

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TARIMA OLASI ETKİLERİNİN WOFOST  
BİTKİ İKLİM MODELİ İLE ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Elif Müdrike KOÇ**

**Anabilim Dalı : Meteoroloji Mühendisliği**

**Programı : Atmosfer Bilimleri**

**EYLÜL 2011**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TARIMA OLASI ETKİLERİNİN WOFOST  
BİTKİ İKLİM MODELİ İLE ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Elif Müdrike KOÇ  
(511081002)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 Eylül 2011  
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Eylül 2011**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Levent ŞAYLAN (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Engin YURTSEVEN (AÜ)  
Prof. Dr. Kasım KOÇAK (İTÜ)**

**EYLÜL 2011**



*Anneme ve Babama,*



## ÖNSÖZ

Günümüzde her yerde sözü edilen iklim değişikliği ve bu değişikliğin tarımsal faaliyetlere olan etkisi, dolayısı ile insan hayatındaki öneminin tartışılması bu yüksek lisans tezinin konusunu belirlemedeki en önemli sebep olmuştur. Türkiye genelinde, tarımın sosyal ve ekonomik açıdan belirleyici bir unsur olması nedeniyle çalışmalarında elde ettiğim sonuçların, özellikle çalışma yaptığım Marmara Bölgesi'nin Trakya Bölümü için tarımsal kararların alınma aşamasında faydalı olabileceği kanaatindeyim.

Bu çalışmada, COST 734 TÜBİTAK Projesi kapsamında Kırklareli Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü'ne ait uygulama arazisinde kışlık buğday bitkisine ait fenolojik gözlemler ve büyüme dönemi boyunca kaydedilen meteorolojik verileri, uzun yıllara ait geçmiş meteorolojik verileri ve ECHAM5 Modelinin A2 Senaryosunun iklim projeksiyonlarını kullanarak, WOFOST Bitki İklim Modeli'nin kalibrasyonu ve geleceğe yönelik verim tahmini yapılmıştır.

Tezimi hazırlarken emeğini ve sabrını benden hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve desteğini her zaman hissettiğim Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Levent ŞAYLAN'a;

Tecrübelerini, tezimin her aşamasında bütün iyi niyeti ile benimle paylaşan Sayın Araştırma Görevlisi Dr. Barış ÇALDAĞ'a;

Yaptığım çalışmalarda kullandığım meteorolojik veriler ve tez yazım aşamasında iş ortamında gösterilen anlayış ve yardımlar için bütün idarecilerim nezdinde Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

İklim Değişiminin Bitki Gelişimine Olası Etkilerinin Bitki Gelişimi Modelleri ile İncelenmesi isimli, 1080567 No'lu TÜBİTAK 1001 Araştırma Projesi kapsamında bursiyer olarak destekleyen TÜBİTAK'a, projede çalışırken bilgi paylaşımından hiçbir şekilde kaçmayan ve huzurlu bir ortamda çalışmam için yardımcı olan proje ekibindeki bütün arkadaşlarıma;

İklim değişikliği senaryolarına ait veriler ile ilgili zamanını ve emeğini esirgemeyen Sayın Dr. İsmail DEMİR'e

Kırklareli Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürü Dr. Fatih BAKANOGULLARI'na ve bütün Enstitü çalışanlarına teşekkür ederim.

Tez yazım sürecinde her türlü desteği veren başta Yük. Meteoroloji Mühendisi Sezel KARAYUSUFOĞLU ve Meteoroloji Mühendisi Fazilet ÖZDEMİR olmak üzere tüm iş arkadaşlarıma;

Ayrıca her türlü desteği ile beni güçlü kılan anne ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

Eylül, 2011

Elif Müdrike KOÇ  
Meteoroloji Mühendisi





## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Amaç.....	2
1.2 Literatür Özeti.....	3
<b>2. MATERYAL VE METOD.....</b>	<b>7</b>
2.1 Materyal.....	7
2.2 Metod.....	10
2.2.1 Model Kavramı.....	10
2.2.2 WOFOST Bitki İklim Modeli.....	12
<b>3. MODELİN TEST EDİLMESİ.....</b>	<b>15</b>
3.1 Modelin Çalıştırılması.....	15
3.2 Modelin Kalibrasyonunun Yapılması.....	22
3.3 Model Çıktılarının Değerlendirilmesi.....	23
<b>4. HASSASİYET ANALİZİ.....</b>	<b>29</b>
4.1 Tekli Modifikasyonlar.....	29
4.1.1 Sıcaklık değişimleri.....	29
4.1.2 Yağış değişimleri.....	32
4.1.3 Radyasyon değişimleri.....	33
4.2 İkili Modifikasyonlar.....	35
4.2.1 Sıcaklık değişimleri.....	36
4.2.1.1 Sıcaklığın 1° C artması.....	36
4.2.1.2 Sıcaklığın 2° C artması.....	38
4.2.1.3 Sıcaklığın 3° C artması.....	40
4.2.1.4 Sıcaklığın 4° C artması.....	41
4.2.2 Toplam güneş radyasyonu değişimleri.....	43
4.2.2.1 Toplam güneş radyasyonunun % 10 artması.....	43
4.2.2.2 Toplam güneş radyasyonunun % 20 artması.....	45
<b>5. GELECEK YILLAR İÇİN MODEL SONUÇLARI.....</b>	<b>49</b>
5.1 A2 Senaryosuna Göre Sıcaklık ve Yağış Öngörülleri.....	49
5.2 İklim Değişikliği Senaryolarına Göre Verim Tahmini.....	50
5.2.1 Minimum Sıcaklığın Beklendiği 2013-2014 Gelişme Dönemi İçin Model Sonuçları.....	51
5.2.2 Maksimum Yağışın Beklendiği 2014-2015 Gelişme Dönemi İçin Model Sonuçları.....	54

5.2.3 Maksimum Sıcaklığın Beklendiği 2088-2089 Gelişme Dönemi İçin	
Model Sonuçları.....	57
5.2.4 Minimum Yağışın Beklendiği 2095-2096 Gelişme Dönemi İçin	
Model Sonuçları.....	60
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>65</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>69</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>73</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>77</b>

## KISALTMALAR

<b>BDG</b>	: Büyüme derece gün (Growing degree day)
<b>CABO</b>	: WOFOST Bitki İklim Modeli'ne özgü veri dosya formatı
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>ECHAM5</b>	: Küresel iklim modeli (European Center Hamburg Model)
<b>FAO</b>	: Gıda ve Tarım Organizasyonu (Food and Agriculture Organization)
<b>LAI</b>	: Yaprak alan indeksi (Leaf area index)
<b>nRMSE</b>	: Normalleştirilmiş ortalama karekök hata katsayısı (Normalized root mean square error)
<b>P</b>	: Yağış
<b>P-% 10</b>	: Yağışın % 10 azalması durumu
<b>P-% 20</b>	: Yağışın % 20 azalması durumu
<b>P-% 30</b>	: Yağışın % 30 azalması durumu
<b>P-% 40</b>	: Yağışın % 40 azalması durumu
<b>ppmv</b>	: Hacimsel olarak milyonda bir (Parts per million by volume)
<b>Rg</b>	: Toplam güneş radyasyonu
<b>Rg+% 10</b>	: Toplam güneş radyasyonun % 10 artması durumu
<b>Rg+% 20</b>	: Toplam güneş radyasyonun % 20 artması durumu
<b>RgCM3</b>	: Bölgesel iklim modeli (Regional Climate Model)
<b>RMSE</b>	: Ortalama karekök hata katsayısı
<b>SWAP</b>	: Bitki iklim modeli (Soil, Water, Atmosphere and Plant)
<b>T</b>	: Sıcaklık
<b>T+1</b>	: Sıcaklığın 1 °C artması durumu
<b>T+2</b>	: Sıcaklığın 2 °C artması durumu
<b>T+3</b>	: Sıcaklığın 3 °C artması durumu
<b>T+4</b>	: Sıcaklığın 4 °C artması durumu
<b>TAGEM</b>	: Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü
<b>TBASEM</b>	: Bitkinin toprak yüzeyine çıkabilmesi için gerekli minimum sıcaklık
<b>TEFFMX</b>	: Bitkinin toprak yüzeyine çıkabilmesi için uygun olan en yüksek sıcaklık
<b>TÜBİTAK</b>	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
<b>KATSTMAI</b>	: Kırklareli Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü
<b>TSUMEM</b>	: Ekimden bitkinin toprak yüzeyine çıkışına kadar olan zamandaki sıcaklıklar toplamı
<b>UTC</b>	: Eşgüdümlü evrensel zaman (Coordinated universal time)
<b>WCC</b>	: WOFOST Kontrol Merkezi (WOFOST Control Center)
<b>WOFOST</b>	: Dünya Gıda Çalışmaları (World Food Studies)
<b>x<sub>i</sub></b>	: Gözlenen "x" değerleri
$\bar{x}$	: Gözlenen "x" değerlerinin ortalaması
<b>y<sub>i</sub></b>	: Modellenen "y" değerleri
<b>σ</b>	: Standart Sapma (Standard deviation)



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Çizelge 2.1:</b> Buğday bitkisinin özellikleri (Şaylan ve diğ., 2010b).....	8
<b>Çizelge 2.2:</b> Arazide uygulanan gübreleme ve ilaçlama işlemlerine ait bilgiler (Şaylan ve diğ., 2010a).....	9
<b>Çizelge 2.3:</b> Proje kapsamında kullanılan aletler (Şaylan ve diğ., 2010b).....	9
<b>Çizelge 3.1:</b> Buğday'ın (2009- 2010 dönemi) ekimden hasada kadarki döneminde ölçülen de ğerlerin bazı istatistiki bilgileri (Şaylan ve diğ., 2010a).....	16
<b>Çizelge 4.1:</b> Meteorolojik parametrelerdeki çapraz de ğişimlerin verim üzerindeki etkisine ait de ğişim de ğerleri (%)......	35
<b>Çizelge 4.2:</b> Meteorolojik parametrelerdeki çapraz de ğişimlerin biyokütle üzerindeki etkisine ait de ğişim de ğerleri (%)......	35
<b>Çizelge 4.3:</b> Meteorolojik parametrelerdeki çapraz de ğişimlerin maksimum LAI üzerindeki etkisine ait de ğişim de ğerleri (%). .....	36



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

<b>Şekil 2.1:</b> TAGEM KATSTMAI'unda kurulan ölçüm istasyonuna ait bir görüntü. ...	7
<b>Şekil 2.2:</b> Uygulama arazisinde kışlık buğday bitkisinin ekildiği tarlanın konumu ....	8
<b>Şekil 2.3:</b> Arazide ölçülen değerlere ait günlük veri dosyası.....	10
<b>Şekil 2.4:</b> Açıklamalı modellerde akış şeması (Penning de Vries ve diğ., 1989; Çaldağ, 2000). ....	11
<b>Şekil 2.5:</b> Tanımlamalı modellerde akış şeması (Penning de Vries ve diğ., 1989; Çaldağ, 2000). ....	11
<b>Şekil.2.6:</b> WOFOST ile hesaplanmış su dengesi çıktıları.....	14
<b>Şekil 3.1:</b> Arazide ölçülen yağış, toprak sıcaklığı, rüzgar hızı, toprak su içeriğinin zaman serisi (Şaylan ve diğ., 2010a). ....	17
<b>Şekil 3.2</b> Arazide ölçülen yer akısı, yüzey sıcaklığı, net radyasyon ve toplam güneş radyasyonunun zaman serisi (Şaylan ve diğ., 2010a). ....	18
<b>Şekil 3.3:</b> WOFOST'ta meteoroloji parametrelerinin bulunduğu girdi dosyası .....	19
<b>Şekil 3.4:</b> WOFOST'ta toprak parametrelerinin bulunduğu girdi dosyası. ....	19
<b>Şekil 3.5:</b> WOFOST'ta bitki parametrelerinin bulunduğu girdi dosyası. ....	20
<b>Şekil 3.6:</b> Kalibrasyon yapılmadan önceki ve gerçek LAI değerlerinin karşılaştırılması. ....	21
<b>Şekil 3.7:</b> Kalibrasyondan sonraki model ve gerçek LAI değerlerinin karşılaştırılması. ....	22
<b>Şekil 3.8:</b> Kalibrasyondan sonraki model ve gerçek LAI değerlerinin dağılım grafiği ile karşılaştırılması.....	23
<b>Şekil 3.9:</b> Kalibrasyondan sonra elde edilen LAI değerleri. ....	24
<b>Şekil 3.10:</b> Kalibrasyondan sonra elde edilen verim değerleri. ....	24
<b>Şekil 3.11:</b> Kalibrasyondan sonra elde edilen biyokütle değerleri.....	25
<b>Şekil 3.12:</b> Su limitli üretimde toprak su içeriğinin zaman serisi .....	25
<b>Şekil 3.13:</b> Su limitli üretimde toprak su içeriği ve LAI'nin değişimi .....	26
<b>Şekil 3.14:</b> Su limitli üretimde toprak su içeriği ve biyokütle değişimi .....	27
<b>Şekil 3.15:</b> Su limitli üretimde toprak su içeriği ve verimin değişimi .....	27
<b>Şekil 4.1:</b> Sıcaklığın 1 °C artması halinde verim, biyokütle ve LAI değişimi.....	30
<b>Şekil 4.2:</b> Sıcaklığın 2 °C artması halinde verim, biyokütle ve LAI değişimi.....	30
<b>Şekil 4.3:</b> Sıcaklığın 3 °C artması halinde verim, biyokütle ve LAI değişimi.....	31
<b>Şekil 4.4:</b> Sıcaklığın 4 °C artması halinde verim, biyokütle ve LAI değişimi.....	31
<b>Şekil 4.5:</b> Sıcaklık değişimlerinin verime etkisi. ....	32
<b>Şekil 4.6:</b> Yağış değişiminin verim ve LAI değerlerine etkisi.....	33
<b>Şekil 4.7:</b> Toplam güneş radyasyonundaki % 10'luk artışın biyokütle, verim ve LAI değerine etkisi. ....	33
<b>Şekil 4.8:</b> Toplam güneş radyasyonundaki % 20'lik artışın biyokütle, verim ve LAI değerine etkisi. ....	34

<b>Şekil 4.9:</b> Toplam güneş radyasyonu değişimlerinin verime etkisinin kıyaslanması.....	34
<b>Şekil 4.10:</b> 1 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin verime etkisi.....	37
<b>Şekil 4.11:</b> 1 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin LAI'ye etkisi.....	37
<b>Şekil 4.12:</b> 1 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin biyokütleye etkisi.....	38
<b>Şekil 4.13:</b> 2 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin verime etkisi.....	39
<b>Şekil 4.14:</b> 2 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin biyokütleye etkisi.....	39
<b>Şekil 4.15:</b> 2 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin LAI'ye etkisi.....	40
<b>Şekil 4.16:</b> 3 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin verime etkisi.....	40
<b>Şekil 4.17:</b> 3 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin biyokütleye etkisi.....	41
<b>Şekil 4.18:</b> 3 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin LAI'ye etkisi.....	41
<b>Şekil 4.19:</b> 4 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin verime etkisi.....	42
<b>Şekil 4.20:</b> 4 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin biyokütleye etkisi.....	42
<b>Şekil 4.21:</b> 4 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin LAI'ye etkisi.....	43
<b>Şekil 4.22:</b> % 10'luk toplam güneş radyasyonu artışı ve yağış parametrelerindeki değişimin verime etkisi.....	44
<b>Şekil 4.23:</b> % 10'luk toplam güneş radyasyonu artışı ve yağış parametrelerindeki değişimin biyokütleye etkisi.....	44
<b>Şekil 4.24:</b> % 10'luk toplam güneş radyasyonu artışı ve yağış parametrelerindeki değişimin LAI'ye etkisi.....	45
<b>Şekil 4.25:</b> % 20'lik toplam güneş radyasyonu artışı ve yağış parametrelerindeki değişimin verime etkisi.....	45
<b>Şekil 4.26:</b> % 20'lik toplam güneş radyasyonu artışı ve yağış parametrelerindeki değişimin biyokütleye etkisi.....	46
<b>Şekil 4.27:</b> % 20'lik toplam güneş radyasyonu artışı ve yağış parametrelerindeki değişimin LAI'ye etkisi.....	46
<b>Şekil 5.1:</b> İklim modelleri ile hazırlanmış aylık meteorolojik veri dosyası.....	50
<b>Şekil 5.2:</b> A2 senaryosuna göre 2071-2100'deki sıcaklık farkı.....	50
<b>Şekil 5.3:</b> 2013-2014 gelişme dönemi için model sonuçları (LAI).....	51
<b>Şekil 5.4:</b> 2013-2014 gelişme dönemi için model sonuçları (Biyokütle).....	52
<b>Şekil 5.5:</b> 2013-2014 gelişme dönemi için model sonuçları (Verim).....	52
<b>Şekil 5.6:</b> 2013-2014 gelişme dönemi için model sonuçları (Toprak su içeriği-biyokütle).....	53
<b>Şekil 5.7:</b> 2013-2014 gelişme dönemi için model sonuçları (Toprak su içeriği-LAI).....	53
<b>Şekil 5.8:</b> 2014-2015 gelişme dönemi için model sonuçları (LAI).....	54
<b>Şekil 5.9:</b> 2014-2015 gelişme dönemi için model sonuçları (Biyokütle).....	55
<b>Şekil 5.10:</b> 2014-2015 gelişme dönemi için model sonuçları (Verim).....	55



<b>Şekil 5.11:</b> 2014-2015 gelişme dönemi için model sonuçları (Toprak su içeriği-biyokütle).....	56
<b>Şekil 5.12:</b> 2014-2015 gelişme dönemi için model sonuçları (Toprak su içeriği-LAI).....	56
<b>Şekil 5.13:</b> 2088-2089 gelişme dönemi için model sonuçları (LAI).....	57
<b>Şekil 5.14:</b> 2088-2089 gelişme dönemi için model sonuçları (Biyokütle).....	58
<b>Şekil 5.15:</b> 2088-2089 gelişme dönemi için model sonuçları (Verim).....	58
<b>Şekil 5.16:</b> 2088-2089 gelişme dönemi için model sonuçları (Toprak su içeriği-biyokütle).....	59
<b>Şekil 5.17:</b> 2088-2089 gelişme dönemi için model sonuçları (Toprak su içeriği-LAI).....	59
<b>Şekil 5.18:</b> 2095-2096 gelişme dönemi için model sonuçları (LAI).....	60
<b>Şekil 5.19:</b> 2095-2096 gelişme dönemi için model sonuçları (Biyokütle).....	61
<b>Şekil 5.20:</b> 2095-2096 gelişme dönemi için model sonuçları (Verim).....	61
<b>Şekil 5.21:</b> 2095-2096 gelişme dönemi için model sonuçları (Toprak su içeriği-biyokütle).....	62
<b>Şekil 5.22:</b> 2095-2096 gelişme dönemi için model sonuçları (Toprak su içeriği-LAI).....	62



## İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TARIMA OLASI ETKİLERİNİN WOFOST BİTKİ İKLİM MODELİ İLE ARAŞTIRILMASI

### ÖZET

İklim değışikliğinin etkilerinin her geçen gün biraz daha fazla konu edilmesi, iklim değışikliği ile ilgili yapılan araştırmaların da artmasına sebep olmaktadır. İklim değışikliğinin etkileyeceği en önemli sektörlerin başında da kuşkusuz tarım gelmektedir. Bu çalışmada da temel amaç, iklim değışikliğinin Kırklareli’nde kışlık buğday bitkisinin gelişimine ve verimine olası etkilerinin WOFOST Bitki İklim Modeli ile araştırılmasıdır.

Bu amaç doğrultusunda, 2009-2010 buğday gelişme dönemi için uygulama arazisinde gerekli ölçümler, gözlemler yapılmış ve bu ölçümler kullanılarak WOFOST modeli ile kışlık 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 dşmştir. Buna ek olarak, kalibrasyondan sonra, gerçek verim değerleri ile model sonuçları arasındaki farkın azaldığı belirlenmiştir, verim değerleri 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 değerlikler için model ıktıları değerlendirilmiştir. Günümüzde sürekli sözü edilen olası iklim değerliklerinin en belirgin göstergelerinden biri olan sıcaklık artışının 1-2 C ile sınırlı kalması durumunda LAI ve toprak üstü biyokütle değerlerinin azalması ve verim değerlerinin yaklaşık % 10 oranında artış göstermesi beklenmektedir. lm yapılan 2009-2010 yılına ait yağış verileri kullanılarak, yağışta meydana gelebilecek % 10, % 20 ve % 30 oranında azalma modellendiğinde, yağıştaki azalmanın verim üzerinde anlamlı etkisinin olmadığı belirlenmiştir. 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.

Meteorolojik parametrelerin bir arada değişimi incelendiğinde de, bitki gelişiminde önemli sonuçlar elde edilmiştir. 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. Sıcaklıktaki artış genel olarak biyokütle değerlerini olumsuz yönde etkilemektedir.

Özellikle sıcaklık değişimleri, büyüme derece gün (BDG) değerlerine bitkinin erken ulaşmasına neden olduğundan bitkinin gelişme döneminin kısalacağı sonucuna ulaşılmıştır. Sıcaklıktaki 2 °C'lik artış, normalde 271 gün olan gelişme dönemini 244 güne, 3 °C'lik artış 234 ve 4 °C'lik artış 223 güne indirmiştir.

Buna ek olarak, 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 öngörülleri kullanılarak, WOFOST ile bahsi geçen yıllar arasında bitki gelişimi simüle edilmiştir. İklim değişikliği, iklim modellerinin öngörülleri doğrultusunda ilerlediği takdirde, önümüzdeki yüz yıl içinde tarım ürünlerini de büyük ölçüde etkileyecektir. Bu çalışmada RegCM3 modeli ile belirlenen ve gelecekte maksimum ve minimum yağış, maksimum ve minimum sıcaklık beklenen yıllar için WOFOST modeli çalıştırılmış, 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 beklendiği, 2095-2096 gelişme döneminde ise, biyokütlerde % 63 oranında azalma olabileceği model tarafından belirlenmiştir.

## **INVESTIGATION OF POSSIBLE IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON AGRICULTURE BY WOFOST CROP-CLIMATE MODEL**

### **SUMMARY**

Increasing importance of the climatic change effects causes an increasing number in related studies. It is well known that agriculture is subject to be the mostly affected sector by climate change. Therefore, the main object of this study is to find out the effects of possible climate change on the growth and yield of winter wheat in Kırklareli using the WOFOST Crop Simulation Model.

For this purpose, the necessary measurements and observations were realised during the growing period (2009-2010) of winter wheat and recorded data were used for simulating the crop growth by WOFOST model. Considering the differences between modeled and actual data, the model was calibrated for the used winter wheat variety. The error rate, which was 63.3 % between the models' maximum LAI value and the real LAI before calibration, decreased to 0.2 % after calibration. In addition to this, the difference between the measured and the modelled yield values was also decreased after calibration. The error rate of the yield value for the 2009-2010 growing season is calculated as 1.2 %.

After the calibration process, the sensitivity analysis was performed. By sensitivity analysis, the meteorological parameters representing WOFOST's sensitivity, were defined and associated model outputs were evaluated for possible changes in meteorological data. One of the important effect of the possible climate change is increases in temperature. In case of a limited temperature increase between 1 °C and 2 °C, decreases in LAI and biomass values together with an increase of 10 % in crop yield are possible. Decreases of 10 %, 20 % and 30 % in precipitation does not affect the yield, but a 5 kg/ha decrease in yield is predicted when the precipitation decrease reaches 40 %. A 20 % decrease in grain yield and increases in LAI and biomass were calculated, when 10 % and 20 % increases in radiation was considered.

Important results are also obtained for combined changes in meteorological parameters. Increases in temperature for 2 °C and an increase of 10 % in global solar

radiation cause 23 % increase in yield, whereas the same temperature increase with an increase of 20 % in solar radiation cause 36 % increase in yield.

1 °C and 2 °C increases in temperature resulted in yield increments, however no change occurs in yield, if 3 °C increase in temperature is observed. In case of 4 °C of temperature increase, winter wheat yield is expected to reduce about 20 %. Generally, any increase in temperature would effect biomass negatively.

One of the important results of this study is that the crop could reach the desired growing degree day values earlier than the normal because of increased temperatures. If temperature increases for 2 °C, then the growing season decreases down to 244 days from its actual mean value of 271 days. Successive temperature increases of 3 and 4 °C would limit the growing season in 234 and 223 days, respectively.

Finally, possible results of the minimum total precipitation and maximum average temperature seasons were simulated with WOFOST by considering the RegCM3 Regional Climate Model runs for between 2012 and 2100 according to the IPCC-A2 scenario. In case of the climate change become fact in the same direction with the climate models' prediction, corresponding effects can be seen in agriculture in the next century. In this study, the extreme years were determined by means of minimum total precipitation and maximum average temperature with RegCM3 climate model, and WOFOST crop simulation model is then run for these years. In the 2088-2089 growing season, for which the maximum temperature is expected, 60 % lost in biomass and yield is calculated while no significant change in LAI is expected. Similarly, in the 2095-2096 growing season of minimum precipitation, 63 % decrease in biomass can occur.

## 1. GİRİŞ

İnsanlığın var oluşundan beri, insanın başlıca temel ihtiyaçlarından olan besin ihtiyacının giderilmesinde, bitkilerin vazgeçilmez bir yeri vardır. Bu temel yaşam öğelerinin temini ve yetiştirilmesi söz konusu oldukça insanlar zaman içinde dış etkenlerin, bu üretime etkisini fark etmiş ve iyileştirme çalışmalarını her geçen gün artırmışlardır. Bu mecburiyet, insanların çevresindeki hayatı tanıma, atmosferi ve gelişen doğa olaylarını anlama ihtiyacı ile birleşince, yerküre ve atmosfer ile ilgilenen bilim dallarının gelişmesi kaçınılmaz hale gelmiştir, günümüzde de çalışmalar son hızda devam etmektedir.

Son yıllarda en çok sözü edilen konuların başında iklim değişikliği gelmektedir. Geçen yüzyıl süresince, küresel sıcaklıkta 0.5 °C'lik bir artış, stratosfer sıcaklığında azalma, orta enlemlerdeki yağış miktarında artış ve subtropik enlemlerdeki yağış miktarında azalma gözlenmiştir. Son 10 yıl içinde küresel ısınmada önemli ölçüde artış olmuştur. 19. yüzyılın ortalarından 1940'lara kadar süren ısınma eğilimi, 1970'lerde yeniden hız kazanmış ve 1998 yılı son 1200 yıllık dönem içinde en sıcak yıl olmuştur. Dünya sıcaklığındaki artışı gösteren en önemli belge, yaklaşık 140 yıldır dünyanın birçok yerinde tutulan atmosfer sıcaklık ölçüm kayıtlarıdır. Bu kayıtlar incelendiğinde, 1860-2000 yılları arasında küresel sıcaklığın yaklaşık 0.5-0.7 °C artmış olduğu görülmektedir (Aksay ve diğ., 2005).

Sera etkisinin yaklaşık % 50-60'ının CO<sub>2</sub>'ten kaynaklanması, küresel ısınma konusunda önemini arttırmaktadır. Sanayinin gelişiminden önce, atmosferde CO<sub>2</sub> konsantrasyonu 200-300 ppmv olarak ölçülmüştür. Sanayinin gelişmeye başlaması ile beraber, CO<sub>2</sub> konsantrasyonu zamanla artış göstermiştir. Son yıllarda bu artışın yılda % 0.5'lik bir hızla devam ettiği gözlenmektedir (Aksay ve diğ., 2005). Günümüzde yapılan ölçümlerde konsantrasyon değeri yaklaşık 380 ppmv iken, insan kaynaklı emisyonların bu hızda devam etmesi durumunda bu yüzyıl sonunda 500 ppmv'e ulaşması tahmin edilmektedir (IPCC, 1996).

IPCC'nin değişik sera gazı emisyon senaryoları için çalıştırılan iklim modelleri, iklimdeki değişikliğin gelecekte de devam edeceğini öngörmektedir. IPCC'nin

Değerlendirme Raporu'na göre (IPCC, 1996) küresel ortalama yüzey sıcaklığında 2100 yılına kadar 1990'a oranla ortalama 2 C°'lik bir artış öngörülmektedir. Bu artışın bölgelere göre, 1-3.5 °C arasında değişmesi beklenmektedir. En iyimser senaryolar kullanılarak iklim değişikliği hakkında öngörüler yapılırsa bile, her on yıllık süreçte yaklaşık olarak 0.1 °C'lik artışı engellemek şu an için mümkün görünmemektedir (Türkeş ve diğ., 2000).

İklim değişikliği neticesinde; dünyada yoksulluk, su savaşları, çölleşme, biyolojik çeşitlilikte azalma, sağlık sorunlarında artış, su kaynaklarında ve ormanlarda azalma, hava kirliliğinin artması gibi bir çok sosyal ve ekonomik sorunların ortaya çıkması da muhtemeldir (Swart ve diğ., 2003).

FAO'nun (2011) olası iklim değişikliğine ait ülke profillerine bakıldığında, Türkiye genelinde yağışlarda azalma ve sıcaklıklarda artış söz konusudur.

Olası iklim değişikliğinin etkilerinin ECHAM5 İklim Modelinin A2 senaryosunun sonuçlarına göre, 2071-2100'de ortalama sıcaklıklar, Türkiye'nin kıyı kesimi boyunca 4-5 °C, iç bölgelerde ise 5-6 °C civarında artacaktır (Demir ve diğ., 2010).

İklim değişikliğinin yaşam şartlarına olası etkileri konuşulurken, bu değişimden en çok etkilenebilecek sektörlerin başında tarım sektörünün geldiği inkâr edilemez bir gerçektir. Bu durumda iklim değişikliğinin tarıma yapabileceği etkilerin önceden belirlenmesi son derece büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla, bitki iklim modelleri mevcut şartlar altında geleceğe ışık tutması bakımından, iklim değişimi/değişikliğinin tarımsal üretime olası etkilerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Türkiye genelinde en önemli geçim kaynaklarından birinin tarım olması nedeniyle iklim değişikliğinin tarımsal faaliyetler üzerinde oluşturabileceği su stresinin ve sulama suyu ihtiyacının artması, dolayısıyla bitkinin gelişme döneminin değişmesi gibi olumsuz sonuçlar, tarım sektöründe hatırı sayılır etkilere neden olabilir. Bu sebeple, çalışmada, iklim değişiminin tarımsal üretime olası etkileri incelenmiştir.

