğu kodlanarak Corlu.CXT dosyasında sütunlar halinde bulunan iklim verilerinin parametre olarak tanımlanması yapılmıştır. Kod listesinden günlük toplam güneşlenme süresi (sa) için 401, minimum sıcaklık (°C) için 103, maksimum sıcaklık (°C) için 101, günlük ortalama nem (%) için 202 ve rüzgâr hızı (m s⁻¹) için 301 kodları seçilmiştir. ETo değerleri hesaplanarak AquaCrop Modelin formatına uygun olarak kullanılmak üzere direk olarak CorluET0 isimli .ETo ve.TMP uzantılı veri dosyaları elde edilmiştir.

İklim Değişikliğinin ETo'a Etkisinin Belirlenmesi:

İklim değişikliğinin ETo'a etkisinin belirlenebilmesi için RegCM3 Bölgesel İklim Modeli A2 senaryo sonuçlarından elde edilen günlük minimum sıcaklık (°C), maksimum sıcaklık (°C), ortalama nem (%) ve rüzgâr hızı (m s⁻¹) verileri ile ETo Calculator ile çalıştırılmış ve kısa (2020-2030), orta (2046-2055) ve uzun (2076-2085) dönemler için ETo hesaplanmıştır.

3.2.4. Verim Tahmininin Modellenmesi

İklim değişikliğinin verime etkisinin modellenmesi aşamasında Akıncılar, Sofular ve Çövenli alt havzalarında 2016-2017 dönemi için ölçülen verim değerleri ile AquaCrop ve WOFOST Model ile aynı dönem için hesaplanan verim değerleri karşılaştırılarak kalibre edilmiş ve daha sonra ise buğday bitkisi için Akıncılar, Sofular ve Çövenli alt havzalarında kısa (2020-2030), orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) dönemler verim değerleri tahmin edilmiştir.

3.2.4.1. AquaCrop Model ile Verim Tahmininin Modellenmesi

AquaCrop Modelin Çalıştırılması

AquaCrop Modelin çalıştırılabilmesi için öncelikle Eto Calculator ile Eto değerlerinin hesaplatılması, iklim, toprak ve bitki dosyalarının programa uygun bir şekilde hazırlanıp, girilmesi gerekmektedir.

AquaCrop Modelde Meteoroloji Dosyasının Oluşturulması

AquaCrop Modelin çalıştırılabilmesi için iklim, bitki ve toprak verilerinin modele girilmesi gerekmektedir. Eto Calculator'dan elde edilen verilere ek olarak yağış verileri dosyası oluşturulmuş, CO₂ salınım dosyalarından biri seçilerek iklim dosyaları tamamlanmıştır.

AquaCrop Modelde Bitki Dosyasının Oluşturulması

AquaCrop Modelin içinde mevcut olarak pamuk, ayçiçeği, mısır, domates, patates, buğday v.b. bitki dosyaları bulunmaktadır. Bu dosyalardan seçim yapılabildiği gibi yeni bir bitki dosyası da bölge koşullarına göre oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada bitki ile ilgili BugdayP.CRO dosyaları oluşturulmuştur. Akıncılar, Sofular ve Çövenli için buğday bitki dosyaları hazırlanmıştır. Ayrıca bitki verileri ile ilgili olarak hazırlanan FAO tarafından basılmış olan AquaCrop Model kullanıcı el kitabında mısır, patates, pirinç, domates, soya fasulyesi, pamuk, buğday, ayçiçeği, v.b. gibi çeşitli bitkiler için ek bilgiler verilmiştir. Modelin buğday bitkisi için kabul ettiği genel girdi değerleri bu kitapçıktan alınmıştır (Raes ve ark., 2009d).

Buğday için Bitki Dosyasının Oluşturulması

Akıncılar, Sofular ve Çövenli alanına ekilen buğday bitkisinin verim değeri AquaCrop Model ile simüle edilmiştir. Akıncılar, Sofular ve Çövenli'de sırası ile 08.11.2016, 05.11.2016 ve 31.10.2016 tarihlerinde ekim, 14.07.2017, 15.07.2017 ve 09.07.2017 tarihlerinde hasat yapılmıştır. Bitkinin ekiminden hasadına kadar Akıncılar'da 249, Sofular ve Çövenli'de 252 gün geçmiştir.

AquaCrop Modelde bitki dosyasının oluşturulması için ilk olarak bitkinin adının ve tanımının yapılması gerekmektedir. Daha sonra meyve veya tahıl üreten bitkiler, yapraklı sebze bitkileri, yumru kök bitkileri ve yem bitkileri bitki tiplerinden, yapraklı sebze bitkileri seçilmiştir. C3 ve C4 bitki gruplarından C3 belirlendikten sonra dikim metoduna göre ekim veya şaşırtma (transplanting) seçeneklerinden ekim seçilip, ekimden bir sonraki gün ve büyüme döngüsünün uzunluğu girilmiş ve yeni bir bitki dosyası oluşturulmuştur. Bundan sonraki kısımda ise bitki ile ilgili verilerin sınırlı sayıda mı girileceği, yoksa tümünün mü girileceği belirlenip, bitki ile ilgili parametrelerin girilmesine devam edilmiştir. Bu kısımda bitki ile ilgili olarak bitki gelişimi, ET, üretim, su, sıcaklık, tuzluluk, etkiler ve takvim ana bölümleri ile ilgili veri girişlerinin yapılması gerekmektedir.

Modelde bitki ile ilgili genel tanımlamalar yapıldıktan ve tüm bitki parametrelerinin girileceği seçenek işaretlenir. Model bitki gelişim parametrelerini başlangıç bitki örtüsü gelişimi, bitki örtüsü gelişimi, çiçeklenme ve verim oluşumu, köklenme derinliği ve sıcaklık olmak üzere beş bölümde inceler (Raes ve ark., 2009b).

Gelişim Bölümü

1. Başlangıç bitki örtüsü gelişimi

Model bu bölümde, yeşil bitki örtüsünün kapladığı alanın başlangıçtaki değerini (CC_0) hesaplar. CC_0 parametresi filizlenmenin % 90'ının tamamlandığı zamandaki bitki örtüsüdür. Model bu parametreyi hesaplarırken öncelikle bitki yoğunluğunun tahmin edilmesi gerekir. Bunun için hektara düşen tohum miktarının kg cinsinden değeri, bitki tohumunun gram cinsinden 1000 tane ağırlığı ve çimlenme oranı girilerek CC_0 değeri hesaplanır. Bitki tohumunun gram cinsinden 1000 tane ağırlığı 38 gr ve çimlenme oranı % 85 girilerek CC_0 değeri model tarafından % 7,11 olarak hesaplanmış ve bitki yoğunluğu ise yine model tarafından 4 736 737 bitki ha^{-1} olarak belirlenmiştir. Bitki yoğunluğunun sınır değerleri model tarafından 2 000 000-7 000 000 bitki ha^{-1} olarak verilmiştir. Bu pencerede ayrıca ekim metodunun da

belirtilmesi gerekmektedir. Burada direk ekim seçeneği işaretlenerek ekim metodu da belirlenmiştir.

2. Bitki örtüsü gelişimi

Bitkinin ekiminden çıkışına kadar geçen gün sayısı (emergence), bitki örtüsünün kapladığı alanın bitkinin ekiminden sonra maksimuma ulaşması için geçen gün sayısı (max canopy), yaşlılık (senescence) ve olgunluğa ulaştığındaki gün sayısı (maturity) modele girilmiştir ayrıca maksimum bitki örtüsü genişlemesi % 95 olarak belirlenmiştir. Bitki örtüsündeki zayıflama kısmında ise çok yavaş, yavaş, orta, hızlı ve çok hızlı seçenekleri vardır. Burada çok yavaş seçeneği işaretlenmiştir. Bitki gelişme katsayısı (CGC) maksimum bitki örtüsüne göre model tarafından hesaplanarak belirlenmiştir. Bitki zayıflama katsayısı (CDC) ise bitkinin yaşlanması için gerekli olan gün sayısından elde edilmiştir.

3. Çiçeklenme ve verim oluşumu

Çiçeklenme dönemi ve verim ile ilgili bölüm yer almaktadır. Çiçeklenme dönemi bitkinin verimi için çok önemlidir. Model, bitkinin çiçeklenme dönemi gün sayısını ve çiçeklenme döneminin başladığı gün sayısını girdi olarak alır. Daha sonra bu verileri kullanarak hasat indeksinin gelişmesi için geçen gün sayısını hesaplar.

4. Köklenme derinliği

Köklenme derinliği bölümünde ise modele girilen maksimum kök derinliği, ekimden 120 gün sonra 1,10 metre olarak kabul edilerek modele girilmiştir. AquaCrop Model kullanıcı el kitabı buğday bitkisi için minimum etkili kök derinliğini 0,30 m, şekil faktörü 1,5 olarak belirlediğinden bu değerler alınmıştır (Raes ve ark. 2009d). Kök derinliğinin günlük ortalama büyüme ve gelişme değeri $1,5 \text{ cm gün}^{-1}$ kabul edilmiştir.

5. Sıcaklıklar

Sıcaklık bölümünde büyüme derece gün (BDG) hesaplaması için taban sıcaklık ve üst sıcaklık girilmesi gerekmektedir. Burada bitki büyümesi ile ilgili alt ve üst eşik sıcaklık değerleri AquaCrop Model kullanıcı el kitabında buğday bitkisi için 0°C ve 26°C olarak belirtildiğinden bu değerler girilmiştir (Raes ve ark., 2009d). Ayrıca bitki gelişiminde takvim gününün mü esas alınacağı yoksa BDG seçeneğinin mi esas alınacağını belirlemek gerekmektedir. BDG seçeneği işaretlenerek bitki gelişimi ile ilgili girilmesi gereken parametreler bu kısımda tamamlanmıştır.

ET Bölümü

Bu bölümde evapotranspirasyon ile ilgili bilgilerin girilmesi gerekmektedir. Evapotranspirasyon bölümü katsayılar ve köklerle su alımı bölümünden oluşur. Katsayılar bölümünde bitkiden olan terleme katsayısının (K_{cb}) ve nemli toprak yüzeyinden olan buharlaşma katsayısının (K_e) girilmesi gerekmektedir. Bu değerler için AquaCrop Modelin kullanıcı el kitabının ekinde yer alan buğday bitkisi için verilen genel değerler girilmiştir (Raes ve ark., 2009d). Köklerle su alımı kısmında ise maksimum kök su alımı, maksimum kök derinliği değerine göre model tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Köklerle su alım yüzdelerini kullanıcı isteğe bağlı olarak değiştirebilmektedir.

Üretim bölümü

Üretim bölümü bitki su üretimi ve hasat indeksi (HI) olmak üzere ikiye ayrılır. Biyokütle ve verimi simüle etmek için normalize edilmiş CO₂ ve ETo değerlerini kullanılır. AquaCrop Model kullanıcı el kitabı buğday bitkisi için verilen genel değer olarak su verimlilik parametresi (WP) değerini 15 g m⁻² olarak belirtildiğinden burada bu değerler kullanılmıştır (Raes ve ark., 2009d). HI bölümünde ise buğday bitkisi için referans hasat indeksi 38-43 olarak alınmıştır.

