

**METEOROLOJİK FAKTÖRLERİN BİTKİ GELİŞİMİNE
ETKİLERİNİN BİTKİ-İKLİM MODELLERİ İLE
BELİRLENMESİ**

700942

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Barış ÇALDAĞ
511970057011

100942

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Haziran 2000
Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Haziran 2000

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Levent ŞAYLAN
Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Orhan ŞEN (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Doğan KANTARCI (İ.Ü.)

LS Şaylan
Orhan Şen
Doğan Kantarcı

HAZİRAN 2000

ÖNSÖZ

Doğada insanoğlu tarafından kontrol edilemeyen son derece karmaşık mekanizmalardan oluşan meteorolojik olaylar, yüzyıllar boyunca ilgi odağı olmuştur. Meteoroloji bilimi teknolojik gelişmeye paralel olarak gün geçtikçe ilerleme kaydetmiştir. Günümüzde ise, özellikle elektronik ve bilgisayar teknolojilerinde ulaşılan noktalar meteorolojinin artık sadece genel anlamıyla değil, birçok alt dallarıyla birlikte ele alınmasının mümkün olduğu geniş bir yelpazeyi insanlığın hizmetine sunmuştur. Böylece atmosferik parametrelerin nitel ve nicel özelliklerinin meydana getirdiği süreçlerin bitkisel üretime etkilerini ele alan tarımsal meteoroloji bilimine yönelik faaliyetler de son dönemde daha hassas çerçevelerde yürütülebilmektedir. Tarımsal meteorolojide yapılan çalışmaların ulaştığı son nokta bitki-iklim simulasyon (benzeşim) modelleridir.

Bu araştırma çalışmasında, belirli bir bölge için iki adet güncel modelin bitki gelişimine etkileri, arazide ölçülen verilerin oluşturduğu bir veritabanının kullanılmasıyla analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar ilgililerin dikkatine sunulmuştur.

Tez çalışmamın her aşamasında büyük bir sabır ve titizlikle yönlendirici rol oynayan danışmanım Doç. Dr. Levent ŞAYLAN'a, Kırklareli Köy Hizmetleri Atatürk Araştırma Enstitüsü'nün olanaklarından yararlanmamı sağlayan Enstitü Müdürü Dr. Ferzan AVŞAR'a ve tüm enstitü çalışanlarına şahsımdan esirgemedikleri anlayış ve yardımlar için teşekkür ederim. Bunun yanı sıra, çalışmamı araştırma fonu projesi kapsamında destekleyen İ.T.Ü Rektörlüğü'ne ve İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne de teşekkürü bir borç bilirim.

Barış ÇALDAĞ

Haziran 2000, İstanbul

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii

1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
1.2. Model Kavramı	6
1.3. Bitki-İklim Etkileşiminin Modellenmesi	8
1.3.1. Tanımlamalı Modeller	9
1.3.2. Açıklamalı Modeller	10
1.3.3. Bitki-İklim Modellerinde Simulasyon Süreci	12
1.4. Bitki-İklim Modellerinin Geliştirilme Nedenleri	13
1.5. Konu ile İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar	16
2. BUĞDAYIN TARIMSAL METEOROLOJİK ÖZELLİKLERİ	33
2.1. Buğdayın Agrometeorolojisi	33
2.2. Buğdayın Güneş Radyasyonu Gereksinimi	35
2.3. Buğdayın Sıcaklık Gereksinimi	37
2.4. Buğdayın Yağış Gereksinimi	39
3. MATERYAL VE YÖNTEM	43
3.1. Araştırma Alanının Özellikleri	43
3.2. Deneme Alanının Atmosfer-Toprak-Bitki Özellikleri	45
3.2.1. Deneme Yerinin İklimi	45
3.2.2. Deneme Alanının Toprak Yapısı	46
3.2.3. Analiz Edilen Kültürleri	46
3.2.4. Kullanılan Aletler ve Yapılan İşlemler	47
3.3. DSSAT Sistemi	51
3.3.1. DSSAT'ın Kullanıcı Arayüzeyi	53
3.3.2. DSSATv3.5'in Kullandığı Modeller	55
3.3.3. DSSAT Modellerinin Kullanılması	55
3.4. CERES-Wheat Modeli	58
3.4.1. CERES-Wheat Modelinin Girdileri ve Çıktıları	61
3.4.1.1. CERES-Wheat Modelinin Toprakla İlgili Girdileri	61
3.4.1.2. CERES-Wheat Modelinin Bitki İle İlgili Girdileri	62
3.4.1.3. CERES-Wheat Modelinin Meteorolojik Girdileri	62
3.5. SIMWASER Modeli	63
3.5.1. Modelin Temelleri ve Kullanım Amacı	63
3.5.2. SIMWASER Modeli'nin Girdileri ve Çıktıları	65

4. METEOROLOJİK FAKTÖRLERİN BİTKİ GELİŞİMİNE ETKİLERİNİN ANALİZİ	73
4.1. Meteorolojik Ölçüm Sonuçları	73
4.2. Modellerin Uygulanması	87
4.3. Sıcaklığın Bitki Gelişimine Etkileri	87
4.3.1. Sıcaklık Etkilerinin SIMWASER Modeli İle Analizi	88
4.3.1.1. 97-98 Ölçüm Dönemi	88
4.3.1.2. 98-99 Ölçüm Dönemi	93
4.3.2. Sıcaklık Etkilerinin DSSAT (CERES-Wheat) Modeli İle Analizi	97
4.3.2.1. 97-98 Ölçüm Dönemi	97
4.3.2.2. 98-99 Ölçüm Dönemi	101
4.4. Güneş Radyasyonunun Bitki Gelişimine Etkileri	106
4.4.1. Güneş Radyasyonu Etkilerinin SIMWASER Modeli ile Analizi	106
4.4.1.1. 97-98 Ölçüm Dönemi	106
4.4.1.2. 98-99 Ölçüm Dönemi	111
4.4.2. Güneş Radyasyonu Etkilerinin CERES-Wheat Modeli ile Analizi	116
4.4.2.1. 97-98 Ölçüm Dönemi	116
4.4.2.2. 98-99 Ölçüm Dönemi	120
4.5. Yağışın Bitki Gelişimine Etkileri	125
4.5.1. Yağış Etkilerinin CERES-Wheat Modeli ile Analizi	126
4.5.1.1. 97-98 Ölçüm Dönemi	126
4.5.1.2. 98-99 Ölçüm Dönemi	130
4.6. CERES-Wheat Modeline Göre Senaryoların Fenolojik Aşama Tarihlerine Etkileri	133
4.7. Birden Fazla Meteorolojik Parametrenin Değiştiği CERES-Wheat Modeli Simulasyonları	134
4.8. Meteorolojik Faktörler ile Kuru Madde Miktarı Arasındaki İlişki	146
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	151
KAYNAKLAR	156
EKLER	168
ÖZGEÇMİŞ	