## **1.1 Amaç**

Bu çalışma yapılırken, bahsedilen olası iklim değişikliğinin Marmara Bölgesi'nin Trakya Bölümü'nde Kırklareli ilinde, kışlık buğday bitkisinin gelişimi ve verimi üzerindeki etkisinin tarımsal bilişim yöntemleri (bitki iklim modeli kullanarak) ile



incelenmesi hedeflenmiştir. Bu incelemelerle ayrıca amaçlanan, Trakya’da yaygın olarak ekilen buğday çeşidi (Gelibolu) için, bitki gelişimini bir bitki iklim modeli ile benzetmek; ölçülen ve gözlenen gerçek değerler ile modellenen değerleri karşılaştırmak ve ilgili bitki çeşidi için modeli kalibre etmek; meteorolojik parametrelerdeki değişime modelin hassasiyetini (verim, LAI ve biyokütle değerleri için) belirlemek ve gelecekte iklim değişikliğinin bu bitki gelişimine ve verimine ne gibi etkilerde bulunabileceğini analiz etmektir.

Bitkinin gelişimi ve verim için meteorolojik parametrelerdeki değişimin etkisi oldukça fazladır. Bu meteorolojik parametrelerden modelde girdi olarak ta kullanılan sıcaklık, yağış, toplam güneş radyasyonu; buhar basıncı (sabah 06.00 UTC’de ölçülen değer), ve rüzgar hızıdır. Bu çalışma sırasında yapılan hassasiyet analizinde, sıcaklığın 1, 2, 3 ve 4 °C artışı, yağışın % 10, % 20, % 30 ve % 40 oranında azalışı, toplam güneş radyasyonunun % 10 ve % 20 oranında artışı ve bu parametrelerdeki değişimin herhangi ikisinin birlikte olması durumunda verim, biyokütle ve LAI değişimleri incelenmiştir. Ayrıca yapılan çalışmanın bahsedilen hedefler doğrultusunda gelecek yıllar için tarımsal politik kararların alınmasına ve uygulanmasına ışık tutması da amaçlanmıştır. Bu nedenle 2100 yılına kadar olan periyottaki maksimum ve minimum yağış ile sıcaklık değişimleri değerlendirilerek bitki gelişimi üzerinde etkileri araştırılmıştır.

## 1.2 Literatür Özeti

WOFOST modeli kullanılarak Dünya çapında yapılmış birçok araştırma bulunmaktadır. Son yıllarda yapılan bu çalışmalarda model en çok verim ve yaprak alan indeksi (LAI) tahmininde kullanılmıştır. Yapılan çalışmaların hemen hemen hepsinde atılan ilk adım modelin bölgesel niteliklerinin belirlenmesi ve kalibrasyonunun yapılmasıdır. Bu işlemin yapılabilmesi için ilk olarak modelin kullanılacağı arazi üzerindeki birkaç yıllık gerçek değerlerle modelin çıktı parametrelerinin karşılaştırılması ve sabit katsayıların yeniden belirlenmesi gerekmektedir.

Dünyada geliştirilen ve kullanılan birçok bitki-iklim modeli bulunmaktadır. Yapılmış olan bu modeller, bitki cinsine göre çeşitlilik gösterir ve her modelde, sonuca ulaşmak için hesap yapılırken göz önünde bulundurduğu işlemler bulunmaktadır. WOFOST modeli de bahsedilen bitki iklim modellerinden biridir.

İlk bitki-iklim modeli de, Brouwer ve Wit tarafından 1969'da tamamlanmıştır. zamanla teknolojik gelişmelerin ardından bitki iklim modelleri üzerinde çalışmalar üniversitelerde ve araştırma merkezlerinde hızını arttırmıştır (Çaldağ ve Şaylan, 2005).

Dünya çapında artan gıda ihtiyacı ile birlikte bitki iklim modelleri üzerine yapılan araştırmalar ivmeli bir artış göstermektedir. Bunlardan bir kısmı günümüzde de halen kullanılmaktadır, WOFOST ta bu modellerden biridir.

Dünyada WOFOST kullanılarak yapılan çalışmaların büyük bölümünde, diğer bitki iklim modelleri ile WOFOST'un performanslarının kıyaslanması söz konusudur. Çalışma yapılan arazi için modellerin kullanılabilirliği, dolayısı ile güvenilirliği test edilmiştir (Palosuo ve diğ., 2011).

Rojas (2007) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, mısır bitkisi için arazi ölçümleri ve elde edilmesi bakımından avantaj sağlayan uzaktan algılama verileri kullanılarak WOFOST çıktılarının gerçek verimle arasındaki ilişki tespit edilmiştir. Bu sistem kullanılarak mısır bitkisine ait verim için kullanışlı bir yaklaşım elde edilmiştir.

Wen-xia ve diğ. (2006) yaptıkları araştırmada ise, çeltik üretiminde verim tahmini için WOFOST'tan yararlanılmıştır. Simülasyon verileri kullanılmaya başlamadan önce modelin kalibrasyonu yapılmıştır. WOFOST modeline ait çıktılarının kullanılabilirliği bir kez daha ön plana çıkartılmıştır.

Yano ve diğ. (2005) yaptıkları araştırmada, Adana ili için söz konusu iklim değişikliğinin mısır ve buğday verimine etkisi incelemiştir, ayrıca biyokütle, BDG (büyüme derece gün) değerleri belirlenmiştir. Yapılan araştırmada WOFOST ile birlikte diğer bir bitki iklim modeli olan SWAP kullanılmıştır.

Meksika'da 15 yıllık gelişme dönemleri boyunca iki farklı bölge için verim değerleri gerçek verim değerleri ile karşılaştırılmış ve korelasyon katsayıları 0.87 ve 0.72 olarak bulunmuştur (Lobell ve diğ.. 2005; Çaldağ, 2000).

Wu ve diğ. (2006) tarafından yapılan bir araştırmada WOFOST'un kalibrasyonu yapılmış, buğday bitkisi için verim ve LAI çıktıları değerlendirilmiş, çalışma yapılan arazi için potansiyel verim değerleri belirlenmiştir.

WOFOST kullanılarak yapılan en önemli çalışmalardan biri de Eitzinger ve diğ. (2003) tarafından hazırlanmıştır. Yapılan çalışmada WOFOST, CERES ve SWAP bitki iklim modelleri kullanılmış farklı bitki ve toprak türleri için toprak su içeriği belirlenmiştir. Bu şekilde bitki ve toprak türlerine göre, bitkinin gelişme dönemi boyunca su ihtiyacının optimum şeklide karşılanması mümkün olmuştur. Bu durumda sulama politikalarının da yeniden gözden geçirilmesi, yapılan araştırmanın sonuçlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Türkiye'deki bitki-iklim modelleri ile ilgili çalışmalar, dünyada yapılan bitki-iklim modelleri ile ilgili çalışmalarla kıyaslandığında yeterli sayıda değildir. Bu durumun en önemli sebebi ise ülkemizde, modellerde gerekli olan girdi ve bilhassa çıktı verilerine ait ölçümlerin uzun süreli kayıtları konusundaki eksiklikleridir. Ülkemizin bu konudaki eksikliklerini gidermenin en iyi yolu ise gerekli yerlerde tarımsal meteoroloji istasyonu ağlarının kurulmasıdır (Çaldağ, 1997). Ülkemizde bu tür istasyonlar ve dolayısıyla istasyon ağları oldukça sınırlıdır.

İklim değişiminin, bitki gelişimine ve verimine etkisinin incelenmesinde toprak-bitki atmosfer yapısının bir sistem olarak ele alınması gerektiği, bu amaçla kullanılan bitki-iklim modellerinin de yine sistematik ve karşılıklı kullanılarak sonuçların yorumlanmasının önemli olduğu birçok çalışmada belirtilmiştir (Squire ve Unsworth, 1988; Porter, 1990; Şaylan ve Çaldağ, 1999; Çaldağ, 2000; Koç ve diğ., 2011).

Şaylan ve diğ. (1994), yaptıkları bir çalışmada, modellerin tarımsal kuraklığın analizinde kullanılma imkanlarını belirlemiştir, yine Şaylan ve diğ. (1995) tarafından yapılan araştırmada küresel iklim değişikliğinin bitki gelişimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Eitzinger ve Şaylan (1995) tarafından modellerde kullanılacak olan verilerin ölçüm noktalarının, sonuçlara etkileri araştırılmıştır. Sezen (1993) ve Sezen ve diğ. (1998) CERES-Wheat modelini su-verim ilişkilerinin tespiti amacıyla Çukurova şartlarında test etmiştir. Köksal (1995), CERES-Maize modelini kullanarak yağışın mısır bitkisi üzerindeki etkilerini belirlemiştir. Evsahibioğlu ve Benli (1998), EPIC modeli ile verim tahmini üzerinde çalışma yapmıştır. Durak ve Şaylan (1997, 1998) tarafından CRPSM ile CERES-Maize modelleri ile iklim değişikliği senaryoları için mısır verimi modellenmiştir. Şaylan ve Özen (1997) tarafından yapılan bir çalışma ile

özellikle çevresel değişimin tarımsal meteorolojik etkilerinin modellerle nasıl belirleneceği ortaya konmuştur (Çaldağ, 2000).

Kadıoğlu ve diğ., (1998) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada küresel iklim değişikliğinin Türkiye'deki bitki gelişme dönemlerine etkileri incelenmiştir. Şen (2009) tarafından, Seyhan Havzası'nda olası iklim değişikliğinin etkileri belirlenmiştir. Yapılan araştırmanın sonuçlarına göre Seyhan Havzası'nda yıllık toplam yağış miktarında yaklaşık % 23 oranında azalma ve sıcaklıkta 2.3 °C artış öngörülmüştür. Ayrıca Kurak Alanlarda İklim Değişikliğinin Tarımsal Üretim Sistemlerine Etkisi Projesi'ne ait final raporlarında (ICCAP, 2007a, b) mısır ve buğday veriminde azalma görüleceği ifade edilmiştir.

Bunlara ilave olarak, iklimdeki değişimlerin Trakya'da buğday bitkisi üzerindeki etkileri de bitki iklim modelleri kullanılarak simüle edilmiştir (Şaylan ve Çaldağ, 2000; Çaldağ ve Şaylan, 2005).

Şaylan ve Çaldağ (2002), Kırklareli'nde buğdayın sezonluk CO<sub>2</sub> değişimlerine hassasiyetini farklı tahminler için modellemiştir.

Kırklareli'nde bir buğday arazisinde iki yıl süreyle CERES-Wheat ve SIMWASER modelleri uygulanmış, CERES-Wheat'in özellikle CO<sub>2</sub> ve güneş radyasyonuna karşı hassas olduğu ve SIMWASER'in de yağışa karşı daha duyarlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Çaldağ ve Şaylan, 2005).

Ayrıca Palosuo ve diğ. (2011) de farklı modelleri kullanarak Avrupa'da çeşitli iklimlere sahip yerlerde kışlık buğdayın verimini ve gelişimini simüle etmişlerdir.

Özetle, yakın zamanda, ülkemizde bitki-iklim modellerini geliştirmek ve gerekli veri alt yapısını oluşturmak, ancak zaman ve emek gerektiren bir gelişim süreci ile mümkün olabilir. Bununla birlikte bitki iklim modelleri kullanılarak yapılan çalışmaların sayısı her geçen gün artmaktadır.

Daha önce de belirtildiği gibi bütün bitki iklim modellerinde olduğu gibi WOFOST'ta da modelin kullanımı öncesinde yapılması gereken en önemli çalışma modelin çalışma yapılan bölgeye adaptasyonu ve kalibrasyonudur.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1 Materyal

Modelde hassasiyet analizi yapılırken kullanılan meteorolojik, toprak ve bitkiye ait veriler, “İklim Değişiminin Bitki Gelişimine Olası Etkilerinin Bitki Gelişimi Modelleri ile İncelenmesi” isimli “108O567” numaralı TÜBİTAK, COST Araştırma Projesi kapsamında, TAGEM Kırklareli Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü’nün (KATSTMAI) uygulama arazisinde feç mesafeleri de dikkate alınarak kurulan tam otomatik ölçüm istasyonundan alınmıştır. Ölçüm istasyonunda farklı seviyelerde toprak su içeriği (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm), toprak ısı akısı ve sıcaklığı, toprak üstünde ise farklı yüksekliklerde net ve toplam güneş radyasyonu, hava sıcaklığı ve nemi, rüzgar şiddeti ve yönü, yağış değerleri düzenli aralıklarla ölçülerek kaydedilmiştir (Koç ve diğ., 2011). Uygulama arazisi yaklaşık olarak 80 da büyüklüğündedir. 9 Ekim 2009 tarihinde ekilen buğday bitkisi, 6 Temmuz 2010 tarihinde hasad edilmiştir. Gelişme dönemi 271 günde tamamlanmıştır. Gelişme döneminde arazide ölçülen buğday bitkisinin maksimum LAI değeri 3.7, toprak üstü biyokütle değeri 21333 kg/ha ve verim 5191 kg/ha’dır.

Şekil 2.1’de Kırklareli Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü’nde kurulan uygulama arazisindeki meteorolojik ölçüm istasyonuna ait bir fotoğraf görülmektedir.



**Şekil 2.1:** TAGEM KATSTMAI’unda kurulan ölçüm istasyonuna ait bir görüntü.

Aynı uygulama arazisinde buğday bitkisinin konumlanmasına ait görüntü ise Şekil 2.2’de görüldüğü gibidir.



**Şekil 2.2:** Uygulama arazisinde kışlık buğday bitkisinin ekildiği tarlanın konumu

Arazi için bölgede en fazla ekimi yapılan buğday tipi seçilmiş, daha önce aynı tarlada yetiştirilen bitki ile ilgili bilgiler elde edilmiş ve deneme süresince gerekli kayıtlar tutulmuştur. Çizelge 2.1’de Tarımsal Faaliyetler ve ekilen buğday bitkisine ait bilgiler görülmektedir.

**Çizelge 2.1:** Buğday bitkisinin özellikleri (Şaylan ve diğ., 2010b).

<b>BITKİ</b>	<b>BUĞDAY</b>
Bitki Çeşidi	Gelibolu
Ekilen tohum (kg/da)	18
Ekilen tohum sayısı (adet)	487540
Tohum sayısı (adet/m <sup>2</sup> )	488
1000 dane ağırlığı (g)	36.94
Çıkan tohum sayısı (adet/m <sup>2</sup> )	354
Çimlenme yüzdesi (%)	72.6
Tarlada buğday’dan önce ekilen bitki	Ayçiçeği
Ekim Tarihi	9.10.2009
Ekim Tipi	Mibzerle Sıraya
Ekim Derinliği (cm)	5 – 6 cm
Çıkış tarihi	17.10.2009
Hasat Tarihi	06.07.2010

Çizelge 2.2’de ise ekilen buğdaya uygulanan gübreleme ve ilaçlama işlemlerine ait bilgiler bulunmaktadır.

**Çizelge 2.2:** Arazide uygulanan gübreleme ve ilaçlama işlemlerine ait bilgiler (Şaylan ve diğ., 2010a)

<b>GÜBRELEME</b>	<b>UYGULAMA TARİHİ ve MİKTARI</b>	
Üre (Ekimle birlikte saçılarak)	09.10.2009	10 kg/da
Üre (fırfırla ve elle saçılarak)	03.03.2010	15 kg/da
Amonyum nitrat (Fırfırla saçılarak)	08.04.2010	25 kg/da
<b>İLAÇLAMA</b>		
Feramin (herbisit-1.5 lt/depo)	26.11.2009	21 lt/da
Coltacon (Fungusit)	02.03.2010	100 ml/da
Duett Ultra (Fungusit)	05.05.2010	60 g/da
<b>GÜBRELEME</b>	<b>UYGULAMA TARİHİ</b>	
Üre (Ekimle birlikte saçılarak)	09.10.2009	10 kg/da
Üre (fırfırla ve elle saçılarak)	03.03.2010	15 kg/da
Amonyum nitrat (Fırfırla saçılarak)	08.04.2010	25 kg/da

1080567 No'lu TÜBİTAK 1001 Projesi kapsamında; kullanılan aletlerin bir kısmına ait marka ve modeller Çizelge 2.3'te görülmektedir.

**Çizelge 2.3:** Proje kapsamında kullanılan aletler (Şaylan ve diğ., 2010b).

<b>ALET İSMİ</b>	<b>MARKASI</b>	<b>MODELİ</b>
Fotosentetik aktif radyasyon sensörü	LI-COR	LI190SB Quantum Sensor
Net Radyometre	Kipp&Zonen	NR LITE
Yağış Ölçer	Texas Institut	TE525 Tipping Bucket Rain Gage
Toprak su içeriği ölçer	CampbellScientific	CS616 Water Content Reflectometers
Nem ve Sıcaklık Sensörleri	Rotronic InstrumentCorp	Hygromer MP100A
Anemometre	NRG Systems	NRG #40C Anemometer
Jüriet	NRG Systems	NRG #200P WindDirectionWane
Yaprak Alan İndeksi Ölçer	LI-COR	LAI-2000 PlantCanopy Analyzer

Şekil 2.3'te arazide gelişme dönemi boyunca ölçülen değerlerin günlük ortalamalarının bulunduğu dosyalardan bir örnek görülmektedir.

Ek A1'de ise, farklı zamanlarda arazide yapılan çalışmalara ait fotoğraflar bulunmaktadır.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	H_SICAKLIK	H_SICAKLIK	21H_SICAKLIK	H_NEM_2M	H_NEM_2M	H_NEM_2M	H_NEM_2M	H_SICAKL	H_NEM_3	GLB_RAD	NET_RAD	TargTemp	shft_Avg(1)	shft_Avg(2)
2														
3	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg
4	25.09.2009	21,03	26	15,39	58,49	69,2	32,07	21,02	59,27	161,4	62,95	23,37	-5,75	0,07
5	26.09.2009	17,36	23,45	10,51	73,03	91,1	49,87	17,39	72,67	190,5	69,36	19,48	-5,75	0,07
6	27.09.2009	15,87	21,56	10,58	73,2	94,4	49,84	15,92	72,86	160,1	49,21	17,03	-9,39	-4,32
7	28.09.2009	15,6	21,49	9,29	67,8	97	40,06	15,65	67,53	218,3	77,67	18,96	-3,95	0,22
8	29.09.2009	14,78	23,63	6,476	71,94	97,8	41,28	14,93	71,29	217	77,1	16,72	0,1	6,16
9	30.09.2009	16,94	26,2	8,54	66,69	96,2	32,4	17,08	65,98	171,7	59,42	19,11	0,37	4,23
10	01.10.2009	18,57	26,65	11,19	61,73	86,4	31,59	16,65	61,12	193,6	69,63	21,23	5,99	11,14
11	02.10.2009	18,16	26,58	10,50	67,51	91,2	33,49	18,2	67,06	200,2	71,1	20,54	1,19	5,56
12	03.10.2009	18,79	24,71	14,48	77,15	96,4	44,2	16,84	76,64	116,4	26,86	20,35	-0,94	0,91
13	04.10.2009	17,19	19,93	14,2	94,2	99,6	79,51	17,22	93,8	52,69	1,362	18,29	-7,14	-8,46
14	05.10.2009	16,95	22,5	12,37	85,5	99,7	56,4	16,92	86,1	124,9	62,44	17,92	-5,39	-3,72
15	06.10.2009	16,8	23,69	10,98	77,81	99,5	49,53	16,91	77,17	198,6	50,2	16,3	-5,76	-0,7
16	07.10.2009	16,97	25,53	8,96	64,62	92,8	34,1	17,04	64,23	194,1	60,3	15,96	-2,53	4,82
17	08.10.2009	16,23	25,22	8,37	69,8	96,2	37,36	16,37	68,88	192	77,12	16,47	-0,71	5,96
18	09.10.2009	16,86	26,1	9,32	73,66	97,8	37,15	16,8	72,86	167,7	74,19	17,6	1,26	6,6
19	10.10.2009	18,24	26,51	10,65	70,65	97,9	35,66	18,3	70,32	184,8	69	18,97	2,96	7,11
20	11.10.2009	16,95	25,22	9,22	76	99,5	41,63	17,08	75,53	166,3	64,83	16,32	-0,31	4,76
21	12.10.2009	16,91	24,54	10,58	80,7	98,7	52,94	16,96	80,4	143,3	48,72	17,39	-3,95	0,08
22	13.10.2009	16,41	24,61	8,27	81,6	97,2	52,77	16,48	81,2	96,43	-2,069	15,82	-10,51	-10,63
23	14.10.2009	9,22	12,81	3,798	66,2	92,9	35,99	8,32	65,43	137,2	33,7	9,22	-23,36	-19,3
24	15.10.2009	9,33	14,71	2,761	73,68	88,2	56,36	9,42	73,47	90,13	1,946	8,41	-14,79	-10,13
25	16.10.2009	14,01	16,17	11,26	93,5	99,5	83,6	14,06	93,2	27,89	-3,965	13,45	1,04	2,41
26	17.10.2009	11,96	14,64	9,9	93,9	98,6	90	12	93,6	26,45	-6,05	12,85	-8,48	-7,87
27	18.10.2009	14,33	18,91	11,79	92,7	99,4	80,7	14,35	92,4	55,2	-7,34	13,87	0,1	1,06
28	19.10.2009	17,49	23,39	13,08	83,5	96,7	54,84	17,53	82,8	144,4	68,34	16,13	12,62	6,52
29	20.10.2009	15,85	21,63	10,34	82,9	96,4	61,35	15,9	82,2	141,7	96,99	14,81	-2,35	-1,06
30	21.10.2009	13,38	18,61	8,62	77,56	97,4	50,64	13,42	76,98	153,8	55,67	13,82	-9,98	-4,36
31	22.10.2009	12,65	19,05	7,934	80,2	96,3	47,92	12,71	79,44	164,2	57,94	13,32	-9,99	-5,26
32	23.10.2009	14,10	20,06	8,76	83,3	99,3	49,39	14,36	83,8	163,4	67,84	14,67	0,36	0,17

Şekil 2.3 Arazide ölçülen değerlere ait günlük veri dosyası

## 2.2 Metod

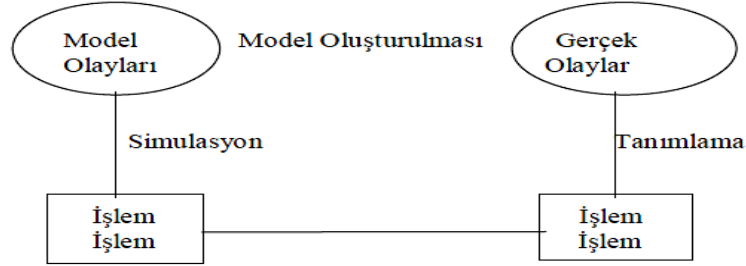
### 2.2.1 Model Kavramı

Model, bir sistemin bütün bileşenlerinin tamamen belirli varsayımlar ve katsayılar yardımı ile ampirik formüller yardımı ile açıklanması ve gelecek için tahminler yapılabilmesi şeklinde tanımlanabilir. Modelde asıl amaç “eğer... olursa ne olur?” sorusuna yanıt bulmaktır (Pennig de Vries ve diğ., 1989). Modeller yardımı ile modellenen konunun, nesnenin ya da durumun karmaşık yapısına daha temel ve basit yaklaşımlar yapılabilir. Modelin kullanılabilirliği tamamen gerçeğe ne kadar yakınsadığına bağlıdır. Modelleri kullanabilmek için öncelikle verilerin gerekli işlemlerden geçirilmesi, veri analizi ve istatistik yöntemlerin kullanılması ile verilerin tamamlanması gerekir. Yanlış ölçülen veri, modelden elde edilen sonuçlarda da hatalara neden olur.

Modeller, günümüzde hemen hemen bütün alanlarda kullanılmaktadır. Tarımsal meteoroloji bu alanlardan biri ve belkide ülkemiz için en önemlisidir. Bitki iklim modellerinin tarımsal faaliyetlerdeki önemi oldukça fazladır. Bitki iklim modellerinde amaç, meteorolojik parametrelerdeki değişimlerin bitki veriminde ve bitkinin gelişimindeki etkilerini öngörebilmektir. Genel olarak açıklamalı ve tanımlamalı olmak üzere iki grupta bitki iklim modelleri sınıflandırılabilir.

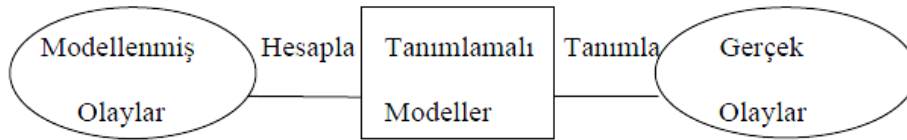


Açıklamalı modellerde, bitki bir bütün olarak ele alınır. Bitkiyle bağlantılı gerçekleşen bütün olaylar (fotosentez, buharlaşma, yaprak alan indeksi, solunum vs.) modelleme sırasında tanımlanır ve işlem yapılır. Şekil 2.4'te açıklamalı modeller için akış şeması görülmektedir.



**Şekil 2.4:** Açıklamalı modellerde akış şeması (Penning de Vries ve diğ., 1989; Çaldağ, 2000).

Tanımlamalı modellerde, açıklamalı modellere göre bitkide gözlenen olaylar daha genel ve detaysız olarak açıklanır. Bitkide gelişen reaksiyonlara çok az değinilir. Bitki çevresinde gelişen reaksiyonlar bölgesel olarak farklılık gösterir Bu nedenle tanımlamalı modellerde, bölgeye göre uyum söz konusu olamaz ve her tanımlamalı model ancak inceleme bölgesinde fayda sağlar (Çaldağ, 1997). Şekil 2.5'te tanımlamalı modeller için akış şeması görülmektedir.



**Şekil 2.5:** Tanımlamalı modellerde akış şeması (Penning de Vries ve diğ., 1989; Çaldağ, 2000).

Bitki-iklim modellerinin amaçları;bitki gelişim evrelerinin detaylı olarak incelenmesi ve tanınması, bitki gelişiminin aşamalarının ve verimin tahmini, toprak, bitki ve atmosfer parametrelerinin bitki gelişimine olan etkilerinin belirlenmesi, eğitim sisteminin geliştirilmesi, tarımsal politik kararların alınması için yol gösterici olmasıdır.

Pratikte ise bitki iklim modelleri bitkilerin veriminin, ekim tarihlerine göre potansiyel üretim miktarının, bitkinin su kısıtlı üretimdeki verim değeri ile potansiyel

üretim değerlerinin kıyaslanması, olası iklim değişikliğinin bitkiye etkilerinin belirlenmesi ve önlemlerin alınması, dışarıdan müdahale ile verimde elde edilebilecek artışın belirlenmesi, üretimin yapıldığı tarım arazisi için en uygun bitki türünün belirlenmesi gibi amaçlar için kullanılmaktadır (Çaldağ,1997).

### **2.2.2 WOFOST Bitki İklim Modeli**

WOFOST Wageningen Tarım Üniversitesi, Üretim Ekolojisi Teorisi (WAU-TPE), Dünya Gıda Çalışmalar Merkezi (CWFS) ve Agrobiyolojik Araştırma Merkezi işbirliği ile hazırlanmış bir bitki gelişimi simülasyon modelidir ve Wageningen Üniversitesi'nden temin edilmiştir. WOFOST, açıklamalı bir modeldir. Diğer açıklamalı modellerde olduğu gibi bitki bir bütün olarak ele alınır ve hesaplamalar bütün süreçler göz önünde bulundurularak yapılır (Özkoca, 2009).

WOFOST 4.1, 1988 yılında C.A. Van Diepen, C. Rappoldt, J. Wolf and H. Van Keulen tarafından hazırlanmıştır. WOFOST 6.0 Joint Research Center (JRC) European Commission, Italy (MARS project: Monitoring Agriculture with Remote Sensing) için hazırlanmıştır. WOFOST 7.1 deki en önemli değişiklik ise kullanıcıya kullanım kolaylığı sağlayan WOFOST Control Center (WCC)'in kullanılmaya başlanmasıdır (Boogaard ve diğ., 1998).

WOFOST, tek yıllık bir bitkinin, verilen toprak ve atmosfer koşullarında büyümesini tahmin eder. Bitki gelişiminin simülasyonu eko-fizyolojik süreçlere bağlıdır. Ana süreçler, fenolojik gelişim, CO<sub>2</sub> asimilasyonu, terleme, solunum, asimilasyonun organlara göre dağılımı ve kuru madde oluşumudur. Potansiyel üretim, gübre ve su limitli üretim hesaplanabilir;

Birinci durumda, toprak su içeriği tarla kapasitesi seviyesinde ise potansiyel üretim miktarına ulaşılır. İkinci durumda ET ve perkolasyonun, kullanılabilir su miktarına etkisi incelenir (kullanılabilir su içeriği azaldıkça, üretim de azalacaktır). Üçüncü durumda ise sadece perkolasyon ve toprak su içeriğinin etkisi değil, gübrenin etkisi de incelenir.

Üretimi azaltan faktörler, diğer bitki-iklim simülasyon modellerinde olduğu gibi WOFOST'ta da dikkate alınmamıştır. Ayrıca sadece makro gübreler modellemede hesaplamalara dahil edilmiştir. WOFOST dahilinde kullanılmak üzere geliştirilmiş birçok ara model söz konusudur. Bunlardan en önemlisi, bitkilerin kalibrasyonunun

sağlanması için kullanılan FSEOPT'tur. WOFOST kodlarına ulaşılabilen, açık kaynak kodlu bir modeldir (Supit ve diğ., 1994).

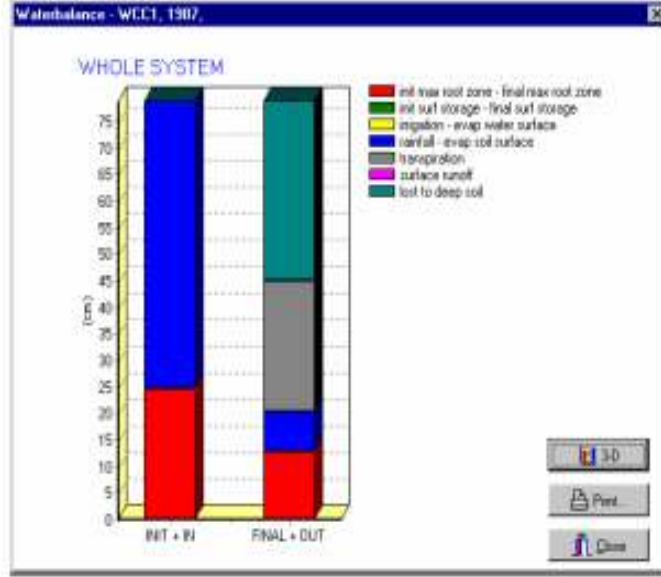
Modelde girdi parametreleri ya WCC üzerinden ya da .tim, .sit, .rer, .dat uzantılı dosyaların girilmesiyle modele aktarılır. Gerçekte, verim ekolojik, teknolojik, sosyo-ekonomik faktörlerin sonucu olarak değişiklik gösterir. Fakat WOFOST'ta sadece ekolojik faktörler ve optimum tarımsal yönetim şartları göz önünde bulundurularak hesaplamalar yapılır. Verimdeki risk, yıllar arasındaki verim değişikliği, toprak tiplerine ve agro-hidrolojik şartlara göre verim değişikliği, ekim stratejileri, iklim değişikliğinin etkileri, ürün maksimizasyonu, maksimum verim için alansal yaklaşımlar, bölgesel verim tahmini gibi çalışmalar yapmak için WOFOST iyi bir yardımcı niteliğindedir.