Su bölümü

Su bölümü bölümünün içinde su stresinin bitki gelişimine etkisi, stoma kontrolüne etkisi, erken yaşlanmaya etkisi, hava ile temas halindeki toprağın etkisi ve hasat indeksi bölümleri yer almaktadır. Su stresi hasat indeksini etkilemektedir. Bitki gelişimi bölümünde model buğday bitkisinin gelişiminin su stresine olan toleransını orta hassas (moderately sensitive tolerant) olarak kabul eder. AquaCrop Model kullanıcı el kitabı buğday bitkisi gelişimi için toprak su tüketimi üst eşik değeri 0,20 alt eşik değeri 0,65 ve şekil faktörünü de 5,0 olarak belirttiğinden modele bu değerler girilmiştir (Raes ve ark., 2009d). Stoma kontrolü bölümünde model buğday bitkisinin stoma kontrolünün su stresine olan toleransını orta derece (moderately tolerant) olarak kabul eder. AquaCrop Model kullanıcı el kitabı buğday bitkisi stoma kontrolü için toprak su tüketimi üst eşik değerini 0,65 ve şekil faktörünü de 2,5 olarak belirttiğinden modele bu değerler girilmiştir (Raes ve ark., 2009d). Su stresinin bitkinin erken yaşlanmasına olan etkisinin belirlendiği bölümünde ise model buğday bitkisinin stoma kontrolünün su stresine olan toleransını orta derece (moderately tolerant) olarak kabul eder. Su stresine giren bitki stomalarını kapatır. AquaCrop Model kullanıcı el kitabı buğday bitkisi için verilen stoma kontrolü için toprak su tüketimi üst eşik değerini 0,65 ve şekil faktörünü de 2,5 olarak belirttiğinden modele bu değerler girilmiştir (Raes ve ark., 2009d). Hava ile temas halinde olan toprağın su stresinin belirlendiği kısımda ise model, bitkinin bu aşamasında hava ile temas halinde olan toprağın su stresi değerini de orta derecede (moderately tolerant to water logging) hassas kabul eder ve saturasyon % 5 olarak ekranda görüntülenmektedir. Su stresinin hasat indeksine olan etkisini model çiçeklenmeden önce, çiçekleme esnasında ve çiçeklenmeden sonra olmak üzere üç kısımda inceler. Çiçeklenmeden önceki su stresi HI'ya pozitif etkisi hiçbir, küçük, normal, güçlü ve çok güçlü olmak üzere sınıflandırılmıştır. AquaCrop Model kullanıcı el kitabında buğday bitkisi için küçük seçeneği kabul edildiğinden bu seçenek işaretlenmiştir (Raes ve ark., 2009d). Çiçeklenme esnasında ise su stresi ile tozlaşmanın başarısız olması AquaCrop Model kullanıcı el kitabında buğday bitkisi için "moderately tolerant to water stres" olarak gösterilmiştir (Raes ve ark., 2009d). Çiçeklenmeden sonraki su stresinin HI'ya pozitif etkisi AquaCrop Model kullanıcı el kitabında küçük ve negatif etkisi orta olarak belirlenmiştir (Raes ve ark., 2009d). Kullanıcı el kitabında belirtilen bu değerler buğday için genel kabul görmüş değerler olduğundan bu değerlerde değişim yapılamamıştır (Raes ve ark., 2009d). Bundan sonraki kısım olan hava sıcaklığı ve topraktaki besin maddesi (gübre) stresi göz ardı edilmiştir.

Tuzluluk bölümü

Bitki dosyası ile ilgili olarak girilmesi gereken en son kısım ise tuzluluk stresi ile ilgili olan kısımdır. Bu bölüme AquaCrop Model kullanıcı el kitabında belirtilen

doğun toprağın elektriksel iletkenlik alt eşik değeri 2 ds m⁻¹ ve üst eşik değeri 12 ds m⁻¹ olarak belirtildiğinden bu değerler modele girilmiştir (Raes ve ark., 2009d).

AquaCrop Modelde Tarımsal Faaliyetler Dosyasının Oluşturulması

Tarımsal faaliyetler bölümü kendi içerisinde tarla ve sulama olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Tarla bölümünde toprakta, gübreleme, malçlama veya organik malçlama yapılıp yapılmadığı, topraktan yüzey akışın olup olmadığı ve değişik boyutta seddelerin yapılıp yapılmadığının belirlenmesi gerekmektedir. Sulama kısmında ise, hangi yöntemle sulama yapıldığı, sulama zamanının, miktarının ve derinliğinin ne olduğu gibi bilgilerin girilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada tarla ile ilgili olarak herhangi bir işlem yapılmadığından veri girişi yapılmamış ve sulamanın yapılmadığı seçenek işaretlenmiştir.

AquaCrop Modelde Toprak Dosyasının Oluşturulması

Toprak verilerinin girildiği bölüm de kendi içerisinde toprak ve yer altı suyu olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Toprak bölümünde mevcut olarak kum, tınlı kum, tın, kumlu tın, kumlu killi tın, siltli tın, silt, kil, siltli killi tın, killi tın, kumlu kil ve siltli kil toprak dosyaları bulunmaktadır. Bu dosyalardan seçim yapılabildiği gibi yeni bir toprak dosyası da oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada üç adet alt havzada çalışıldığından ve toprak ile ilgili analizler mevcut olduğundan Akıncılar.SOL, Covenli.SOL ve Sofular.SOL olmak üzere üç adet toprak dosyası oluşturulmuştur. Her bir toprak dosyası oluşturulurken ilk olarak toprağın adı ve tanımı yapılmıştır. Daha sonra Akıncılar, Sofular ve Çövenli'de 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm'lik katmanlar için Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü'nde tarla kapasitesi, solma noktası, saturasyon yüzdesi, toprağın bünyesi, bünye sınıfı belirlendiğinden modelin bu bölümüne bu bilgilerden faydalanılarak öncelikle toprak tipi ve derinlikleri girilmiştir. Bunlara ek olarak her bir katman için solma noktası (PWP), tarla kapasitesi (FC), su ile doymunluk yüzdesi (SAT) ve doymun hidrolik iletkenlik (K_{sat}) değerleri modele eklenmiştir. Model burada otomatik olarak drenaj katsayısını (τ) ve tarla kapasitesinden solma noktasını çıkararak kullanılabilir su miktarını (TAW) hesaplar. TAW bitkinin kök bölgesiyle topraktan çekebileceği su miktarıdır.

Ölçülen ve Tahmin Edilen Verim Değerlerinin Kalibrasyonu:

AquaCrop Modelin kalibrasyonu Akıncılar, Sofular ve Çövenli'de buğday bitkisi için 2016-2017 döneminde yapılmıştır. 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 v.b. değerleri değiştirilerek 2016-2017 dönemi için modelin kalibrasyonu yapılmıştır.

Ölçülen ve Tahmin Edilen Verim Değerlerinin İstatistiksel Analizi:

Modelin geçerliliğinin istatistiksel değerlendirilmesi 2016-2017 döneminde Akıncılar, Sofular ve Çövenli için ölçülmüş ve tahmin edilmiş buğday verim değerleri karşılaştırılmıştır. AquaCrop Modelin kalibrasyonunda ölçülen değerden sapma miktarına bakılarak kalibrasyon yapılmıştır.

Verim Değerlerinin Gelecek Yıllar için Modellenmesi:

Verim tahmininin gelecek yıllar için modellenmesi aşamasında, RegCM3 Bölgesel İklim Modeli A2 senaryo sonuçlarından elde edilen günlük min. ve max. sıcaklık (°C), ortalama nem (%), rüzgâr hızı (m s⁻¹) ve yağış (mm) değerleri ETo Calculator'a girilmiş ve ETo değerleri hesaplatılmıştır. Minimum sıcaklık (°C), maksimum sıcaklık (°C), yağış (mm) verileri ile birlikte ETo (mm) değerleri AquaCrop Modele kısa (2020-2030), orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) dönemler için girilmiş ve bu yıllar için buğday verim değerleri tahmin edilmiştir.

3.2.4.2. WOFOST Model ile Verim Tahmininin Modellenmesi

WOFOST Modelin Çalıştırılması

WOFOST Modelin çalıştırılabilmesi için öncelikle meteoroloji, toprak ve bitki dosyalarının WOFOST modelin okuyabileceği formatta oluşturulması gerekmektedir.

WOFOST Modelde Meteoroloji Dosyasının Oluşturulması

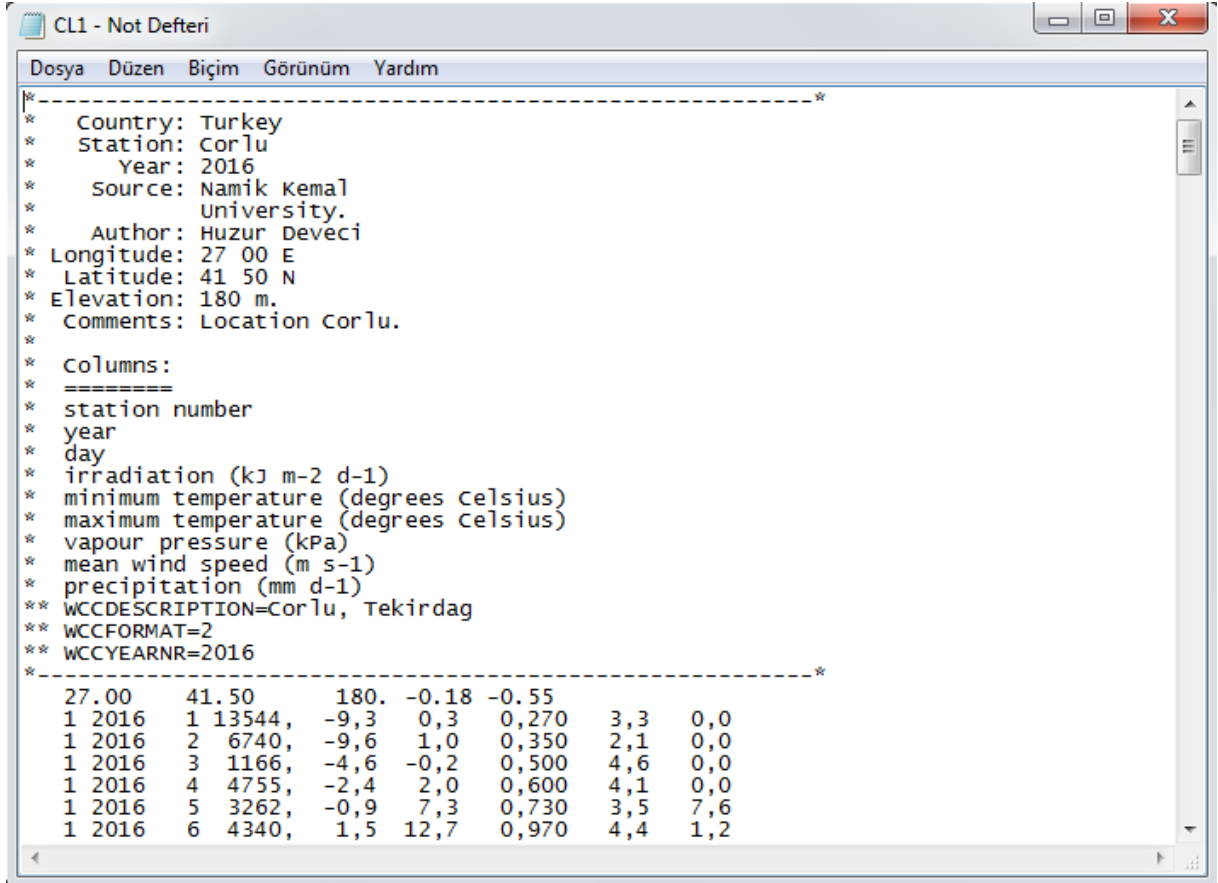
WOFOST modelin çalıştırılabilmesi için önce Şekil 3.4'te görülen meteoroloji dosyası hazırlanmıştır. Meteoroloji dosyasının üst kısmında ölçümlerin yapıldığı ülke ve istasyon adı, ölçümleri yapan kişi ve kaynak, ölçüm yapılan yıl, ölçüm yapılan istasyonun boylam, enlem ve yükseklik bilgileri yer almaktadır. Veri girişinin yapıldığı alt kısımda ise, ölçüm yapılan istasyonun boylam, enlem ve yükseklik bilgileri ile beraber Ångström katsayıları ve sütunlarda sırası ile istasyon numarası, ölçüm yapılan yıl, ölçüm yapılan gün sayısı, radyasyon, minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık, buhar basıncı, rüzgar hızı ve yağış değerleri yer almaktadır.