KISALTMALAR

BDG	: Büyüme-Derece-Gün
CABO	: Tarımsal Biyolojik Araştırma Merkezi
CERES	: Çevresel Bitki Kaynak Sentezi (Crop Environment Resource Synthesis)
CROPGRO	: Bitki Gelişimi (Crop Growth)
CROPSIM	: Bitki Gelişimi Simulasyonu (Crop Growth Simulation)
CRPSM	: Bitki Verim Simulasyon Modeli (Crop Yield Simulation Model)
DG	: Derece-Gün
DSSAT	: Tarım Teknolojisi Transfer Destek Sistemleri (Decision Support System for Agrotechnology Transfer)
ENWATBAL	: Enerji ve Su dengesi (Energy and Water Balance)
EPIC	: Erozyon Etki Hesaplama Modeli (Erosion Pro. Imp. Calc.)
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı (Food and Agricultural Organisation)
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
GCM	: Genel Sirkülasyon Modeli (General Circulation Models)
GIS	: Coğrafi Bilgi Sistemi (Geographic Information Systems)
IBSNAT	: Uluslararası Tarım Teknolojisi Transfer Konsorsiyumu (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer)
IPCC	: Ülkelerarası İklim Değişimi Paneli (International Panel on Climate Change)
SIMWASER	: Su ve Verim Simulasyon Modeli (Simulation von Wasser und Ertrag)
SOYCROS	: Soya Bitkisi Simulasyon Modeli (Soybean Crop Growth Simulator)
SOYGRO	: DSSAT Soya Bitki-iklim Modeli (Soybean Growth)
WMO	: Dünya Meteoroloji Teşkilatı (World Meteorological Organisation)
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme)
USDA	: Birleşik Devletler Tarım Teşkilatı (United States Department of Agriculture)
USEPA	: Birleşik Devletler Çevre Koruma Teşkilatı (United States Environmental Protection Agency)
WATCROS	: Su Dengesi ve Bitkisel Üretim Simulasyonu (Water Balance and Crop Production Simulation)

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 : Bugüne Kadar Gerçekleştirilen Bazı Bitki-İklim Model Çalışmaları.....	31
Tablo 3.1 : Kırklareli İline Ait Meteorolojik Parametrelerin UzunYıllık Ortalamaları.....	45
Tablo 3.2 : Deneme Yerindeki Toprağın Özellikleri.....	46
Tablo 3.3 : CERES-Wheat Toprak Girdi Dosyası İçinde Yer Alan Parametreler.....	61
Tablo 3.4 : CERES-Wheat Modelinin Bitki İle İlgili Girdileri.....	62
Tablo 3.5 : CERES-Wheat Modelinin Meteorolojik Girdileri.....	63
Tablo 3.6 : SIMWASER Modelinin Meteorolojik Girdi Dosyasında Yer Alan Parametreler.....	66
Tablo 4.1 : 98-99 Periyodunda Fenolojik Aşamalar ve Meteorolojik Faktörler.....	77
Tablo 4.2 : Her İki Gelişme Döneminde Ölçülen Meteorolojik Değişkenlere Ait Bazı İstatistikler.....	85
Tablo 4.3 : 97-98 Sezonunda Çeşitli Sıcaklık Senaryolarında Buğdayın Fenolojik Aşamaları için CERES-Wheat Modeli Tarafından Yapılan Tahminler.....	133
Tablo 4.4 : 98-99 Sezonunda Çeşitli Sıcaklık Senaryolarında Buğdayın Fenolojik Aşama Tarihleri İçin CERES-Wheat Modeli Tarafından Yapılan Tahminler.....	133
Tablo B.1 : Ölçüm Dönemleri Boyunca Elde Edilen Gerçek Değerlerin CERES-Wheat Modelinin Sonuçları ile Karşılaştırılması.....	173
Tablo B.2 : CERES-Wheat Modelinde 97-98 Sezonu İçin Gerçekleştirilen CO₂ Miktarı Değişim Simulasyonları.....	173
Tablo B.3 : CERES-Wheat Modelinde 98-99 Sezonu İçin Gerçekleştirilen CO₂ Miktarı Değişim Simulasyonları.....	173
Tablo B.4 : CERES-Wheat Modelinin Çok Sayıda Meteorolojik Parametrenin Aynı Anda Değiştiği Senaryolar için Hesapladığı 97-98 Dönemi Değişim Oranları.....	174
Tablo B.5 : CERES-Wheat Modelinin Çok Sayıda Meteorolojik Parametrenin Aynı Anda Değiştiği Senaryolar için Hesapladığı 98-99 Dönemi Değişim Oranları.....	174

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Bitki Yapısının Tanımlamalı Modellerle Ele Alınması.....	9
Şekil 1.2 : Açıklamalı Bir Modelin Genel Çalışma Döngüsü.....	11
Şekil 1.3 : Aktif ve Pasif Parametrelerin Tarımsal Üretim Sürecindeki Rolü.....	11
Şekil 3.1 : Deneme Yerinin Türkiye'deki Konumu.....	43
Şekil 3.2 : Deneme Alanının Ekim Öncesi Görünümü (Ekim 1998).....	44
Şekil 3.3: Deneme Alanının Bitki Gelişme Dönemindeki Görünümü (Mayıs 1999).....	44
Şekil 3.4 : Araştırmada Kullanılan Tam Otomatik Meteoroloji İstasyonu.....	48
Şekil 3.5a : Araştırmada Kullanılan Hassas Elektronik Tartı.....	49
Şekil 3.5b : Hasada Yakın Dönemde Araziden Analiz için Alınan Buğday Numuneleri.....	49
Şekil 3.5c : Laboratuarda Kullanılan Fırın.....	50
Şekil 3.6 : DSSAT İçinde Gerçekleştirilen Hesaplamalar.....	54
Şekil 3.7 : SIMWASER Modeli'nde Gerçekleştirilen Hesaplamaların Akış Diyagramı.....	65
Şekil 3.8 : SIMWASER Modeli'nde Bitki Gelişme Aşamalarının Ele Alınışı.....	67
Şekil 4.1 : 97-98 ve 98-99 Bitki Gelişme Dönemlerinde Hava Sıcaklığının Zaman Serisi.....	74
Şekil 4.2 : 97-98 ve 98-99 Bitki Gelişme Dönemlerinde Hava Sıcaklıklarının Farkının Değişimi.....	78
Şekil 4.3 : 97-98 ve 98-99 Bitki Gelişme Dönemlerinde Bağıl Nemin Değişimi.....	79
Şekil 4.4 : 97-98 ve 98-99 Bitki Gelişme Dönemlerinde Toplam Radyasyonun Değişimi.....	80
Şekil 4.5 : 97-98 ve 98-99 Bitki Gelişme Dönemlerinde Rüzgar Hızının Zaman Serisi.....	81
Şekil 4.6 : 97-98 ve 98-99 Bitki Gelişme Dönemlerinde Yağışın Zaman Serisi.....	83
Şekil 4.7 : 97-98 ve 98-99 Bitki Gelişme Dönemlerinde Buharlaşmanın Zaman Serisi.....	84
Şekil 4.8 : 97-98 ve 98-99 Bitki Gelişme Dönemlerinde Buhar Basıncının Farkının Zaman Serisi.....	84
Şekil 4.9 : 98-99 Bitki Gelişme Döneminde Farklı Derinliklerdeki Toprak Sıcaklıklarının Değişimi.....	85
Şekil 4.10 : 98-99 Gelişme Döneminde Ölçülen Toprak Su İçeriği Değerleri....	86

Şekil 4.11 : SIMWASER Modeline Göre 1 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.....	88
Şekil 4.12 : SIMWASER Modeline Göre 1 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	90
Şekil 4.13 : SIMWASER Modeline Göre 2 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.....	91
Şekil 4.14 : SIMWASER Modeline Göre 2 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	93
Şekil 4.15 : SIMWASER Modeline Göre 1 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 98-99 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	94
Şekil 4.16 : SIMWASER Modeline Göre 2 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 98-99 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	96
Şekil 4.17 : CERES-Wheat Modeline Göre 1 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.....	97
Şekil 4.18 : CERES-Wheat Modeline Göre 1 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	98
Şekil 4.19 : CERES-Wheat Modeline Göre 2 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.....	99
Şekil 4.20 : CERES-Wheat Modeline Göre 2 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	100
Şekil 4.21 : CERES-Wheat Modeline Göre 1 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 98-99 Sezonunda Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.....	102
Şekil 4.22 : CERES-Wheat Modeline Göre 1 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 98-99 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	103
Şekil 4.23 : CERES-Wheat Modeline Göre 2 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 98-99 Sezonunda Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.....	104
Şekil 4.24 : CERES-Wheat Modeline Göre 2 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 98-99 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	105
Şekil 4.25 : SIMWASER Modeline Göre % 10'luk Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.....	107