Modelin çıktı kalitesi tamamen girdi parametrelerinin güvenilirliğine bağlıdır. Aktif olarak kullanılmaya başlamadan önce spesifik verilerin elde edilip kalibrasyonun çalışma yapılan alana göre yapılması gerekir. Diğer modellerde olduğu gibi WOFOST'ta da karşılaşılan en büyük sorun gelişme dönemindeki sonuçlar ile verimin orantılanmasıdır. Günlük CO<sub>2</sub> asimilasyon oranı absorblanan radyasyon ve yaprak alanı ile hesaplanır.

Model çalıştırıldığında, sonuçlar özet halde ve detaylı bir biçimde görüntülenebilmektedir.

WOFOST Control Center (WCC) açıldığında karşılaşılan ilk ekranda, simülasyon yapılacak bitkiye ait bilgilerin girileceği kısımlar bulunur. “general (genel)”, “crop (bitki)”, “weather (hava)”, “soil (toprak)” bilgileri modele eklenir. “General data” bölümünde simülasyonun potansiyel, su limitli ya da gübre limitli olup olmayacağı bilgileri girilir. Kök ve gövdedeki toprak suyu dengesine ait bilgilerin istenip istenmediği de bu kısımda seçilir. “Crop data” kısmında ise yılın günlerine göre ekim ve hasat tarihleri girilir. Soldaki bölmede modelin kullanılabileceği bitkilere ait liste görülmektedir. “Weather data” bölümünde yağış bilgilerinin günlük veya aylık şekilde girileceği belirtilir. “Soil data” bölümünde uygulama yapılabilecek toprak tiplerine ait liste bulunmaktadır. Drenaj derinliği, yüzey depolama miktarı (ilk ve maksimum), yer altı suyu miktarı gibi bilgiler yer alır. WOFOST'ta “Nutrient (gübre) data” bölümünde ise azot, potasyum ve fosfor miktarı kg/ha biriminde yer alır.

Potansiyel ve limitli üretimlerin çıktılarının detaylı bir biçimde ya da özet halde alınması mümkündür. Çıktılara ait grafikler WOFOST kullanılarak elde edilebilir. Yukarıda belirtildiği üzere, kök bölgesine ve bütün sisteme ait su dengesi de WOFOST ile hesaplanabilir. Şekil 2.6'da WOFOST ile hesaplanan su dengesine ait bilgiler görülmektedir.



**Şekil.2.6:** WOFOST ile hesaplanmış su dengesi çıktıları.

Modelden elde edilen özet ya da detaylı çıktılar, Excel dosyasına dönüştürülebilmektedir. WOFOST, MS DOS modunda da kullanılabilir. Modelde çıktı dosyaları olarak özet ve detaylı biçimde çeşitli dosyalar bulunur.

WOFOST, disiplinler arası çalışma ile oluşturulmuş bir simulasyon modelidir. Aynı zamanda, modelin kullanımı esnasında da farklı modellerden faydalanılmaktadır. Model her geçen zaman geliştirilmekte olup, gerçeğe en yakın sonuçlara ulaşılmaya çalışılmaktadır.

### 3. MODELİN TEST EDİLMESİ

İlk aşamada modelin verim ve yaprak alan indeksi (LAI) tahminlerinin gerçek değerler ile karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu nedenle 108O567 TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında 2009-2010 gelişme dönemi boyunca kışlık buğday bitkisi üzerinde yapılan meteorolojik, bitki ve toprak ölçüm ve gözlem verileri kullanılmıştır. Model kullanılarak elde edilen modellenmiş sonuç kalibre edilerek gerçeğe yakın sonuçların belirlenmesi amaçlanmıştır.

#### 3.1 Modelin Çalıştırılması

Çalışmada hedef doğrultusunda model çalıştırılırken kullanılacak parametreler daha önce bahsedildiği gibi ölçülmüş ve verilerin istatistik analizi yapılmıştır. Çizelge 3.1’de gelişme dönemi boyunca buğday bitkisinin bulunduğu alanda ölçülen meteorolojik parametrelere ait değerler görülmektedir.

Buğday bitkisinin 271 günlük gelişme döneminde ortalama hava sıcaklığı 11 °C ve en yüksek ortalama hava sıcaklığı da 27.2 °C olarak ölçülmüştür. Maksimum hava sıcaklığı 37.1 °C ve minimum hava sıcaklığı da -13.7 °C olarak belirlenmiştir.

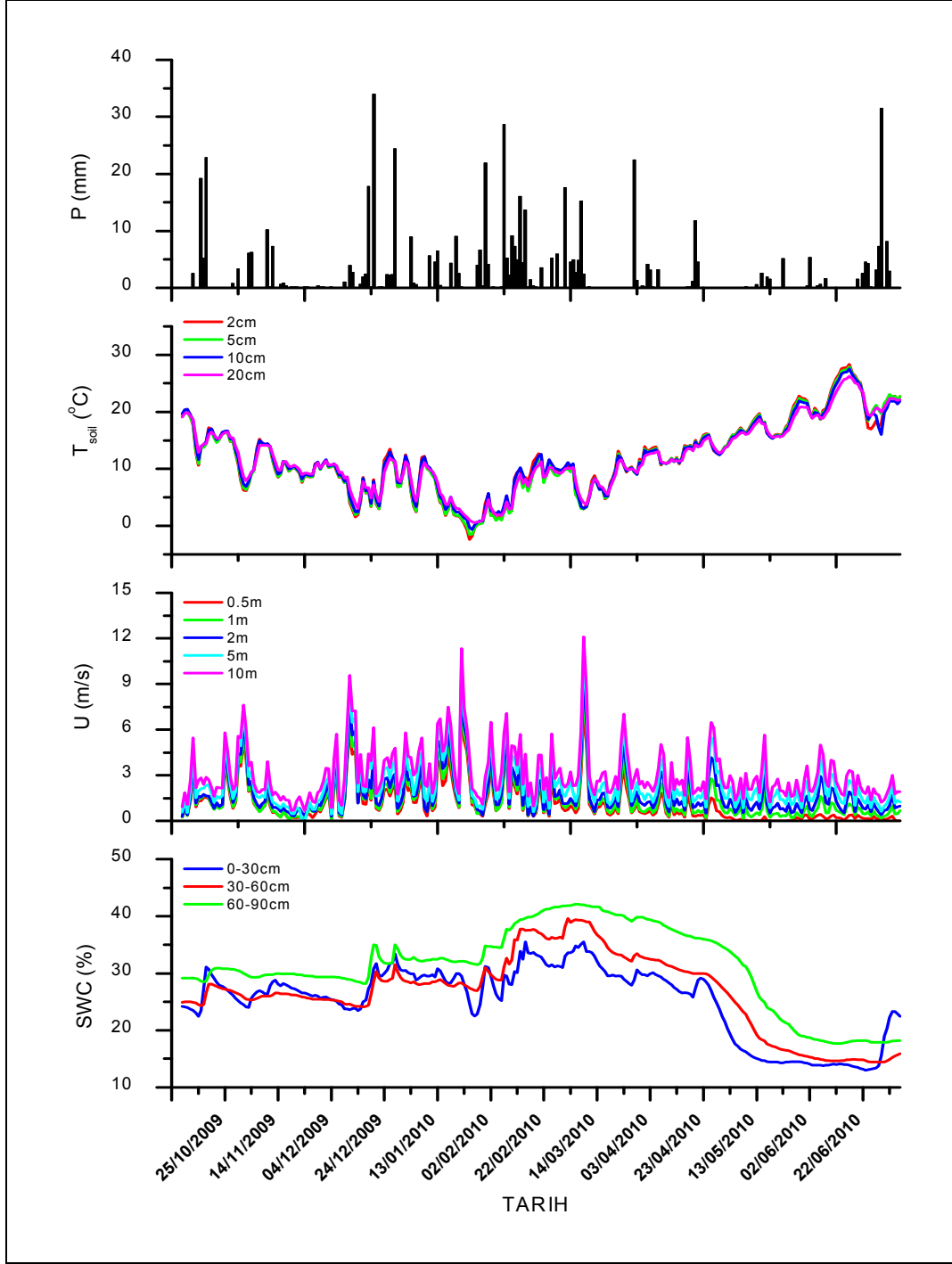
2 m’deki ortalama bağıl nem % 77.7 iken, gündüz saatlerindeki ortalama net radyasyon 145.8 W/m<sup>2</sup>, ortalama maksimum yüzey sıcaklığı 27.7 °C, ortalama minimum yüzey sıcaklığı -13.4 °C’dir. Ortalama toprak ısı akısı gece -2.1 W/m<sup>2</sup>, gündüz 15.7 W/m<sup>2</sup>’dir. 0-30 cm’de ortalama toprak su içeriği % 25.2, 30-60 cm’de % 26.6, 60-90 cm’de % 31.2’dir. 2m’deki ortalama rüzgar hızı 271 günlük gelişme dönemi boyunca 0.3 ile 9.7 m/s arasında değişmiştir. Aynı gelişme döneminde ölçülen 2, 5, 10 ve 20 cm derinlikteki ortalama toprak sıcaklıkları da sırası ile 12 °C, 11.9 °C, 12 °C ve 12 °C’dir. Ayrıca gelişme dönemi boyunca ölçülen toplam yağış 560.7 mm’dir.

**Çizelge 3.1:** Buğday'ın (2009- 2010 dönemi) ekimden hasada kadarki döneminde ölçülen de ğerlerin bazı istatistiki bilgileri (Şaylan ve diğ., 2010a).

Veri	Ortalama	Maksimum	Minimum	Standart Sapma
Ortalama hava sıcaklığı (2m'deki) (°C)	11.0	27.2	-10.8	7.2
Maksimum hava sıcaklığı (2 m'deki) (°C)	16.4	37.1	-7.0	8.5
Minimum hava sıcaklığı (2 m'deki) (°C)	6.0	20.2	-13.7	6.3
Ortalama bağıl nem (2 m'deki) (%)	77.7	99.4	44.9	11.4
Maksimum bağıl nem (2 m'deki) (%)	94.1	99.7	70.9	5.4
Minimum bağıl nem (2 m'deki) (%)	55.2	99.2	19.1	18.0
Ortalama hava sıcaklığı (3 m'deki) (°C)	11.1	27.2	-10.6	7.2
Ortalama bağıl nem (3 m'deki) (%)	77.1	99.7	43.7	11.7
Ortalama global radyasyon (W/m <sup>2</sup> ) (Rg>0)	272.7	582.1	19.4	161.2
Ortalama Net radyasyon (W/m <sup>2</sup> )	61.2	207.2	-32.7	65.5
Ortalama Net radyasyon (W/m <sup>2</sup> ) (Gündüz)	145.8	349.4	-32.7	107.3
Ortalama Yüzey sıcaklığı (°C)	10.4	27.7	-13.4	7.4
Ortalama Toprak Isı Akısı (1) (W/m <sup>2</sup> )	-2.1	37.0	-38.8	11.6
Ortalama Toprak Isı Akısı (1) (W/m <sup>2</sup> ) (Gündüz)	15.7	58.0	-42.5	16.4
Ortalama Toprak Isı Akısı (2) (W/m <sup>2</sup> )	-0.6	15.3	-19.3	6.2
Ortalama Toprak Isı Akısı (2) (W/m <sup>2</sup> ) (Gündüz)	9.9	53.2	-18.7	9.8
Ortalama Toprak Su İçeriği (0-30 cm) (%)	25.2	35.5	13.0	6.3
Ortalama Toprak Su İçeriği (30-60 cm) (%)	26.6	39.6	14.4	6.9
Ortalama Toprak Su İçeriği (60-90 cm) (%)	31.2	42.1	17.7	7.2
Ortalama Rüzgar hızı (0.5 m'de) (m/s)	1.1	8.2	0.0	1.3
Ortalama Rüzgar hızı (1 m'de) (m/s)	1.4	8.9	0.1	1.4
Ortalama Rüzgar hızı (2 m'de) (m/s)	1.8	9.7	0.3	1.5
Ortalama Rüzgar hızı (5 m'de) (m/s)	2.4	11.1	0.0	1.7
Ortalama Rüzgar hızı (10 m'de) (m/s)	3.1	12.1	0.7	1.8
Ortalama Toprak Sıcaklığı (2cm) (°C)	12.0	28.4	-2.4	6.4
Ortalama Toprak Sıcaklığı (5cm) (°C)	11.9	27.9	-1.5	6.5
Ortalama Toprak Sıcaklığı (10cm) (°C)	12.0	27.5	-0.6	6.1
Ortalama Toprak Sıcaklığı (20cm) (°C)	12.0	26.2	0.5	5.9
Yağış	560.7			

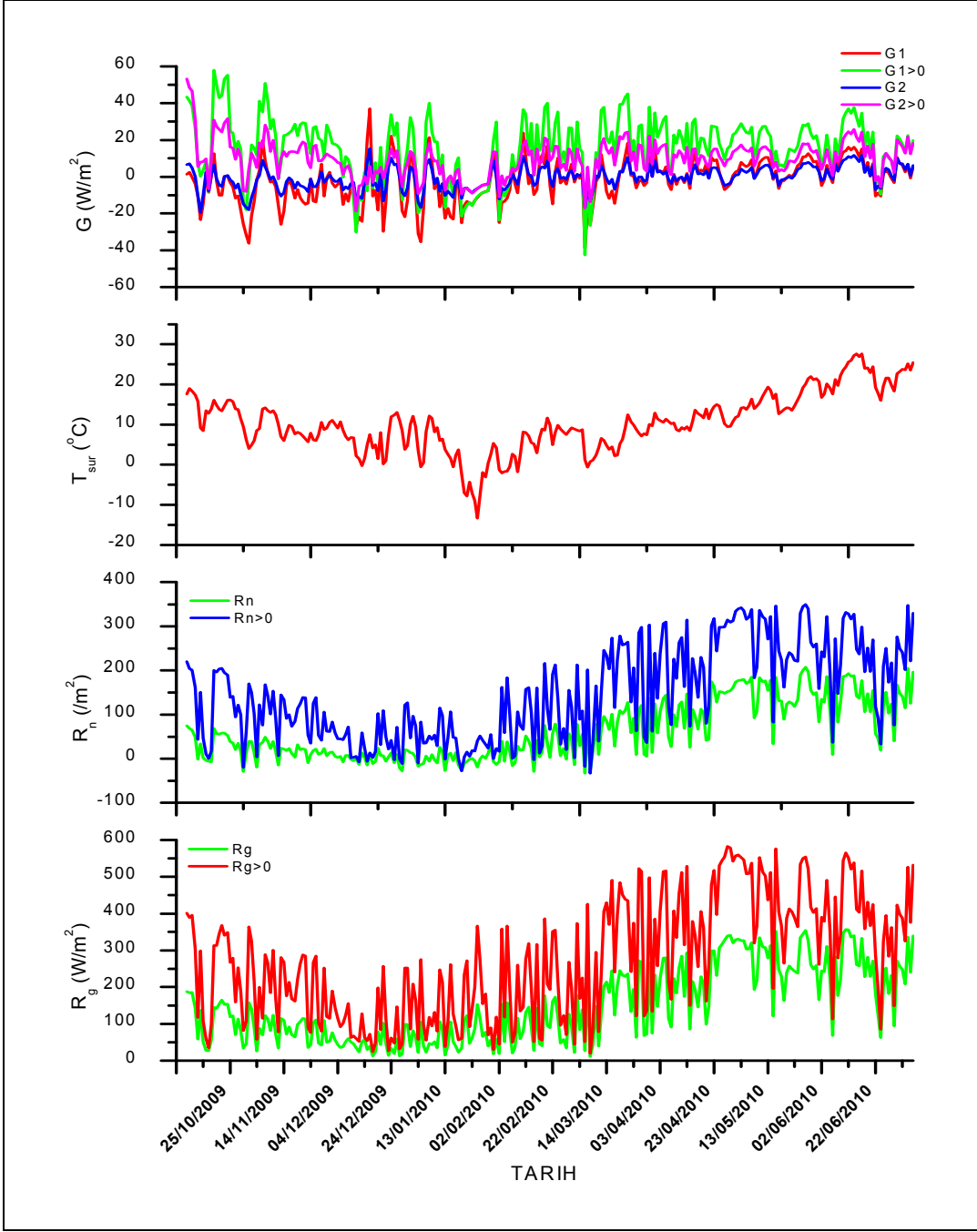
Çizelge 3.1'deki de ğerler gelişme dönemindeki ölçülen meteorolojik parametrelerin istatistiki sonuçlarını göstermektedir. Bu verilerin günlük de ğerleri modelde meteorolojik girdi dosyasının hazırlanmasında kullanılmıştır. Şekil 3.1 ve 3.2'de ise gelişme dönemi boyunca ölçülen meteorolojik parametrelerin zaman serisi görülmektedir.

Şekil 3.1'de gelişme dönemi boyunca uygulama arazisinde yapılan yağış, 2, 5, 10 ve 20 cm'deki toprak sıcaklıkları, 0.5, 1, 2, 5 ve 10 m'deki rüzgar hızı, 0-30, 30-60, 60-90 cm'deki topraktaki nem içeriğine ait de ğerler görülmektedir.



**Şekil 3.1:** Arazide ölçülen yağış, toprak sıcaklığı, rüzgar hızı, toprak su içeriğinin zaman serisi (Şaylan ve diğ., 2010a).

Gelişme döneminin başlangıcında toprak su içeriği bitki gelişimini strese sokacak seviyeye inmemiştir. Hasad döneminde bitkinin suya olan ihtiyacı da azaldığı için bu dönemde toprak rutubetinin az olması bitkiyi olumsuz etkilememiştir.



**Şekil 3.2** Arazide ölçülen yer akısı, yüzey sıcaklığı, net radyasyon ve toplam güneş radyasyonunun zaman serisi (Şaylan ve diğ., 2010a).

Şekil 3.2’de belirli seviyelerdeki toprak ısı akısı, yüzey sıcaklığı, net ve toplam güneş radyasyonu ölçümlerine ait zaman serileri görülmektedir. Ölçümler hesaplamaların yapıldığı 2009-2010 gelişme dönemi için yapılmıştır.

Meteorolojik faktörlerin yıl içindeki değişiminin görülebileceği dosyaya ait bir görüntü Şekil 3.3’tedir. Verilerin üst kısmında ölçüm yapılan ülke, istasyon, yıl, kaynak, enlem, boylam ve yükseklik bilgileri bulunmaktadır. Verilerin bulunduğu



kısımdaki ilk sütunda istasyon numarası, ikinci sütunda ölçüm yılı, üçüncü sütunda ölçüm yapılan gün, dördüncü sütununda net radyasyon, beşinci sütunda minimum sıcaklık, altıncı sütunda maksimum sıcaklık, yedinci sütunda buhar basıncı (saat 6:00'daki), sekizinci sütunda ortalama rüzgar hızı ve dokuzuncu sütunda günlük toplam yağış bilgileri bulunmaktadır.

```

Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
-----*
* Country: TURKEY
* Station: Kırklareli, Atatürk Soil and water Sources Research Institute
* Year: 2010
* Source: Atatürk Soil and water Sources Research Institute Site.
* Longitude: 27 13 E
* Latitude: 41 41 N
* Elevation: 127 m.
*
* 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=Kırklareli, Atatürk Soil and water Sources Research Institute
*** WCCFORMAT=2
*** WCCYEARNR=2010
-----*
5.67 51.97 7. -0.18 -0.55
1 2010 1 16217. 9.3 26.1 2.027 0.3 0.0
1 2010 2 15967. 10.9 26.5 2.154 1.0 0.0
1 2010 3 16010. 9.2 25.2 1.965 0.4 0.0
1 2010 4 12381. 10.6 24.5 2.008 1.6 0.0
1 2010 5 5048. 8.3 24.6 1.870 3.8 2.5
1 2010 6 11854. 3.8 12.8 1.095 1.2 0.0
1 2010 7 4331. 2.8 14.7 1.128 1.6 0.0
1 2010 8 2410. 11.3 16.2 1.569 1.6 19.2
1 2010 9 2285. 9.9 14.6 1.428 1.7 5.2
1 2010 10 4769. 11.8 18.9 1.744 1.6 22.8
1 2010 11 12476. 13.1 23.4 2.095 1.6 0.0
1 2010 12 12243. 10.3 21.8 1.828 1.2 0.0
1 2010 13 13288. 8.8 18.8 1.580 0.8 0.0

```

Şekil 3.3: WOFOST'ta meteoroloji parametrelerinin bulunduğu girdi dosyası

```

Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
*** $Id: m01.awc 1.2 1997/09/18 17:33:54 LEM release $
*** file M01.AWC
*** SOIL DATA FILE for use with WOFOST
*** ITU-TUBITAK, COST 734 Project

SOLNAM='texture 1-coarse, AWC=177 mm'

** PHYSICAL SOIL CHARACTERISTICS

** soil water retention
SMW      = 0.167 ! soil moisture content at wilting point [cm3/cm3]
SMFCF    = 0.344 ! soil moisture content at field capacity [cm3/cm3]
SM0      = 0.530 ! soil moisture content at saturation [cm3/cm3]

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

** percolation parameters
K0       = 5.5 ! 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 3.4: WOFOST'ta toprak parametrelerinin bulunduğu girdi dosyası.

Şekil 3.4'te toprak bilgilerini içeren dosyaya ait bir görüntü bulunmaktadır. Bu dosyada ise tarla kapasitesindeki, solma ve doyma noktasındaki toprak su içeriği, doymuş topraktaki hidrolik iletkenlik katsayısı, toprak altındaki maksimum perkolasyon katsayısı, topraktaki derin ve yüzeydeki tohum yatağına ait parametrelere ait veriler bulunmaktadır.

```

Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
** File wwh107.CAB
** WHEAT, WINTER 107
** Regions : TURKEY, Kırkalareli
** mean date of flowering: 10-25 May, mature 5-25 July

** Derived from ITU-COST 734 PROJECT data set for wheat.

** Purpose of application: Crop growth monitoring with agrometeorological
** model in the EC.
** Calibrated in the framework of COST 734 Project.

CRPNAM='winter wheat, Gelibolu Type, Turkey'

** emergence
TBASEM = 0.0 ! lower threshold temp. for emergence [cel]
TEFFMX = 30.0 ! max. eff. temp. for emergence [cel]
TSUMEM = 129. ! 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 =1830. ! temperature sum from emergence to anthesis [cel d]
TSUM2 =1550. ! temperature sum from anthesis to maturity [cel d]
DTSMTB = 0.00, 0.00, ! daily increase in temp. sum
! as function of av. temp. [cel; cel d]
30.00, 30.00,
45.00, 30.00
DVSI = 0. ! initial DVS
DVSEND = 2.00 ! development stage at harvest (= 2.0 at maturity [-])

** initial
TDWI = 210.00 ! initial total crop dry weight [kg ha-1]
LAIEM = 0.0035 ! leaf area index at emergence [ha ha-1]
RGRLAI = 0.007 ! maximum relative increase in LAI [ha ha-1 d-1]

** green area
SLATB = 0.00, 0.00154, ! specific leaf area
! as a function of DVS [-; ha kg-1]
0.50, 0.00154,
2.00, 0.00143
SPA = 0.000 ! specific pod area [ha kg-1]
SSATB = 0.0, 0.0, ! specific stem area [ha kg-1]
! as function of DVS
2.0, 0.0
SPAN = 31.3 ! life span of leaves growing at 35 Celsius [d]
TBASE = 0.0 ! lower threshold temp. for ageing of leaves [cel]

** assimilation
KDIFTB = 0.0, 0.53, ! extinction coefficient for diffuse visible light [-]
! as function of DVS
2.0, 0.60
EFFTB = 0.0, 0.44, ! light-use effic. single leaf [kg ha-1 hr-1 j-1 m2 s]