WOFOST Modelde Bitki Dosyasının Oluşturulması

WOFOST Modelin içinde mevcut olarak pamuk, ayçiçeği, mısır, domates, patates, buğday v.b. bitki dosyaları bulunmaktadır. Bu dosyalardan seçim yapılabildiği gibi yeni bir bitki dosyası da bölge koşullarına göre oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada bitki ile ilgili Şekil 3.5'teki dosya oluşturulmuştur. Bitki dosyasında ilk çıkış, fenoloji, başlangıç, yeşil alan, asimilasyon, asimilatların biyokütleyle dönüştürülmesi, bakım solunumu, bölümlenme, ölüm oranları, su kullanımı, köklenme, besinler alanları mevcuttur. Aynı zamanda bu dosyada yukarıda bitki ile ilgili genel bilgiler aşağıda ise detaylı bilgiler yer almaktadır. Bunlar; bitkinin toprak yüzeyine çıkabilmesi için gerekli en düşük sıcaklık değeri ve anlamlı en yüksek sıcaklık değeri, ekimden bitkinin toprak yüzeyine çıkışına kadar geçen zamandaki ve diğer fenolojik evrelerdeki günlük ortalama sıcaklıklar toplamı, bitkinin gelişmesi için optimum gün uzunluğu, günlük ortalama sıcaklıktaki artış miktarı, ilk ölçülen toplam bitki kuru ağırlığı, bitkinin toprak yüzeyine çıktığındaki LAI değeri, LAI değerindeki maksimum

relatif artış, spesifik yaprak, gövde ve kök alanı, 35 °C'de büyüyen yaprağın yaşam süresi,

yaprağın yaşlanması için en düşük sıcaklık değeri, saçılan radyasyon katsayısı, tek bir yaprağın ışığı kullanım katsayısı gibi bilgiler bulunmaktadır. Genel değerler ve bilinen değerler girilerek bitki dosyası oluşturulmuştur.



```
CL1 - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
*-----*
* Country: Turkey
* Station: Corlu
* Year: 2016
* Source: Namik Kemal
* University.
* Author: Huzur Deveci
* Longitude: 27 00 E
* Latitude: 41 50 N
* Elevation: 180 m.
* Comments: Location Corlu.
*
* Columns:
* =====
* station number
* year
* day
* irradiation (kJ m-2 d-1)
* minimum temperature (degrees celsius)
* maximum temperature (degrees celsius)
* vapour pressure (kPa)
* mean wind speed (m s-1)
* precipitation (mm d-1)
** WCCDESCRIPTION=Corlu, Tekirdag
** WCCFORMAT=2
** WCCYEARNR=2016
*-----*
27.00 41.50 180. -0.18 -0.55
1 2016 1 13544, -9,3 0,3 0,270 3,3 0,0
1 2016 2 6740, -9,6 1,0 0,350 2,1 0,0
1 2016 3 1166, -4,6 -0,2 0,500 4,6 0,0
1 2016 4 4755, -2,4 2,0 0,600 4,1 0,0
1 2016 5 3262, -0,9 7,3 0,730 3,5 7,6
1 2016 6 4340, 1,5 12,7 0,970 4,4 1,2
```

Şekil 3.4. WOFOST Model meteoroloji dosyası

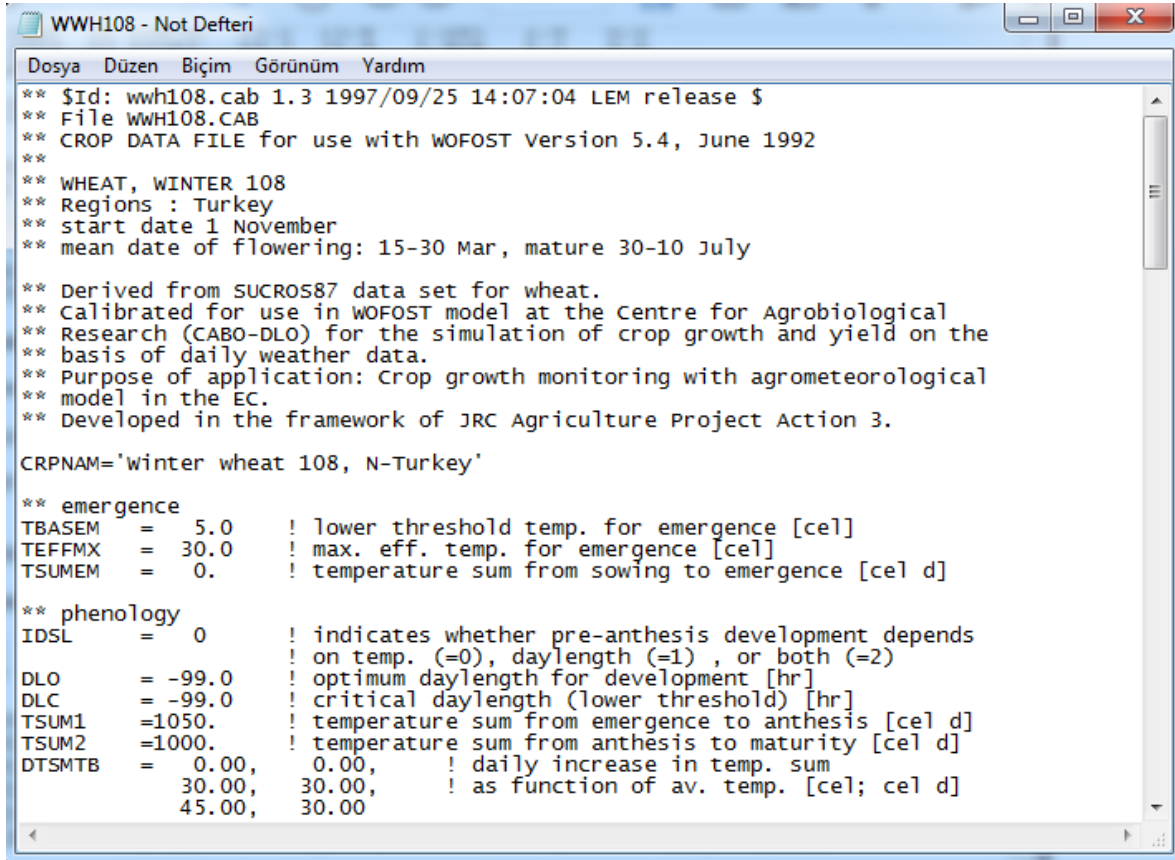
WOFOST Modelde Toprak Dosyasının Oluşturulması

WOFOST Modelde toprak dosyası hazırlanırken tarla kapasitesi, solma noktası ve doyma noktasındaki toprak su içeriği, toprağın hidrolik iletkenliği ve toprağın kök bölgesi ve alt katmandaki perkolasyon değerleri ve derin ve sıg tohum yatağındaki toprak işlenebilirlik parametreleri girilerek Şekil 3.6'daki toprak dosyası oluşturulmuştur.

Ölçülen ve Tahmin Edilen Verim Değerlerinin Kalibrasyonu:

WOFOST Modelin kalibrasyonu Akıncılar, Sofular ve Çövenli'de buğday bitkisi için 2016-2017 döneminde yapılmıştır. Modele genel bilgiler, iklim, bitki, zamanlama ve toprak verilerinin girilmesi gerekmektedir. Modele girilmesi gereken bu bilgiler girildikten sonra analiz yapılmış ve ortaya çıkıştan ante 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 CO₂ asimilasyon hızı) değerleri değiştirilerek 2016-2017 dönemi için modelin kalibrasyonu yapılmıştır.



```
** $Id: wwh108.cab 1.3 1997/09/25 14:07:04 LEM release $
** File WWH108.CAB
** CROP DATA FILE for use with WOFOST Version 5.4, June 1992
**
** WHEAT, WINTER 108
** Regions : Turkey
** start date 1 November
** mean date of flowering: 15-30 Mar, mature 30-10 July

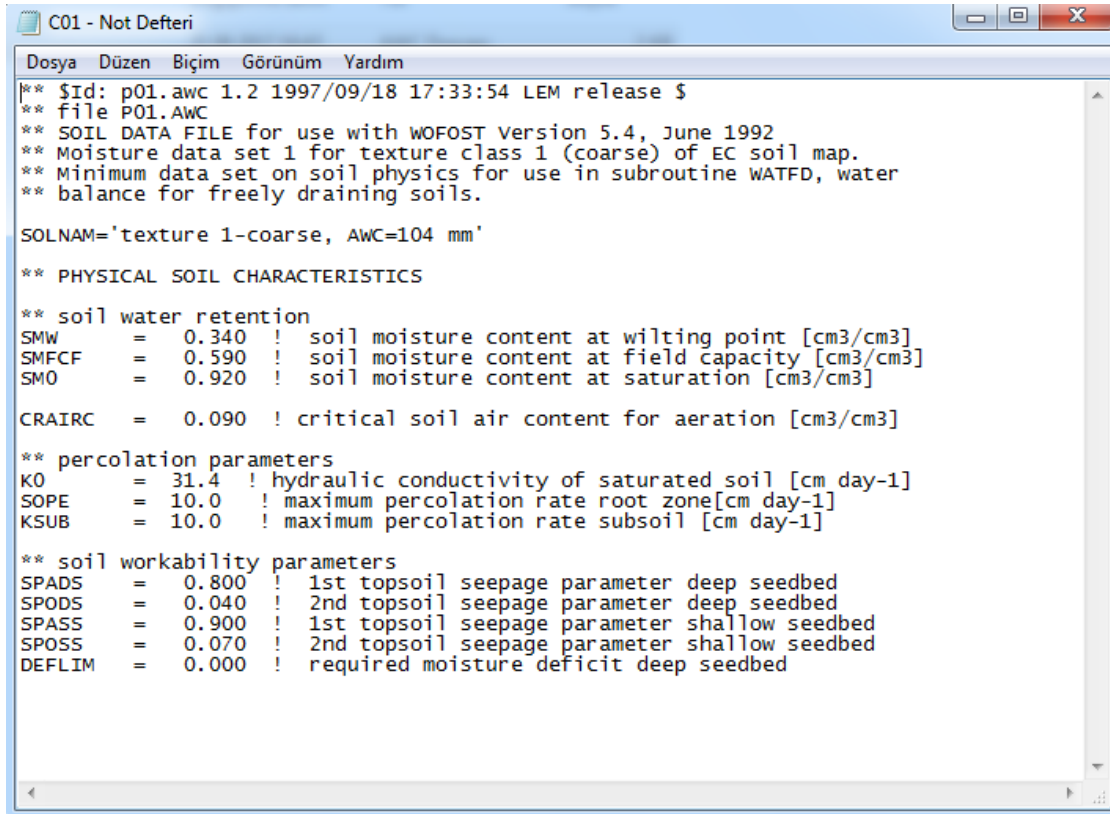
** Derived from SUCROS87 data set for wheat.
** Calibrated for use in WOFOST model at the centre for Agrobiological
** Research (CABO-DLO) for the simulation of crop growth and yield on the
** basis of daily weather data.
** Purpose of application: Crop growth monitoring with agrometeorological
** model in the EC.
** Developed in the framework of JRC Agriculture Project Action 3.

CRPNAM='winter wheat 108, N-Turkey'

** emergence
TBASEM = 5.0      ! lower threshold temp. for emergence [cel]
TEFFMX = 30.0     ! max. eff. temp. for emergence [cel]
TSUMEM = 0.       ! temperature sum from sowing to emergence [cel d]

** phenology
IDSL   = 0        ! indicates whether pre-anthesis development depends
                ! on temp. (=0), daylength (=1) , or both (=2)
DLO    = -99.0    ! optimum daylength for development [hr]
DLC    = -99.0    ! critical daylength (lower threshold) [hr]
TSUM1  =1050.     ! temperature sum from emergence to anthesis [cel d]
TSUM2  =1000.     ! temperature sum from anthesis to maturity [cel d]
DTSMTB = 0.00,   ! daily increase in temp. sum
        30.00,   ! as function of av. temp. [cel; cel d]
        45.00,   ! as function of av. temp. [cel; cel d]
        30.00,
```

Şekil 3.5. WOFOST Model bitki dosyası



```

C01 - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
** $Id: p01.awc 1.2 1997/09/18 17:33:54 LEM release $
** file P01.AWC
** SOIL DATA FILE for use with WOFOST Version 5.4, June 1992
** Moisture data set 1 for texture class 1 (coarse) of EC soil map.
** Minimum data set on soil physics for use in subroutine WATFD, water
** balance for freely draining soils.

SOLNAM='texture 1-coarse, AWC=104 mm'

** PHYSICAL SOIL CHARACTERISTICS

** soil water retention
SMW      = 0.340 ! soil moisture content at wilting point [cm3/cm3]
SMFCF    = 0.590 ! soil moisture content at field capacity [cm3/cm3]
SMO      = 0.920 ! soil moisture content at saturation [cm3/cm3]

CRAIRC   = 0.090 ! critical soil air content for aeration [cm3/cm3]

** percolation parameters
KO       = 31.4 ! hydraulic conductivity of saturated soil [cm day-1]
SOPE     = 10.0 ! maximum percolation rate root zone[cm day-1]
KSUB     = 10.0 ! maximum percolation rate subsoil [cm day-1]

** soil workability parameters
SPADS    = 0.800 ! 1st topsoil seepage parameter deep seedbed
SPODS    = 0.040 ! 2nd topsoil seepage parameter deep seedbed
SPASS    = 0.900 ! 1st topsoil seepage parameter shallow seedbed
SPOSS    = 0.070 ! 2nd topsoil seepage parameter shallow seedbed
DEFLIM   = 0.000 ! required moisture deficit deep seedbed

```

Şekil 3.6 WOFOST Model toprak dosyası

Ölçülen ve Tahmin Edilen Verim Değerlerinin İstatistiksel Analizi:

Modelin geçerliliğinin istatistiksel değerlendirilmesi 2016-2017 döneminde Akıncılar, Sofular ve Çövenli için ölçülmüş ve tahmin edilmiş buğday verim değerleri karşılaştırılmıştır. WOFOST Modelin kalibrasyonunda ölçülen değerden sapma miktarına bakılarak kalibrasyon yapılmıştır.