Şekil 4.26 : SIMWASER Modeline Göre % 10'luk Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	108
Şekil 4.27 : SIMWASER Modeline Göre % 20'lik Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.....	109
Şekil 4.28 : SIMWASER Modeline Göre % 20'lik Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	110
Şekil 4.29 : SIMWASER Modeline Göre % 10'luk Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 98-99 Döneminde Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.....	112
Şekil 4.30 : SIMWASER Modeline Göre % 10'luk Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 98-99 Döneminde Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	113
Şekil 4.31 : SIMWASER Modeline Göre % 20'lik Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 98-99 Döneminde Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.....	114
Şekil 4.32 : SIMWASER Modeline Göre % 20'lik Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 98-99 Döneminde Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	115
Şekil 4.33 : CERES-Wheat Modeline Göre % 10'luk Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 97-98 Döneminde Buğdayın Toplam EvapotranspirasyonDeğerlerine Etkisi.....	116
Şekil 4.34 : CERES-Wheat Modeline Göre % 10'luk Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 97-98 Döneminde Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	117
Şekil 4.35 : CERES-Wheat Modeline Göre % 20'lik Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 97-98 Döneminde Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.....	118
Şekil 4.36 : CERES-Wheat Modeline Göre % 20'lik Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 97-98 Döneminde Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	120
Şekil 4.37 : CERES-Wheat Modeline Göre % 10'luk Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 98-99 Döneminde Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon değerlerine Etkisi.....	121
Şekil 4.38 : CERES-Wheat Modeline Göre % 10'luk GüneşRadyasyonu Değişimlerinin 98-99 Döneminde Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	122
Şekil 4.39 : CERES-Wheat Modeline Göre % 20'lik Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 98-99 Döneminde Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.....	123
Şekil 4.40 : CERES-Wheat Modeline Göre % 20'lik Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 98-99 Döneminde Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	125
Şekil 4.41 : CERES-Wheat Modeline Göre % 10'luk Yağış Değişimlerinin 97-98 Döneminde Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	127

Şekil 4.42 : CERES-Wheat Modeline Göre % 20'lik Yağış Değişimlerinin 97-98 Döneminde Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	129
Şekil 4.43 : CERES-Wheat Modeline Göre % 10'luk Yağış Değişimlerinin 98-99 Döneminde Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	131
Şekil 4.44 : CERES-Wheat Modeline Göre % 20'lik Yağış Değişimlerinin 98-99 Döneminde Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.....	132
Şekil 4.45 : Birden Fazla Meteorolojik Parametre Değişimi Simulasyonlarının 97-98 Dönemi İçin Toplam Evapotranspirasyon Miktarına Yansıma Oranları.....	135
Şekil 4.46 : Birden Fazla Meteorolojik Parametre Değişimi Simulasyonlarının 97-98 Dönemi İçin Verim Değerine Yansıma Oranları.....	136
Şekil 4.47 : Birden Fazla Meteorolojik Parametre Değişimi Simulasyonlarının 97-98 Dönemi İçin Toplam Kuru Madde Miktarına Yansıma Oranları.....	137
Şekil 4.48 : Birden Fazla Meteorolojik Parametre Değişimi Simulasyonlarının 98-99 Dönemi İçin Toplam Evapotranspirasyon Değerine Yansıma Oranları.....	138
Şekil 4.49 : Birden Fazla Meteorolojik Parametre Değişimi Simulasyonlarının 98-99 Dönemi İçin Verim Değerine Yansıma Oranları.....	139
Şekil 4.50 : Birden Fazla Meteorolojik Parametre Değişimi Simulasyonlarının 98-99 Dönemi İçin Toplam Kuru Madde Miktarına Yansıma Oranları.....	140
Şekil 4.51 : CERES-Wheat Modelinin Olası CO ₂ Değişimleri İçin Hesapladığı 97-98 Dönemi Verim Değişim Oranları.....	141
Şekil 4.52 : CERES-Wheat Modelinin Olası CO ₂ Değişimleri İçin Hesapladığı 97-98 Dönemi Toplam Kuru Madde Miktarı Değişim Oranları.....	142
Şekil 4.53 : CERES-Wheat Modelinin Olası CO ₂ Değişimleri için Hesapladığı 97-98 Dönemi Toplam Evapotranspirasyon Değişim Oranları.....	143
Şekil 4.54 : CERES-Wheat Modelinin Olası CO ₂ Değişimleri için Hesapladığı 98-99 Dönemi Verim Değişim Oranları.....	144
Şekil 4.55 : CERES-Wheat Modelinin Olası CO ₂ Değişimleri İçin Hesapladığı 98-99 Dönemi Toplam Kuru Madde Miktarı Değişim Oranları.....	145
Şekil 4.56 : Belirlenen Kuru Madde Miktarları ile Tahmin Edilen Kuru Madde Miktarları Arasındaki İlişki (97-98 periyodu).....	146
Şekil 4.57 : Ölçülen ve Modellerle Hesaplanan Kuru Madde Miktarları Arasındaki İlişki.....	147
Şekil 4.58 : 98-99 Döneminde Ölçülen ve Belirlenen Kuru Madde Miktarları Arasındaki İlişki.....	148
Şekil 4.59 : Her İki Gelişme Dönemi İçin Ölçülen ve Simule Edilen Toprak Su İçeriği Değerleri.....	150

Şekil A.1 : CERES-Wheat Modelinin Toprakla İlgili Girdi Dosyası (SOIL.SOL).....	169
Şekil A.2 : CERES-Wheat Modeli'nde Kullanılan Ana Deney Dosyası.....	169
Şekil A.3 : CERES-Wheat Modelinde Kullanılan Atmosfer Veri Dosyası.....	170
Şekil A.4 : SIMWASER'in Toprak Su İçeriği ve Bitki Gelişimi ile İlgili Girdi Dosyası.....	170
Şekil A.5 : SIMWASER'de Deneme Yeri ve Toprak Özellikleri ile İlgili Dosya.....	170
Şekil A.6 : SIMWASER'de Atmosferik Parametreleri İçeren Meteoroloji Dosyası Kesiti.....	171
Şekil A.7 : SIMWASER Modelinin Çalıştırılması Sonucunda Elde Edilen Çıktı Dosyası (Kesit).....	171



SEMBOL LİSTESİ

ALB	: Yüzey Albedosu
f_t	: Sıcaklık Faktörü
R_n	: Net Radyasyon
z	: Rüzgar Hızının Ölçüm Yüksekliği
z_0	: Sürtünme Uzunluğu
k	: von Karman Sabiti
u	: Rüzgar Hızı
h	: Bitki Yüksekliği
r_a	: Aerodinamik Direnç
r_c	: Bitki Direnci
r_{ss}	: Toprak Direnci
F_{max}	: Maksimum asimilasyon
F_{bitki}	: Bitkiden Meydana Gelen Isı Akısı
F_{toprak}	: Topraktan Meydana Gelen ısı Akısı
WE	: Köklerin Su Alımı
Ψ_{bitki}	: Bitki İçi Su Potansiyeli
Ψ_{toprak}	: Toprak Su Potansiyeli
WD	: Kök Uzunluğu Yoğunluğu
VF	: Islaklık Faktörü
F	: Asimilasyon
I	: Yaprak Alanındaki Radyasyon Yoğunluğu
E_p	: Potansiyel Evaporasyon
V	: Geçirgenlik Hızı
K	: Geçirgenlik Katsayısı
I_h	: Hidrolik Eğim
RH	: Bağıl Nem
R_g	: Toplam (global) Radyasyon
T_{min}	: Minimum Hava Sıcaklığı
T_{max}	: Maksimum Hava Sıcaklığı
T_{ort}	: Ortalama Hava Sıcaklığı
Y	: Yağış
E	: Kap Buharlaşması
T_{5cm}	: 5 cm Derinliğindeki Toprak Sıcaklığı
T_{10cm}	: 10 cm Derinliğindeki Toprak Sıcaklığı
T_{20cm}	: 20 cm Derinliğindeki Toprak Sıcaklığı
T_{50cm}	: 50 cm Derinliğindeki Toprak Sıcaklığı
T_{100cm}	: 100 cm Derinliğindeki Toprak Sıcaklığı
VPD	: Buhar basınç farkı
ET	: Evapotranspirasyon
ETP	: Potansiyel Evapotranspirasyon