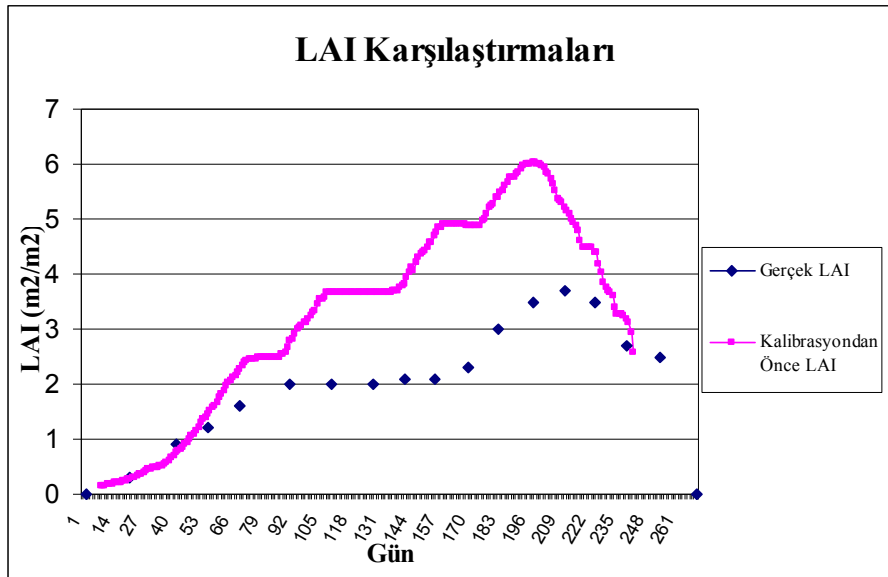
```

Şekil 3.5: WOFOST'ta bitki parametrelerinin bulunduğu girdi dosyası.

Şekil 3.5'te ise görülen değerler ise bitki parametrelerine aittir. Bu dosyada üst kısımda yine bitki ile ilgili genel bilgiler yer alırken dosyanın alt kısmında 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 katsayısıdır. TBASEM için sınır değerleri -10 ve 8 iken, TEFFMX için 18 ve 32, TSUMEM için 1 ve 17’dir. Dosyada görüleceği gibi araştırmada kullanılan değerler, model içinde verilen sınır değerleri dahilindedir. Bu çalışmada bitkinin gelişmeye başlaması için taban sıcaklık 0°C olarak alınmıştır. Ekimden çimlenmeye kadar geçen sürede gerekli büyüme derece gün değeri 129 BDG olarak gözlemler ve ölçümlerden belirlenmiştir.

Model girdileri hazırlanıp model çalıştırıldıktan sonra elde edilen LAI ve verim sonuçlarının, gerçek değerlerden oldukça uzak değerler olduğu gözlenmiştir. Modelin, çalışma alanı olan Kırklareli için kalibrasyonu yapılmadan önce elde edilen maksimum LAI değeri 6.04’e kadar çıkmıştır, verim ise 5135 kg/ha olarak hesaplanmıştır. Kalibrasyon yapılmadan önceki model ve gerçek LAI değerlerinin değişimine ait grafik ise Şekil 3.6’da görülmektedir.



**Şekil 3.6:** Kalibrasyon yapılmadan önceki ve gerçek LAI değerlerinin karşılaştırılması.

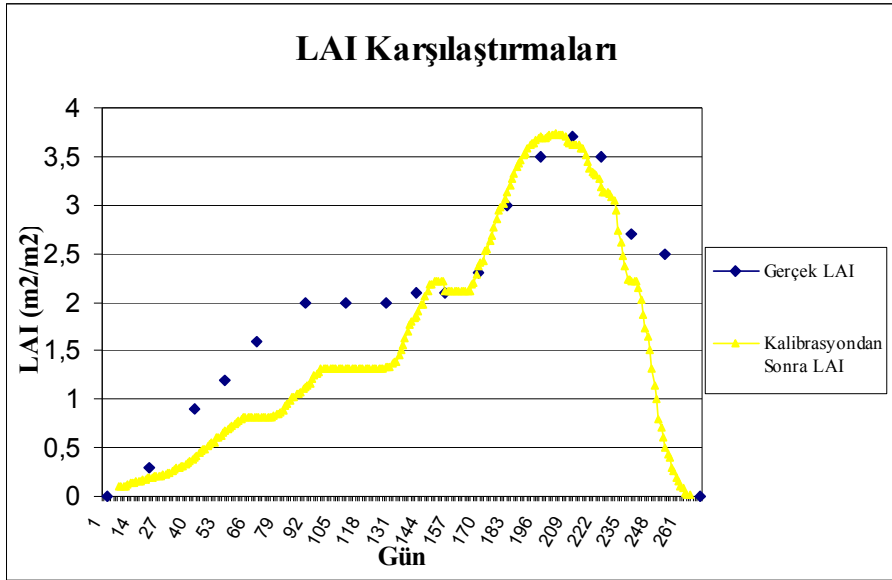
Grafikte de görüleceği üzere LAI değerinin modelde pik yaptığı zaman ile gerçek değer pik yaptığı zaman da farklılık göstermektedir. Gelişme dönemi için arazide ölçülen maksimum LAI değerinin 3.7, toprak üstü biyokütle değerinin 21333 kg/ha ve verimin 5191 kg/ha olduğu hatırlanırsa, özellikle LAI’de gerçek değer ile kalibrasyondan önce modellenen değer karşılaştırıldığında görülen % 63.3

oranındaki önemli hata, modellerin belirli bir bölgede kullanılmaya başlamadan önce kalibrasyonunun yapılmasındaki gerekliliği bir kez daha ortaya çıkarmıştır.

### 3.2 Modelin Kalibrasyonunun Yapılması

Modelde bitki, toprak, meteoroloji ve diğer parametrelerin bulunduğu dosyalarda belirli katsayılar mevcuttur. Bu katsayılar uygulama yapılan bölgeye ait özellikler taşır. WOFOST'ta kullanılan bu katsayılar, Kırklareli'nde bulunan uygulama arazisi şartlarında kalibre edilmiştir. Böylece bölge için istenen değerlere yaklaşmak mümkün olmuştur. Yapılan çalışmanın bundan sonraki aşamalarında bulunan yeni değerler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Yapılan değişiklikler sonucunda buğday bitkisi için aynı büyüme döneminde modellenen değerler gerçeğe oldukça fazla yakınlık göstermiştir. Daha önce de bahsedildiği gibi gerçek verim 5191 kg/ha, maksimum LAI değeri de 3.7'dir. Kalibrasyondan sonra elde edilen su limitli model sonuçlarında modellenen verim 5128 kg/ha, maksimum LAI ise 3.74 olarak hesaplanmıştır. Modellenen ve ölçülen LAI değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.7'de görülmektedir.

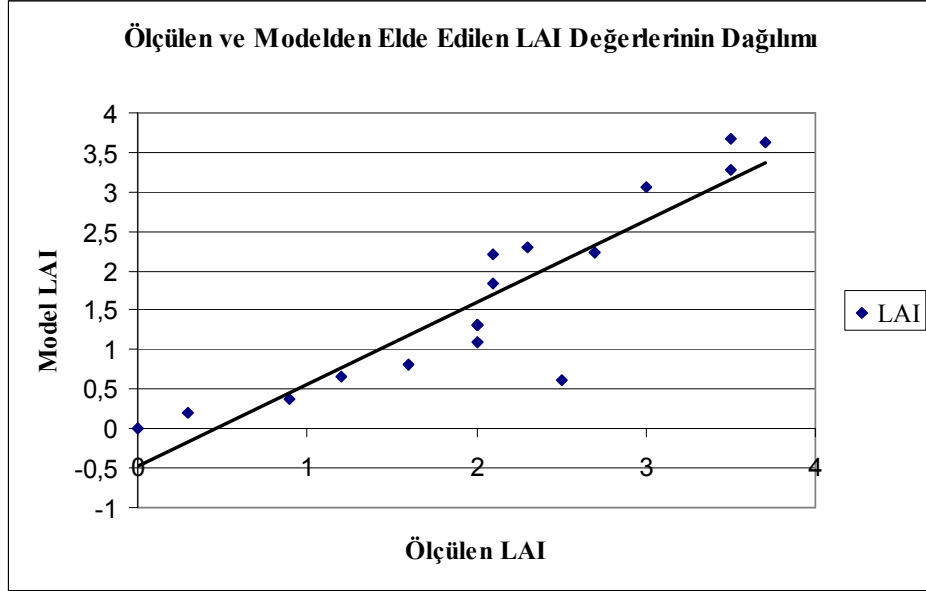


Şekil 3.7: Kalibrasyondan sonraki model ve gerçek LAI değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 3.7'de görüldüğü gibi, gerekli kalibrasyonlar yapıldıktan sonra LAI değerleri ve değerlerin değişim süreci gerçeğe anlamlı derecede yaklaşmıştır.

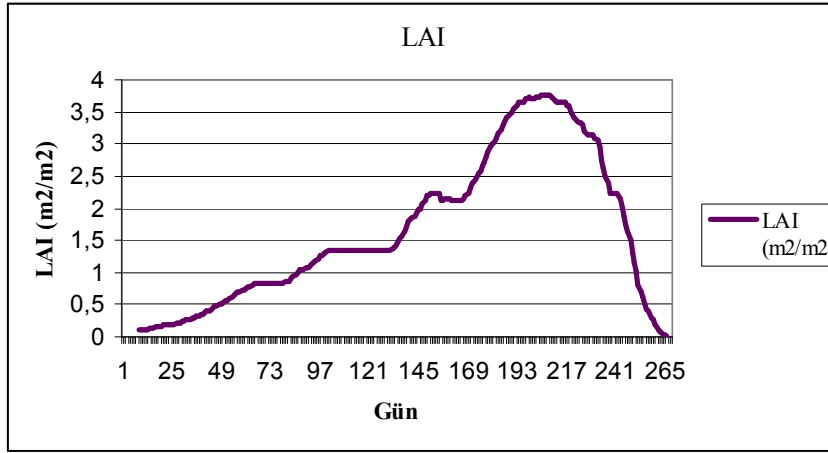
### 3.3 Model Çıktılarının Değerlendirilmesi

Modelin kalibrasyonu yapıldıktan sonra model tekrar çalıştırılmış ve gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. LAI değerlerine ait sonuçların, aynı gelişme dönemi boyunca ölçülen değerler ile karşılaştırılması amacı ile hazırlanmış olan LAI dağılım grafiği Şekil 3.8’de görülmektedir. Elde edilen sonuçlar için gelişme dönemi boyunca LAI değişimine ait grafik Şekil 3.9’da, verim grafiği Şekil 3.10’da ve toprak üstü biyokütle değişimine ait grafik Şekil 3.11’de görülmektedir. Biyokütlenin modellenmesi ile elde edilen değerler arazideki ölçümler ile karşılaştırılır. Biyokütle ölçümü, çalışma yapılan araziden alınan bitkinin laboratuvar ortamında kurutulması ile elde edilen bitki ağırlığı değerinin birim alandaki miktarı hesaplanarak yapılır.

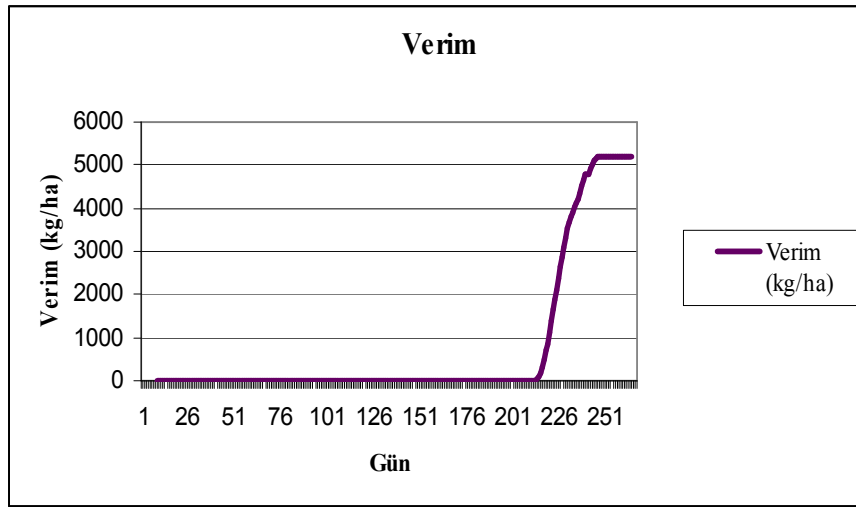


**Şekil 3.8:** Kalibrasyondan sonraki model ve gerçek LAI değerlerinin dağılım grafiği ile karşılaştırılması.

Aynı şekilde modelin 2009-2010 gelişme dönemi için elde edilmiş maksimum LAI değeri  $3.74 \text{ m}^2/\text{m}^2$  iken, aynı gelişme dönemi için arazide ölçülen maksimum LAI değeri 3.7’dir. Veri setlerinin arasındaki korelasyon 0.91’dir. Bir gelişme dönemi için karşılaştırılan LAI ve verim değerleri arasında oldukça yakın bir ilişki söz konusudur.



**Şekil 3.9:** Kalibrasyondan sonra elde edilen LAI değerleri.



**Şekil 3.10:** Kalibrasyondan sonra elde edilen verim değerleri.

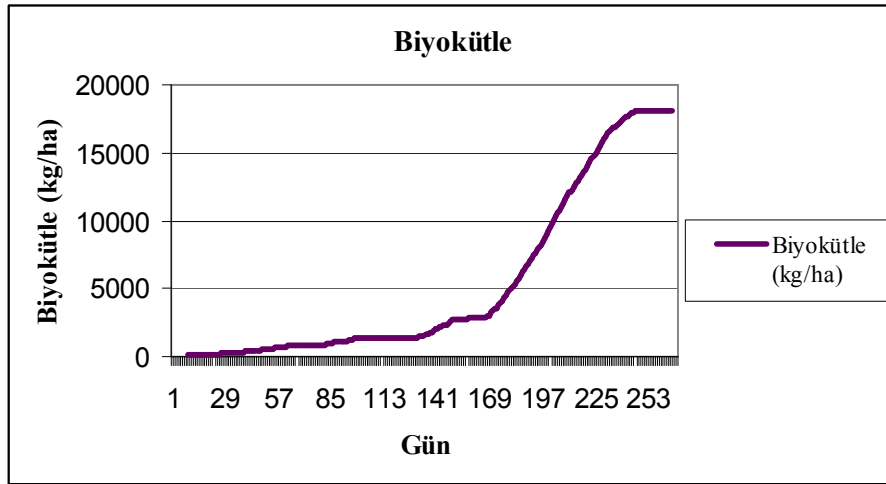
Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi, modelin çalıştırıldığı 2009-2010 gelişme döneminde gerçek verim değeri 5191 kg/ha'dır. Aynı gelişme dönemi için modelin ürettiği verim değeri 5128 kg/ha'dır. Modelin verim tahminindeki hata payı, tek bir gelişme dönemi için hesaplandığında % 1.2 civarındadır.

2009-2010 gelişme dönemi için elde edilmiş biyokütle değeri 19097 kg/ha iken, aynı gelişme dönemi için arazide ölçülen biyokütle değeri 21333 kg/ha'dır.

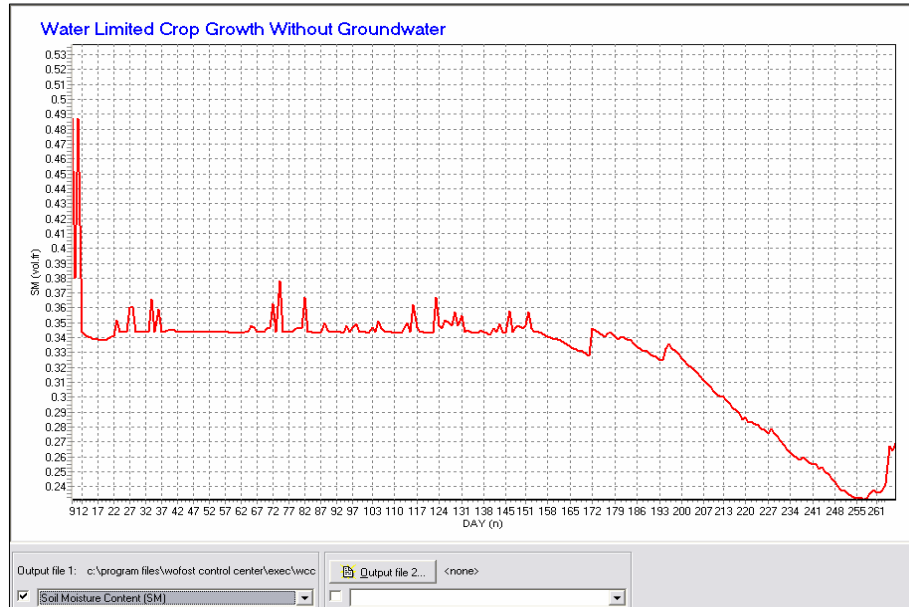
Modellenen biyokütle değerleri ile arazide ölçülen değerler arasındaki ilişkinin sayısal olarak karşılaştırılması ve değerlendirilebilmesi için aralarındaki normalize edilmiş ortalama karekök hata katsayısı ( $nRMSE=E=$ bağıl hata) (1) numaralı eşitlikte hesaplanmıştır (Itoh, 1995).

$$nRMSE = \frac{RMSE}{\sigma} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum (y_i - x_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x})^2}} \quad (1)$$

Modellenen ve ölçülen değerlerin arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanılan nRMSE değeri 0 ile 1 arasındadır. Hata değeri ne kadar düşük ise, kullanılan model gerçeğe o kadar yakındır. Bu çalışmada, ölçülen ve modellenen biyokütle değerleri arasında nRMSE değeri 0.18 olarak hesaplanmıştır.



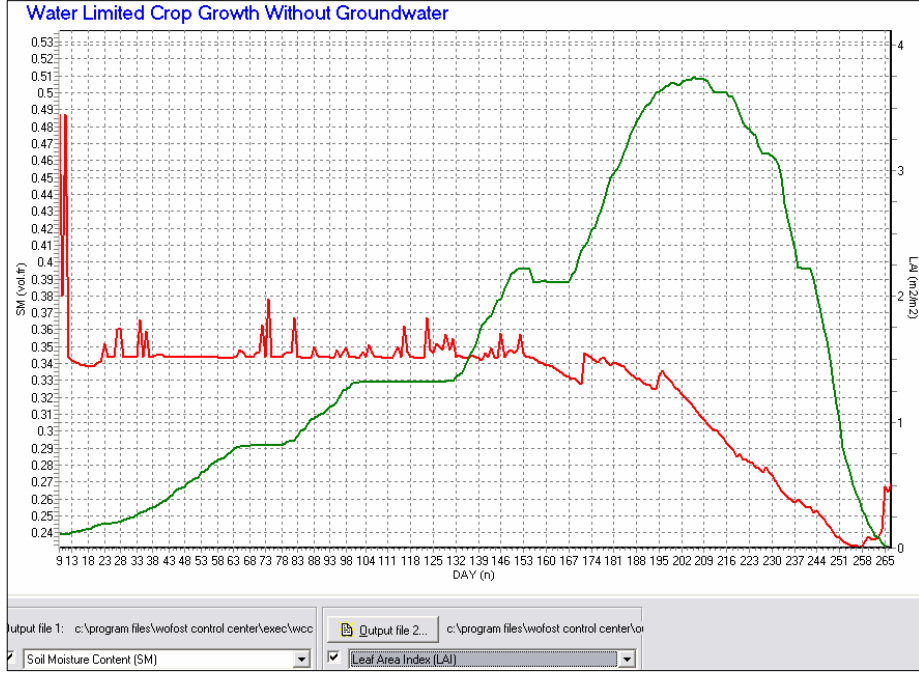
Şekil 3.11: Kalibrasyondan sonra elde edilen biyokütle değerleri.



Şekil 3.12: Su limitli üretimde toprak su içeriğinin zaman serisi

Ayrıca WOFOST ile su limitli ve gübre limitli simülasyon yapmak mümkündür. Su limitli üretim için simülasyon yapılırken topraktaki nem içeriğini de modelleme

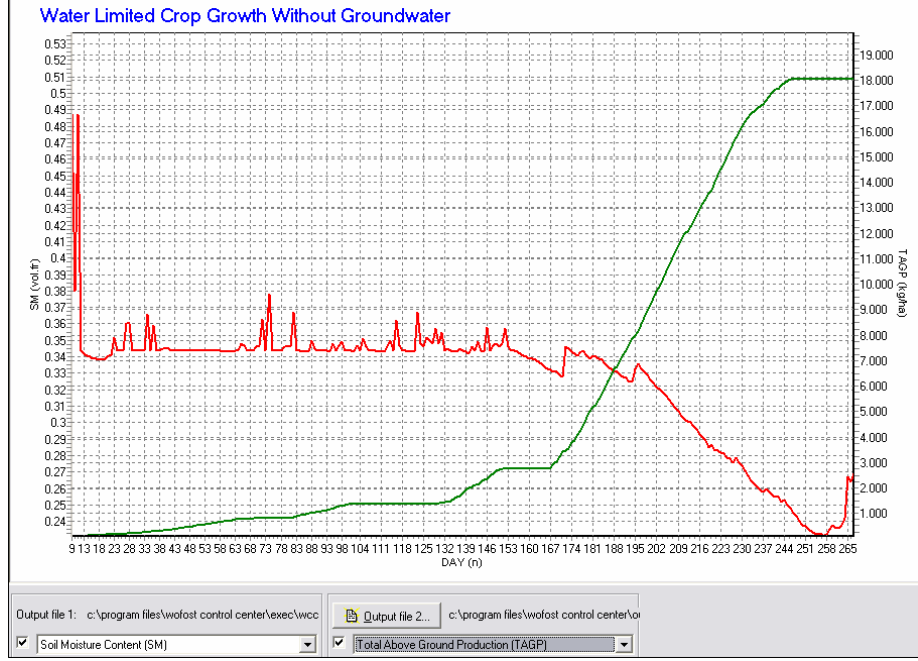
imkanı vardır. Şekil 3.12’de 2009-2010 gelişme dönemi için yapılan su limitli üretim simülasyonu için topraktaki su içeriğine ait grafik görülmektedir. Grafikten de görüleceği gibi toprak su içeriği bitkinin hasada yaklaştığı süreçte azalmaktadır. Bu durum mevsimde düşen yağışla ilişkilendirilebilir ayrıca, LAI’nin artmaya başladığı dönemde topraktaki nem içeriğinin azaldığı da görülmektedir. Bu durumu ifade eden grafik Şekil 3.13’te görülmektedir.



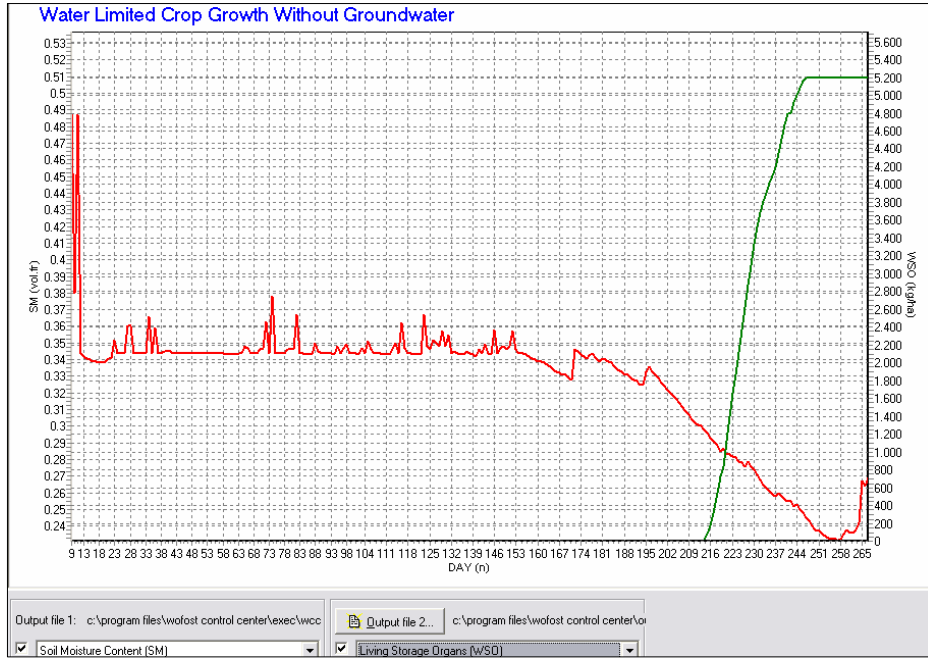
**Şekil 3.13:** Su limitli üretimde toprak su içeriği ve LAI’nin değişimi

Aynı şekilde toprak su içeriği ile gelişme dönemi boyunca biyokütle ve verim değerleri arasında da ilişki kurulabilir. Biyokütle ve verim değerlerinin artışı ile topraktaki nem içeriği anlamlı ölçüde azalmaya başlamaktadır. Bu durumu ifade eden grafik Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’te görülmektedir.





Şekil 3.14: Su limitli üretimde toprak su içeriği ve biyokütle değişimi



Şekil 3.15: Su limitli üretimde toprak su içeriği ve verimin değişimi



## **4. HASSASİYET ANALİZİ**

İklim değişikliğinden bahsedildiğinde, iklim değişikliği senaryolarına göre bitki gelişimi ve veriminin nasıl değişeceğinin bilinmesi her açıdan fayda sağlayacaktır. Bu nedenle bitki iklim modellerinin gerekliliği söz konusudur. WOFOST modelinde meteorolojik parametrelerin değişiminin tarımsal ürünlerin özellikle veriminin tahmininde etkili bir araçtır. Bu bölümde yapılan çalışmalarda meteorolojik parametrelerden sadece birindeki ve iki parametrenin çapraz olarak değişimi sonucunda verimde ve LAI'de meydana gelebilecek değişimlerin modifikasyonlar yardımı ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu parametreler sıcaklık, yağış ve toplam güneş radyasyonudur.

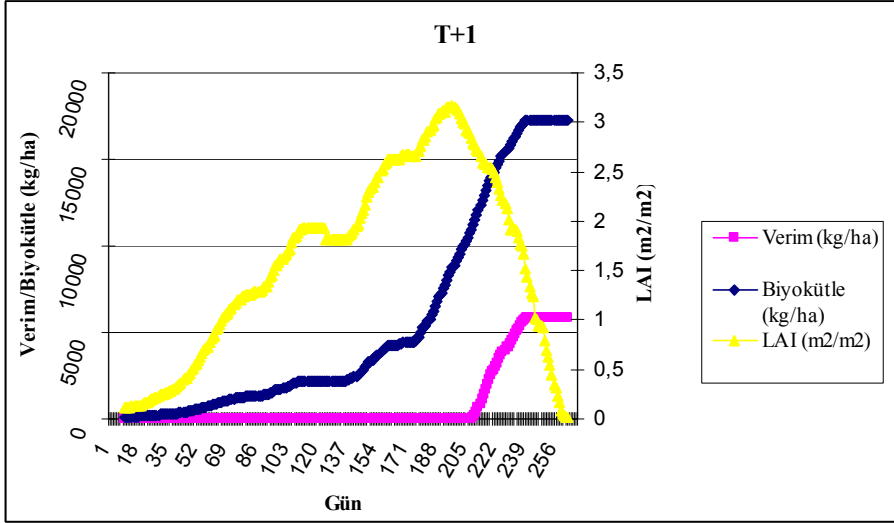
### **4.1 Tekli Modifikasyonlar**

#### **4.1.1 Sıcaklık değişimleri**

Buğday bitkisinin gelişme dönemi boyunca 2009-2010 dönemi boyunca gerçekleşen sıcaklıkların 1 °C, 2 °C, 3 °C, 4 °C'lik artış göstermesi ile verim ve LAI değişimi WOFOST ile hesaplandığında en yüksek verim değerinin 1 °C'lik artış durumunda meydana geleceği, LAI değerinin ise sıcaklık artışı ile azalacağı sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 4.1'de sıcaklığın 1 °C artması durumunda verim ve LAI'nin gelişme dönemi boyunca nasıl değişeceği görülmektedir.

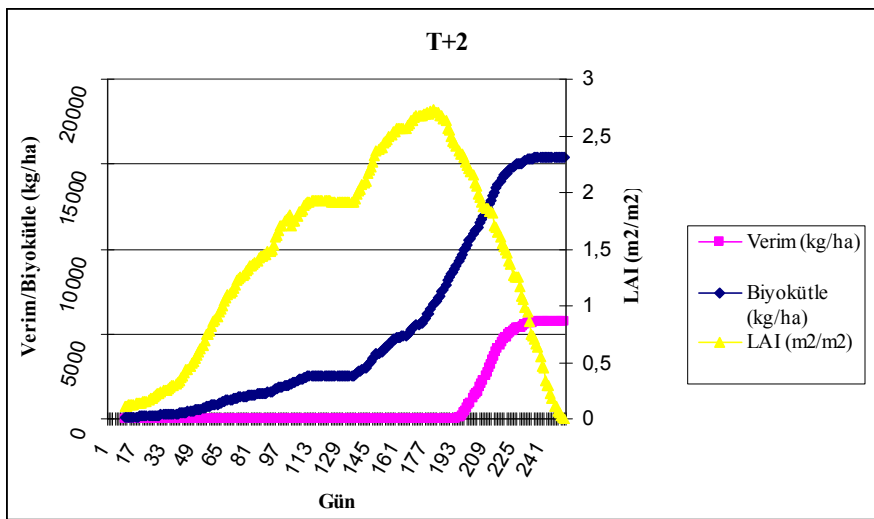
Şekil 4.1'de görüldüğü gibi sıcaklık 1 °C arttığı zaman maksimum LAI değeri 3.17'ye düşerken verim değeri 5830 kg/ha'a kadar çıkmakta, biyokütle değeri de 17304 kg/ha'a düşmektedir. Ayrıca bitkinin gelişme dönemi 262 güne düşmüştür. Bunun en önemli nedeni modelin hesaplamalarda büyüme derece gün (BDG) değerlerini kullanmasıdır. Büyüme derece-gün kavramı, bitkilerin gelişme dönemi boyunca ihtiyaç duydukları sıcaklık toplamının tahmini amacıyla kullanılmaktadır. Dünyada derece-gün hesabı ilk kez bitki gelişiminin analizi için kullanılmıştır. BDG, incelenen organizmanın gelişimini tamamlaması için gerekli sıcaklık koşullarının sağlanması ile ulaşılan değer olarak nitelendirilir. Her bitki, gelişimini sürdürmek ve

tamamlamak için farklı BDG değerine ihtiyaç duymaktadır (Lutgens ve Tarbuck, 1979). Sıcaklığın artışı ile bitki BDG sınır değerine daha kısa süre içinde ulaşır. Böylece bitkinin toplam gelişme dönemi kısalmış olur.



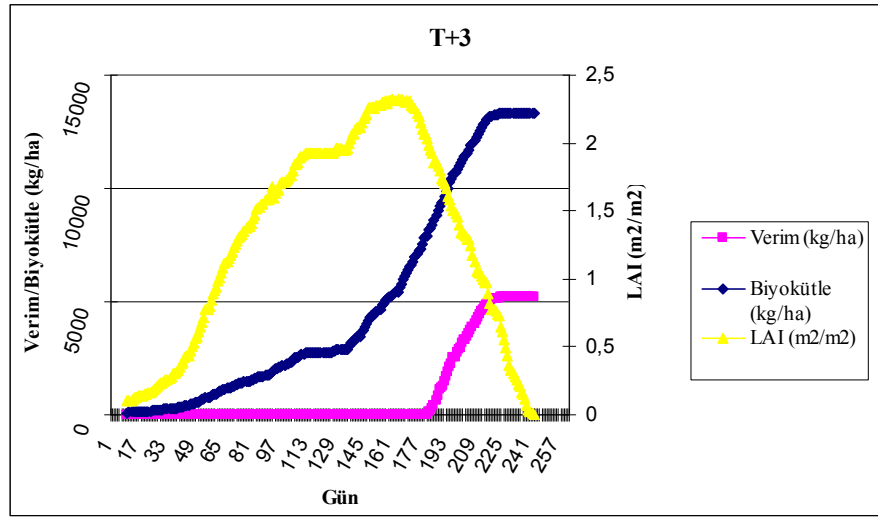
Şekil 4.1: Sıcaklığın 1 °C artması halinde verim, biyokütle ve LAI değişimi.

Şekil 4.2’de 2 °C’lik sıcaklık artışı için model çalıştırılmış, maksimum LAI değeri 2.73’e inmiştir ve verim değeri de 1 °C’lik artıştaki verim değerine oranla azalış göstermiş ve 5716 kg/ha olmuştur. Biyokütle değeri 15290 kg/ha’a düşerken, gelişme dönemi bitkinin BDG değerine erken ulaşması nedeniyle 244 gün olarak hesaplanmıştır.



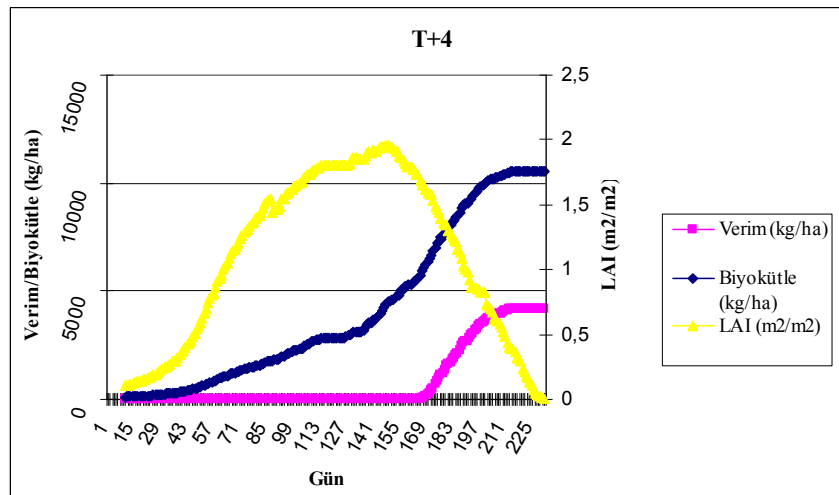
Şekil 4.2: Sıcaklığın 2 °C artması halinde verim, biyokütle ve LAI değişimi.

Şekil 4.3'te ise sıcaklık değerlerinin 3 °C artışı ile modellenen verim ve LAI değerleri görülmektedir. Sıcaklıkların gelişme döneminde ölçülen değerlerden 3 °C fazla gerçekleşmesi durumunda ise verim 5194 kg/ha'a, LAI değeri de 3.32'ye düşmektedir. Bu değerlere bakıldığında sıcaklığın 3 °C artış gösterdiği zaman bile verim değerinin, gelişme döneminde ölçülen gerçek sıcaklık değerlerinde modellenen verimden daha fazla olduğuna dikkat edilmelidir. Buna karşılık biyokütle değerinin 13324 kg/ha'a düştüğü, bitkinin gelişme döneminin de 234 gün olarak hesaplandığı görülmektedir.



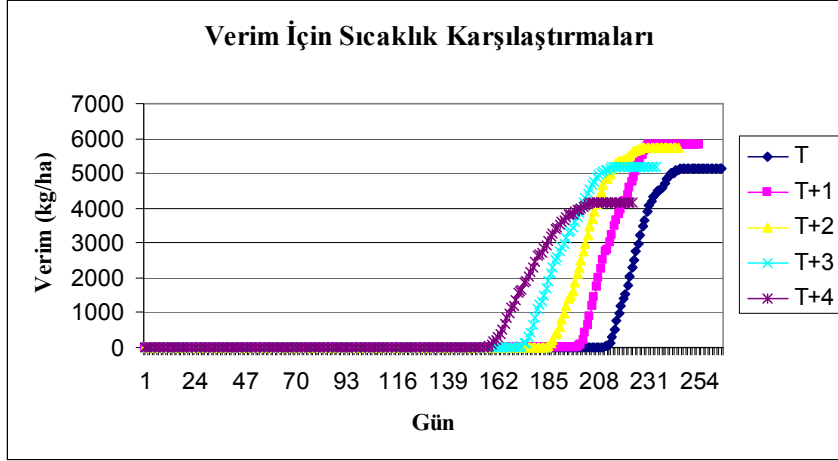
Şekil 4.3: Sıcaklığın 3 °C artması halinde verim, biyokütle ve LAI değişimi.

Şekil 4.4'te ise 4 °C'lik sıcaklık artışı durumunda modellenen verim ve LAI değerlerine ait grafik görülmektedir.



Şekil 4.4: Sıcaklığın 4 °C artması halinde verim, biyokütle ve LAI değişimi.

Sıcaklığın 4 °C artması halinde verim 4176 kg/ha'a kadar azalacak, LAI değeri de 1.96'ya kadar düşecektir. Biyokütle 10531 kg/ha'a düşerken gelişme dönemi de 223 gün ile sınırlanacaktır. Şekil 4.5'te sıcaklık değişimlerine göre verim değerlerinin birbirleri ile karşılaştırılması görülmektedir.



**Şekil 4.5:** Sıcaklık değişimlerinin verime etkisi.

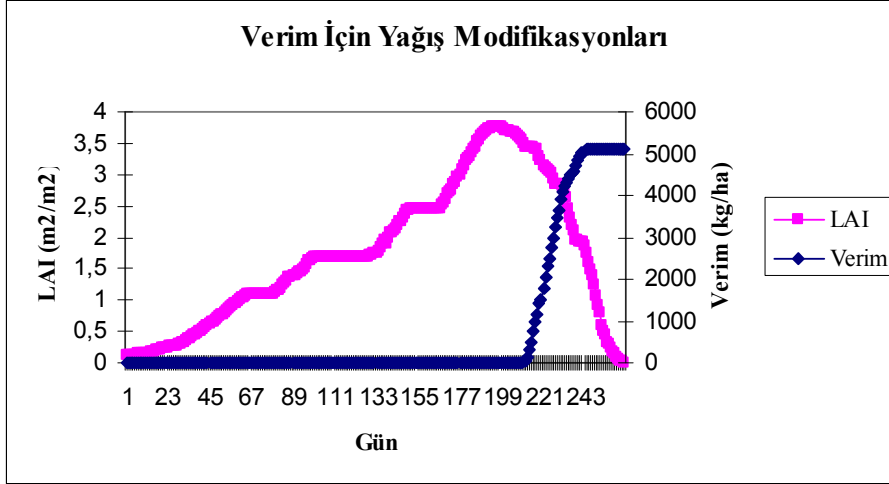
Şekilde de görüleceği üzere sıcaklığın 1 °C artması verimi en yüksek değerine çıkarmıştır, en düşük verim değeri ise 4 °C'lik artışta belirlenmiştir. 1 °C, 2 °C ve 3 °C'lik artışlarda verim değeri, ölçülen sıcaklık değerleri ile elde edilen verime göre daha fazla olacaktır.

#### 4.1.2 Yağış değişimleri

2009-2010 yılları arasında uygulama arazisinde ölçümleri yapılan buğday bitkisi için yağışın % 10, % 20, % 30 ve % 40 oranında azalması durumunda biyokütle, verim ve LAI değerlerindeki değişim araştırılmıştır. Şekil 4.6'da yağışın gelişme dönemi boyunca % 10, % 20, % 30, % 40 azalması durumunda verim ve LAI değerleri görülmektedir.

Şekil 4.6'daki grafikten de anlaşılacağı gibi, WOFOST'a göre yağış değişiminin verim ve LAI değerlerine etkisi söz konusu değildir. Aynı şekilde hesaplanan biyokütle değerleri için de değişiklik söz konusu değildir. Su limitli verim değerleri incelendiğinde, sadece yağışın % 40 azalması halinde yıllık verimin 5 kg/ha azalacağı görülmüştür. Bu durumun en önemli nedeni, ilk bölümde Çizelge 3.1'de de görülebileceği gibi gelişme dönemi boyunca (271 gün) düşen toplam yağışın 560.7 mm olmasıdır. Normalde Kırklareli'ne düşen yıllık toplam yağış miktarının