Verim Değerlerinin Gelecek Yıllar için Modellenmesi:

Verim tahmininin gelecek yıllar için modellenmesi aşamasında, RegCM3 Bölgesel İklim Modeli A2 senaryo sonuçlarından elde edilen günlük min. ve max. sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), buhar basıncı (kPa), rüzgâr hızı (m s^{-1}), radyasyon ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) ve yağış (mm) değerleri ile CABO formatında oluşturulan iklim dosyaları WOFOST modele kısa (2020-2030), orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) dönemler için girilmiş ve bu yıllar için verim değerleri tahmin edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

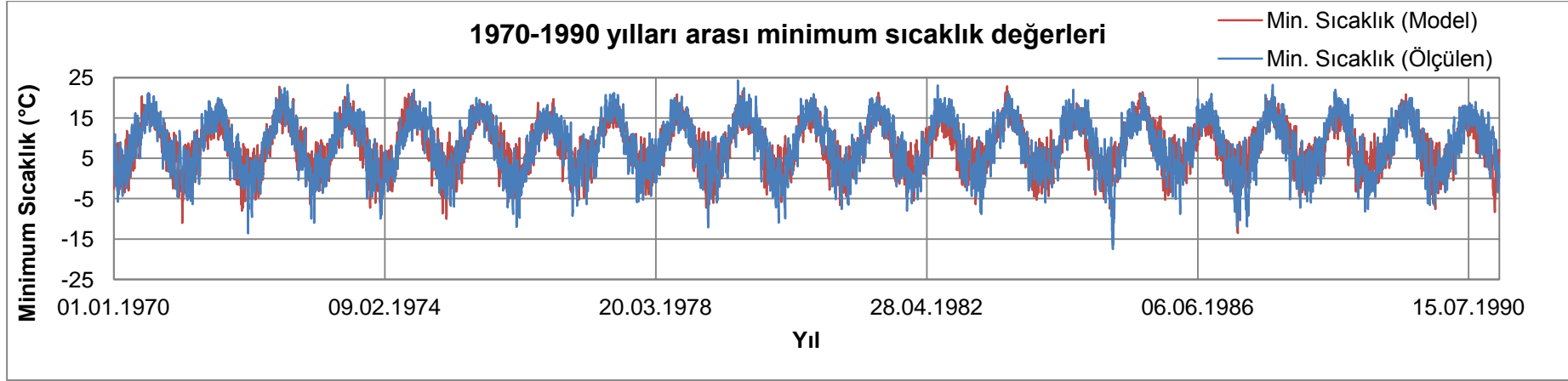
4.1. Pınarbaşı Havzası Olası İklim Değişikliği Sonuçları

Pınarbaşı Havzası olası iklim değişikliği belirlenirken öncelikle referans 1970-1990 yılları arası Çorlu Meteoroloji İstasyonuna ait TÜMAS'dan elde edilen ölçülmüş iklim verileri ile RegCM3 Bölgesel İklim Modelinden elde edilen veriler karşılaştırılarak havza için kullanılabilirliğine bakılmış, daha sonra ise kısa (2020-2030), orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) dönemler olası iklim değişikliği tahmin edilerek elde edilen sonuçlara aşağıda yer verilmiştir.

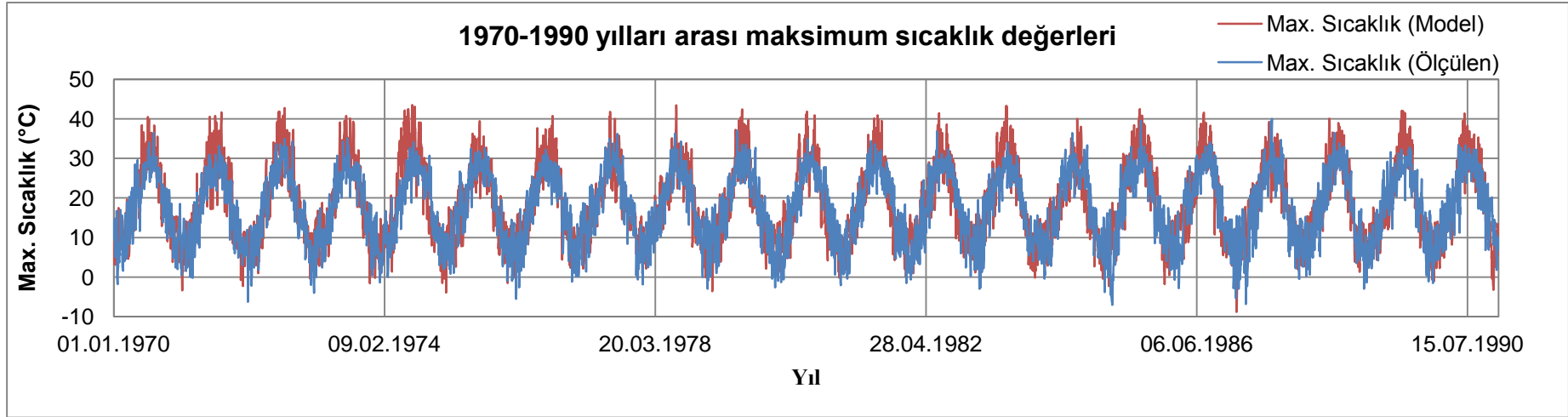
4.1.1. 1970-1990 Yılları Arası Referans Sıcaklık ve Yağış Değerleri

1970-1990 yılları arası ölçülen ve RegCM3 Bölgesel İklim Modelinden elde edilen minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık, ortalama sıcaklık ve yağış verileri sırasıyla Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de 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 ve ortalama yağış verileri ise 1970-1990 yılları arasında model referans verileri ile 55 mm ve Çorlu Meteoroloji İstasyonu ölçülen verileri ile 47 mm dolayısıyla 8 mm'lik bir sapma ile tahmin edilmiştir (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2). 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. Ayrıca 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 yaparak benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Yağış verilerinde model sonuçları ile gözlenen değerler arasında fark fazla gibi görünse de model çalışmalarında bu tür farklılıklar normal olarak değerlendirilmektedir.

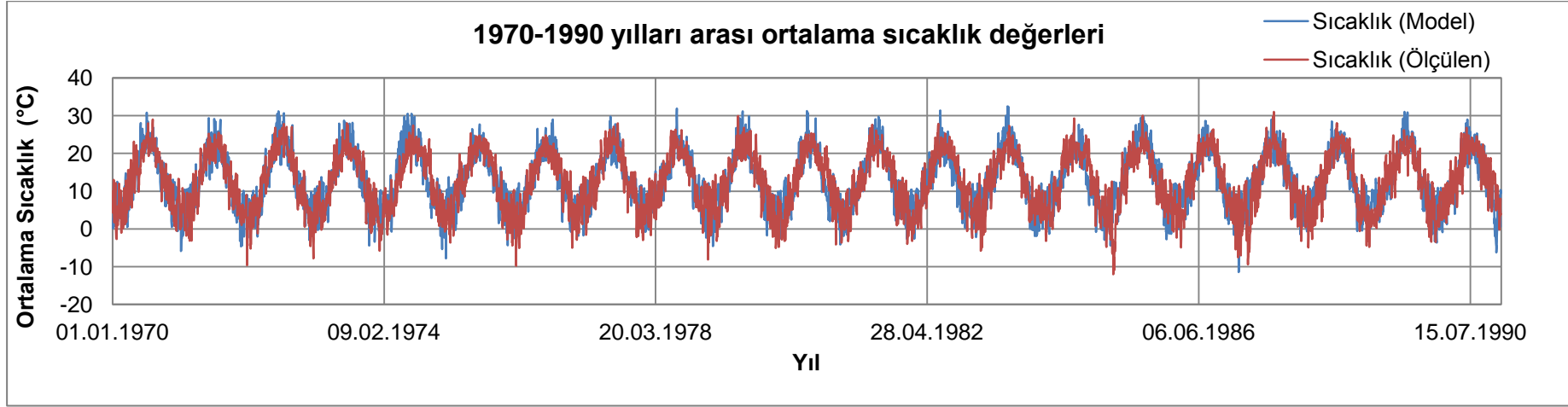
Bu sonuçlar doğrultusunda gelecek yıllar için yapılan tahminlerde havza için RegCM3 Bölgesel İklim Modeli iklim verileri, sonuçlarının kullanılmasının uygun olduğu, modelin iyi bir performans gösterdiği görülmüştür.



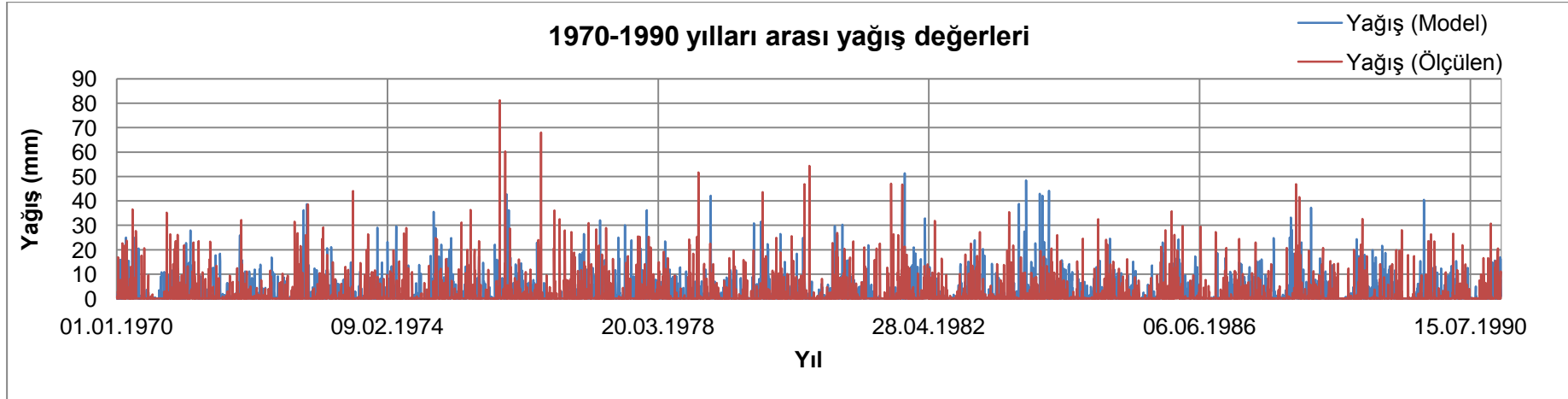
Şekil 4.1. 1970-1990 yılları arası Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli minimum sıcaklık (°C) değerleri



Şekil 4.2. 1970-1990 yılları arası Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli maksimum sıcaklık (°C) değerleri



Şekil 4.3. 1970-1990 yılları arası Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli ortalama sıcaklık (°C) değerleri



Şekil 4.4. 1970-1990 yılları arası Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli yağış (mm) değerleri

Çizelge 4.1. 1970-1990 yılları Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli ortalama sıcaklıklarının (°C) karşılaştırılması

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ortalama
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)	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 (2045-2055)	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 2045-2055) 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 (2075-2085)	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 2075-2085) 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 4.2. 1970-1990 yılları Çorlu Meteoroloji İstasyonu ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli aylık ortalama yağışın (mm) karşılaştırılması

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ortalama	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)	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 (2045-2055)	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 2045-2055) 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 (2075-2085)	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 2075-2085) yılları arası	24	-14	-5	-2	-21	-10	-9	-4	-14	-19	-3	1	-6	-78