ETAC (T)	: Ölçülen Hava Sıcaklığındaki Toplam Evapotranspirasyon
ETAC (T+1)	: Sıcaklığın 1 °C Arttırılması Durumunda Elde Edilen Toplam Evapotranspirasyon
ETAC (T-1)	: Sıcaklığın 1 °C Azaltılması Durumunda Elde Edilen Toplam Evapotranspirasyon
ETAC (T+2)	: Sıcaklığın 2 °C Arttırılması Durumunda Elde Edilen Toplam Evapotranspirasyon
ETAC (T-2)	: Sıcaklığın 2 °C Azaltılması Durumunda Elde Edilen Toplam Evapotranspirasyon
ETAC (R_g)	: Ölçülen Güneş Radyasyonundaki Toplam Evapotranspirasyon
ETAC (R_g+% 10)	: Güneş Radyasyonunun % 10 Arttırılması Durumunda Elde Edilen Toplam Evapotranspirasyon
ETAC (R_g-% 10)	: Güneş Radyasyonunun % 10 Azaltılması Durumunda Elde Edilen Toplam Evapotranspirasyon
ETAC (R_g+% 20)	: Güneş Radyasyonunun % 20 Arttırılması Durumunda Elde Edilen Toplam Evapotranspirasyon
ETAC (R_g-% 20)	: Güneş Radyasyonunun % 20 Azaltılması Durumunda Elde Edilen Toplam Evapotranspirasyon
ETAC (Y)	: Ölçülen Yağıştaki Toplam Evapotranspirasyon
ETAC (Y+% 10)	: Yağışın % 10 Arttırılması Durumunda Elde Edilen Toplam Evapotranspirasyon
ETAC (Y-% 10)	: Yağışın % 10 Azaltılması Durumunda Elde Edilen Toplam Evapotranspirasyon
ETAC (Y+% 20)	: Yağışın % 20 Arttırılması Durumunda Elde Edilen Toplam Evapotranspirasyon
ETAC (Y-% 20)	: Yağışın % 20 Azaltılması Durumunda Elde Edilen Toplam Evapotranspirasyon
CWAD (T)	: Ölçülen Sıcaklıktaki Toplam Kuru Madde Miktarı
CWAD (T+1)	: Sıcaklığın 1 °C Arttırılması Durumunda Elde Edilen Toplam Kuru Madde Miktarı
CWAD (T-1)	: Sıcaklığın 1 °C Azaltılması Durumunda Elde Edilen Toplam Kuru Madde Miktarı
CWAD (T+2)	: Sıcaklığın 2 °C Arttırılması Durumunda Elde Edilen Toplam Kuru Madde Miktarı
CWAD (T-2)	: Sıcaklığın 2 °C Azaltılması Durumunda Elde Edilen Toplam Kuru Madde Miktarı
CWAD (R_g)	: Ölçülen Güneş Radyasyonundaki Toplam Kuru Madde Mik.
CWAD (R_g+% 10)	: Güneş Radyasyonunun % 10 Arttırılması Durumunda Elde Edilen Toplam Kuru Madde Miktarı
CWAD (R_g-% 10)	: Güneş Radyasyonunun % 10 Azaltılması Durumunda Elde Edilen Toplam Kuru Madde Miktarı
CWAD (R_g+% 20)	: Güneş Radyasyonunun % 20 Arttırılması Durumunda Elde Edilen Toplam Kuru Madde Miktarı
CWAD (R_g-% 20)	: Güneş Radyasyonunun % 20 Azaltılması Durumunda Elde Edilen Toplam Kuru Madde Miktarı
CWAD (Y)	: Ölçülen Yağıştaki Toplam Kuru Madde Miktarı

- CWAD (Y+% 10)** : Yağışın % 10 Arttırılması Durumunda Elde Edilen Toplam Kuru Madde Miktarı
- CWAD (Y-% 10)** : Yağışın % 10 Azaltılması Durumunda Elde Edilen Toplam Kuru Madde Miktarı
- CWAD (Y+% 20)** : Yağışın % 20 Arttırılması Durumunda Elde Edilen Toplam Kuru Madde Miktarı
- CWAD (Y-% 20)** : Yağışın % 20 Azaltılması Durumunda Elde Edilen Toplam Kuru Madde Miktarı



METEOROLOJİK FAKTÖRLERİN BİTKİ GELİŞİMİNE ETKİLERİNİN BİTKİ-İKLİM MODELLERİ İLE BELİRLENMESİ

ÖZET

Kontrol edilemeyen birçok faktör dünyanın atmosferini yönlendirici rol oynamaktadır. Bu durum daha çok meteorolojik parametrelerin belirsizliğinden kaynaklanmaktadır. Belirsizliğin ortaya koyduğu karmaşıklık, meteoroloji biliminin etkide bulunduğu tüm alanları ve bu bilim dalının uygulama alanlarından biri olan tarımsal meteoroloji alanını da önemli ölçüde yönlendirmektedir. Meteoroloji biliminin özellikle bitkisel üretime yaptığı etkileri inceleyen Tarımsal Meteorolojinin amaçlarından biri, meteorolojik faktörlerin bu sektörde üretilen ürünlere olumlu veya olumsuz etkilerini tahmin etmek, belirlemek ve elde edilen sonuçlara göre ilgilileri uyarak yönlendirmektir.

Dünya’da son yıllarda yapılan çalışmalar özellikle meteorolojik faktörler ve bunların olası değişikliklerinin bitkisel üretime etkilerini belirlemek amacıyla kullanılan bitki-iklim simulasyon modelleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Ülkeler iklim değişikliklerinin bitkisel üretimlerini nasıl etkileyeceğini tahmin etmek ve bu değişikliklerin tarımsal üretim açısından avantajları ile dezavantajlarını belirlemek için model çalışmalarına önemli destekler sağlamaktadırlar.

Bu çalışmada, Türkiye’de ve Dünya’da en önemli besin kaynağı olan buğday bitkisinin gelişimine meteorolojik faktörlerin ve bu faktörlerde meydana gelmesi muhtemel değişikliklerin yapacağı etkiler araştırılmıştır. Çalışma Kırklareli Köy Hizmetleri Atatürk Araştırma Enstitüsü’nde uygulamalı olarak yürütülmüştür. Araştırmalarda buğday bitkisinin 1997-1998 ve 1998-1999 gelişme dönemlerinde ölçülen meteorolojik, toprak ve bitki gelişimi ile ilgili veriler kullanılmıştır. Tam otomatik bir meteoroloji istasyonu kullanılarak alınan meteorolojik veriler ile birlikte, analizlerde kullanılan modeller için gerekli toprak ve bitki parametreleri deneme alanında ölçülmüş ve gözlenmiştir.

Modelleme kapsamında gerçekleştirilen simulasyonlarda açıklamalı bitki-iklim modellerinden CERES-Wheat ve SIMWASER modelleri kullanılarak her iki ölçüm dönemi için bitki gelişimi meteorolojik faktörlerin etkisi altında analiz edilmiştir. Uygulanan benzeşimlerin sonuçları, bitki gelişimi, kuru madde miktarı, verim ve buharlaşma değişkenleri açısından ele alınmış ve bu model sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sonuçta açıklamalı modellerin bitki gelişimi ve verimi üzerinde oldukça tatmin edici ön tahminler gerçekleştirebildikleri bir kez daha ortaya çıkmıştır.