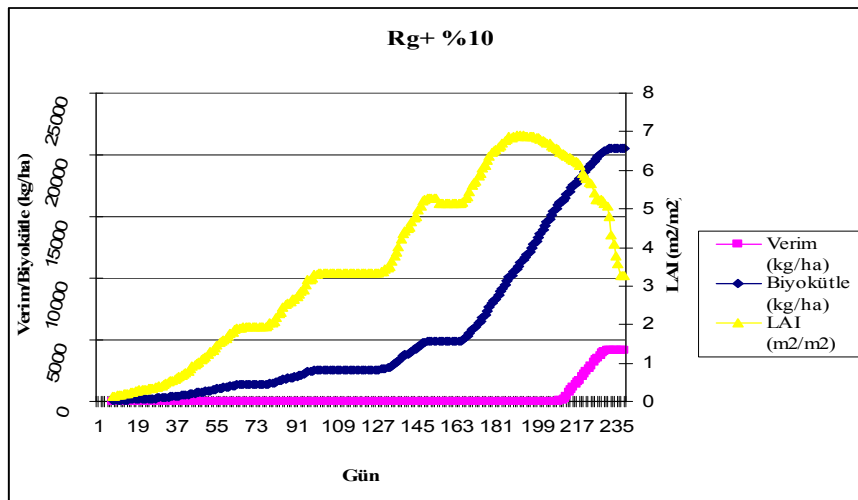
uzun yıllar ortalaması (1975-2000) 553.7 mm'dir. 2009-2010 gelişme döneminde yağışın büyüme dönemi boyunca mevsim normallerinden ve bitkinin toplam su ihtiyacından fazla olması, yağıştaki azalmanın modellenen biyokütle, verim ve LAI değerlerinde farklı sonuçların elde edilmesine engel teşkil etmiştir.



Şekil 4.6: Yağış değişiminin verim ve LAI değerlerine etkisi.

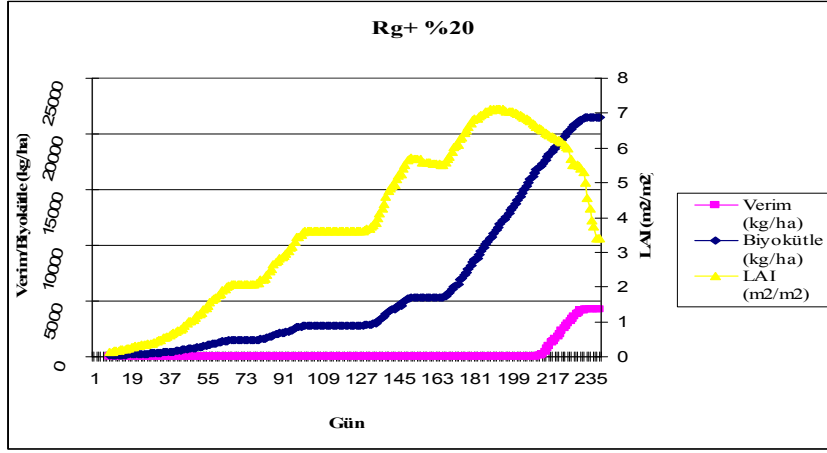
#### 4.1.3 Radyasyon değişimleri

Bu bölümde uygulama arazisinde ekilen buğday bitkisinin 2009-2010 gelişme dönemi boyunca ölçülen toplam güneş radyasyonu değerlerinin iklim değişikliği ile % 10 ve % 20 oranında artış göstermesi ile verim ve LAI değerlerindeki değişim modellenmiştir. Şekil 4.7'de toplam güneş radyasyonunun % 10 artması halinde verim ve LAI'nin değişim miktarları görülmektedir.



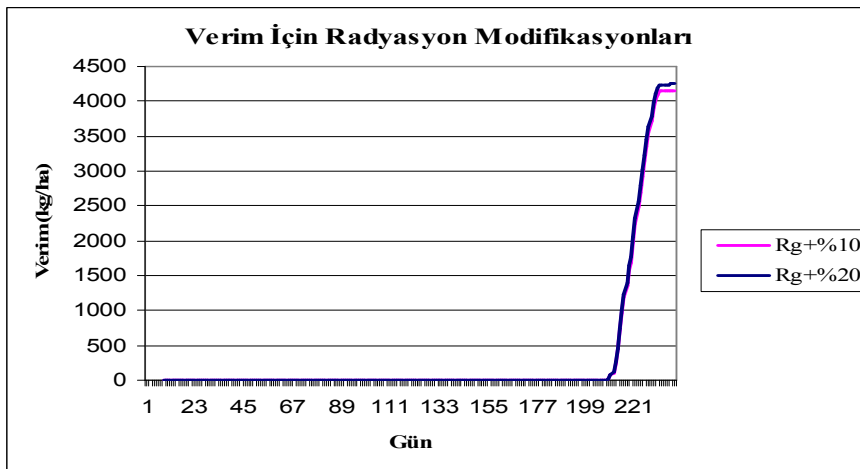
Şekil 4.7: Toplam güneş radyasyonundaki % 10'luk artışın biyokütle, verim ve LAI değerine etkisi.

Gelişme dönemi boyunca modellenen gerçek verim değerinin 5128 kg/ha, biyokütlenin 21333 kg/ha ve maksimum LAI değerinin 3.77 olduğu hatırlandığında, toplam güneş radyasyonu değerlerindeki % 10'luk artışta verimin 4160 kg/ha'a, biyokütlenin 20499 kg/ha'a kadar düştüğü, maksimum LAI'nin de 5.29'a çıktığı, görülmektedir. Bu durumda verimin % 19 azalacağı, maksimum LAI değerinin de % 40 artacağı söylenebilir. Şekil 4.8'de ise toplam güneş radyasyonu değerlerinin % 20 artması durumunda elde edilecek verim ve LAI değerlerine ait grafik görülmektedir.



**Şekil 4.8:** Toplam güneş radyasyonundaki % 20'lik artışın biyokütle, verim ve LAI değerine etkisi.

Şekil 4.8'de görüldüğü gibi toplam güneş radyasyonu değerleri % 20 arttığında maksimum LAI değeri % 88 artarak 7.12'ye, biyokütle 21451 kg/ha'a çıkacak, verim ise % 18 azalarak 4253 kg/ha'a düşecektir. Şekil 4.9'da görülen grafikte toplam güneş radyasyonu artışlarının verime etkisi kıyaslanmıştır.



**Şekil 4.9:** Toplam güneş radyasyonu değişimlerinin verime etkisinin kıyaslanması.



## 4.2 İkili Modifikasyonlar

Bu bölümde sıcaklık artışının yağıştaki azalma ve toplam güneş radyasyonundaki artışın ortak etkisi, yağış azalışının ve radyasyon artışının diğer parametreler ile olan ortak etkisi araştırılmaktadır. Bütün meteorolojik parametrelerin birlikte değişimlerinin verime etkilerinden açıklanmıştır. Aşağıda Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3'te parametrelerde karşılıklı olarak gerçekleşmesi muhtemel değişikliklerin, verim, biyokütle ve maksimum LAI üzerindeki etkisinin yüzde olarak değişimleri görülmektedir.

**Çizelge 4.1:** Meteorolojik parametrelerdeki çapraz değişimlerin verim üzerindeki etkisine ait değişim değerleri (%).

<b>SENARYO</b>	<b>T+1</b>	<b>T+2</b>	<b>T+3</b>	<b>T+4</b>	<b>P-%10</b>	<b>P-%20</b>	<b>P-%30</b>	<b>P-%40</b>	<b>Rg+%10</b>	<b>Rg+%20</b>
<b>T+1</b>	12,3				15,6	15,6	15,6	15,6	26,2	36,4
<b>T+2</b>		10,1			10,1	10,1	10,1	10,1	23,9	<b>36,9</b>
<b>T+3</b>			0,1		-1,2	-1,2	-1,2	10,1	15,7	30,2
<b>T+4</b>				-19,6	<b>-20,5</b>	-20,5	-20,5	-20,5	-4,9	9,6
<b>P-%10</b>					-1,2				4,7	9,8
<b>P-%20</b>						-1,2			4,7	9,8
<b>P-%30</b>							-1,2		4,7	9,8
<b>P-%40</b>								-1,3	4,7	9,8
<b>Rg+%10</b>									-19,9	
<b>Rg+%20</b>										-18,1

Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi, sıcaklıktaki 4 °C'lik bir artış ve yağıştaki azalma görüldüğü takdirde verimde yaklaşık olarak % 20.5'lik bir düşüş söz konusu olacaktır, aynı şekilde sıcaklıkta 2 °C'lik ve radyasyonda % 20'lik artışta ise, verimin % 36.9 oranında artması beklenebilir.

**Çizelge 4.2:** Meteorolojik parametrelerdeki çapraz değişimlerin biyokütle üzerindeki etkisine ait değişim değerleri (%).

<b>SENARYO</b>	<b>T+1</b>	<b>T+2</b>	<b>T+3</b>	<b>T+4</b>	<b>P-%10</b>	<b>P-%20</b>	<b>P-%30</b>	<b>P-%40</b>	<b>Rg+%10</b>	<b>Rg+%20</b>
<b>T+1</b>	-18,9				-19,1	-19,1	-19,1	-19,1	-10,2	-2,1
<b>T+2</b>		-28,3			-50,8	-50,8	-50,8	-50,8	-42,2	-34,1
<b>T+3</b>			-37,5		-37,6	-37,6	-37,6	-27,9	-28,1	-19,4
<b>T+4</b>				-50,6	<b>-50,8</b>	-50,8	-50,8	-50,8	-42,2	-34,1
<b>P-%10</b>					-10,5				-3,5	<b>3,6</b>
<b>P-%20</b>						-10,5			-3,5	3,6
<b>P-%30</b>							-10,5		-3,5	3,6
<b>P-%40</b>								-10,5	-3,5	3,6
<b>Rg+%10</b>									-3,9	
<b>Rg+%20</b>										0,6

Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi, sıcaklıkta artış ve yağıştaki azalma görüldüğü takdirde biyokütle değerlerinde yaklaşık olarak % 50.8’lik bir düşüş söz konusu olacaktır, aynı şekilde radyasyonda % 20’lik ve sıcaklıktaki artışta ise biyokütlenin % 3.6 oranında artması beklenebilir. Çizelgeden de görüleceği üzere sıcaklık artışları biyokütleyi olumsuz etkilemektedir.

Çizelge 4.3’te görüldüğü gibi, sıcaklıktaki 4 °C’lik bir artış ve yağıştaki azalma görüldüğü takdirde maksimum LAI değerlerinde yaklaşık olarak % 47’lik bir düşüş söz konusu olacaktır, aynı şekilde radyasyonda % 20’lik artışta ise maksimum LAI’nin % 92.4 oranında artması beklenebilir.

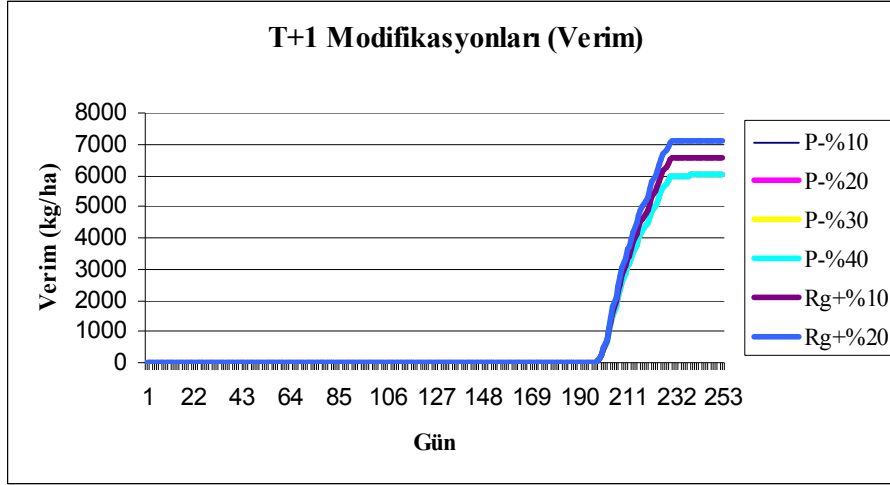
**Çizelge 4.3:** Meteorolojik parametrelerdeki çapraz değişimlerin maksimum LAI üzerindeki etkisine ait değişim değerleri (%).

<b>SENARYO</b>	<b>T+1</b>	<b>T+2</b>	<b>T+3</b>	<b>T+4</b>	<b>P-%10</b>	<b>P-%20</b>	<b>P-%30</b>	<b>P-%40</b>	<b>Rg+ %10</b>	<b>Rg+ %20</b>
<b>T+1</b>	-14,3				-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-3,8	7,6
<b>T+2</b>		-26,2			-26,5	-26,5	-26,5	-26,5	-15,4	-4,9
<b>T+3</b>			-10,3		-37,6	-37,6	-37,6	-29,7	-27,8	-18,4
<b>T+4</b>				-47,0	<b>-47,0</b>	-47,0	-47,0	-47,0	-38,9	-4,1
<b>P-%10</b>					1,9				15,4	27,6
<b>P-%20</b>						1,9			15,4	27,6
<b>P-%30</b>							1,9		15,4	27,6
<b>P-%40</b>								1,9	15,4	27,6
<b>Rg+ %10</b>									43,0	
<b>Rg+ %20</b>										<b>92,4</b>

## 4.2.1 Sıcaklık değişimleri

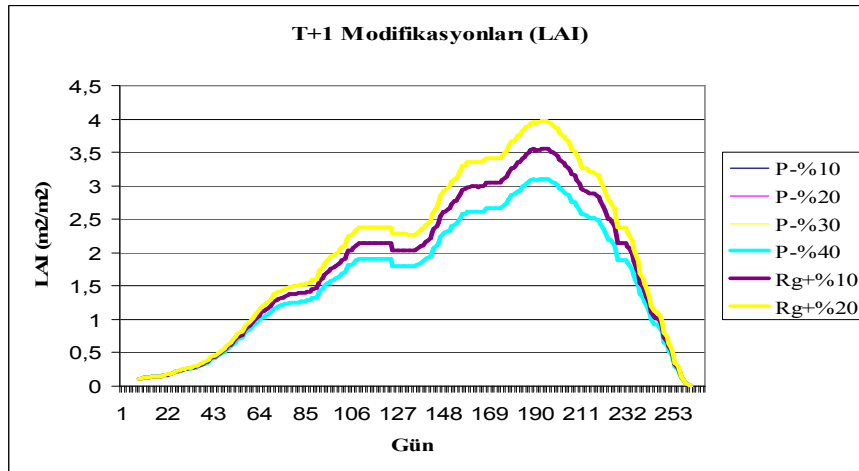
### 4.2.1.1 Sıcaklığın 1° C artması

Sıcaklığın 1 °C artması halinde, ikinci bir meteorolojik parametrenin değişimi de WOFOST yardımı ile modellenmiştir. Sıcaklık 1 °C artarken yağışın, modelin çalıştırıldığı gelişme dönemi boyunca % 10, % 20, % 30, % 40 oranında azalması ya da toplam güneş radyasyonunun % 10 ve % 20 oranında artması halinde verim değişimleri Şekil 4.10’da görüldüğü gibidir.



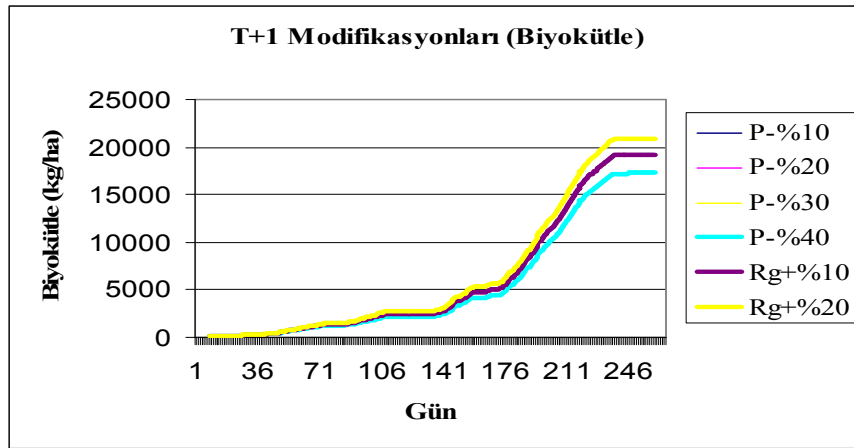
**Şekil 4.10:** 1 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin verime etkisi.

Grafikte görüldüğü üzere, dikkate alınan gelişme dönemi boyunca yağışın bitkinin su ihtiyacından daha fazla düşmüş olması nedeniyle yağış değişiminin verim üzerinde etkisi söz konusu olmamıştır, verim 6001 kg/ha olarak hesaplanmıştır, bu sonucun farklı gelişme dönemleri için model çalıştırıldığında değişmesi beklenebilir. Radyasyonun % 10 artması durumunda verim 6551 kg/ha, % 20 artması durumunda 7081 kg/ha olarak hesaplanmıştır. Bu durumda sıcaklık 1 °C artarken radyasyonun da belirli oranlarda artmasının, beklenen verim değerlerinde de artış göstereceği söylenebilir. Sıcaklık 1 °C artarken yağışın, modelin çalıştırıldığı gelişme dönemi boyunca % 10, % 20, % 30, % 40 oranında azalması ve toplam güneş radyasyonunun % 10 ve % 20 oranında artması halinde LAI değişimleri şekilde görüldüğü gibidir (Şekil 4.11).



**Şekil 4.11:** 1 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin LAI'ye etkisi.

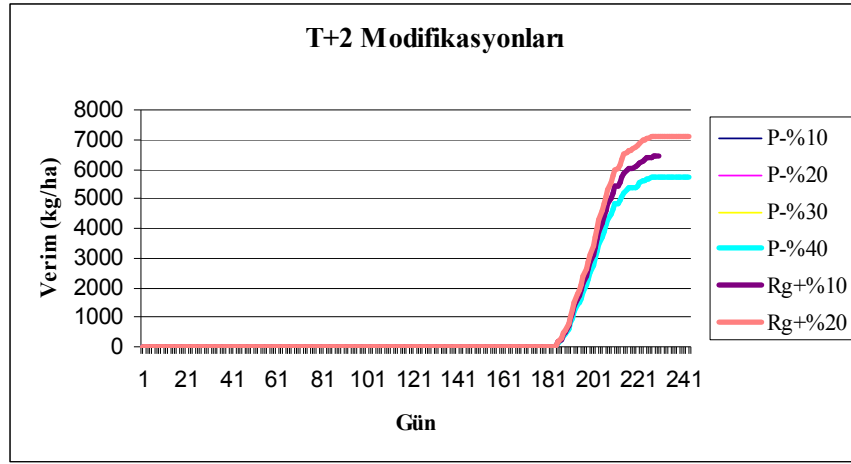
Grafikten de anlaşılacağı gibi yağıştaki azalmaların LAI değerlerinde etkisi aynıdır. Dikkate alınan gelişme dönemi boyunca yağışın bitkinin su ihtiyacından daha fazla düşmüş olması nedeniyle yağış değişiminin LAI üzerinde etkisi söz konusu olmamıştır, maksimum LAI 3.11 olarak hesaplanmıştır, bu sonucun farklı gelişme dönemleri için model çalıştırıldığında değişmesi beklenebilir. Radyasyonun % 10 artması durumunda maksimum LAI 3.56, % 20 artması durumunda 3.98 olarak hesaplanmıştır. Sıcaklık 1 °C artarken yağışın azalması ya da radyasyonun artması halinde biyokütle değişimleri Şekil 4.12’de görüldüğü gibidir. Dikkate alınan gelişme dönemi boyunca yağışın bitkinin su ihtiyacından daha fazla düşmüş olması nedeniyle yağış değişiminin biyokütle üzerinde de etkisi söz konusu değildir, biyokütle 17256 kg/ha olarak hesaplanmıştır. Radyasyonun % 10 artması durumunda biyokütle 19163 kg/ha, % 20 artması durumunda 20885 kg/ha olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.12:** 1 °C’lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin biyokütleye etkisi.

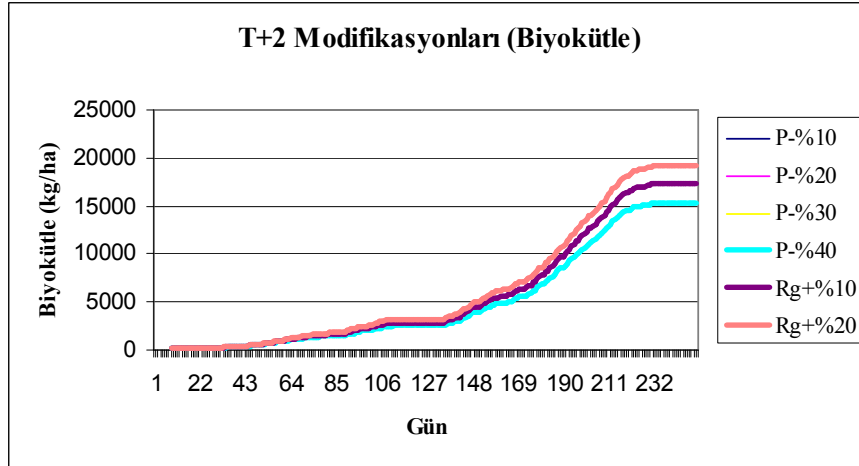
#### 4.2.1.2 Sıcaklığın 2° C artması

Şekil 4.13’ten de görüleceği üzere sıcaklığın 2 °C artması ile beraberinde radyasyondaki artış verim değerlerini anlamlı ölçüde etkilemiştir, % 10’luk artış verimi 6431 kg/ha’a, % 20’lik artış ise 7107 kg/ha’a çıkartmıştır. Yağış azalışı ise daha önceki bölümlerde anlatılan sebepten dolayı verimi etkilememiştir ve 5716 kg/ha olarak hesaplanmıştır.



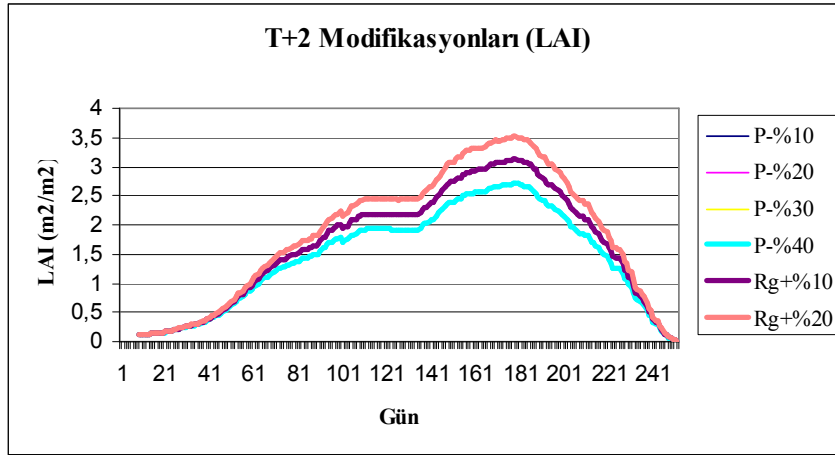
**Şekil 4.13:** 2 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin verime etkisi.

Şekil 4.14'ten de görüleceği üzere sıcaklığın 2 °C artması ile beraberinde radyasyondaki artış biyokütle değerlerini de anlamlı ölçüde etkilemiştir, % 10'luk artış biyokütleyi 12332 kg/ha'a, % 20'lik artış ise 14063 kg/ha'a düşürmüştür. Yağış azalışı ise sonucu etkilememiştir ve biyokütle 10497 kg/ha olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.14:** 2 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin biyokütleye etkisi.

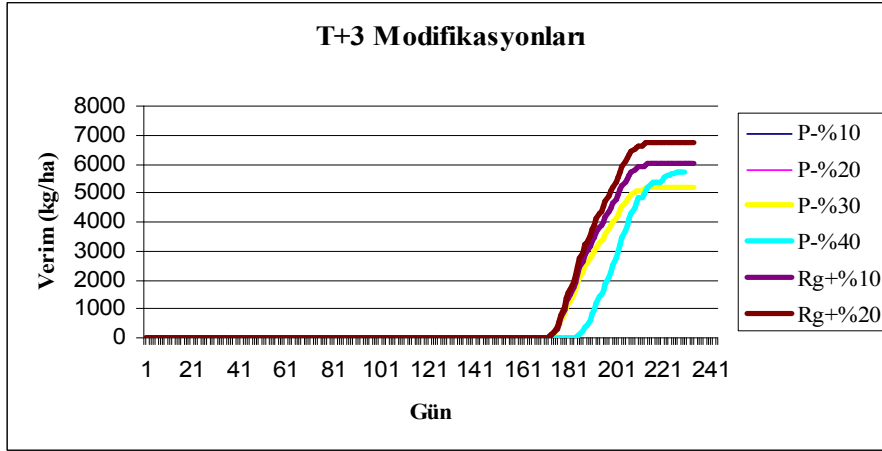
Şekil 4.15'ten de görüleceği üzere sıcaklığın 2 °C artması ile beraberinde radyasyondaki artış LAI değerlerini de etkilemiştir, % 10'luk artış maksimum LAI'yi 3.13'e, % 20'lik artış ise 3.52'ye düşürmüştür. Yağış azalışı ise sonucu etkilememiştir ve maksimum LAI 2.72 olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.15:** 2 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin LAI'ye etkisi.

#### 4.2.1.3 Sıcaklığın 3° C artması

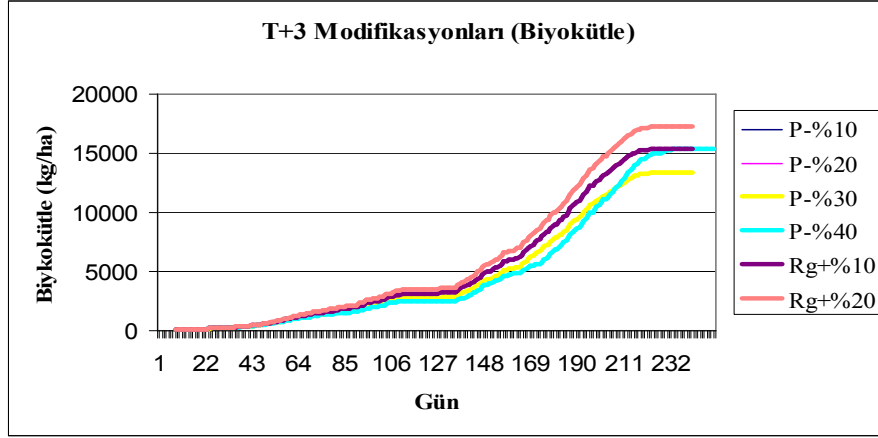
Sıcaklığın, gelişme dönemi boyunca ölçülen sıcaklıklardan 3 °C daha fazla seyrederken beraberinde toplam güneş radyasyonunun artması ya da yağışın azalması gözlemlendiğinde elde edilecek verimdeki değişim Şekil 4.16'da belirlenmiştir.



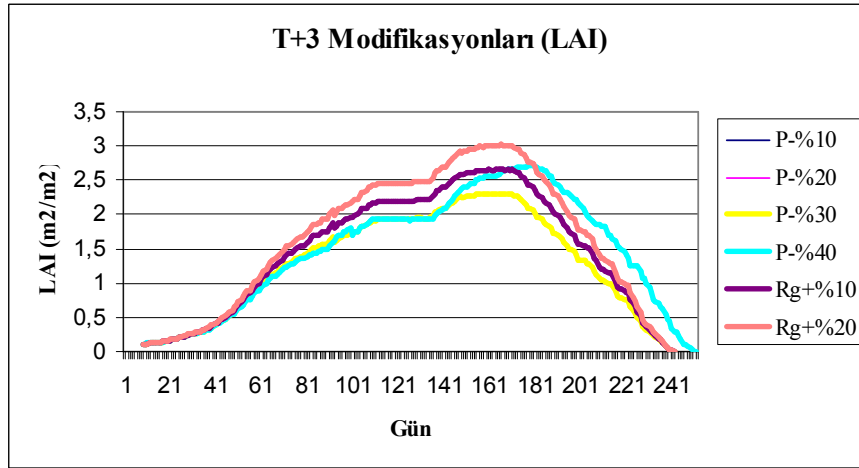
**Şekil 4.16:** 3 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin verime etkisi.

Grafikte görüldüğü gibi % 10, % 20 ve % 30'luk yağış azalışı verimi etkilemezken, yağıştaki % 40'lık düşüş verimi 5716 kg/ha'a, radyasyondaki % 10'luk artış verimi 6005 kg/ha'a, % 20'lik artış ise 6759 kg/ha'a çıkarmıştır. Bu durumda yağışın bitkinin ihtiyacından fazla düştüğü bir gelişme dönemi boyunca radyasyonun % 10 ya da % 20 oranında artması, buğday verimine olumlu etki sağlayabileceği söylenebilir.

Şekil 4.17'den de görüleceği üzere sıcaklığın 3 °C artması ile radyasyondaki % 10'luk artış, biyokütleyi 15342 kg/ha'a, % 20'lik artış ise 17205 kg/ha'a düşürmüştür. % 10, % 20 ve % 30'luk yağış azalışı ise sonucu etkilememiştir ve biyokütle 13320 kg/ha olarak hesaplanmıştır, yağıştaki % 40 oranındaki azalış biyokütle için daha fazla yağış düşmesi halinde elde edilmesi muhtemel sonuca göre artış göstermiştir ve 15380 kg/ha olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.17: 3 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin biyokütleye etkisi.



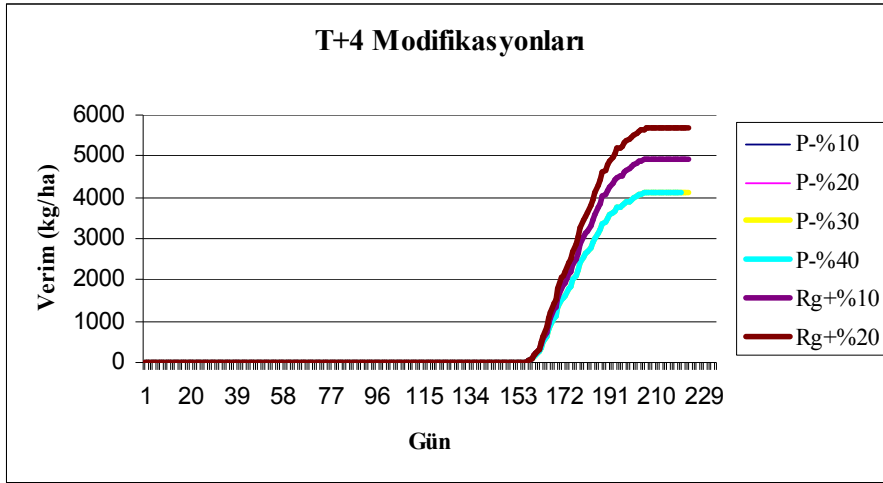
Şekil 4.18: 3 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin LAI'ye etkisi.

Şekil 4.18'de görüleceği üzere sıcaklığın 3 °C artması ile beraberinde radyasyondaki artış LAI değerlerini de etkilemiştir, % 10'luk artış maksimum LAI'yi 2.67'ye, % 20'lik artış ise 3.02'ye düşürmüştür. % 10, % 20 ve % 30'luk yağış azalışı ise sonucu etkilememiştir ve maksimum LAI 2.31 olarak, yağıştaki % 40 oranındaki

azalış maksimum LAI için daha fazla yağış düşmesi halinde elde edilmesi muhtemel sonuca göre artış göstermiştir ve 2.6 olarak hesaplanmıştır.

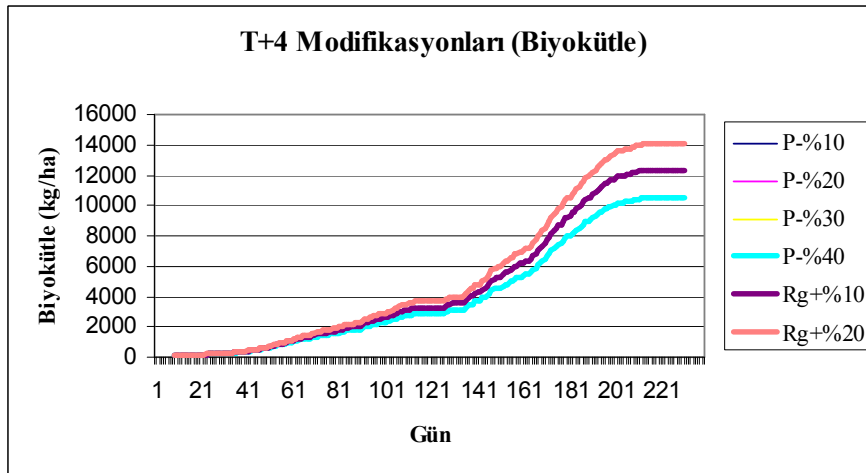
#### 4.2.1.4 Sıcaklığın 4° C artması

Şekil 4.19'da sıcaklığın 4 °C artışı ile birlikte yağış ya da toplam güneş radyasyonu verilerindeki değişimin verime olan etkisi görülmektedir.



Şekil 4.19: 4 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin verime etkisi.