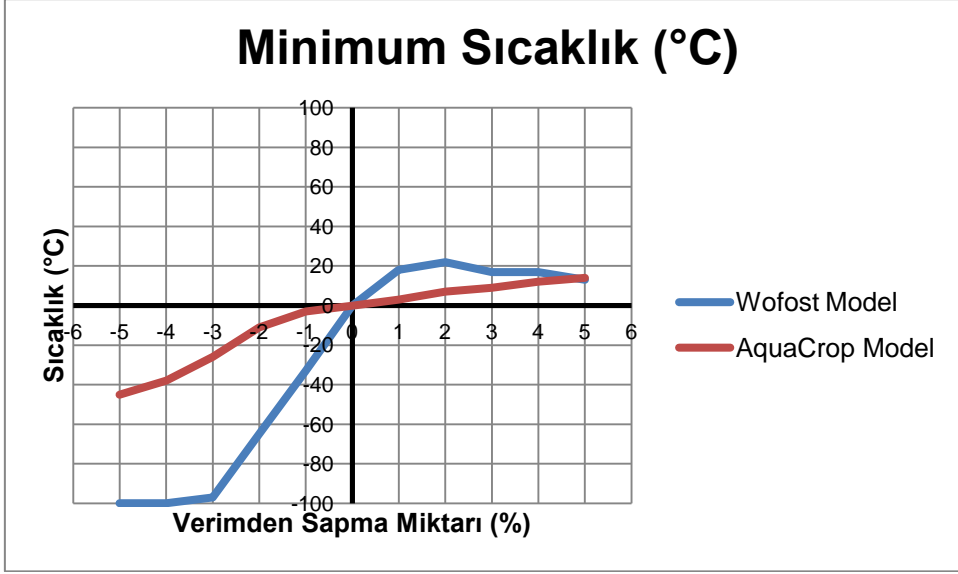
4.1.2. Kısa (2020-2030), Orta (2045-2055) ve Uzun (2075-2085) Dönem Sıcaklık ve Yağış Değerlerinin Modellenmesi

Pınarbaşı Havzası gelecek yıllar olası iklim değişikliği için RegCM3 Bölgesel İklim Modelinden elde edilen sonuçlar için Çizelge 4.1'e bakıldığında kısa (2020-2030) dönemde model referans yıllarına göre ortalama 0,27 °C, orta (2045-2055) dönemde ortalama 1,43 °C ve uzun (2075-2085) dönemde ise ortalama 3,05 °C sıcaklık farkı olacağı tahmin edilmiştir. Sıcaklık değerlerinin referans yıllara göre kısa (2020-2030) dönemde azalma, orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) dönemde ise artma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. IPCC'nin 2007 yılında yayınladığı raporda Türkiye'de yıllık ortalama sıcaklığın gelecek yıllarda 2,5 °C- 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 3-4 °C arasında değişeceğini ve gelecek simülasyonundaki minimum artışın kış mevsiminden 2-3 °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 periyotda 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.

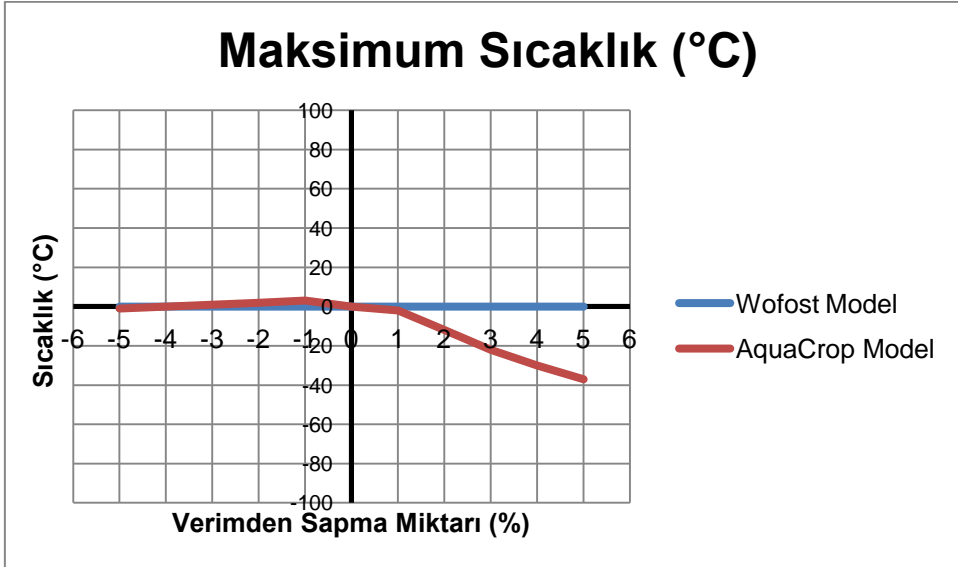
Pınarbaşı Havzası gelecek yıllar olası iklim değişikliği için RegCM3 Bölgesel İklim Modelinden elde edilen sonuçlar için Çizelge 4.2'ye bakıldığında kısa (2020-2030) dönemde model referans yıllarına göre toplam yağışın 87 mm artacağı (% 13), orta (2045-2055) dönemde toplam yağışın 91 mm azalacağı (% 14) ve uzun (2075-2085) 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 (2020-2030) 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.

4.2. Hassasiyet Analizi

AquaCrop ve WOFOST modellerde verim tahmini yaparken iklim parametrelerinden hangisinin daha hassas olduğunun belirlenebilmesi için yapılan denemeler sonrasında Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 elde edilmiştir.



Şekil 4.5. Minimum sıcaklık değişimi



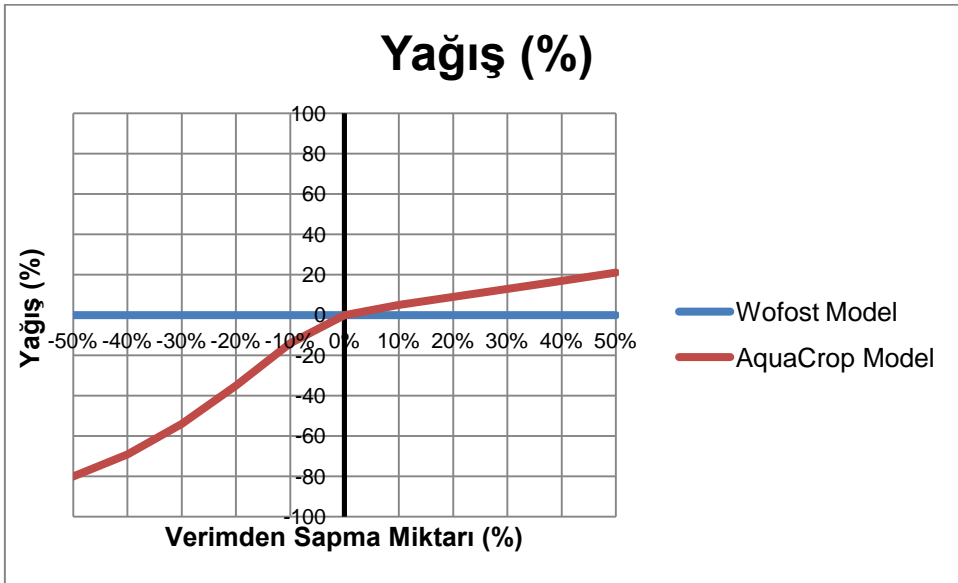
Şekil 4.6. Maksimum sıcaklık değişimi

Şekillerden de görüldüğü gibi her iki modelde de ortak olarak değişiklik gösteren parametre minimum sıcaklıktır. Minimum sıcaklığın 1 ve 2 °C artması WOFOST Modelde sırasıyla % 18 ve % 22 verim artışına neden olurken, 3, 4 ve 5 °C artması ile % 17, % 17 ve % 13 verim azalışları söz konusu olmaktadır. WOFOST Modelde ise minimum sıcaklığın 1'er °C artması ile % 3 ile % 14 arasında artan şekilde verim artışı meydana gelmektedir. Minimum sıcaklığın 1'er °C azalması durumunda ise AquaCrop Modelde % 3 ile % 45 arasında verim azalışları oluşurken, WOFOST Modelde 3 °C azalıştan itibaren neredeyse model hesap yapamaz hale gelerek % 100 verim azalışları oluşmaktadır.

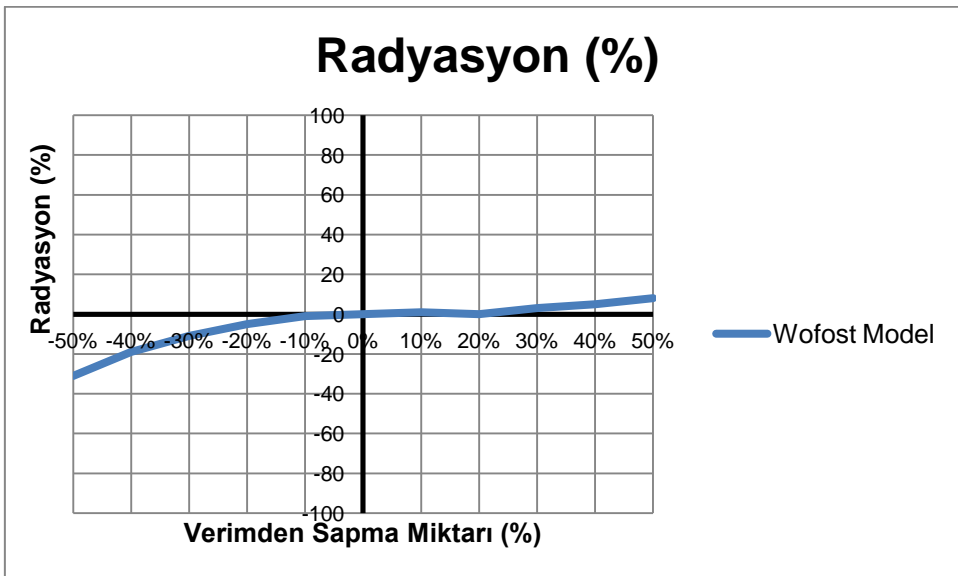
Yağış değişimi (Şekil 4.7) incelendiğinde, yağışın % 10'luk farklarla % 50' ye kadar artışı halinde AquaCrop Modelde % 5 oranından % 21'e varan verim artışları meydana gelmiştir. Yağışın % 10'luk farklarla % 50' ye kadar azalışı halinde ise % 80' e varan verim azalışlarına oluşmuştur. Bundan dolayı yağış AquaCrop Modelin

en etkin parametresi iken, minimum sıcaklık WOFOST Modelin en etkin parametresidir.

AquaCrop modelde en etkin iki parametre minimum sıcaklık ile yağışken, WOFOST Modelde en etkin iki parametre minimum sıcaklık ve radyasyondur. Yağışın WOFOST Modelde hiçbir etki göstermemesinin nedeni ise kullanılan analiz yönteminin potansiyel büyüme olmasıdır. WOFOST Modelde diğer etkin parametre olan radyasyonun % 50 artması, % 8 verim artışına ve % 50 azalması, % 31 verim azalışına sebep olmaktadır. Dolayısı ile radyasyonun azalması, artmasına göre verimi daha çok etkilemektedir. Her iki modelde de en etkin parametreler kendi içinde değerlendirildiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır. AquaCrop Modelde yağışın % 50 azalması, yağışın artmasına göre çok daha önemli verim değişikliğine sebep olurken, WOFOST Modelde minimum sıcaklığın 3, 4, 5 °C azalması, artmasına göre oldukça önemli verim azalması göstermektedir.