Meteorolojik faktörlerdeki değişime bitkinin gösterdiği reaksiyonlar, uygulanan senaryonun ekstremliğine bağlıdır. CERES-Wheat Modeli 98-99 döneminde 1 °C sıcaklık senaryosunda dikkate değer bir ürün miktarı değişimi öngörmemiştir. Ancak sıcaklığın 2 °C değişimi durumunda verimin yaklaşık % 9 oranında sapacağı belirlenmiştir. Tüm simulasyonlarda bitki gelişiminin en hassas olduğu parametre güneş radyasyonu olarak tespit edilmiştir. 97-98 gelişme dönemi için güneş radyasyonunda gerçekleşmesi

muhtemel % 20 oranındaki değişimin ürün miktarında % 20 ile % 30 arasında artış veya azalış şeklinde yansıyacağı SIMWASER Modeli tarafından tahmin edilmiştir.

Modeller, buğdayın özellikle evapotranspirasyon konusunda yağış değişimine karşı büyük tepkiler göstermeyeceğini öngörmüşlerdir. Bu simulasyonların yanı sıra çalışmada birden fazla meteorolojik parametrenin aynı anda değişmesinin beklendiği çok sayıda senaryo da ayrıca dikkate alınmıştır. CERES-Wheat Modeli ile karbondioksit (CO₂) değişimlerine yönelik simulasyonlar da gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. CO₂'nin özellikle radyasyon parametresi ile birlikte dikkate alındığı senaryoların bitki gelişimini önemli düzeyde etkilediği belirlenmiştir.



DETERMINATION OF THE EFFECTS OF THE METEOROLOGICAL FACTORS ON CROP GROWTH USING CROP-CLIMATE MODELS

SUMMARY

Various uncontrollable factors dominate the phenomenon in the atmosphere of the world. This situation can be caused by the uncertainty of the meteorological parameters. The complexity formed by this uncertainty directs all of the fields that are affected by meteorology, including one of the applied fields of this science branch; agricultural meteorology.

One of the main aims of the agricultural meteorology is to examine especially the effects of meteorological factors on agricultural production. The other is to forecast and determine any positive or negative effects of meteorological factors on the products and to warn and direct the people concerned.

Recent studies in the world intensify on the effects of the meteorological factors and their possible changes on crop production. Countries provide important support for modelling studies to predict the effects of climate changes on crop production together with the advantages and disadvantages of these changes.

In this study, the effects of the meteorological factors and their possible changes have been investigated for the wheat crop, which represents the primary nutrient source for Turkey and for the whole world. The study has been practically performed in the Atatürk Research Institute of Kırklareli.

The measured meteorological, soil and plant growth data were used in models for two winter wheat growing periods, 1997-1998 and 1998-1999. The meteorological data has been measured from a full-automatic meteorology station. Additionally, the soil and crop parameters, which were necessary for the inputs of models used by the analyses, were been practically measured and observed on the research area.

In this research, two explanatory crop-climate models, CERES-Wheat and SIMWASER were used to analyse the crop growth for both growing periods. The results of the simulations were evaluated with the results of crop growth, biomass, grain yield and evapotranspiration. Hence, it has been proved once more, that the explanatory models can forecast the growth and yield, satisfactorily.

The results of model simulations became more clear when applied to extreme scenarios on the rise. There is no serious crop production change if the temperature changes 1 °C by using the CERES-Wheat Model in 98-99 period. Another scenario corresponding to a temperature change of 2 °C, indicated 9 % change in cumulative crop dry weight.

The reaction of the results of the model simulations increased parallel with growing change rates of the meteorological parameters. In all used simulations, solar radiation was estimated as the most effective parameter on crop growth. SIMWASER predicted that crop productivity change would be over 20% for solar radiation changes of 20 % in the 97-98 growing period. Both models have estimated that the evapotranspiration of the wheat crop was not seriously affected by rainfall variations.

Additionally, multi-parameter change scenarios on crop productivity had been taken into account, too. In this study, carbondioxyde change simulations were also applied to predict its single and integrated effects on crop productivity by using the CERES-Wheat Model. As a result, it has been observed that CO₂-solar radiation scenarios would give effective results, especially.



BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı

Bilimsel çalışmaların ortaya çıkmasının temel kaynağı, insanoğlunun varoluş başlangıcından bu yana muhafaza ettiği merakıdır. Bu duygu, çoğu zaman hayatın devamının sağlanmasına veya niteliğinin yükseltilmesine duyulan ihtiyaç nedeniyle kendini hissettirmiş ve araştırma faaliyetlerinin fitilini ateşlemiştir. Araştırmalar genel anlamda insanın doğaya giderek daha fazla hakim olması temel sonucunu doğurmuştur. Geride bıraktığımız binyılın son asrına kadar ağır adımlarla ilerleyen insan teknolojisi, son dönemde özellikle elektronik ve bilgisayar alanlarında gerçekleşen buluşların katkısıyla bu hakimiyeti perçinlemiştir. Böylece günümüzde insanoğlu üzerinde yaşadığı coğrafyanın tartışılmaz hakimi olarak varlığını sürdürür hale gelmiştir. Öte yandan, bütün bu gelişmelerin doğal denge üzerinde çeşitli tahribatlar meydana getirmesi, önceden mevcut olmayan çevre ve doğal kaynak problemleri ile insanoğlunu yüzleştirmiştir. Sözü edilen sorunları oluşturan ana neden ise Dünya’da son yıllarda ivmelenerek artan nüfustur. Bu nedenle, bilinmeyen hakkında bilgi sahibi olunmasına ve de mümkünse ona hakim olunmasına yönelik araştırma dürtüsü, son yıllarda mevcut kaynakların optimum kullanımının sağlanmasını kapsayan yeni araştırma sahalarının açılması konularına da yönelmiştir.

Meydana gelmesi muhtemel olan ancak insan hakimiyetine izin vermeyen bazı hadiselerle yönelik birçok parametreyi inceleyerek yorumlamaya çalışan meteoroloji bilimi bu bağlamda tüm dallarıyla birlikte son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Meteorolojik hadiselerin önceden tahmininde sağlanması hedeflenen başarı, 1950’li yılların başından itibaren hızlı bir gelişme gösteren bilgisayar teknolojisine paralel olarak artmıştır. Sağlanan imkanlardaki artış, uygulama içeren araştırma alanlarında önemli adımların atılmasıyla kendini göstermiştir. Gelecekte başgöstermesi muhtemel

olan küresel bir açlık sorunu dikkate alındığında ise, meteorolojin uygulama alanındaki en önemli dallarından olan tarımsal meteoroloji ön plana çıkmaktadır.