Şekil 4.19'daki grafikte de görüleceği gibi 4 °C'lik sıcaklık artışı verimin genel olarak düşmesine neden olacaktır. Yağıştaki azalmanın verimi etkilememesi beklenir ve 4128 kg/ha olarak hesaplanmıştır. Toplam güneş radyasyonu miktarındaki % 10'luk artış verimi 4938 kg/ha'a düşürmüştü, % 20'lik artış 5687 kg/ha'a çıkarmıştır.

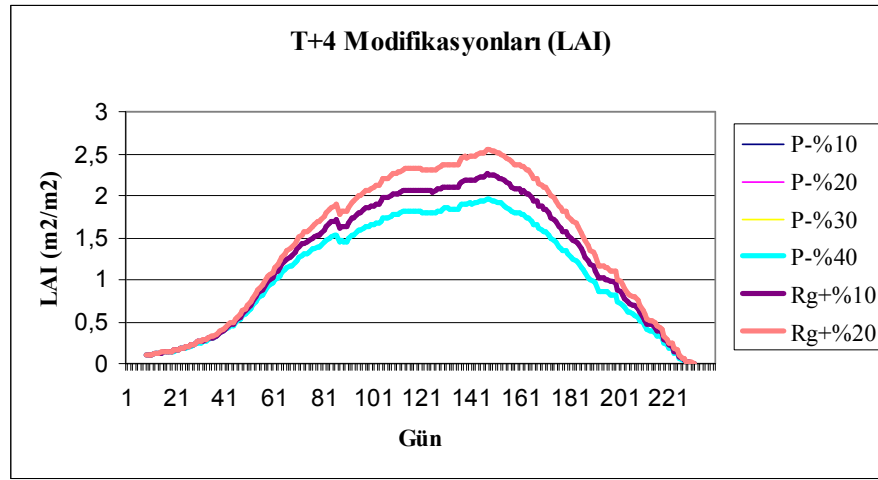


Şekil 4.20: 4 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin biyokütleye etkisi.



Şekil 4.20'den de görüleceği üzere sıcaklığın 4 °C artması ile radyasyondaki % 10'luk artış biyokütleyi 12332 kg/ha'a, % 20'lik artış ise 14063 kg/ha'a düşürmüştür. Yağış azalışı ise sonucu etkilememiştir ve biyokütle 10497 kg/ha olarak hesaplanmıştır

Şekil 4.21'de görüleceği üzere sıcaklığın 4 °C artması ile beraberinde radyasyondaki artış LAI değerlerini de etkilemiştir, % 10'luk artış maksimum LAI'yi 2.26'ya, % 20'lik artış ise 3.55'e düşürmüştür. Yağış azalışı ise sonucu etkilememiştir ve maksimum LAI 1.96 olarak hesaplanmıştır.



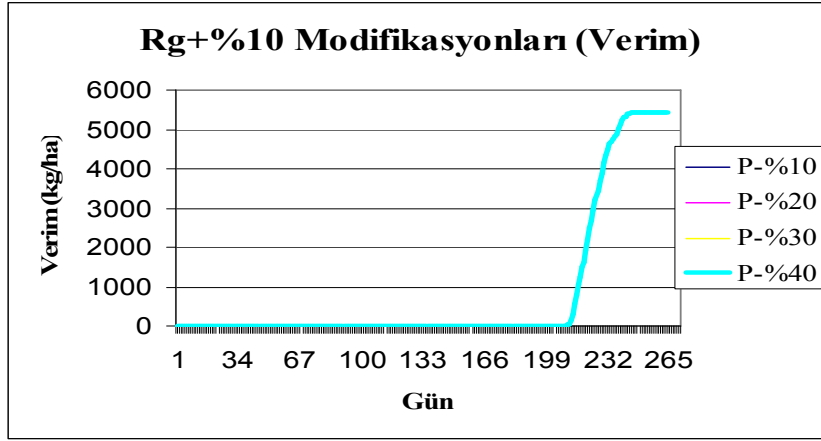
Şekil 4.21: 4 °C'lik sıcaklık artışı ve diğer meteorolojik parametrelerdeki değişimin LAI'ye etkisi.

#### 4.2.2 Toplam güneş radyasyonu değişimleri

##### 4.2.2.1 Toplam güneş radyasyonunun % 10 artması

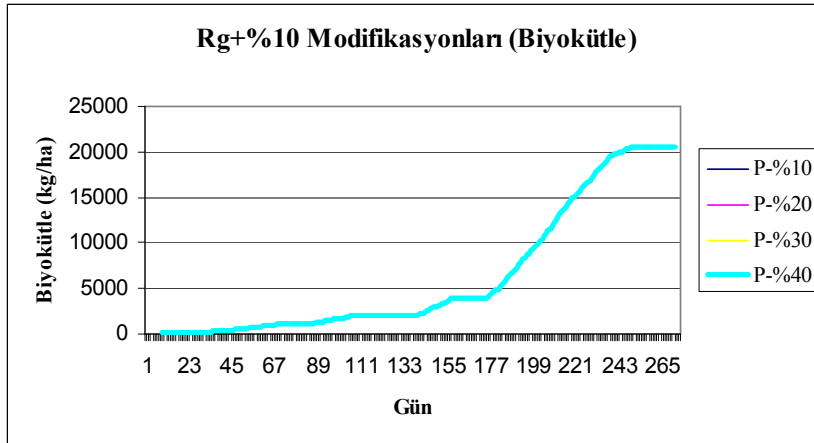
Toplam güneş radyasyonu değerlerinin, 2009-2010 yılı ölçümlerine göre % 10 artışı ile birlikte yağış azalışlarının meydana getireceği verim değerleri Şekil 4.22'de görülmektedir.

Şekilde de görülebileceği gibi toplam güneş radyasyonundaki artışla birlikte gerçekleşecek olan yağış miktarındaki değişim, verimde herhangi bir değişikliğe neden olmayacaktır. Modele göre verim yağıştaki % 10, % 20, % 30 ve % 40'luk azalma halinde 5435 kg/ha olacaktır.



**Şekil 4.22:** % 10' luk toplam güneş radyasyonu artışı ve yağış parametrelerindeki değişimin verime etkisi.

Toplam güneş radyasyonu değerlerinin % 10 artışı ile birlikte yağış azalışlarının meydana getireceği biyokütle değerleri Şekil 4.23'te görülmektedir.



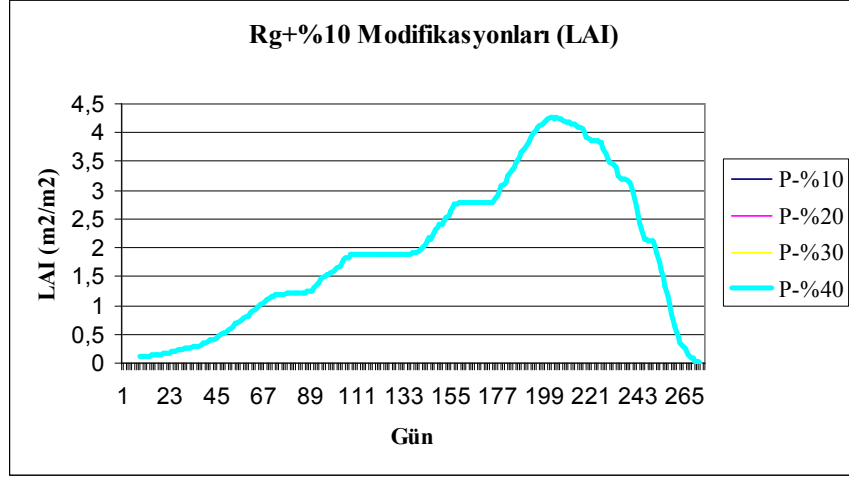
**Şekil 4.23:** % 10' luk toplam güneş radyasyonu artışı ve yağış parametrelerindeki değişimin biyokütle etkisi.

Şekilde de görülebileceği gibi toplam güneş radyasyonundaki artışla birlikte gerçekleşecek olan yağış miktarındaki değişim, biyokütlede de herhangi bir değişikliğe neden olmayacaktır. Modele göre biyokütle yağıştaki % 10, % 20, % 30 ve % 40'lık azalma halinde 20595 kg/ha olacaktır.

Toplam güneş radyasyonu değerlerinin % 10 artışı ile birlikte yağış azalışlarının meydana getireceği LAI değerleri Şekil 4.24'te görülmektedir.

Şekilde de görülebileceği gibi toplam güneş radyasyonundaki artışla birlikte gerçekleşecek olan yağış miktarındaki değişim, LAI'de de herhangi bir değişikliğe

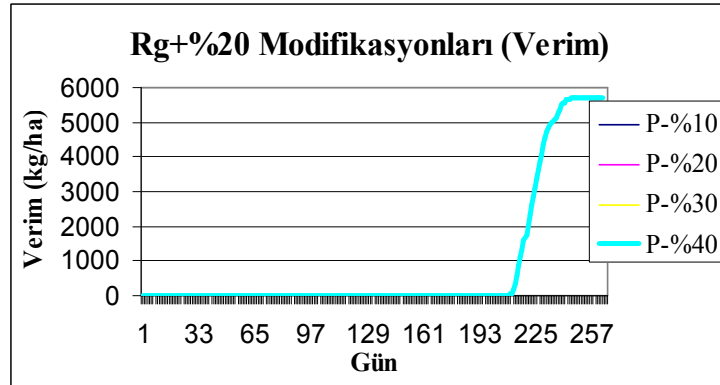
neden olmayacaktır. Modele göre maksimum LAI yağıştaki % 10, % 20, % 30 ve % 40'lık azalma halinde 4.27 olacaktır.



**Şekil 4.24:** % 10'lük toplam güneş radyasyonu artışı ve yağış parametrelerindeki değişimin LAI'ye etkisi.

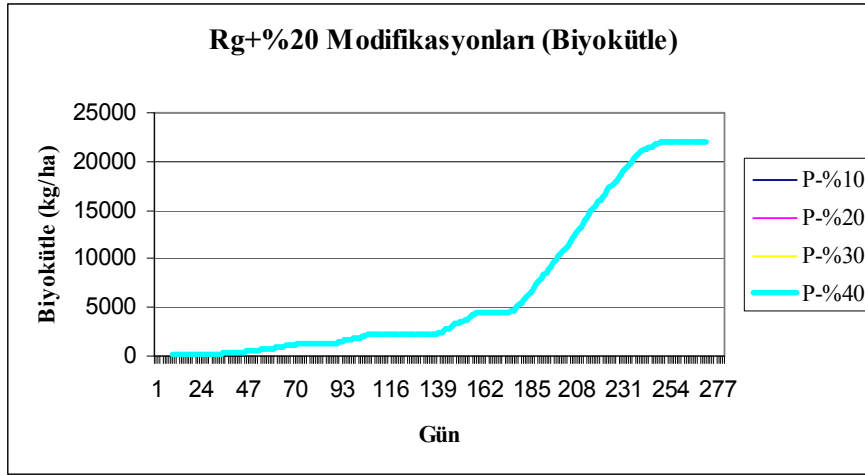
#### 4.2.2.2 Toplam güneş radyasyonunun % 20 artması

Toplam güneş radyasyonunun % 20 artması halinde de Şekil 4.25'te görüldüğü gibi yağıştaki % 10, % 20, % 30 ve % 40'lık azalmalar verim miktarında değişime neden olmayacaktır, WOFOST çalıştırıldığında, uygulama arazisi için yıllık 5698 kg/ha'lık verim beklenmektedir.



**Şekil 4.25:** % 20'lik toplam güneş radyasyonu artışı ve yağış parametrelerindeki değişimin verime etkisi.

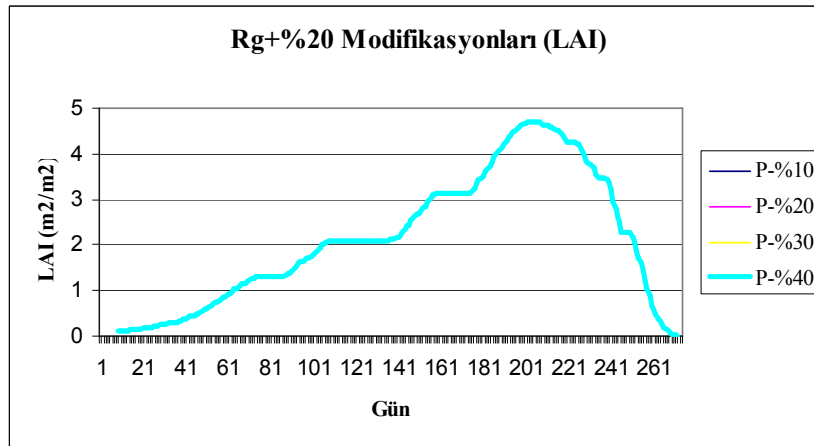
Toplam güneş radyasyonu değerlerinin % 20 artışı ile birlikte yağış azalışlarının meydana getireceği biyokütle değerleri Şekil 4.26'da görülmektedir.



**Şekil 4.26:** % 20'lik toplam güneş radyasyonu artışı ve yağış parametrelerindeki değişimin biyokütleye etkisi.

Şekilde de görülebileceği gibi toplam güneş radyasyonundaki artışla birlikte gerçekleşecek olan yağış miktarındaki değişim, biyokütlede de herhangi bir değişikliğe neden olmayacaktır. Modele göre biyokütle yağıştaki % 10, % 20, % 30 ve % 40'lık azalma halinde 22106 kg/ha olacaktır.

Toplam güneş radyasyonu değerlerinin % 20 oranındaki artışı ile birlikte yağış azalışlarının meydana getireceği LAI değerleri Şekil 4.27'de görülmektedir.



**Şekil 4.27:** % 20'lik toplam güneş radyasyonu artışı ve yağış parametrelerindeki değişimin LAI'ye etkisi.

Şekilde de görülebileceği gibi toplam güneş radyasyonundaki artışla birlikte gerçekleşecek olan yağış miktarındaki değişim, LAI'de de herhangi bir değişikliğe neden olmayacaktır. Modele göre maksimum LAI yağıştaki % 10, % 20, % 30 ve % 40'lık azalma halinde 4.72 olacaktır. Çizelgelerde de görüldüğü gibi yağıştaki değişimin bitki gelişimi üzerinde 2009-2010 gelişme dönemindeki verilere göre simüle edildiğinde etkili olmadığı görülmektedir. Bunun en büyük nedeni modeldeki

yağış yaklaşımı ve bahsi geçen gelişme dönemi boyunca araziye bitkinin su ihtiyacından ve geçmiş yıllara ait ortalama değerlerden daha fazla yağış düşmüş olması olabilir.



## **5. GELECEK YILLAR İÇİN MODEL SONUÇLARI**

Daha önceki bölümlerde modelin kalibrasyonu ve hassasiyet analizinden bahsedilmiştir. Bu bölümde ise, WOFOST'un kalibrasyonu yapıldıktan sonra gelecekteki iklim değişikliği senaryolarına göre modelin çalıştırılması ve sonuçlarının analizi anlatılacaktır.

WOFOST için gerekli kalibrasyonlar ve hassasiyet analizi yapıldıktan sonra gelecek yıllar için RegCM3 Bölgesel İklim Modeli ile ECHAM5 A2 senaryosuna göre hazırlanmış aylık yağış ve sıcaklık öngörülerinin, 2009–2010 gelişme döneminde ölçülen değerlerle yüzde olarak değişiminin kıyaslanması ve değişimin günlük değerlere yansıtılarak minimum sıcaklık, maksimum yağış, maksimum sıcaklık ve minimum yağışın beklendiği 2014, 2015, 2089 ve 2096 yılları için WOFOST ile verim tahmininin yapılması hedeflenmiştir.

### **5.1 A2 Senaryosuna Göre Sıcaklık ve Yağış Öngörülleri**

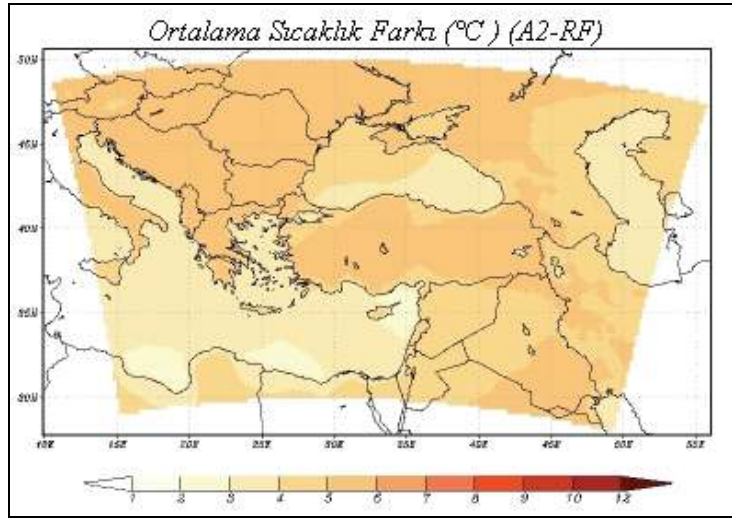
Bu bölümde Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü İklim ve İklim Değişikliği Şube Müdürlüğü tarafından yapılan araştırmada RegCM3 Bölgesel İklim Modeli ile A2 senaryosuna göre hazırlanmış yağış ve sıcaklık öngörülleri kullanılmıştır. Yağış ve sıcaklık verileri aylık ortalamalar şeklinde alınmıştır. WOFOST Bitki İklim Modeli günlük meteorolojik veriye ihtiyaç duyduğundan dolayı 2009-2010 yıllarının ölçülen değerleri ile gelecek yıllara ait simülasyon sonuçları arasındaki yüzdelik farklar günlük verilere yansıtılarak hazırlanmıştır.

İklim değişikliği öngörülleri için kullanılan A2 senaryosunun seçilmiş olmasının asıl nedeni, iklim değişikliğine neden olan etkenlerin sabit bir hızla devam ettiği varsayımının söz konusu olmasıdır. Ayrıca heterojen bir dünyadan bahsedilebilir. Hızlı bir nüfus artışı ve buna bağlı olarak hızlı bir ekonomik gelişme öngörülmektedir (Göncü, 2005). Hazırlanan simülasyon sonuçlarına ait meteorolojik veri dosyalarına ait bir örnek Şekil 5.1'de görülmektedir.

1	kırklareli			kırklareli			kırklareli		
	yag mm/ay	sicaklik°C		yag mm/ay	sicaklik°C		yag mm/ay	sicaklik°C	
3	2012-01	9,0	2,3	2013-01	99,9	6,2	2014-01	115,5	0,6
4	2012-02	9,9	6,2	2013-02	32,4	3,1	2014-02	117,6	0,3
5	2012-03	29,4	8,3	2013-03	127,8	6,5	2014-03	61,8	4,9
6	2012-04	51,0	11,5	2013-04	101,7	12,1	2014-04	31,5	9,3
7	2012-05	51,6	18,3	2013-05	91,8	15,1	2014-05	42,9	17,4
8	2012-06	6,6	24,2	2013-06	15,6	18,6	2014-06	53,1	19,4
9	2012-07	1,8	28,0	2013-07	1,8	25,2	2014-07	8,4	24,1
10	2012-08	22,8	24,6	2013-08	31,2	21,7	2014-08	16,8	24,2
11	2012-09	12,9	20,9	2013-09	12,6	16,2	2014-09	11,1	19,9
12	2012-10	29,1	13,4	2013-10	50,1	10,8	2014-10	103,8	14,0
13	2012-11	33,9	9,5	2013-11	39,9	7,6	2014-11	157,5	9,7
14	2012-12	95,4	6,4	2013-12	50,1	5,2	2014-12	136,5	6,9
15									
16	2015-01	175,5	6,7	2016-01	102,9	4,9	2017-01	131,7	5,2
17	2015-02	67,2	6,6	2016-02	79,2	5,2	2017-02	33,3	4,0
18	2015-03	68,1	8,3	2016-03	49,2	9,0	2017-03	54,9	6,4
19	2015-04	89,7	11,8	2016-04	60,0	12,0	2017-04	45,0	10,4
20	2015-05	85,2	15,2	2016-05	18,0	16,6	2017-05	60,6	14,2
21	2015-06	75,0	18,2	2016-06	18,6	22,1	2017-06	75,0	20,6
22	2015-07	70,2	19,5	2016-07	4,5	24,4	2017-07	35,4	22,7
23	2015-08	3,3	20,2	2016-08	2,4	22,6	2017-08	23,7	22,3
24	2015-09	33,9	17,4	2016-09	21,9	19,7	2017-09	9,0	15,4
25	2015-10	25,2	12,2	2016-10	52,8	14,8	2017-10	51,3	9,5
26	2015-11	41,1	5,8	2016-11	202,2	5,8	2017-11	96,9	8,0
27	2015-12	30,9	2,1	2016-12	76,5	2,1	2017-12	38,1	5,7

**Şekil 5.1:** İklim modelleri ile hazırlanmış aylık meteorolojik veri dosyası.

Yapılan çalışmalarda; A2 senaryosuna göre 2071-2100'de 1961-1990'a göre ortalama sıcaklıklar, Türkiye'nin kıyı kesimi boyunca 4-5 °C, iç bölgelerde ise 5-6 °C civarında, Avrupa genelinde de Türkiye'ye benzer şekilde 5-6 °C'lık bir artış bekleneceği sonucuna ulaşılmıştır (Demir ve diğ., 2010). Yapılan çalışmalar sonucunda Türkiye için elde edilen öngörülere ait harita Şekil 5.22'de görülmektedir.



**Şekil 5.2:** A2 senaryosuna göre 2071-2100'deki sıcaklık farkı.

## 5.2 İklim Değişikliği Senaryolarına Göre Verim Tahmini

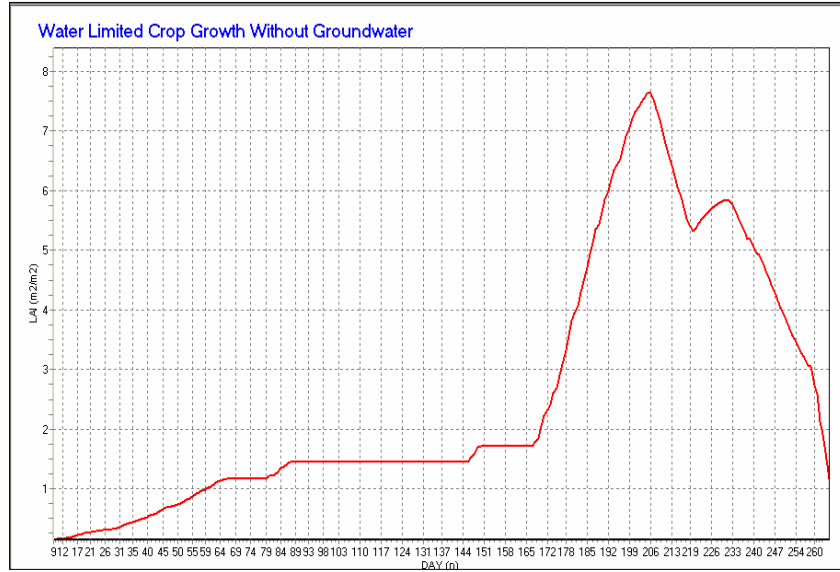
2012-2100 yılları arasında iklim değişikliği senaryolarına göre yağış ve sıcaklık tahminlerinin değerlendirilmesinin ardından aynı yıllar arasındaki ekstrem değerlerin beklendiği yıllar için verim tahmini yapılmıştır. Bu bölümde bu çalışmalardan bahsedilecektir.



## 5.2.1 Minimum Sıcaklığın Beklendiği 2013-2014 Gelişme Dönemi İçin Model

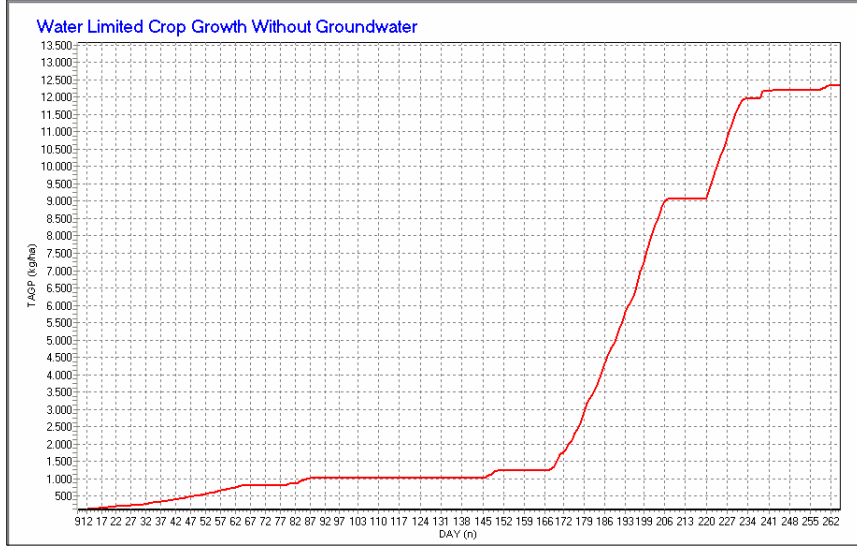
### Sonuçları

Minimum sıcaklık değerlerinin görülmesi beklenen 2013-2014 gelişme dönemi için WOFOST çalıştırılmış, senaryolara ait çıktılardan faydalanılarak aylık yağış ve sıcaklık verilerinin değişimi günlük bazda kullanılmıştır. 2009-2010 gelişme dönemi için ölçülen yağış toplamı 560.7 mm ve günlük sıcaklık ortalaması 11.2 °C'dir. Minimum sıcaklığın gözlenmesinin öngörüldüğü gelişme döneminde ise, bu değerler 570.9 mm ve 9.9 °C'dir. Bu durumda gelişme döneminde sıcaklıkta ortalama % 11.6 oranında azalma ve yağışta % 1.8 oranında artma ihtimali için bitki gelişimi simüle edilmiştir. Özellikle Şubat ayı için belirlenen sıcaklık düşme senaryosu, 2009-2010 gelişme dönemine göre oldukça ekstremdir. Bu sebeple sıcaklığın hangi bitki gelişme döneminde düştüğü WOFOST modelinin sonuçlarını önemli derecede etkilemektedir. Şekil 5.3'te sözü geçen gelişme dönemi için LAI'ye ait grafik, Şekil 5.4'te biyokütle ve Şekil 5.5'te verim grafikleri görülmektedir. Grafikler WOFOST Bitki İklim Modeli'nin grafik çizim özelliği kullanılarak çizdirilmiştir.



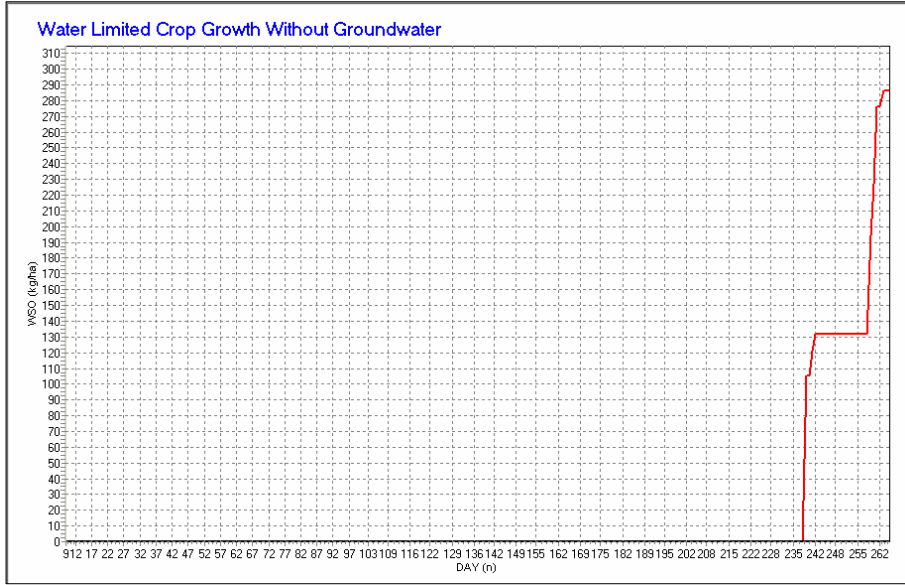
**Şekil 5.3:** 2013-2014 gelişme dönemi için model sonuçları (LAI).

Şekil 5.3'te de görüleceği gibi maksimum LAI değerinin minimum sıcaklığın beklediği 2013-2014 gelişme döneminde 7.63'e yükselmesi beklenmektedir. Bununla birlikte Şekil 5.4'te görüldüğü gibi biyokütle değeri 12339 kg/ha olarak hesaplanmıştır.



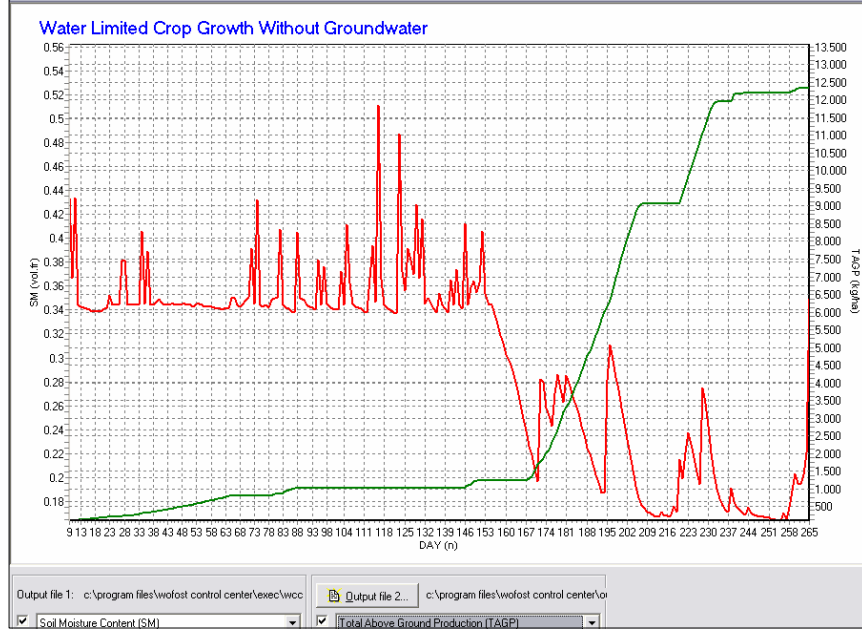
**Şekil 5.4:** 2013-2014 gelişme dönemi için model sonuçları (Biyokütle).

Aynı gelişme dönemi için verim değerleri Şekil 5.5'teki gibidir. Sıcaklığın en düşük değerlerde seyretmesinin beklendiği gelişme dönemi için LAI değeri yükselirken verim ve biyokütle değerlerinde ciddi bir düşüş beklenmektedir. Verim 286 kg/ha olarak hesaplanmıştır. Bu değer 2009-2010 gelişme döneminde uygulama arazisinde ölçülen ve WOFOST ile modellenen değerlerden oldukça düşük bir değerdir.



**Şekil 5.5:** 2013-2014 gelişme dönemi için model sonuçları (Verim).

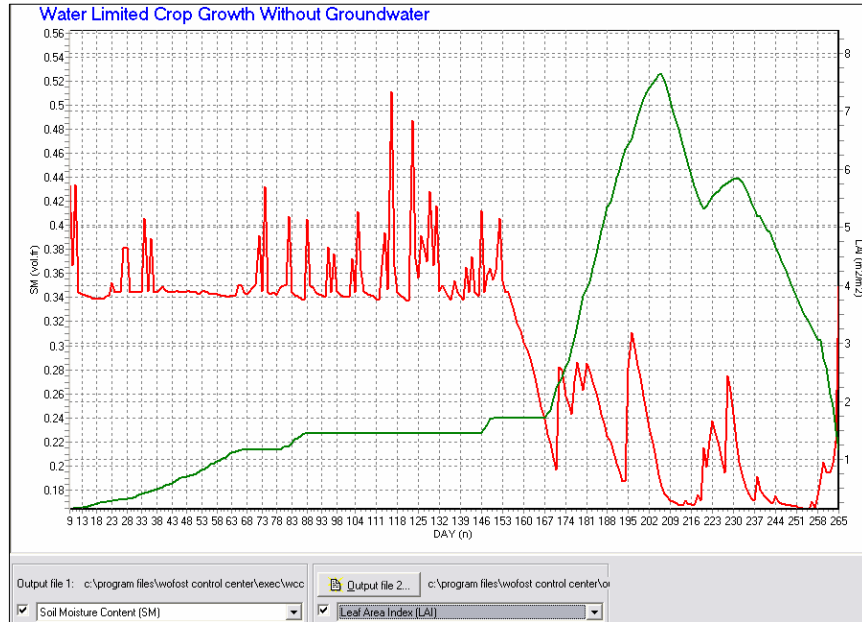
Toprak su içeriği ile biyokütle ve LAI değerlerinin karşılaştırıldığı grafikler Şekil 5.6 ve 5.7'de görülmektedir.



**Şekil 5.6:** 2013-2014 gelişme dönemi için model sonuçları (Toprak su içeriği-biyokütle).

Şekil 5.6’da görüleceği gibi 2013-2014 yılları için toplam biyokütle ve toprak su içeriği arasındaki ilişki araştırılmıştır. Grafikten de anlaşılacağı gibi biyokütlenin hızlı artış göstermeye başladığı günden itibaren toprak su içeriği de azalmaya başlamaktadır. Şekil 5.6’daki biyokütle ve toprak su içeriği değerleri arasındaki korelasyon 0.91 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.7’de LAI ile toprak su içeriği arasındaki ilişki görülmektedir.



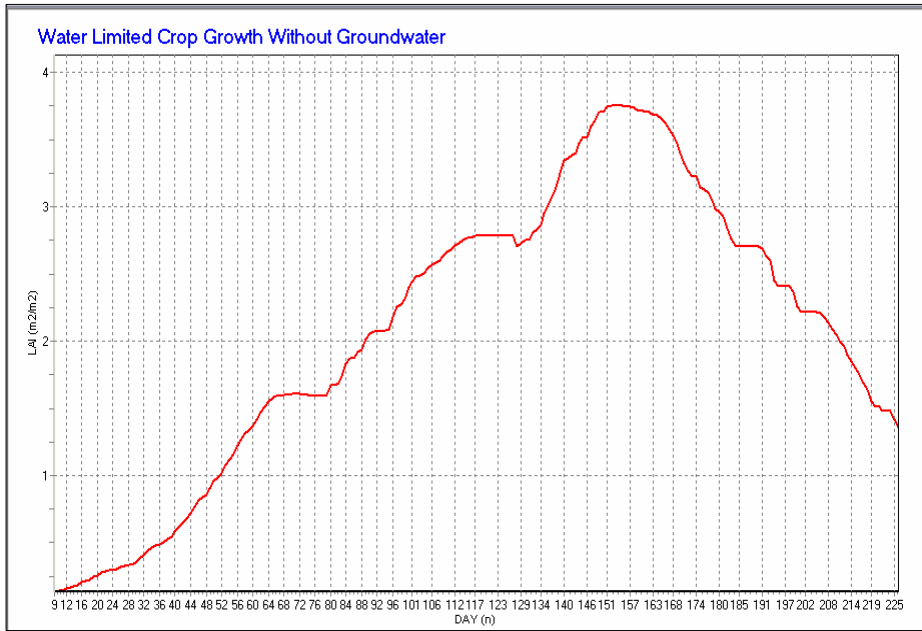
**Şekil 5.7:** 2013-2014 gelişme dönemi için model sonuçları (Toprak su içeriği-LAI).

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi su limitli üretim modellendiğinde LAI ve toprak su içeriği arasında da bir ilişki görülmektedir. Su limitli üretim, kuru tarım şartlarındaki üretim olarak da nitelendirilebilir. LAI’nin hızla artmaya başladığı günlerde toprak su içeriğinin de azaldığı görülmektedir.