Şekil 4.7. Yağış değişimi



Şekil 4.8. Radyasyon değişimi

4.3. 2016-2017, Kısa (2020-2030), Orta (2045-2055) ve Uzun (2075-2085) Dönem ETo Sonuçları

İklim değişikliğinin verime etkisinin AquaCrop Model ile belirlenebilmesi için öncelikle 2016-2017 yılları, kısa (2020-2030), orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) dönemler için Pınarbaşı Havzasında buğday tarlalarında ETo değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu kısımda öncelikle 2016-2017 yılları, kısa (2020-2030), orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) dönemler için ETo değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.3'te gösterilmiştir. Buna göre 2016-2017 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 (2020-2030), orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) dönemlerde ise en düşük ETo değerlerinin her üç dönemde de sırası ile 0,1-0,3-0,3 mm olacağı tahmin edilmiştir. Kısa (2020-2030) dönem ortalama ETo değeri 2,4 mm, orta (2045-2055) dönem ETo değeri 2,8 mm ve uzun (2075-2085) dönem ortalama ETo değeri 2,9 mm olarak tahmin edilmiştir. Pınarbaşı Havzası 1970-1990 yılları arası sıcaklık verilerine göre RegCM3 Bölgesel İklim Modeli ile yapılan tahminlerde ortalama sıcaklıkların kısa (2020-2030) dönemde 0,27 °C azalacağı, orta (2045-2055) dönemde 1,43 °C ve uzun (2075-2085) dönemde ise 3,05 °C artacağı ve toplam yağışların kısa (2020-2030) dönemde % 13 artacağı ve orta (2045-2055) dönemde % 14 ve uzun (2075-2085) 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 (2020-2030) için değişmeyeceği, orta (2045-2055) dönemde 2,8 mm'ye (% 16) ve uzun (2075-2085) dönemde ise 2,9 mm'ye (% 21) 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 benzer artışlar söz konusudur.

Çizelge 4.3. 2016-2017 ve gelecek yıllar Eto sonuçları (mm gün⁻¹)

Eto (mm gün ⁻¹)	Yıllar			
	2016-2017	Kısa (2020-2030)	Orta (2045-2055)	Uzun (2075-2085)
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

4.4. Verim Tahmini Sonuçları

İklim değişikliğinin verime etkisinin AquaCrop ve WOFOST Modeller ile belirlenebilmesi için 2016-2017 yılı için hesaplanan verim değerleri karşılaştırılarak kalibre edilmiş ve devamında buğday bitkisi için Akıncılar, Sofular ve Çövenli alt havzalarında kısa (2020-2030), orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) dönem verim değerleri tahmin edilerek sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

4.4.1. 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 4.4'teki 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 4.4. Ölçülen ve tahmin edilen verim değerleri sapma miktarları

Model	Yer	Ölçülen Verim Değeri (kg da ⁻¹)	Tahmin Edilen Verim Değeri (kg da ⁻¹)	Tahmin Derecesi (Sapma) (%)	Mutlak Hata (kg da ⁻¹)
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

4.4.2. Buğday Veriminin AquaCrop Model ve WOFOST Model ile Kısa (2020-2030), Orta (2045-2055) ve Uzun (2075-2085) Dönemler için Simulasyonu

Buğday için Akıncılar, Sofular ve Çövenli'de AquaCrop ve WOFOST Modeller ile kısa (2020-2030), orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) dönem verim tahminleri ve 2016-2017 döneminden sapmalar hesaplanarak Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Gelecek yıllar AquaCrop ve WOFOST Model ile buğday verim tahmin değerleri ile 2016-2017 döneminden sapma miktarları

Model	Yer	Verim (kg da ⁻¹)				2017-2017 yılına göre sapma (%)		
		2016-2017	Kısa (2020-2030)	Orta (2045-2055)	Uzun (2075-2085)	Kısa (2020-2030)	Orta (2045-2055)	Uzun (2075-2085)
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 Model	Akıncılar	500	658	695	631	32	39	26
	Sofular	610	678	686	625	11	12	2

	Çövenli	640	597	630	606	-7	-2	-5
--	---------	-----	-----	-----	-----	----	----	----

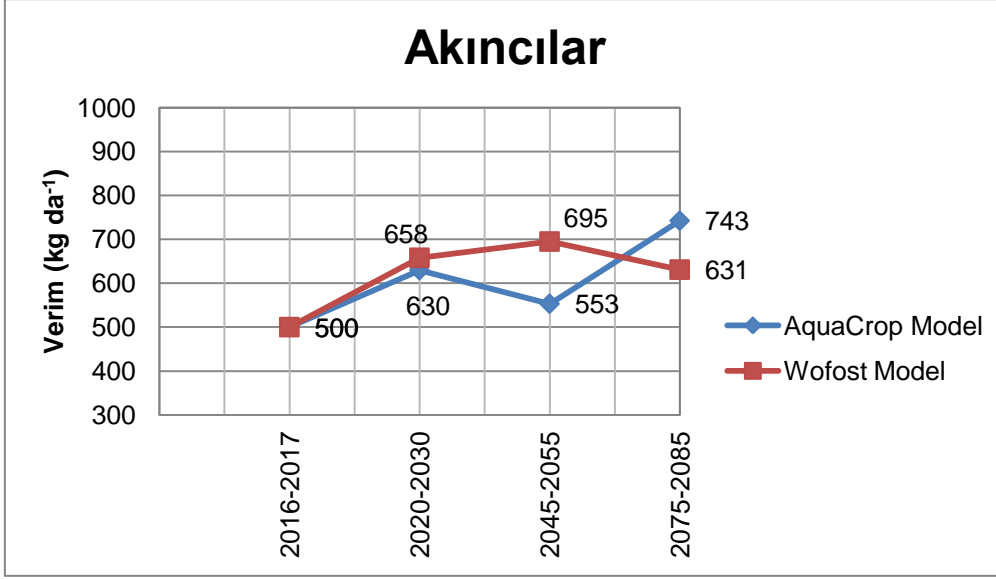
Çizelge 4.5 incelendiğinde AquaCrop Modelde en yüksek verim artışı Akıncılar uzun (2075-2085) dönemde, en düşük verim değeri Sofular'da orta (2045-2055) dönemde görülecektir. WOFOST modelde ise en yüksek verim artışı Akıncılar'da orta (2045-2055) dönemde, en düşük verim değeri ise kısa (2020-2030) dönemde Çövenli'de görülecektir.

Akıncılar, Sofular ve Çövenli gelecek yıllar verim tahminleri değerlendirildiğinde AquaCrop Modelde Akıncılar ve Çövenli'de, WOFOST Modelde ise Akıncılar ile Sofular'da benzer eğilim gözlenmektedir (Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11). AquaCrop Modelde Akıncılar ve Çövenli'de aynı eğilimin görünmesi Çizelge 4.6 ile açıklanabilir. Her üç dönemde de yağışlar ve sıcaklıklar artmaktadır. Buna karşılık Akıncılar ve Çövenli'de verim de artmaktadır. Çünkü bu iki yerde de fenolojik gelişim yaklaşık olarak aynıdır. Sofular'da fenolojik gelişimden dolayı (çiçeklenme dönem uzunluğu farkınan) yağış ve sıcaklığın artmasına karşılık orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) dönemlerde verim değerleri düşmüştür. Yakın gelecekte yani kısa (2020-2030) 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. Bununla beraber Devci 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.

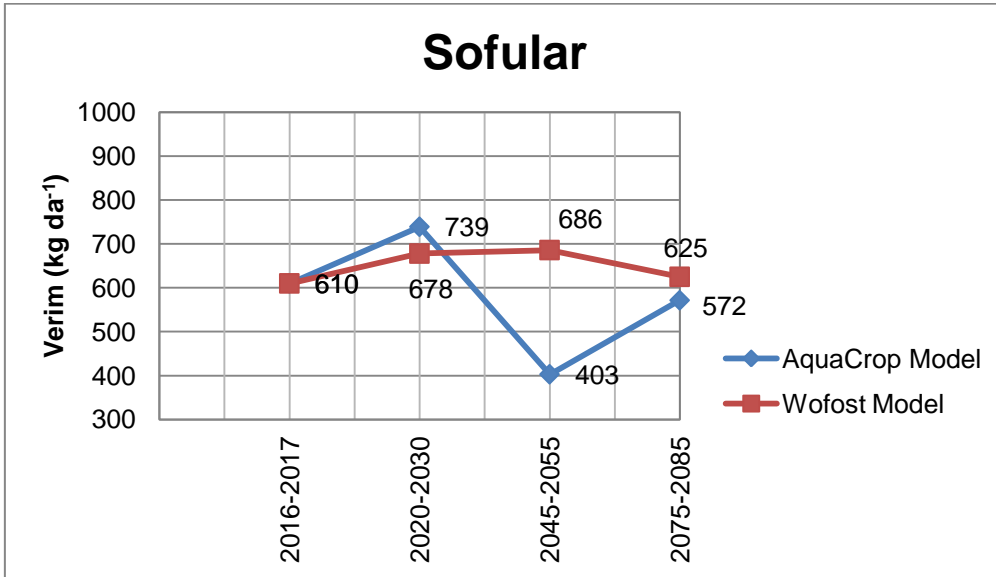
WOFOST Modelde Akıncılar ile Sofular'da benzer eğilim göstermesinin nedenini ise şu şekilde açıklamak mümkündür. Kalibrasyon aşamasında bu iki yerde kullanılan parametreler TSUM1 (ilk çıkıştan çiçeklenmeye olan termal sıcaklıklar toplamı) ve TSUM2 (çiçeklenmeden olgunluğa kadar olan termal sıcaklıklar toplamı)'dir. Çövenli'de ise bunlara ek olarak 3. parametre verimi yükseltebilmek için kullanılan AMAXTB (ürünün gelişme evresinin bir fonksiyonu olarak maksimum yaprak CO₂ asimilasyon hızı) devreye girmektedir bu parametrenin kullanılması ile birlikte kullanılan bu yerde gelecek yıllarda eğilim 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 oran aralığında olacağı tahmin edilmektedir. Devci (2015) buğday veriminde vejetasyon dönemi kısımları 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 bu doğrultuda birbiri ile uyumludur.

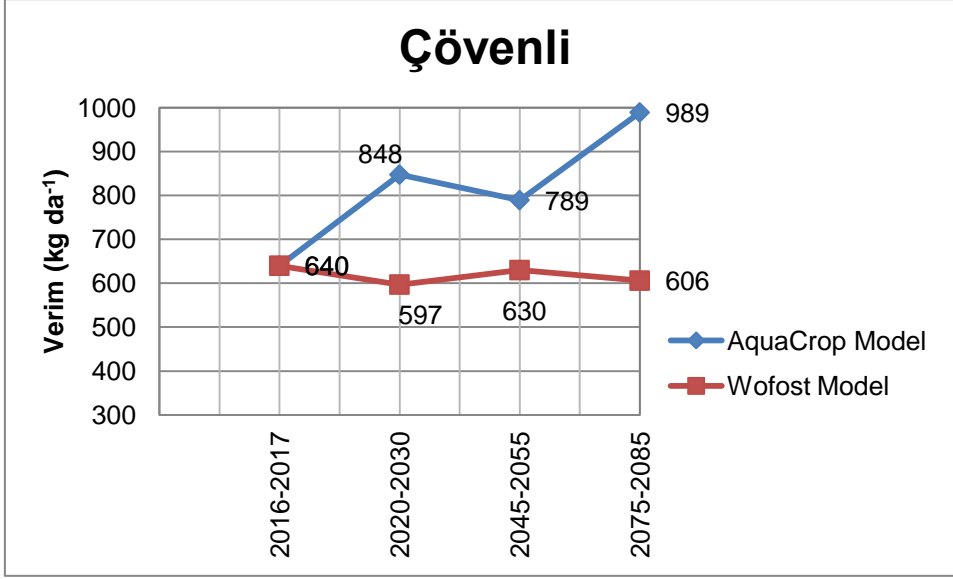
Yine her iki modelde meydana gelen verim düşüşleri yer ve dönem olarak farklılıklar göstermektedir. AquaCrop Modele göre Sofular'da orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) dönemlerde sırası ile % 34 ve % 6 oranlarında, WOFOST Modelde ise Çövenli'de her üç dönemde % 2- % 7 oran aralığında verim azalışları meydana geleceği tahmin edilmektedir. Bunun nedeni ise kalibrasyon yaparken değiştirilen parametrelerdir.