Tarımsal meteoroloji alanındaki amaç, meteorolojik faktörlerin tarımsal üretime etkilerini belirlemek ve bu yönde yapılan çalışmalara katkıda bulunmaktır. Amaçlanan bu hedefe varmak için öncelikle bir bitkinin farklı toprak tipleri, farklı bölgeler ve farklı meteorolojik koşullar altında ortaya koyduğu verim değerleri bilinmeli ve bunlar karşılıklı olarak ele alınmalıdır. Bu tür çalışmaların gayet masraflı ve uzun zaman gerektiren çalışmalar olduğu aşîkardır. Yapılan çalışmalarda, bitki ve toprak hakkında uygun görülen sınırlamaların gerçekleştirilmesi tarımcının inisiyatifindedir. Kontrol edilemeyen atmosferik parametrelerin ortaya koyduğu meteorolojik şartlar ise, sadece önceden tahmin edilebilir. Bu nedenle tarıma ve ormancılığa yönelik üretim çalışmalarında hem ilgili bölge iklimi hakkında ayrıntılı bilgi sahibi olunmalı, hem de kısa vadeli atmosferik şartlar süreklilik arzedecek şekilde gözlenerek kaydedilmelidir. Bu çalışmalar farklı uzmanlık alanlarında ihtisas yapmış olan araştırmacıların ortak ve koordineli faaliyetlerini gerektirir ki bu tür faaliyetlerin disiplinlerarası bir bilim dalı olan meteorolojinin tüm alt kollarında da yürütülmesi zaruridir. Ortak çalışmaların tarımsal meteorolojik çerçevede yürütülen kısmının teknolojik bakımdan ulaştığı son aşamayı bitki-iklim simulasyon (benzeşim) modellerinin temsil ettiği söylenebilir. Bir bitki-iklim modelinin fonksiyonelliği, modelin eldeki verilerin niteliğine ve niceliğine bağılı olarak yaptığı tahminlerin güvenilirliği ile ölçülür. Güvenilir sonuçlar ortaya koyması beklenen bir modelin temel ihtiyacı ise, verilere yönelik ulaşma, derleme ve yorumlama gibi işlemleri süratli şekilde gerçekleştirebilecek bir bilgisayardır.

Genç bir bilim dalı olmasına rağmen özellikle gelişmiş ölkelerde tarımsal meteorolojinin saygın bir konumu vardır. Gelişmiş ölkeler tarımsal üretimi üst seviyeye çıkarmakta kullandıkları bitki-iklim modellerini başarıyla uygulamakta ve mevcut modellere sürekli güncel müdahaleler yapmaktadır. Bunun sonucunda hem tarımsal üretim koşullarını optimize ederek yüksek verim elde edilmesi, hem de ulusal tarım politikalarının yönlendirilmesi kolaylaşmaktadır. Bu imkanlar gelişmiş ölkelere orta ve uzun vadede küçümsenemeyecek faydalar sağlamaktadır. Nüfusun % 40'ından fazlasının aktif olarak tarımla geçimini sağladığı Türkiye'de son yıllarda sanayileşme yolunda atılan adımlar mevcut tarım arazilerindeki artışın sınırlandırılmasına, hatta azalışa

neden olmaktadır. Bitki-iklim modelleri ile ilgili çalışmalar, birim alandan elde edilen verimi arttırmada kullanılabilecek bilgilere destek sağlayacaktır. Böylece, atmosferik şartların etkisi altında gelişimini sürdüren bitkilerin meteorolojik faktörlerden nasıl etkilendiği ya da etkilenebileceği tespit edilebilecektir. Bu çalışmada, tüm Dünya’da olduğu gibi ülkemizde de temel besin kaynağı olarak üretilen buğday bitkisinin veriminin, iklim değişimlerinden etkilenme durumunun ortaya konması amacıyla bitki-iklim modellerinden yararlanılmıştır.

İklim ile ilgili 17. yüzyılda başlayan çalışmalarda amaç, doğayı tanımak ve ona egemen olmaktır. Diğer bilim dalları ile yakından ilişkili olan iklim bilimi, her zaman farklı disiplinlerin ilgi odağı olmuştur. Özellikle tarım ve meteoroloji bilimi arasında, son derece hassas bir ilişki bulunmaktadır. Tarımsal faaliyetler atmosferik olaylara son derece bağımlıdır. Zira geniş alanlarda yapılan tarımda, yetiştirilen bitki türünden, elde edilen verime ve bitkilerin yetiştirme süresine kadar tüm olaylar, bitkinin geliştiği ortamdaki atmosferik şartlarla yakından alakalıdır.

Sanayileşmedeki ilerleme ile birlikte, fosil yakıt tüketimi ve bunun sonucu atmosferdeki karbondioksit miktarı artmıştır. 1950’li yıllarda 306 ppm olan karbondioksit miktarı, 1995 yılında 359 ppm değerine ulaşmıştır. 2050 yılı için yapılan tahminler atmosferik karbondioksit konsantrasyonunun 400 ppm’i aşacağını göstermektedir (Böttcher, 1993). Bunun sonucunda yeryüzüne gelen kısa dalga radyasyon yer yüzeyini ısıtırken yer yüzeyinden yansıyan uzun dalga radyasyonun bir bölümü atmosferdeki karbondioksit ve su buharı tarafından absorbe edilerek atmosferinin daha fazla ısınmasına sebebiyet vermektedir. Özellikle meteoroloji bilimi ile uğraşan bilim adamları küresel ısınmanın dünyada hangi enlemlerde ne kadar değişeceğini modeller kullanmak sureti ile tahmin etmeye çalışırken, tarımsal meteoroloji alanında çalışan bilim adamları da iklimdeki bu değişikliklerin tarıma olası etkilerini bitki gelişimi simulasyon modelleri kullanarak belirlemeye çabalamaktadır. (Penning De Vries ve ark., 1989; Şaylan, 1993; Şaylan, 1994a). 1880 ile 1940 yılları arasında küresel sıcaklıktaki artış 1 °C/100 yıl olarak saptanmıştır (Panofsky, 1976). 1945 yılından sonra, sıcaklıkta bir düşüş belirlenmiştir. Bunların yanı sıra, dünya nüfusundaki değişim de dikkat çekicidir. 1950’de 2.5 milyar olan küresel nüfus, artan sanayileşme ve enerji kullanımı ile 1987 yılında 5 milyara ve 1993 yılında da

5.4 milyara ulaşmıştır. Artan enerji kullanımı sonuçta küresel ısınmada artışa neden olmuştur. Tarımsal meteorolojik açıdan önemli olan, bu küresel ısınmanın tarımsal üretim açısından hangi sonuçları doğuracağıdır (IPCC, 1991; El-Shaer ve ark., 1997; Iglesias ve Minguez, 1997; Kapetanaki ve Rosenzweig, 1997; Rosenzweig ve Tubiello, 1997). Tahmin edilen sonuçlar hava sıcaklığında, yağışın miktarında ve toprak rutubetinde değişimlerin olacağını göstermektedir. Bunun neticesinde, diğer iklim elemanlarındaki değişimler de kaçınılmazdır.

Dünya’da sıcaklık artışları konusunda yapılan değişik tahminler vardır. Ülkemizin bulunduğu enlemler için yapılan tahminler kışın sıcaklığın 2 °C, yazın ise 2 °C ile 3 °C arasında artacağı yönündedir. Kışın ülkemizde yağışların artacağı, ancak yazın % 5 ile % 15 arasında yağış azalışı gerçekleşeceği ve toprak su içeriğinin % 15 ile % 25 arasında düşme göstereceği tahmin edilmektedir (WMO ve UNEP, 1990; IPCC, 1991). Gelecek yüzyıllarda küresel sıcaklıktaki artışın 0.2 °C/10 yıl ile 0.5 °C/10 yıl değerleri arasında olacağı tahmin edilmektedir (Böttcher, 1993; IPCC, 1998). Bu değişkende son yıllarda kaydedilen artışlar 0.3 °C ile 0.6 °C arasında olmuştur. Aynı periyotta deniz seviyesindeki yükselme 10 cm ile 20 cm arasında belirlenmiştir. Deniz seviyesinin gelecek yüzyılın sonunda 65 cm yükseleceği tahmin edilmektedir. Deniz seviyesindeki bu yükselmenin, dünya nüfusunun % 30’unun yaşamını tehdit edeceği tahmin edilmektedir. Yapılan tahminler 40° enleminin yukarısında yağışın artacağı ve 30°-40° enlemleri arasında yağışın azalacağı şeklindedir (Seinfeld, 1975; IPCC, 1991, 1998).