## 5.2.2 Maksimum Yağışın Beklendiği 2014-2015 Gelişme Dönemi İçin Model

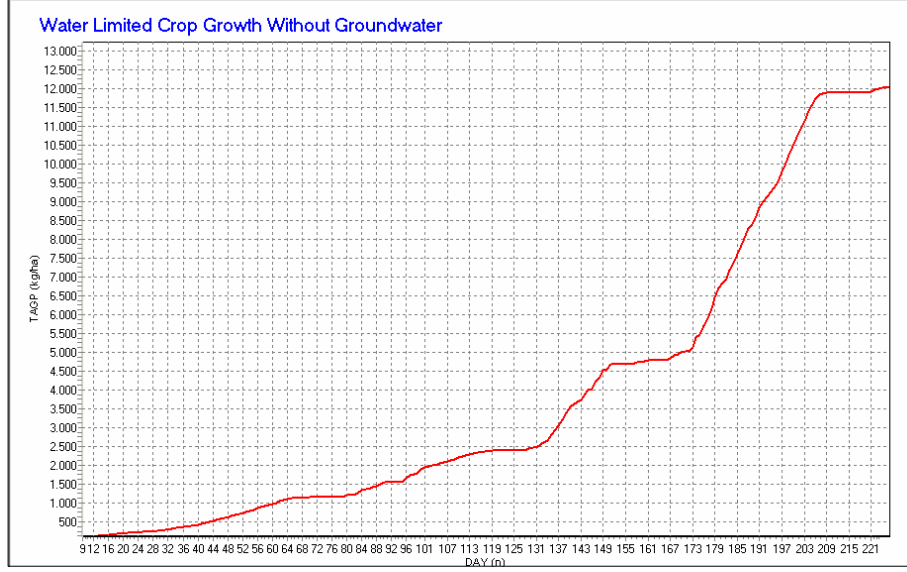
### Sonuçları

Maksimum yağış değerlerinin görülmesi beklenen 2014-2015 gelişme dönemi için WOFOST çalıştırılmış, senaryolara ait çıktılardan faydalanılarak aylık yağış ve sıcaklık verilerinin değişimi günlük bazda kullanılmıştır. Maksimum yağışın gözlenmesinin öngörüldüğü gelişme döneminde ise bu değerler 1028.7 mm ve 11.7 °C’dir. Bu durumda sıcaklıkta % 4.5 ve yağışta % 83.5 oranında artış ihtimali için bitki gelişimi simüle edilmiştir. Şekil 5.8’de sözü geçen gelişme dönemi için LAI’ye ait grafik, Şekil 5.9’da biyokütle ve Şekil 5.10’da verim grafikleri görülmektedir.



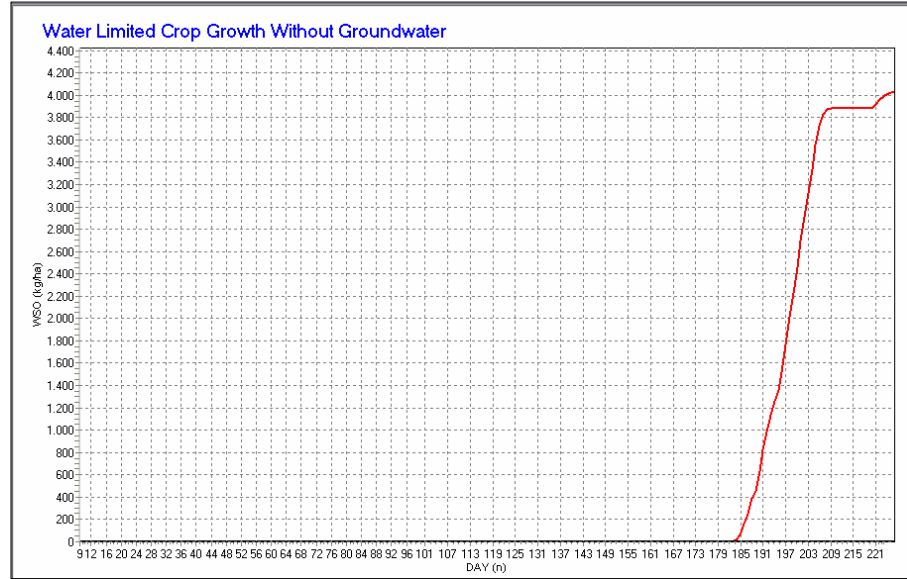
Şekil 5.8: 2014-2015 gelişme dönemi için model sonuçları (LAI).

Şekil 5.8’de görüleceği gibi maksimum LAI değerinin maksimum yağışın beklediği 2014-2015 gelişme döneminde 3.75’e yükselmesi beklenmektedir. Bununla birlikte Şekil 5.9’da görüldüğü gibi biyokütle değeri 12023 kg/ha olarak hesaplanmıştır.



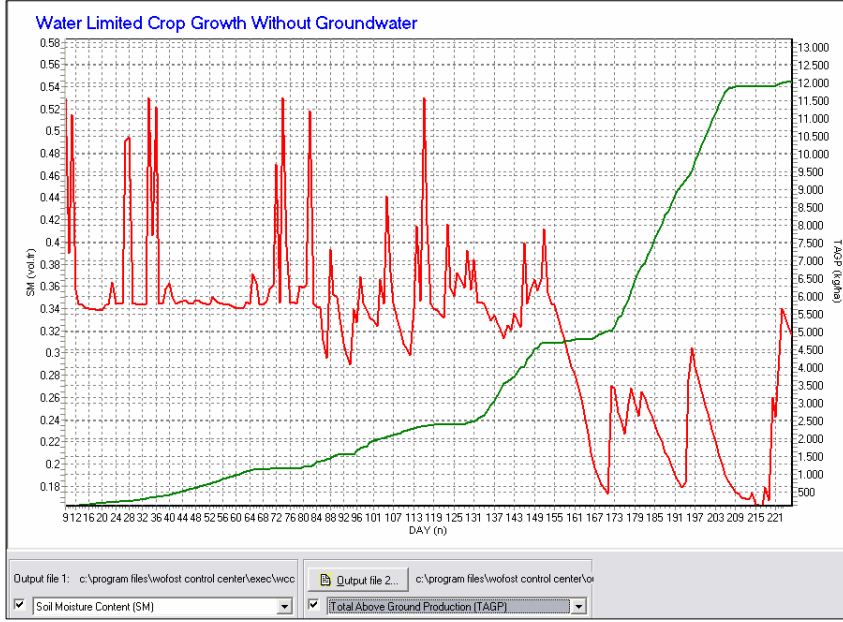
**Şekil 5.9:** 2014-2015 gelişme dönemi için model sonuçları (Biyokütle).

Aynı gelişme dönemi için verim değerleri Şekil 5.10'daki gibidir. Verim 4021 kg/ha olarak hesaplanmıştır. Bu değer 2009-2010 gelişme döneminde uygulama arazisinde ölçülen ve WOFOST ile modellenen değerlerden daha düşük bir değerdir. 2009-2010 gelişme dönemindeki değer 5191 kg/ha olduğu hatırlanırsa, verimde yaklaşık % 23 oranında azalma görülebileceği anlaşılmış olur. Ancak unutulmamalıdır ki burada toplam yağışlardan çok yağışın gelişme dönemi içinde dağılımı önemlidir. Bu farklılık bu yağışın gelişme dönemi içinde düştüğü zamanların farklılığından kaynaklanmış olabilir.



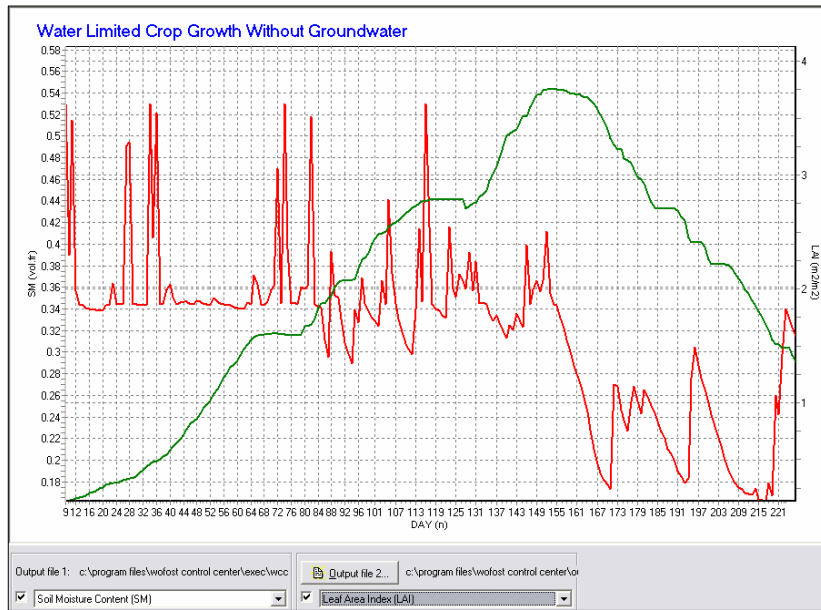
**Şekil 5.10:** 2014-2015 gelişme dönemi için model sonuçları (Verim).

Toprak su içeriği ile biyokütle ve LAI değerlerinin karşılaştırıldığı grafikler Şekil 5.11 ve 5.12’de görülmektedir.



**Şekil 5.11:** 2014-2015 gelişme dönemi için model sonuçları (Toprak su içeriği-biyokütle).

Şekil 5.11’de görüleceği gibi 2014-2015 yılları için toplam biyokütle ve toprak su içeriği arasındaki ilişki araştırılmıştır. Grafikten de anlaşılacağı gibi biyokütlenin hızlı artış göstermeye başladığında toprak su içeriği de azalmaya başlamaktadır, fakat parametrelerdeki karşılıklı değişiklik aynı günlerde gerçekleşmemiştir. Şekil 5.12’de LAI ile toprak su içeriği arasındaki ilişki görülmektedir.

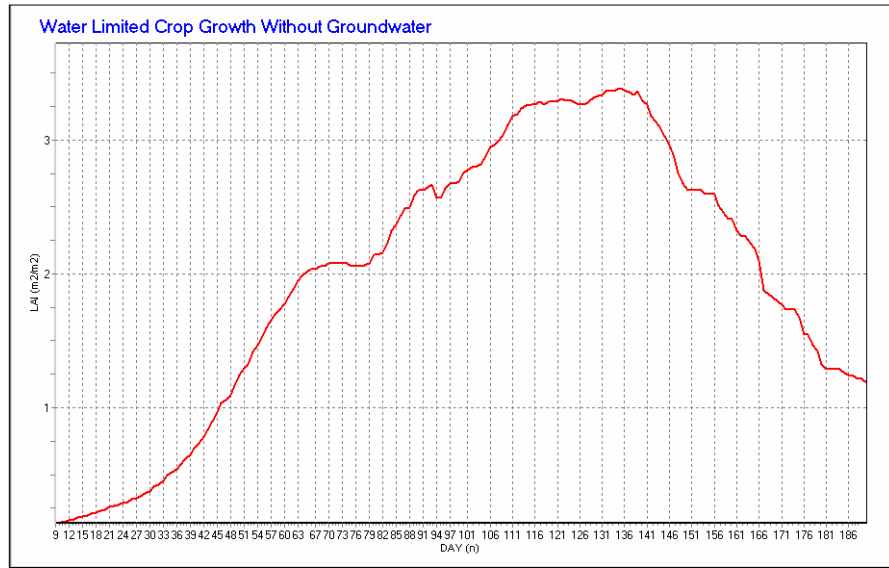


**Şekil 5.12:** 2014-2015 gelişme dönemi için model sonuçları (Toprak su içeriği-LAI).

Şekil 5.12’de görüldüğü gibi su limitli üretim modellendiğinde LAI ve toprak su içeriği arasında da bir ilişki görülmektedir. Aynı günlerde olmamakla birlikte LAI’nin artmaya başladığı dönemde toprak su içeriğinin azaldığı görülmektedir.

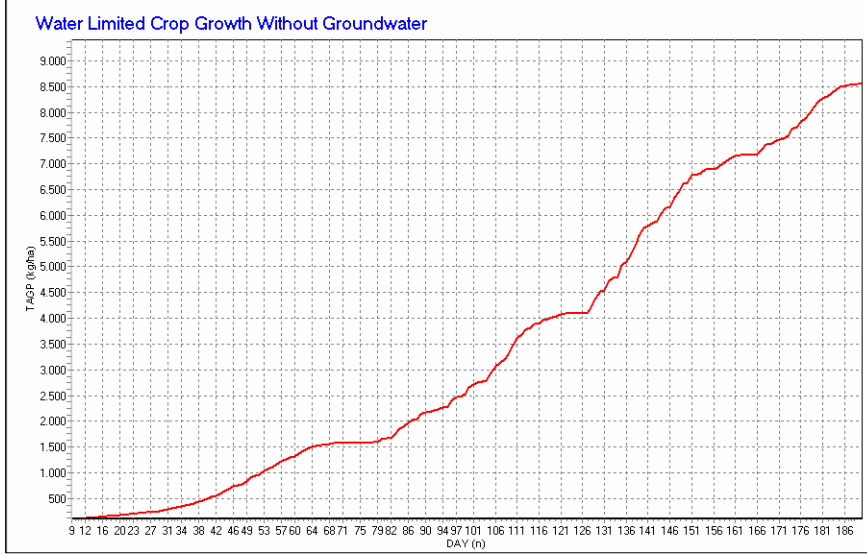
### 5.2.3 Maksimum Sıcaklığın Beklendiği 2088-2089 Gelişme Dönemi İçin Model Sonuçları

Maksimum sıcaklık değerlerinin görülmesi beklenen 2088-2089 gelişme dönemi için WOFOST çalıştırılmış, senaryolara ait çıktılardan faydalanılarak aylık yağış ve sıcaklık verilerinin değişimi günlük bazda kullanılmıştır. Maksimum sıcaklığın gözlenmesinin öngörüldüğü gelişme döneminde ise bu değerler 465 mm ve 16 °C’dir. Bu durumda sıcaklıkta % 42.9 oranında artış ve yağışta % 17.1 oranında azalma ihtimali için bitki gelişimi simüle edilmiştir. Şekil 5.13’te sözü geçen gelişme dönemi için LAI’ye ait grafik, Şekil 5.14’te biyokütle ve Şekil 5.15’te verim grafikleri görülmektedir.



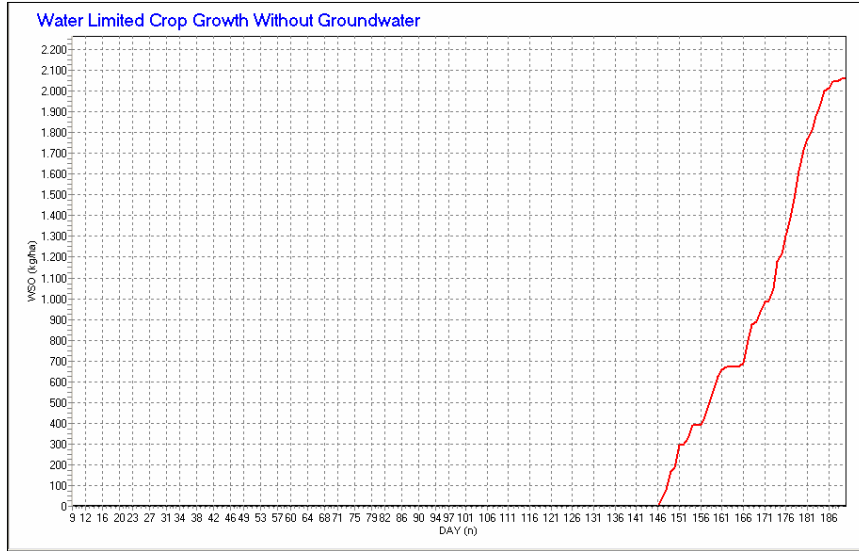
**Şekil 5.13:** 2088-2089 gelişme dönemi için model sonuçları (LAI).

Şekil 5.13’te görüleceği gibi maksimum LAI değerinin maksimum sıcaklığın beklediği 2088-2089 gelişme döneminde 3.39 olması beklenmektedir. Bununla birlikte Şekil 5.14’te görüldüğü gibi biyokütle değeri 8553 kg/ha olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 5.14:** 2088-2089 gelişme dönemi için model sonuçları (Biyokütle).

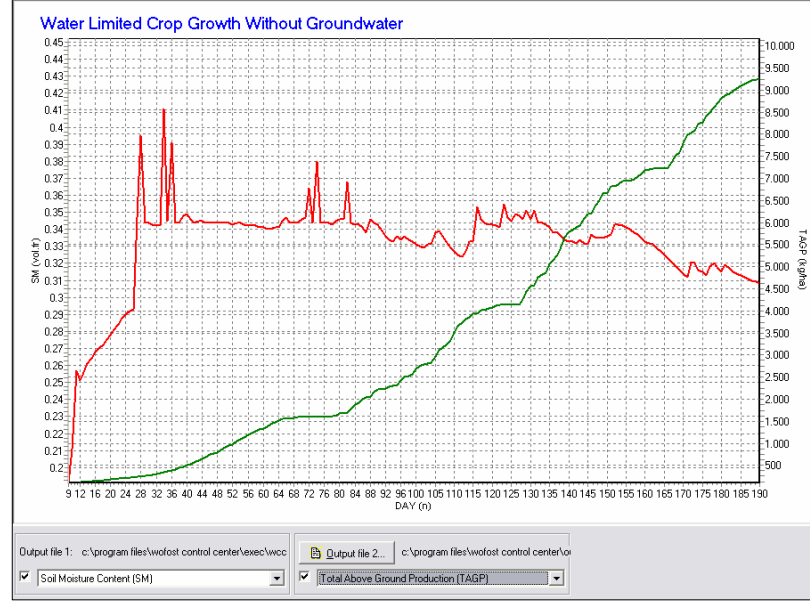
Aynı gelişme dönemi için verim değerleri Şekil 5.15'teki gibidir. Verim 2058 kg/ha olarak hesaplanmıştır. Bu değer 2009-2010 gelişme döneminde uygulama arazisinde ölçülen ve WOFOST ile modellenen değerlerden oldukça düşük bir değerdir. 2009-2010 gelişme dönemindeki değer 5191 kg/ha olduğu hatırlanırsa, verimde yaklaşık % 60.4 oranında düşüş görülebileceği anlaşılmış olur.



**Şekil 5.15:** 2088-2089 gelişme dönemi için model sonuçları (Verim).

Toprak su içeriği ile biyokütle ve LAI değerlerinin karşılaştırıldığı grafikler Şekil 5.16 ve 5.17'de görülmektedir.

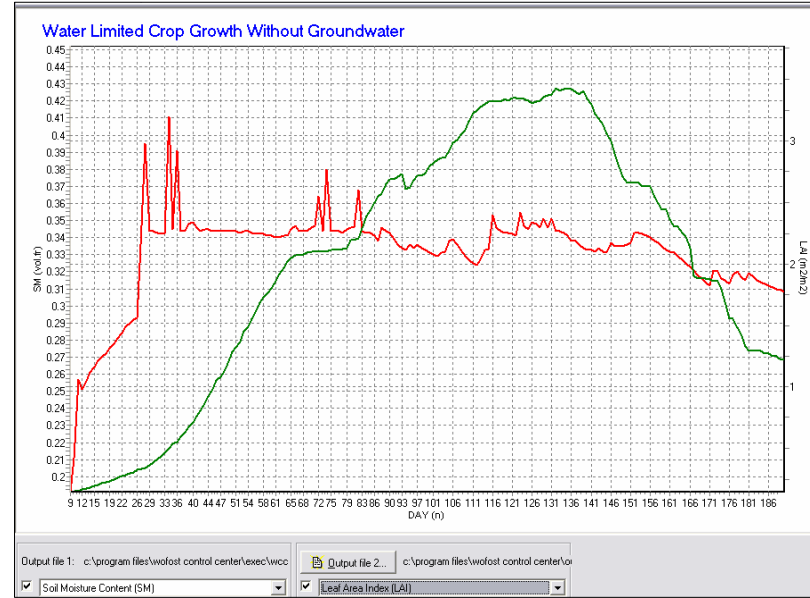




**Şekil 5.16:** 2088-2089 gelişme dönemi için model sonuçları (Toprak su içeriği-biyokütle).

Şekil 5.16’da da görüleceği gibi 2088-2089 yılları için toplam biyokütle ve toprak su içeriği arasındaki ilişki araştırılmıştır. Grafikten de anlaşılacağı gibi parametrelerdeki karşılıklı değişiklik aynı günlerde gerçekleşmemiştir.

Şekil 5.17’de LAI ile toprak su içeriği arasındaki ilişki görülmektedir.



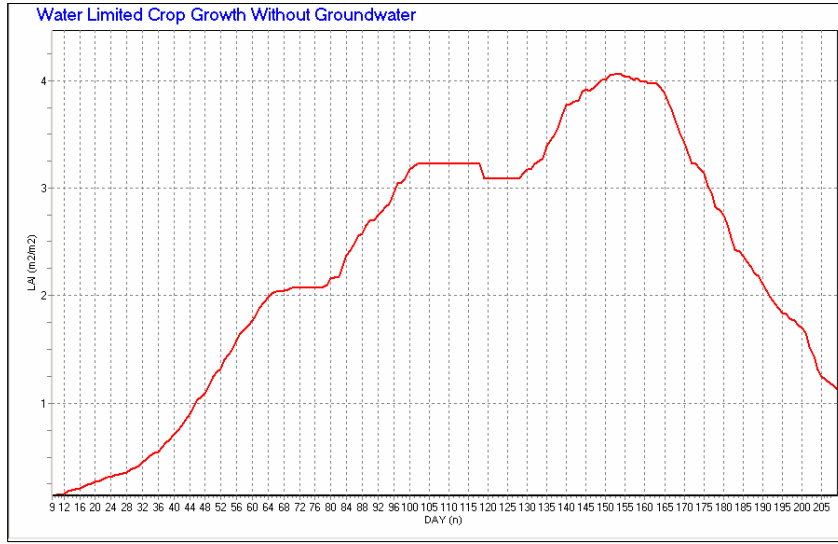
**Şekil 5.17:** 2088-2089 gelişme dönemi için model sonuçları (Toprak su içeriği-LAI).

Şekil 5.17’de görüldüğü gibi su limitli üretim modellendiğinde LAI ve toprak su içeriği arasında da bir ilişki görülmektedir. Aynı günlerde olmamakla birlikte LAI’nin artmaya başladığı dönemde toprak su içeriğinin azaldığı görülmektedir.

## 5.2.4 Minimum Yağışın Beklendiği 2095-2096 Gelişme Dönemi İçin Model

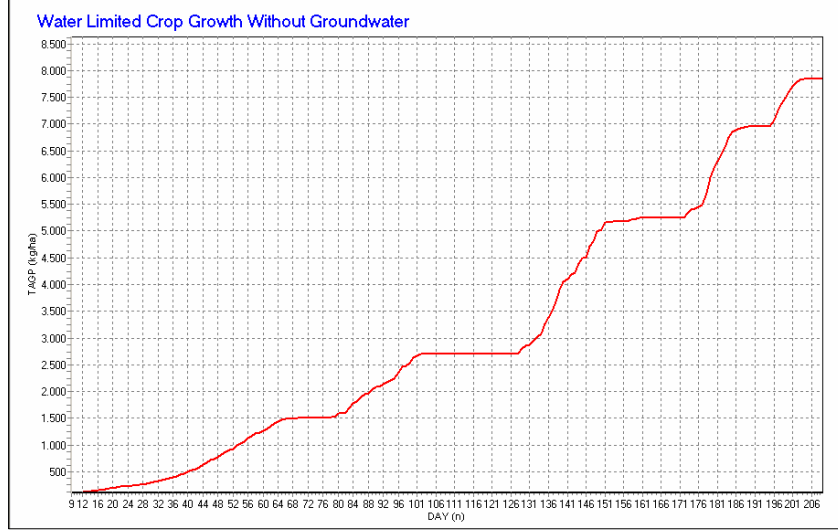
### Sonuçları

Minimum yağış değerlerinin görülmesi beklenen 2095-2096 gelişme dönemi için WOFOST çalıştırılmış, senaryolara ait çıktılardan faydalanılarak aylık yağış ve sıcaklık verilerinin değişimi günlük bazda kullanılmıştır. Minimum yağışın gözlenmesinin öngörüldüğü gelişme döneminde ise bu değerler 224.1mm ve 15.6 °C'dir. Bu durumda sıcaklıkta % 40.2 oranında artış ve yağışta % 60 oranında azalma ihtimali için bitki gelişimi simüle edilmiştir. Şekil 5.18'de sözü geçen gelişme dönemi için LAI'ye ait grafik, Şekil 5.19'da biyokütle ve Şekil 5.20'de verim grafikleri görülmektedir.



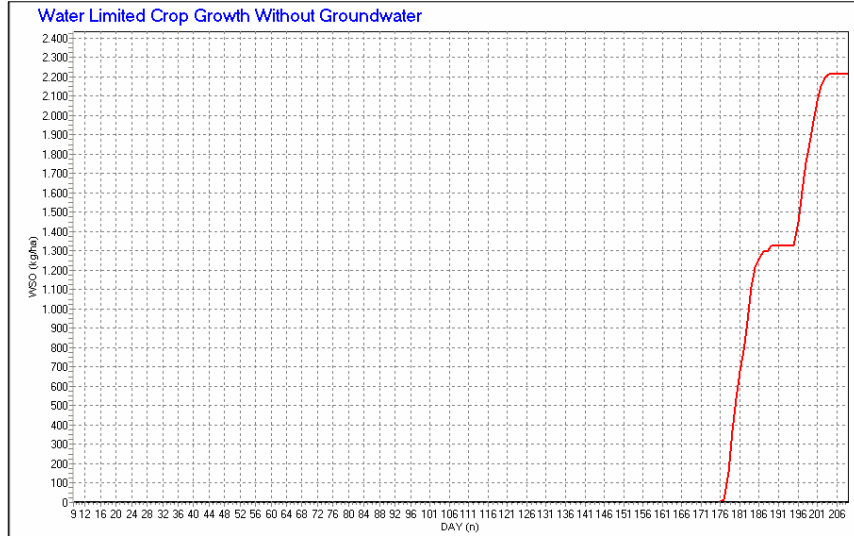
**Şekil 5.18:** 2095-2096 gelişme dönemi için model sonuçları (LAI).

Şekil 5.18'de görüleceği gibi maksimum LAI değerinin maksimum sıcaklığın beklendiği 2095-2096 gelişme döneminde 4.06'ya yükselmesi beklenmektedir. Bununla birlikte Şekil 5.19'da görüldüğü gibi biyokütle değeri 7845 kg/ha olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 5.19:** 2005-2006 gelişme dönemi için model sonuçları (Biyokütle).

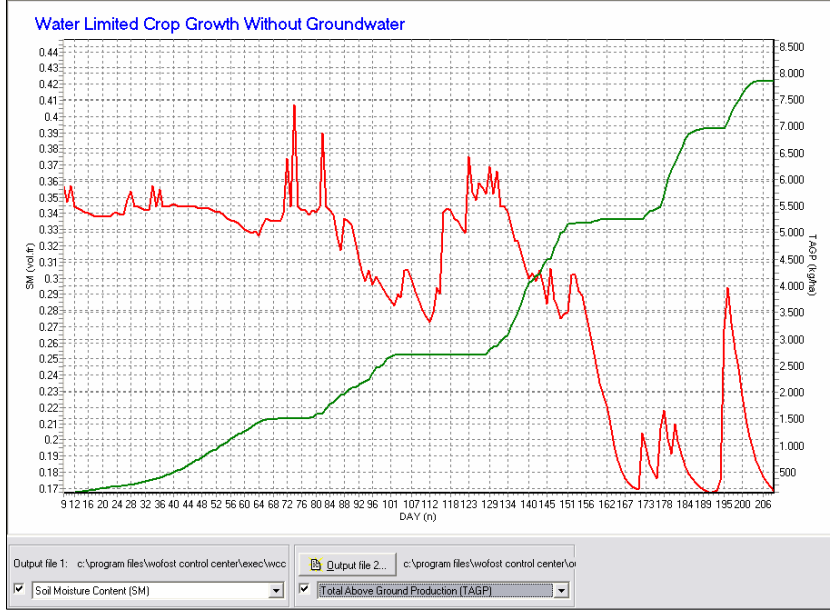
Aynı gelişme dönemi için verim değerleri Şekil 5.20'deki gibidir. Verim 2212 kg/ha olarak hesaplanmıştır. Bu değer 2009-2010 gelişme döneminde uygulama arazisinde ölçülen ve WOFOST ile modellenen değerlerden daha düşük bir değerdir. 2009-2010 gelişme dönemindeki değer 5191 kg/ha olduğu hatırlanırsa, verimde yaklaşık % 57 oranında düşüş görülebileceği anlaşılmış olur.



**Şekil 5.20:** 2005-2006 gelişme dönemi için model sonuçları (Verim).

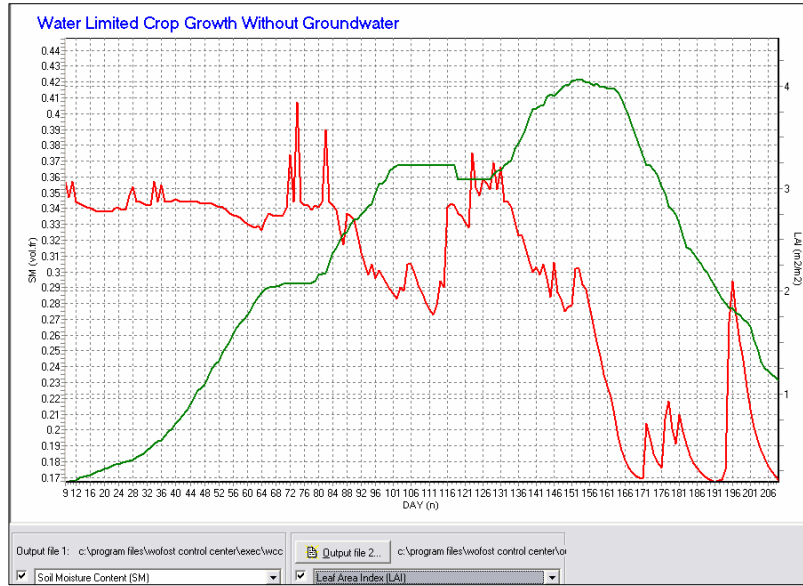
Toprak su içeriği ile biyokütle ve LAI değerlerinin karşılaştırıldığı grafikler Şekil 5.21 ve 5.22'de görülmektedir.

Şekil 5.21'de 2005-2006 yılları için toplam biyokütle ve toprak su içeriği arasındaki ilişki araştırılmıştır. Grafikten de anlaşılacağı gibi parametrelerdeki karşılıklı değişiklik birbirine yakın günlerde gerçekleşmiştir.



**Şekil 5.21:** 2095-2096 gelişme dönemi için model sonuçları (Toprak su içeriği-biyokütle).

Şekil 5.22’de ise LAI ile toprak su içeriği arasındaki ilişki görülmektedir.



**Şekil 5.22:** 2095-2096 gelişme dönemi için model sonuçları (Toprak su içeriği-LAI).

Şekil 5.22’de görüldüğü gibi su limitli üretim modellendiğinde LAI ve toprak su içeriği arasında da bir ilişki görülmektedir. Aynı günlerde olmamakla birlikte LAI’nin artmaya başladığı dönemde toprak su içeriğinin azaldığı görülmektedir.

Hassasiyet analizlerinde sıcaklık, toplam güneş radyasyonu, yağış değişimleri günlük verilere sabit oranlarda uygulanmıştır. Mesela sıcaklık 1 °C tüm günlerde artırılmıştır. Ancak iklim değişikliği ile ilgili RegCM3 modelinden elde edilen

sonuçlar aylık değerlerin günlüğe çevrilmesi suretiyle değiştirilmiştir. Bu nedenle hassasiyet analizlerindeki gibi gelişme döneminin bütününde sabit miktarda artma veya azalma gerçekleşmemiştir. Değişimlerin miktarının bitkinin hangi gelişme döneminde olduğu WOFOST model sonuçlarını etkilemiştir. Bu bakımdan, hassasiyet analizi sonuçları ile iklim değişikliği senaryolarının sonuçları bu bakımdan farklılık göstermektedir. Diğer yandan unutulmamalıdır ki burada elde edilen sonuçlar 2009-2010 buğday gelişme döneminde ölçülen verilere uygulanmıştır.



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, kalibrasyondan önce ve sonra simüle edilen verim ve LAI değerleri birbiri ile kıyaslanmıştır. Modelin, çalışma alanı olan Kırklareli için kalibrasyonu yapılmadan önce elde edilen maksimum LAI değeri 6.04'e kadar çıkmıştır. Aynı arazide ölçülen gerçek maksimum LAI değeri 3.7, gerçek verim 5191 kg/ha'dır. Kalibrasyondan sonra elde edilen model sonuçlarında maksimum LAI 3.77 olarak hesaplanmıştır. Modelin kalibrasyondan sonraki verim tahminindeki hata payı, tek bir gelişme dönemi için hesaplandığında % 1.2 civarındadır, modellenen maksimum LAI değerinin gerçek değerle kıyaslanması sonucu elde edilen hata oranı % 63.3 iken kalibrasyondan sonra bu oran % 0.2'ye düşmüştür. Ayrıca su limitli üretim simüle edildiğinde toprak üstü biyokütlenin artış göstermeye başladığı zamandan itibaren toprak su içeriği aynı hızda azalma göstermektedir.

Yine kalibrasyon yapıldıktan sonra modelin meteorolojik parametrelerin değişimine olan hassasiyetini anlamak ve parametrelerdeki olası tekli ve çoklu değişimler için verim, biyokütle ve yaprak alan indeksi (LAI) tahmininin yapılması amaçlanmıştır. Gelişme dönemi boyunca buğday bitkisinin su ihtiyacını karşılayabilmesi halinde, sıcaklıktaki 3°C'ye kadar olan ve radyasyondaki artışlar verime olumlu etki yapmıştır. Sıcaklıkta 4 °C'lik bir artış ve yağışta azalma meydana geldiği takdirde maksimum LAI değerinde % 47, biyoküttele ise % 50.8 oranında azalma beklenmesi söz konusudur. Radyasyonun % 20 artması halinde ise LAI değerlerindeki artışın % 92'yi bulması muhtemeldir. Sıcaklığın 2 °C ve radyasyonun % 20 oranında artması durumunda verim değerlerinde % 36.9'luk artış gözlenebilecektir. Verimdeki en yüksek değere de bu durumda ulaşılması söz konusudur. Sıcaklıkta görülecek artışlar, biyokütleyi olumsuz yönde etkilemektedir.

Elde edilen dikkat çekici sonuçlardan biri de sıcaklık değişiminin buğdayın BDG değerlerine erken ulaşmasına neden olması ve buna bağlı olarak gelişme sezonunun kısalması olmuştur; 4 °C'lik sıcaklık artışı buğdayın gelişme döneminin yaklaşık 7 hafta kadar kısalmasına neden olabilecektir.

WOFOST'un yağışa duyarlı bir bitki iklim modeli olmasına karşın sonuçlarda bu duyarlılık gözlenmemiştir. Bu durumun sebebi, 2009-2010 gelişme döneminde yağışın bitkinin su ihtiyacından daha fazla düşmesi olabilir.

Olası iklim değişikliğinin RegCM3 Bölgesel İklim Modelinin A2 senaryosunun sonuçlarına göre; 2071-2100 yılları için ortalama sıcaklıklarda, Türkiye'nin kıyı kesimi boyunca 4-5 °C, iç bölgelerde ise 5-6 °C civarında artış beklenmektedir. Yağış için de yıllara göre değişken değerler söz konusudur. Çalışmanın diğer bölümünde ise A2 senaryosuna göre maksimum sıcaklığın, minimum sıcaklığın, maksimum yağışın ve minimum yağışın görülmesinin beklendiği 2013-2014, 2014-2015, 2088-2089 ve 2095-2096 gelişme dönemleri için simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyonlar sonucunda, maksimum sıcaklık değerlerinin yaşanmasının beklendiği gelişme döneminde 2009-2010 gelişme döneminde elde edilen verim ve biyokütle değerlerinin % 60 oranında azalması beklenmektedir. Maksimum yağış değerlerinin gözlenmesi muhtemel olan gelişme döneminde biyokütlerde % 44 oranında azalma beklenmektedir, minimum yağış değerlerinde verimde % 57, biyokütlerde ise % 63 oranında azalmadan bahsedilebilir. Ayrıca minimum sıcaklık değerleri için elde edilen su limitli üretim sonuçlarında toprak su içeriği ile biyokütle arasında oldukça yüksek bir korelasyon elde edilmiştir.