Şekil. 4.9. Akıncılar alt havzası gelecek yıllar verim tahminleri



Şekil. 4.10. Sofular alt havzası gelecek yıllar verim tahminleri



Şekil. 4.11. Çövenli alt havzası gelecek yıllar verim tahminleri

Her ne kadar buğday için verim artışı yüksek gibi görünse de Trakya Bölgesi'nde buğday verimi bazı yıllarda dekara 670 kg ile 700 kg 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;CO₂x4) kombinasyonuna yani güneş radyasyonunun % 30 ve CO₂ miktarının 4 kat arttığı durumda dane veriminin % 67'nin üzerinde artış tepkisi vereceğini öngörmüştür. Hassasiyet analizleri, kışlık buğdayın özellikle yağış azalışına 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 CO₂ artışları, birçok hassasiyet uygulamasının dikkat çekici sonuçlara kaynak teşkil etmiştir. Edirne'de kışlık buğday verimi (T-1;CO₂x4) kombinasyonu yani sıcaklığın 1 derece düşmesi ve CO₂ miktarının 4 kat arttığı durumda % 75'e varan bir dane verimi artış tepkisi verdiği tahmin edilmiştir. Çizelge 4.6'da yıllara göre yağış dağılımı incelendiğinde baz aldığımız 2016-2017 döneme göre RegCM3'ün geleceğe yönelik yağış verilerinin AquaCrop Modele girilmesi ile kısa (2020-2030) dönemde Akıncılar, Sofular ve Çövenli'de buğdayın yetişme dönemi boyunca yağışlar ortalama % 31 oranına varan artışlar göstermiştir. Buna göre çalışmada yağışların % 31 oranına varan artışların olduğu ve CO₂ 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⁻¹, Edirne'de 288,0 kg da⁻¹ ve Tekirdağ'da 329,0 kg da⁻¹ almış ve bu değerleri CERES-Wheat Modelinin çıktıları ile karşılaştırarak Kırklareli için (282,7 kg da⁻¹) % 3,14, Edirne için (245,3 kg da⁻¹) % 14,83 ve Tekirdağ için (359,7 kg da⁻¹) % 9,33 oranında bağıl hata ile tahmin yapmıştır.

Çizelge 4.6. Gelecek yıllar buğday ortalama verim, yağış ve sıcaklık değerleri ile 2016-2017 döneminden sapma miktarları

Buğday	Verim (kg da ⁻¹)				2016-2017 dönemine göre sapma (%)		
	2016-2017	Kısa (2020-2030)	Orta (2045-2055)	Uzun (2075-2085)	Kısa (2020-2030)	Orta (2045-2055)	Uzun (2075-2085)
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)				2016-2017 dönemine göre sapma (%)		
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 (GD)				2016-2017 dönemine göre sapma (%)		
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 kısalacağını gözlemlemiştir. Bu çalışmada gelecek dönem tahminlerinde vejetasyon dönemi kısılmı dikkate alınmamış ve 2016-2017 yetiştirme dönemi baz alınmıştır. Bu nedenle verim değerlerinde artışlar görülmesi beklenti dahilindedir. Ayrıca özellikle orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) döneminde olası iklim değişikliği ile sıcaklık değerinin sırasıyla 1,43 °C ile 3,05 °C arttığı göz önüne alındığında buğday için yetiştirme dönemi kısılacak 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 doğrultuda uzun (2075-2085) yıllarında diğer yıllara göre yağış rejiminin oldukça düzensizleşmesinden dolayı en büyük verim artışlarının bu dönemde oluşması normal olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak buğday veriminde vejetasyon dönemi kısılmı 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 ve Sofular'da %40'a varan verim artışları, Çövenli'de ise % 2 - % 7 aralığında verim azalışlarının gözleneceği tahmin edilmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma ile RegCM3 Bölgesel İklim Modeli kullanılarak Trakya Bölgesi'nde Meriç-Ergene Ana Havzasında yer alan Tekirdağ-Çorlu Pınarbaşı Havzasında kısa (2020-2030), orta (2045-2055), uzun (2075-2085) dönemlerde iklim değişimi tahmini yapılmış, olası iklim değişikliğinin buğday bitki verimine etkisi modellenmiştir.

İklim değişikliğinin modellenmesi aşamasında elde edilen ECHAM5 Genel Dolaşım Modelinin referans (1961-1990) ve gelecek A2 SRES senaryosu çıktıları Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv ve Yönetim Sistemi'nden elde edilen Çorlu Meteoroloji İstasyonu ölçülen 1970-1990 yılları sıcaklık ve yağış verileri ile t testi kullanılarak analiz edilmiş ve aralarında fark olup olmadığı ve bu farklılığın istatistiksel olarak önemli olup olmadığı değerlendirilerek, bölge için elde edilen değerlerin ölçülen değerler ile istatistiksel olarak uyumlu olduğu belirlenmiştir. Kısa (2020-2030) dönemde model referans yıllarına göre ortalama 0,27 °C sıcaklık azalışı, orta (2045-2055) dönemde ortalama 1,43 °C ve uzun (2075-2085) dönemde ise ortalama 3,05 °C sıcaklık artışı olacağı tahmin edilmiştir. Ayrıca kısa (2020-2030) dönemde toplam yağışın 87 mm artacağı (% 13), orta (2045-2055) dönemde toplam yağışın 91 mm azalacağı (% 14) ve uzun (2075-2085) dönemde toplam yağışın 78 mm azalacağı (% 12) tahmin edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile araştırma alanının da iklim değişikliğinden gelecek yıllar boyunca etkileneceği 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 hissedilecektir. 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. Ayrıca bu çalışmada gelecek A2 SRES senaryosu çıktılarından faydalanılmıştır. Güncel olan yeni nesil konsantrasyon senaryoları (RCPs), RCP 8.5, RCP 6.0, RCP 4.5 ve RCP3-PD çıktıları ile de benzer çalışmalar yapılabilir.

Araştırmada kullanılan AquaCrop ve WOFOST modellerde verim tahmini yaparken iklim parametrelerinden hangisinin daha hassas olduğunun belirlenebilmesi için yapılan denemeler sonrasında yağışın AquaCrop Modelin en etkin parametresi, minimum sıcaklığın ise WOFOST Modelin en etkin parametresi olduğu belirlenmiştir.

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 sıcaklığın artması ve yağış değerlerinin azalması ile ETo değerleri ilişkili olduğundan 2016-2017 yıllarında ortalama ETo değerlerinin yakın gelecek (2020-2030) için değişmeyeceği, orta (2045-2055) dönemde 2,8 mm'ye (% 16) ve uzun (2075-2085) dönemde ise 2,9 mm'ye (% 21) çıkacağı tahmin edilmektedir. AquaCrop ve WOFOST Modeller ile verim tahminleri yapabilmek için ayrıca Akıncılar, Sofular ve Çövenli alt havzalarındaki toprak örneği alınan buğday tarlalarının sahiplerinden 2016-2017 dönemi için verim değerleri elde edilmiştir. 2016-2017 dönemi içinde Akıncılar, Sofular ve Çövenli alt havzaları buğday tarlalarından AquaCrop ve WOFOST Modellerde hesaplanan verim değerleri ile elde edilen verim değerleri karşılaştırılarak kalibre 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.

Daha sonra ise buğday bitkisi için Akıncılar, Sofular ve Çövenli alt havzalarında RegCM3 Bölgesel İklim Modelinden elde edilen iklim verileri ile kısa (2020-2030), orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) dönemler için verim değerleri tahmin edilmiştir.

Buğday verim değerleri üzerine etki eden iklim parametrelerinden yağışın sıcaklığa oranla daha etkili olduğu hassasiyet analizi ile belirlenmiştir. 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 oran aralığında olacağı tahmin edilmektedir. AquaCrop Modele göre Sofularda orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) dönemlerde sırası ile % 34 ve % 6 oranlarında, WOFOST Modelde ise Çövenlide her üç dönemde % 2- % 7 oran aralığında verim azalışları meydana geleceği tahmin edilmektedir. Her ne kadar verim artış miktarları çok gibi gözükse de, çalışmada yağışlarda % 31 oranına varan artışların olduğu ve CO₂ miktarının A2 senaryosuna göre 2 kat arttığı göz önüne alındığında, araştırma alanındaki verim artışları normal olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada gelecek dönem tahminlerinde vejetasyon dönemi kısılmı dikkate alınmamış ve 2016-2017 yılları yetiştirme dönemi baz alınmıştır ve dolayısıyla verim değerlerinde % 50'lere varan artışlar görülmesi beklenti dahilindedir. Özellikle orta (2045-2055) ve uzun (2075-2085) dönemlerde olası iklim değişikliği ile sıcaklık değerinin sırasıyla 1,43 °C ile 3,05 °C artacağı göz önüne alındığında buğday için yetiştirme dönemi kısalmak ve verim değerlerinin de yüzde olarak daha az artış gösterebileceği ihtimal dahilinde olacaktır. Bunlara ilave olarak uzun (2075-2085) dönemde diğer yıllara göre yağış rejiminin oldukça düzensizleşmesinden dolayı da en büyük verim artışlarının bu dönemde oluşması normal olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada olası iklim değişikliğinin buğday veriminde vejetasyon dönemi kısılmı 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 ve Sofular'da %40'a 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 arttıracığı düşünülmektedir. Dolayısıyla arazi kullanım değişikliğinin engellenmesi ile birlikte tarım arazilerinin diğer sektörlerle kaydırılmasına şiddetle karşı çıkılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Abedinpoura M, Sarangib M. A, Rajput T. B. S, Singh M, Pathak H ve Ahmad T. Performance evaluation of AquaCrop Model for Maize Crop in a Semi-Arid Environment. *Agricultural Water Management*. 110: 55-66. 2012.
- Andarzian B, Bannayan M, Steduto P, Mazraeh H, Barati M. E, Barati M. A ve Rahnama A. Validation and Testing of the AquaCrop Model Under Full and Deficit Irrigated Wheat Production in Iran. *Agricultural Water Management*. 100: 1-8. 2011.
- Anonim. İklim Değişikliği ve Yapılan Çalışmalar. Çevre ve Orman Bakanlığı. 103. Ankara. 2008a.
- Anonim. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Tekirdağ İl Müdürlüğü Veri Bankası. 2012.
- Anonim. <http://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx?k=B>, (erişim tarihi 31.08.2013). 2013.
- Anonim. <http://iklim.cob.gov.tr/iklim/AnaSayfa/Kyoto.aspx?sflang=tr>, (erişim tarihi 02.01.2014). 2014a.
- Anonim. http://www.dsi.gov.tr/docs/iklim-degisikligi/turkiyenin_iklim_degisikligine_uyum_kapasitesinin_gelistirilmesi_projesi.pdf?sfvrsn=2, (erişim tarihi 20.08.2014). 2014b.
- Anonim. <http://iklim.cob.gov.tr/iklim/AnaSayfa/Projeler.aspx?sflang=tr>, (erişim tarihi 20.08.2014). 2014c.
- Anonim. <http://www.dmi.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx?k=C>, (erişim tarihi 20.08.2014). 2014d.
- Anonim. <http://iklim-degisikligi.com/iklim-degisikliginin-esaslari-kuresel-iklim-degisikligi-turkiyenin-iklimini-nasil-etkiliyor.html>, (erişim tarihi 05.11.2017). 2017.
- Araya A, Habtu S, Hadgu K. M, Kebede A ve Dejene T. Test of AquaCrop Model in Simulating Biomass and Yield of Water Deficient and Irrigated Barley (*Hordeum Vulgare*). *Agricultural Water Management*. 97: 1838-1846. 2010a.
- Araya A, Keesstra S. D ve Stroosnijder L. Simulating Yield Response to Water of Teff (*Eragrostis tef*) with FAO's AquaCrop Model. *Field Crops Research*. 116: 196-204. 2010b.
- Baumhardt R. L, Staggenborg, S. A, Gowda, P. H, Colaizzi P. D ve Howell T. A. Modelling Irrigation Management Strategies to Maximize Cotton Lint Yield And Water Use Efficiency. *Agronomy Journal*. 101 (3): 460-468. 2009.
- Baydar A ve Kanber R. İklimsel Değişikliklerin Pamuk Üretimine Etkilerinin İncelenmesi. *Toprak Su Dergisi*. 1: 47-53. 2012.
- Biberoğlu E. Küresel İklim Değişikliğinin Türkiye Yağış ve Sıcaklıkları Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi. 9 Eylül Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 2011.
- Boogaard H. L, De Wit A. J. W, Te Roller J. A, Van Diepen C. A. WOFOST Control Centre 2.1 and WOFOST 7.1.7. User's guide for the WOFOST Control