Ülkemiz için en önemli sorunlardan biri, sıcaklık artışı sonucunda artan buharlaşmanın yarı kurak olan ülkemizin tarımına yapacağı etkilerdir. Önemli bir sorunda, ülkemiz agro-ekolojik zonlarının nasıl değişeceğidir. Araştırılması gereken, ülkemizin bulunduğu enlemlerde olacağı tahmin edilen sıcaklık artışı, yağıştaki ve toprak rutubetindeki azalma sonucunda meydana gelebilecek kuraklık tehlikesinin sonuçlarının neler olacağıdır. Kadioğlu (1997), Kadioğlu ve Şaylan (2000) yaptıkları araştırmalarda genel sirkülasyon modellerinin Türkiye’deki sonuçlarını tahmin etmeye çalışarak bunun büyüme-derece-gün üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Dünyadaki birçok ülke, gelecekte meydana gelebilecek küresel iklim değişikliklerinin ekonomik ve sosyal etkilerinin neler olacağı konusunda senaryolar

retmekte, ulusal ve uluslararası tarım politikalarına yön vermektedir (USDA, 1996; Rosenzweig ve Hillel, 1998). İklim değişikliklerinin dünya tarımına ekonomik olarak olası etkileri analiz edilmektedir. Zira, tarım iklime karşı en hassas olan sektördür (Kane ve ark., 1992). Bölgesel iklim ve tarımsal üretim değişiklikleri sadece meydana geldiği ülkeyi değil, dolaylı olarak uluslararası piyasaları ve dünya tarım ürünleri fiyatlarını da etkiler (USDA, 1996). Bu amaçla yapılan çalışmalar aracılığıyla, lkelerin bitkisel üretim durumları ve dünya tarım pazarları arasındaki ilişki araştırılmaktadır. İklimdeki değişiklikleri araştırmacılar genel sirkulasyon modelleri (General Circulation Models, GCM) kullanarak analiz etmektedirler. GCM modelleri kullanılarak yapılan çalışmalar sonucunda, karbondioksit seviyesindeki artış ile birlikte orta enlemlerde verimde azalma olacağı, kuzey enlemlerde ise bunun aksine verimde artış olacağı saptanmıştır. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nde bitki ve iklim modelleri kullanılarak yapılan bir çalışmada, tahmin edilen iklim değişikliklerinin, mısır verimini % 23.7 ile % 54.7 arasında, soya verimini % 34.6 ile % 59.7 arasında ve kışlık buğdayın verimini de % 16 ile % 31 arasında azaltacağı belirlenmiştir (Peart ve ark., 1990; Ritchie ve ark., 1990; Rosenzweig, 1990; şaylan, 1995a). Dünya'da iklim değişiklikleri ve bunların bitki verimine etkileri konusunda değişik lkeler için modeller kullanılarak tahminler yapılmaktadır (Kapetanaki ve Rosenzweig, 1997; El-Shaer ve ark., 1997).

Yapılan alışmalar sonucunda, iklim değişikliklerinin tarıma Avrupa'nın kuzeyinde olumlu ve Avrupanın güneyinde ise olumsuz etkilerde bulunacağı tespit edilmiştir (Santer, 1985). Parry ve arkadaşları (1988) yaptıkları çalışmada; Ekvator, Brezilya, Kenya, Hindistan, Avustralya ve Rusya'daki yarıkurak bölgelerde ve Finlandiya, Japonya ile İzlanda'nın kuzeyindeki enlemlerde tahmin edilen iklim değişikliklerinin, tarımsal üretimi olumlu etkileyeceğini saptamışlardır (USEPA, 1990).

Dünya'da gelecek yıllarda değişeceği tahmin edilen iklimin çeşitli bitkilerin ürün miktarına ne gibi etkilerde bulunacağı bugünden saptanmaktadır. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nde tahmin edilen iklim değişikliğinin gerçekleşmesi durumunda, buğday veriminde % 10 ile % 20 arasında azalma meydana geleceği belirtilmektedir (Parry, 1990). Aynı şekilde Kanada'da buğday veriminin iklim değişikliği durumunda % 15 ile % 20 arasında azalacağı, buna karşın maksimum olumsuz etkilerin meydana gelmesi durumunda ise mısır bitkisinin veriminin bazı

yerlerde % 5 artacağı ve azalacağı belirlenmiştir. Dünya’da buğday üretiminin % 17.2’sini Rusya, % 16.2’sini Çin ve % 10.6’sını da Amerika Birleşik Devletleri elinde tutmaktadır. Örneğin Rusya’da ve Çin’de iklim değişikliklerinin beklenen etkisi sonucunda buğday veriminin % 10 artacağı, bu etkilerin maksimumu dikkate alındığında ise verimin % 15 azalacağı tahmin edilmektedir (USDA, 1989; 1996). İklim değişimlerinin gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkabilecek ürün miktarındaki değişikliklere dikkat edildiğinde, buradan gelecek yıllarda ürün miktarındaki bu azalmaların Dünyada tarım ürünleri fiyatlarını arttıracığı sonucu çıkarılabilir.

İklim değişikliklerinin ülkemizdeki bitkisel üretime olası etkilerini belirlemek amacıyla, tüm Dünya’da bu araştırmalarda yararlanılan bitki-iklim modellerinin ülkemizde de kullanılması gereklidir. Ancak Türkiye’deki veri tabanı modellerin tüm ülkeye uygulanması için yeterli değildir. Bu nedenle, çalışmada bitki-iklim modelleri ile Kırklareli’nde buğday bitkisinin meteorolojik faktörlerin değişiminden nasıl etkileneceğinin tespiti amaçlanmıştır. Böylece ülkemizde olası bir iklim değişiminin yapabileceği etkiler belirli bir yer ve bitki için belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu çalışma bundan sonra ülkemizde bu alanda yapılacak çalışmalar için bir temel oluşturacaktır. Aşağıdaki bölümlerde iklim değişikliğinin tarıma etkilerini incelemeye kullanılan bitki-iklim modelleri ve çalışmanın amacına yönelik dünya’da ve ülkemizde yapılan araştırmalar açıklanmıştır.

1.2. Model Kavramı

Gerçekleşme olasılığı en azdan en fazlaya kadar birçok olaya ait senaryoların ve sonuçlarının sağlıklı şekilde ortaya konulması, bilimsel araştırmalarda en çok ihtiyaç duyulan potansiyel yönlendirici kuvveti temsil etmektedir. Söz konusu senaryoların bire bir uygulanması ise çoğu zaman büyük maddi ve zamansal külfetleri beraberinde getirmektedir. Bir mekanizmanın karmaşıklığı bu mekanizmayı oluşturan birden fazla sayıda basit yapının karşılıklı etkileşiminden kaynaklanır. Ayrıca kendisi basit olan bir mekanizma, ele alındığı ölçeğin (zaman, yer gibi) büyümesi nedeniyle de karmaşıklık arz edebilir. Model çalışmalarında karmaşık süreci oluşturan basit yapıları temsil eden algoritmalar her bir yapı için ayrı ayrı ortaya konur; ardından sıra bunların ve karşılıklı etkileşimlerinin ele alınmasına gelir. Söz konusu işlemlerin süratli ve güvenilir şekilde

ortaya konmasının zorunluluğu günümüzdeki model çalışmalarını bilgisayar teknolojisinin son imkanlarına bağımlı hale getirmiştir.