Diğer bitki-iklim simülasyon modellerinde olduğu gibi, yapılan çalışmada kullanılan WOFOST Bitki İklim Modeli'nde bazı avantajlar ve dezavantajlarla karşılaşılmaktadır. Modelin avantaj ve dezavantajlarını bilmek, modelin maksimum fayda sağlanacak şekilde kullanılmasına yardımcı olacaktır. Bu nedenle bu özelliklerin çalışmalar sırasında göz önünde bulundurulması araştırmacıyı daha olumlu sonuçlara ulaştıracaktır.

Menülerin kullanım kolaylığı, diğer modellerle karşılaştırıldığında, WOFOST kullanıcılarına avantaj sağlamaktadır. Modelde sınırlı sayıda meteorolojik parametrenin kullanılması, kullanım açısından olumlu bir özelliktir, fakat hata olasılığını arttırmaktadır. Bununla birlikte girdi parametrelerinin modelde kullanılabilir hale getirilme süreci oldukça uzundur. Bunun nedeni özellikle meteorolojik verilerin .txt uzantılı dosyalarda kolonlar halinde hazırlanması gerekliliğidir. Sonuçların görsel olarak elde edilebilmesi ve toprak su içeriğine ait çıktılarının da alınabilmesi WOFOST'un en önemli özelliklerindedir.



WOFOST kullanılarak verim tahmini yapılırken ya da kararlar alınırken, hava kirliliği, hastalıklar ve zararlılar gibi etkenler göz önünde bulundurulduğu takdirde, elde edilen bilgilerin kullanıcıyı ihtiyaç duyduğu başarılı sonuca götürmesi muhtemeldir.

Gerekli uygulamalar yapıldığı takdirde bütün bu yapılan çalışmalardan elde edilebilecek sonuçların öncelikle bölge, daha sonra da Türk tarımına getirilerinin olması mümkündür. Öncelikle bir bitki iklim modelinin kullanılmaya başlamadan önce bölge için adaptasyonu ve kalibrasyonu yapılmalıdır, bitki gelişimindeki kompleks yapı anlaşılmaya çalışılmalıdır. Bu çalışmada sadece bir gelişme döneminde yapılan ölçümler kullanılarak model çalıştırılmıştır, TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında ölçümler devam etmektedir. Bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda arazi ölçümlerinin birden fazla gelişme dönemi boyunca yapılması ve elde edilen veriler ışığında hareket edilmesi elde edilecek sonuçlar açısından daha faydalı olacaktır. Herhangi bir bitki iklim modelinin kullanılabilmesi için sağlıklı bir ölçüm ağına ihtiyaç vardır. Ayrıca uygulama bölgesi için model ne kadar tahminde başarılı olursa olsun, birden çok model ile kıyaslama yapılmasının gerekliliği unutulmamalıdır.



## KAYNAKLAR

- Aksay, C., S., Ketenoğlu, O., Kurt, L., 2005. Küresel ısınma ve iklim değişikliği, *Selçuk Üniversitesi Fen Edebiyat Fak. Fen Dergisi*, 25, 29-41 s., Konya.
- Boogaard, H., L., Van Diepen, C., A., Rötter, R., P., Cabrera, J., M., C., A., Van Laar, H., H., 1998. User's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5 DLO Wageningen (Netherlands) Winand Staring Centre, Technical Document 52, 1-142.
- Çaldağ, B., 1997. SIMWASER Bitki-iklim simülasyon modeli ile ilgili bitirme çalışması, 1-5. s.
- Çaldağ B., 2000. Meteorolojik Faktörlerin Bitki Gelişimine Etkilerinin Bitki-İklim Modelleri ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-174.
- Çaldağ, B. ve Şaylan, L., 2005. Sensitivity analysis of the CERES-Wheat model for variations in CO2 and meteorological factors in northwest Turkey, *Int. J. Environment and Pollution*, 23, 3, 300-313 s.
- Demir, İ., Kılıç, G., Alan, İ., Tüvan, A. ve Demirbaş, H., 2010. Bölgesel İklim Modeli Projeksiyonları ve Önemi, 1. *Meteoroloji Sempozyumu-Ankara*, 2010).
- Durak, M. ve Şaylan, L., 1997. Ekstrem sıcaklıkların bitkisel üretime etkilerinin CRPSM modeli ile analizi, *Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler Semp.*, Ankara, 390-399.
- Durak, M. ve Şaylan, L., 1998. İklim değişiminin tarımsal meteorolojik etkilerinin modellerle belirlenmesi, *Tarım ve Orman Meteorolojisi'98 Sempozyumu*, 21-23 Ekim 1998, İTÜ, 292-295.
- Eitzinger, J. und Şaylan, L., 1995. Einfluss der Witterungsparameter auf die Simulationsergebnisse eines Agrarmeteorologischen Modells, *Bulletin of the Technical University of Istanbul*, 48, 481-494.
- Eitzinger, J., Trnka, M., Hösch, J., Zalud, Z. and Dubrovsky, M., 2003. Comparison of CERES, WOFOST, and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecological Modelling*, 171: 223-246
- Evsahibioglu, N. ve Benli, B., 1998. EPIC Simulasyon Modeli Yardımıyla Bitki Verim Tahminleri. *Tarım ve Orman Meteorolojisi'98 Sempozyumu*, 21-23 Ekim 1998, İ.T.Ü., İstanbul, 296-300.

- Göncü, S.**, 2005. İklim değişikliğinin su havzalarına etkisinin HSPF modeli ile incelenmesi. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. <<http://www.belgeler.com/blg/y5p/iklim-degisikliginin-su-havzalarina-etkisinin-hspf-modeli-ile-incelenmesi-determination-of-climate-change-effects-on-watersheds-with-hspf-model>>, alındığı tarih 23.08.2011.
- ICCAP.**, 2007a. The Final Report Of ICCAP Project. The Research Project On The Impact Of Climate Changes On Agricultural Production System In Arid Areas (ICCAP). Research Institute For Humanity And Nature (RIHN); The Scientific And Technological Research Council Of Turkey (TÜBİTAK). Edit By Research Team For Thr ICCAP Project. ICCAP Pub. No. 10, March 2007(A), s. 343.
- ICCAP.**, 2007b. Iccap Project: Turkish Group Final Reports. Impact Of Climate Changes On Agricultural Production System In Arid Areas (ICCAP). Kurak Alanlarda İklim Değişikliğinin Tarımsal Üretim Sistemlerine Etkisi. Research Institute For Humanity And Nature (Rihn); The Scientific And Technological Research Council Of Turkey (TÜBİTAK). Edit By Research Team For Thr ICCAP Project. ICCAP Pub. No. 11, March 2007(B), s. 188.
- IPCC.**, 1996. Climate Change 1995, The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Houghton J, T., et al., eds., WMO/UNEP. Cambridge University Press, New York.
- Itoh, K.**, 1995. A method for predicting chaotic time series with outliers, *Electronics and Communications in Japan*, 78, 5, 1529-1536 p.
- Kadioğlu, M., Şaylan, L. ve Şen Z.**, 1998. Effect of climate change on the growing season in Turkey, *Second Trabzon Int. Energy and Environment Symposium*, July 27-29.
- Koç, E., M., Çaylak, O., Çaldağ, B., Özgür, E., Özkoca, Y., Şaylan, L. ve Semizoğlu, E.**, 2011. Bitki Gelişimi Simülasyon Modellerinin Buğdayın Gelişimini Tahmin Performanslarının Karşılaştırılması, *GAP 6. Tarım Kongresi- Şanlıurfa*, 2011.
- Köksal, H.**, 1995. Çukurova koşullarında II. ürün bitkisi su-verim ilişkileri ve CERESMaize bitki büyüme modelinin yöreye uyumluluğunun saptanması, Doktora Tezi, ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Lobell, D. B., Ortiz-Monasterio, J. I., Asner, G. P., Matson, P. A., Naylor, R. L. and Falcon, W. P.**, 2005. Analysis of wheat yield and climatic trends in Mexico. *Field Crops Research*, Volume 94, Issues 2-3, pp. 250-256.
- Lutgens, F. K. and Tarbuck, E. J.**, 1979. *The Atmosphere-An Introduction to Meteorology*. Prentice Hall, New Jersey, s. 491.
- Özkoca, Y.**, 2009. WOFOST Bitki-İklim Modelinin Analizi ve Uygulanması ile ilgili bitirme çalışması, s. 17.

- Palosuo, T., Kersebaum, K.C., Angulo, C., Hlavinka, P., Moriondo, M., Olesen, J.E., Patil, R.H., Ruget, F., Rumbaur, C., Takáč, J., Trnka, M., Bindi, M., Çaldağ, B., Ewert, F., Ferrise, R., Mirschel, W., Şaylan, L., Šiška, B., Rötter, R.**, 2011. Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: A comparison of eight crop growth models, *European Journal of Agronomy*, Vol: 35, 3, 103-114.
- Penning de Vries, F.W.T., Jansen, P.M., Ten Berge, H.F.M. and Bakema, A.**, 1989. Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops, Pudoc-Wageningen, 1-18.
- Porter, J. R.**, 1990. Modeling the Effects of Climate Change on Cereal Production. *Proceedings of the International Workshop on Primary Productivity of European Agriculture and the Greenhouse Effect*, Wageningen, The Netherlands, 5-10 April 1990.
- Rojas, O.**, 2007. Operational maize yield model development and validation based on remote sensing and agro-meteorological data in Kenya. *International Journal of Remote Sensing*, 28:3775-3793.
- Sezen, S. M.**, 1993. Çukurova koşullarında buğdayda su-verim ilişkilerinin belirlenmesi ve CERES-Wheat bitki büyüme modelinin test edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ç. Ü. Fen Bil. Ens. Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı, Adana.
- Sezen, S. M., Yazar, A., Kanber, R. ve Koç, M.**, 1998. CERES-Wheat v3 Bitki Büyüme Modelinin Çukurova Koşullarında Değerlendirilmesi, *Tarım ve Orman Meteorolojisi'98 Sempozyumu*, 21-23 Ekim 1998, İTÜ., İstanbul, 301-309.
- Squire, G. R. and Unsworth, M. H.**, 1988. Effects of CO<sub>2</sub> and Climatic Change on Agriculture. Contract report to the UK Department of the Environment, Department of Physiology and Environmental Science, University of Nottingham, Sutton Bonnington, UK., s. 31
- Supit, I., Hooijer, A.A., Diepen, C.A. van, (Eds)**, 1994. System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS. Publication EUR 15956 EN of the Office for Official Publications of the EU, Luxembourg.
- Swart, R., Robinson, J., Cohen, S.**, 2003. Climate change and sustainable development: expanding the options. *Climate Policy*, Volume 3
- Şaylan, L. ve Çaldağ, B.**, 1999. Türkiye'de kullanılabilir Tarımsal Meteorolojik Modellerin Analizi, *İTÜ Araştırma Fonu Projesi Sonuç raporu*.
- Şaylan, L. ve Çaldağ B.**, 2000. Potential Impacts Of Climate Change On Agriculture, 2<sup>nd</sup> International Symposium On New Technologies For Environmental Monitoring And Agro-Applications, *AGROENVIRON-2000*, 18-20 October 2000, Tekirdağ.
- Şaylan, L. ve Çaldağ, B.**, 2002. Evaluation of the effects of CO<sub>2</sub> variations on wheat growth by using a crop-weather model in Kırklareli, Turkey. *International Solid Waste Association (ISWA), Appropriate Environmental and Solid Waste Management and Rechnologies for Developing Countries Congress and Exhibition*, 8-12 July 2002, İstanbul, V. 4, 2185-2190.

- Şaylan, L. ve Özen, U.,** 1997. Çevresel değişimin tarımsal meteorolojik etkilerinin tahmini, *Trakya'da Sanayileşme ve Çevre Semp. II*, Kırklareli, 6-8 Kasım 1997, 365-373.
- Şaylan, L., Bakanoğulları, F. ve Çaldağ, B.,** 2010a. İklim Değişiminin Bitki Gelişimine Olası Etkilerinin Bitki Gelişimi Modelleri ile İncelenmesi. TÜBİTAK, COST araştırma projesi 1. gelişme raporu.
- Şaylan, L., Bakanoğulları, F. ve Çaldağ, B.,** 2010b. İklim Değişiminin Bitki Gelişimine Olası Etkilerinin Bitki Gelişimi Modelleri ile İncelenmesi. TÜBİTAK, COST araştırma projesi 3. gelişme raporu.
- Şaylan, L., Sönmez, K. ve Eitzinger, J.,** 1994. Bitki -İklim modelleri tarımsal kuraklığın analizine bir çözüm olabilir mi?, *I. Hidro-Meteoroloji Sempozyumu*, Mart 1994, İstanbul Teknik Üniversitesi, 72-81.
- Şaylan, L., Şen, O. ve İncecik, S.,** 1995. Küresel Isınmanın Bitki Gelişimine Etkisinin Bitki İklim Modeli ile Analizi, *II. Hava Kirliliği ve Modellemesi Sempozyumu*, Mart 1995, İstanbul Teknik Üniversitesi, 269-279.
- Şen, B.,** 2009. 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.
- Türkeş, M., Sümer, U. M. ve Çetiner, G.,** 2000. Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri, Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları (13 Nisan 2000, İstanbul Sanayi Odası), 7-24, ÇKÖK Gn. Md., Ankara.
- FAO,** 2011. <<http://www.fao.org/countryprofiles/Maps/TUR/19/im/index.html>>, alındığı tarih 20.04.2011.
- Wen-xia, X., Li-jiao, Y., Guang-huo, W.,** 2006. Simulation and Validation of Rice Potential Growth Process in Zhejiang Province of China by Utilizing WOFOST Model. *Rice Science*, 12: 125-130.
- Wu, D., Yu, Q., Lu, C., Hengdijk, H.,** 2006. Quantifying production potentials of winter wheat in the North China Plain. *European Journal of Agronomy*, 24: 226-335.
- Yano, T., Koriyama, M., Haraguchi, T., Aydın, M.,** 2005. Simulation of Crop Productivity for Evaluating Climate Change Effects. 1-4.

## **EKLER**

**EK A.1:** Arazide yapılan çalışmalara ait fotoğraflar





**EK A.1**





## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad** : Elif Müdrike KOÇ  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Eskişehir/ 20.01.1985  
**Adres** : Karargahtepe Mh. Kütükçü Alibey Cd. Tekir Sk.  
Uğur Apt. No:1 Daire:6 Keçiören/ANKARA  
**Lisans Üniversite** : İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji  
Mühendisliği Bölümü  
**Yayın Listesi** :

- **Koç, E. M.**, Çaylak, O., Çaldağ, B., Özgür, E., Özkoca, Y., Şaylan, L., Semizoğlu, E. (2011). Bitki Gelişimi Simülasyon Modellerinin Buğdayın Gelişimini Tahmin Performanslarının Karşılaştırılması. *GAP VI. Tarım Kongresi*, Mayıs 9-12, 2011 Şanlıurfa, Türkiye.
- Sensoy, S., Demircan, M., **Koç, E. M.**, Mengü, G., P., 2011: Potential Impacts of Teleconnection Parameters on Turkey's Climate. 5th Atmospheric Science Symposium - ATMOS 2011, April 27-29 İstanbul-Turkey