- Centre 2.1 and WOFOST 7.1.7 Crop Growth Simulation Model. Alterra. Wageningen University & Research Centre. 2014. Wageningen.1-133.
- Bouman B. A. M, van Keulen H, . van Laar H. H. ve Rabbinge R. The 'School of de Wit' crop growth simulation models: pedigree and historical overview. *Agricultural Systems*. 52: 171-198. 1996.
- Bozkurt D, Turunçoğlu U, Şen Ö. L, Önoğ B ve Dalfes H. N. Downscaled Simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3 Global Models for the Eastern Mediterranean–Black Sea Region: Evaluation of the Reference Period. *Clim. Dyn.* 39: 207-225. 2012.
- Bregaglio S, Frasso N, Pagani V, StellaT, Francone C, Cappelli G, Acutis M, Balaghi R, Ouabbou H, Paleari L, Confalonieri R. New Multi-Model Approach Gives Good Estimations of Wheat Yield Under Semi-Arid Climate in Morocco. *Agron. Sustain. Dev.* 35:157–167. 2015.
- Çaldağ B. Meteorolojik Faktörlerin Bitki Gelişimine Etkilerinin Bitki İklim Modelleri ile Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 2000.
- Çaldağ B. Trakya Bölgesi'nin Tarımsal Meteorolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 2009.
- Çaldağ B ve Şaylan L. İklim Değişikliğinin Buğday Verimine Etkilerinin İncelenmesi: Kırklareli Örneği. *İTÜ Dergisi*, 9 (5): 107-112. 2010.
- Demir İ, Kılıç G ve CoŐkun M. Türkiye ve Bölgesi için PRECIS Bölgesel İklim Modeli Çalışmaları. I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi TİGDEK-2007. 251-261. İstanbul. 2007.
- Demir İ, Kılıç G ve CoŐkun M. PRECIS Bölgesel İklim Modeli ile Türkiye için İklim Öngöröleri: HaDAMP3 Sres A2 Senaryosu. IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu. İstanbul. 2008a.
- Demir İ, Kılıç G, CoŐkun M ve Sümer U. M. Türkiye'de Maksimum, Minimum ve Ortalama Hava Sıcaklıkları ile Yağış Dizilerinde Gözlenen Değişiklikler ve Eğilimler. TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu. Ankara. 2008b.
- Demir İ, Kılıç G, Alan D, Tüvan A ve DemirbaŐ H. Bölgesel İklim Modeli Projeksiyonları ve Önemi, 1. Meteoroloji Sempozyumu. Ankara. 2010. 195-208.
- Demir Ö, Atay H, Eskioğlu O, Tuvan A, Demircan M ve Akçakaya A. RCP4.5 Senaryosuna Göre Türkiye'de Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları. III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi TİGDEK-2013. İstanbul. 2013.
- Deveci H. Trakya Bölgesi'nde İklim Değişikliğinin Yüzey Su Kaynakları, Toprak Nemi ve Bitki Verimine Etkisinin Modellenmesi. Doktora Tezi. Namık Kemal Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekirdağ. 2015.
- Doorenbos J ve Kassam A. H. Yield Response to Water. Irrigation and Drainage Paper. No. 33. FAO. 193. Rome. 1979.
- Forster P, Ramaswamy V, Artaxo P, Berntsen T, Betts R. A, Fahey D. W, Haywood J, Lean J, Lowe D. C ve Myhre G. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In *Climate Change 2007: The Physical Basis*.

- Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Vol.129-234. 2007.
- Geerts S, Raes D, Garcia M, Miranda R, Cusicanqui J. A, Taboada C, Mendoza J, Huanca R, Mamani A, Condori O, Mamani J., Morales B, Osco V ve Steduto P. Simulating Yield Response of Quinoa to Water Availability with AquaCrop. *Agronomy Journal*. 101 (3): 499-508. 2009a.
- Geerts S, Raes D, Garcia M, Taboada C, Miranda R, Cusicanqui J. A, Mhizha T ve Vacher J. Modeling the potential for closing quinoa yield gaps under varying water availability in the Bolivian Altiplano. *Agricultural Water Management*. 96: 1652-1658. 2009b.
- Geerts S, Raes D ve Garcia M. Using AquaCrop to Derive Deficit Irrigation Schedules. *Agricultural Water Management*. 98: 213-216. 2010.
- Greaves G. E. ve Wang Yu-Min. Assessment of FAO AquaCrop Model for Simulating Maize Growth and Productivity under Deficit Irrigation in a Tropical Environment. *Water*. 8: 557. 2016.
- Hassanli M, Ebrahimian H, Mohammadic E, Rahimia A, Shokouhi A. Simulating Maize Yields When Irrigating With Saline Water, Using the AquaCrop, SALTMED, and SWAP Models. *Agricultural Water Management*. 176: 91–99.
- Heng L. K, Hsiao T, Evett S, Howell T ve Steduto P (2009). Validating the FAO AquaCrop Model for Irrigated and Water Deficient Field Maize. *Agronomy Journal*. 101 (3): 488-498. 2016.
- Huanga J, Sedano F, Huang Y, Ma H, Li X, Liange S, Tian L, Zhang X, Fan J, Wu W. Assimilating A Synthetic Kalman Filter Leaf Area Index Series Into The WOFOST Model To Improve Regional Winter Wheat Yield Estimation. *Agricultural and Forest Meteorology*. 216: 188–202. 2016.
- Hsiao T. C, Heng L, Steduto P, Rojas-Lara B, Raes D ve Fereres E. AquaCrop – The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: III. Parameterization and Testing for Maize. *Agronomy Journal*. 101 (3): 448-459. 2009.
- IPCC. Fourth Assessment Report. Summary of Policymakers and Technical Report. <http://ipcc.ch/>. 2007.
- Janssen B. H, Guiking F. C. T, van der Eijk D, Smaling E. M. A, Wolf J. ve van Reuler H. A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS). *Geoderma* 46:299-318. 1990.
- Kale S ve Tarı A. F. Sulu ve Kuru Koşullar Altında Kışlık Buğday için FAO-AQUACROP Modelinin Performansının Değerlendirilmesi. *Toprak Su Dergisi*, 2: 119-131. 2012.
- Kanber R, Kapur B, Ünlü M, Tekin S ve Koç L, D. İklim Değişiminin Tarımsal Üretim Sistemleri Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesine Yönelik Yeni Bir Yaklaşım: ICCAP Projesi. "TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi". Ankara. 2008. 83-94.
- Kapur B, Topaloğlu F ve Özfidaner M. Çukurova Bölgesi'nde Küresel İklim Değişikliği ve Buğday Verimliliği Üzerine Etkilerine Genel Bir Yaklaşım. "Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Etkileri Sempozyumu". Konya. 2007. 35-45.

- Kapur B. Artan CO₂ ve Küresel İklim Değişikliğinin Çukurova Bölgesi'nde Buğday Verimliliği Üzerine Etkileri. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana. 2010.
- Koç E. M. İklim değişikliğinin Tarıma Olası Etkilerinin WOFOST Bitki İklim Modeli ile Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 2011.
- Mishra S. K, Shekh A. M, Yadav S. B, Kumar A, Patel G.G, Pandey V ve Patel H. R. Simulation of Growth and Yield of Four Wheat Cultivars Using WOFOST Model Under Middle Gujarat Region. Journal of Agrometeorology 15 (1) : 43-50. 2013.
- Mkhabela M. S ve Bullock P. R. Performance of the FAO AquaCrop Model for Wheat Grain Yield and Soil Moisture Simulation in Western Canada. Agricultural Water Management 110: 16-24. 2012.
- Mor A. Bitki İklim Modeli (DSSAT) Kullanılarak Bursa'da Buğday için Farklı Su Uygulama Düzeylerinin Analizi. Doktora Tezi. Uludağ Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa. 2005.
- Önal B. Türkiye ve Civarı İkliminin Bölgesel Bir İklim Modeliyle Simülasyonu: Yüzey Koşullarına Duyarlılık. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 2001.
- Önal B, Ünal Y. S ve Dalfes H. N. İklim Değişimi Senaryosunun Türkiye Üzerindeki Etkilerinin Modellenmesi. İTÜ Dergisi. 8 (5): 169-177. 2009.
- Özdere R. Tarımsal Kuraklığın Ayçiçeği Bitkisine Olan Etkilerinin AquaCrop Modeliyle Analizi. Bitirme Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi. İstanbul. 2012.
- Özkul S, Fıstıkoğlu O ve Harmancıoğlu N. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisinin Büyük Menderes ve Gediz Havzaları Örneğinde Değerlendirilmesi. "TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi". Ankara. 2008. 309-322.
- Öztürk K. Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri. G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi. 22 (1): 47-65. 2002.
- Raes D, Steduto P, Hsiao T. C ve Fereres E. Reference Manual. Chapter One: AquaCrop version 3.1.-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water. FAO. Land and Water Development Division. 2009a. Rome. 1-10.
- Raes D, Steduto P, Hsiao T. C ve Fereres E. Reference Manual. Chapter Two: Users Guide. FAO. Land and Water Development Division. 2009b. Rome. 1-115.
- Raes D, Steduto P, Hsiao T. C ve Fereres E. Reference Manual. Chapter Three: Calculation Procedures. FAO. Land and Water Development Division. 2009c. Rome. 1-83.
- Raes D, Steduto P, Hsiao T. C ve Fereres E. Reference Manual. Annexes. 2009d. Rome.
- Shekhar C, Singh D, Singh R ve Rao V. Prediction of Wheat Growth and Yield using WOFOST Model. Journal of Agrometeorology. (Special issue - Part 2): 400-402. 2008.

- Singh A, Saha S ve Mondal S. Modelling Irrigated Wheat Production Using The FAO AquaCrop Model in West Bengal, India, For Sustainable Agriculture. Irrigation and Drainage. 62: 50-56. 2013.
- Spitters, C. J. T, van Keulen H. ve van Kraalingen D. W. G. A simple and universal crop growth simulator: SUCROS87. In: Rabbinge et al. 147-181. 1989.
- Süzer S. <http://hayrabolutb.org.tr/media/ziraat/Bugday-Tarimi.pdf>, (erişim tarihi 23.10.2017). 2017.
- Şen B, Topçu S, Giorgi F, Xunqiang B, Kanıt E. G ve Dalkılıç T. Seyhan Havzasında İklim Değişikliğinin Tarımsal Su Kullanımına Etkileri. TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi. Ankara. 2008. 71-82.
- Şen B. Bölgesel İklim Modelleri Kullanılarak Çukurova Yöresi'nde İklim Değişikliğinin 1. ve 2. Ürün Mısır Verimine Olası Etkilerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana. 2009.
- Şimşek O, Mermer A, Yıldız H, Özaydın K. A ve Çakmak B. Türkiye'de Buğdayın Verim Tahmini. Tarım Bilimleri Dergisi. 13 (3): 299-307. 2007.
- Topçu S. Tarım Mühendisliğinde Çevre Sorunları. Çukurova Üniversitesi. 269. 2000 Adana.
- Tripathy R, Chaudhari K. N, Mukherjee J, Ray S. S, Patel N. K, Panigrahy S, Parihar J. Forecasting. Wheat Yield in Punjab State of India by Combining Crop Simulation Model WOFOST and Remotely Sensed Inputs. Remote Sensing Letters. Vol. 4. No. 1. 2013. 19–28.
- TÜİK. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=13482>. (erişim tarihi 31.08.2013). 2013.
- Türkeş M. Hava ve İklim Kavramları Üzerine. TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, 36-37. 1997.
- Türkeş M, Sümer U. M ve Çetiner G. Küresel İklim Değişikliği ve Olası Etkileri. Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları. Ankara. 2000.7-24.
- Türkeş M. Küresel İklim Değişikliği Nedir? Temel Kavramlar, Nedenleri, Gözlenen ve Öngörülen Değişiklikler. I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi-TİKDEK 2007. İstanbul, 2007. 38-53.
- Vanuytrecht E, Raes D ve Willems P. Considering Sink Strength to Model Crop Production Under Elevated Atmospheric CO₂. Agricultural and Forest Meteorology. 151: 1753-1762. 2011.
- Wolf J, Rijdsdijk F. H. ve van Keulen H. A FORTRAN Model of Crop Production. In: Van Keulen and Wolf. 343-384. 1986.
- Zelege K. T, Luckett D ve Cowley R. Calibration and Testing of the FAO AquaCrop Model for Canola. Agronomy Journal. 103 (6): 1610-1618. 2011.
- Zinyengere N, Mhizha T, Mashonjowa E, Chipindu B, Geerts S ve Raes D. Using Seasonal Climate Forecasts to Improve Maize Production Decision Support in Zimbabwe. Agricultural Forest Meteorology. 151: 1792-1799. 2011.