Ortaya somut eserlerin konduğu tüm bilim ve mühendislik dallarında geleceğe yönelik tahminlere ve senaryolara ihtiyaç duyulmaktadır. Buna örnek olarak atmosferde gerçekleşen küresel ısınmanın gelecekte Dünya üzerindeki canlı hayatını ne şekilde etkileyeceğinin belirlenmesi çalışmaları verilebilir. Meteoroloji bilimi dikkate alındığında, tahminlerin ve bu tahminleri destekleyen model kavramının önemi daha açık şekilde ortaya çıkar. Model çalışmalarının günümüzde geçerli bir tanımı, "Araştırmaların ışığı altında gözlemlerle beraber, birtakım kabuller yaparak, olay için açıklama getirmektir" şeklinde verilebilir (Yarranton, 1971). Bu temel üzerine oturtulan model çalışmaları ele alınan bir olay için hem geçmiş dönemlerin ele alınması, hem de geleceğe yönelik tahminler yapılması suretiyle olay hakkındaki mevcut bilgilerin artırılması imkanını araştırmacılara sunmaktadır.

Dünya'da birçok konuda model çalışmaları geliştirilebileceğinden, Tarımsal Meteoroloji gibi spesifik bir bilim dalı söz konusu olduğunda da modellerle karşılaşılması doğaldır. Model çalışmalarının tarımsal meteoroloji bilim dalı çerçevesinde yürütülenleri, "Bitki-İklim Simulasyon Modelleri" ana başlığı altında incelenebilir. Atmosfer, toprak ve bitki üçlüsü bir sistem olarak ele alındığında, bu sistemi oluşturan tüm parametrelerin karmaşık etkileşimlerini analiz etmenin model kullanımını zaten mecburi hale getirdiği görülür. Bunun nedeni, arazi üzerinde yürütülmeye çalışılan uygulamaların maliyet ve zaman bakımından kabarık faturalar meydana getirmesidir.

Tarımsal Meteorolojik model çalışmaları toprak, sulama, meteoroloji, bitki fizyolojisi gibi çeşitli alanlarda çalışan çok sayıda araştırmacının ortak eserleridir (Baier, 1979). Model çalışmalarında kaydedilen önemli ilerlemelere rağmen, bitki gelişimi ve fizyolojisinin verimle bağdaştırılabilecek şekilde tahlil edilmesindeki zorluk, yetmişli yılların başına kadar devam etmiştir. Bu döneme kadarki çalışmalar genellikle benzer kontrol yöntemlerinin deneme-yanılma yoluyla uygulanmasıyla sınırlı kalmıştır. Toprağın fiziksel, kimyasal, fizyolojik ve mikrobiyolojik özelliklerinin meteorolojik faktörler altında dikkate alınmaya başlanmasından itibaren disiplinlerarası ortak

araştırma konuları ortaya çıkmış ve bunların uç noktasında bitki-iklim simulasyon model tasarımları yer almıştır.

Günümüze kadar gerçekleştirilen model çalışmalarından hayal kırıklığı yaratan sonuçların elde edildiği de olmuştur; ancak bu başarısızlıklar, sabırla ve titizlikle sürdürülen araştırmalara yönelik tecrübeyi artırıcı faydalar sağlamıştır (van Keulen ve Seligman, 1987). Sonuçta bir bitkinin fizyolojisi ve gelişme süreci hakkında tatmin edici simulasyon sonuçları ortaya çıkmaya başlamıştır. Bitki-iklim modelleri vasıtasıyla deneysel araştırmalarda birer soru işareti olarak araştırmacıların karşısına çıkan problemlerin önceden belirlenmesi ve yanıtlanması mümkün olmaktadır. Modeller bu açıdan bakıldığında oldukça karmaşık bir sistemin gerektirdiği hesaplamaları tatmin edici şekilde gerçekleştirmekle yükümlü yazılımlar olarak değerlendirilebilir. Geliştirilmekte olan bir modelin hatalı sonuçlar vermesi genellikle modeli geliştirenlerin bitki gelişme aşamalarını ve bunlara etkileyen meteorolojik parametreleri hatalı yorumlamalarının sonucudur. Modelin kullanım aşamasında ortaya çıkan sorunlar ise, genellikle kullanıcının elindeki girdi verilerinin ve talep edilen çıktılarının modelinkilerle uyuşmamasından kaynaklanır.

1.3. Bitki-İklim Etkileşiminin Modellenmesi

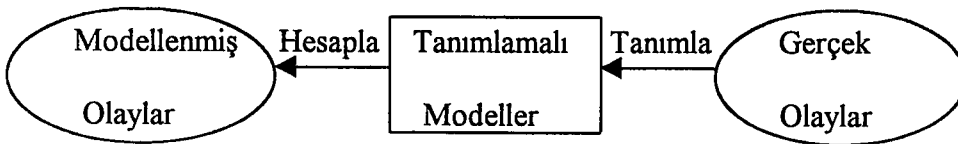
Bitki-iklim simulasyon modelleri, bir bitkinin çevre etkileşimlerinin bitki gelişimine ve verimine etkilerinin bütünsel olarak ortaya konması amacıyla geliştirilmiştir. Tarımsal faaliyetleri etkisi altında tutan yapıların karmaşıklığının giderilmesi ve sonuçların ilgili kişi ya da kurumların hizmetine sunulmasının yolu, günümüzde model kullanımından geçmektedir. Bu hizmetin tarımcıya sunulması önemlidir; çünkü tarımcı kendince uygun olan birtakım başlangıç koşulları altında bitkiyi tarlaya ekmekte ve gelişim süreci boyunca yine kendi uygun gördüğü zamanlarda bitkiye müdahale etmektedir. Ekilecek kültür tipinin seçilmesi, bitkinin tarlaya ekiliş tipi ve miktarı, meteorolojik olayların bitkinin topraktaki gelişim sürecini etkileme özellikleri gibi konular ise tarımcıyı ilgilendirmekle birlikte, onun faaliyet sahasının dışına taşmaktadır. Sözü edilen konular hakkında tarımcıya “tarımsal meteorolojik hizmet” çerçevesinde tatmin edici bilgiler sunulmalıdır. Dünyada gelişmiş ülkelerin çoğunda bu faaliyet sistemli şekilde sürdürülmektedir. Uzun yıllar süren araştırmalar boyunca geliştirilen ve çok sayıda simulasyon uygulamasının ardından

ortaya çıkan bitki-iklim model çalışmaları biyologların, meteorologların ve tarım mühendislerinin ortak faaliyetleri kapsamındadır. Model altyapısının tesisinde bilgisayar, elektrik ve elektronik mühendislerinin katkısı da gerekmektedir. Model çalışmalarında görev yapan simulasyon uygulayıcıları ise, bu disiplinler arasında bir köprü vazifesini yerine getirmekle yükümlüdür.

Atmosfer, toprak ve bitki parametrelerinin her biri ötekilerle doğrudan ya da dolaylı ilişki içinde olup, son derece karmaşık bir yapı arz etmektedir. Toprak ve bitki ile ilgili müdahaleler (ekilen tohum tipinin, ilacın, sulamanın, gübrelemenin tipi ve miktarı gibi) tarımcının kontrolü altında gerçekleştirilir. Atmosfer parametreleri ise tamamen kontrol dışındadır ve söz konusu müdahalelerin özelliklerini belirleyici rol oynamaktadır. Karmaşık ilişkilerin ele alınarak bitki gelişiminin analiz edilmesi, süratli bilgisayarların kullandığı bitki-iklim simulasyon modelleri ile gerçekleştirilir. Bu modeller temel algoritmalarla yola çıkarak gerçekte meydana gelen süreçlerin benzerlerini ortaya koyar ve amaç “eğer....., olursa ne olur?” sorusuna yanıt bulmaktır (Pennig de Vries ve ark., 1989). Bitki-iklim simulasyon modelleri genel olarak iki ana sınıfta ele alınabilir: Tanımlamalı modeller ve açıklamalı modeller (Penning de Vries ve ark., 1989; WMO,1990).

1.3.1. Tanımlamalı Modeller

Tanımlamalı modellerde bitkiyi oluşturan yapıdaki aktiviteler çok genel birkaç algoritma yardımıyla formüle edilmeye çalışılır. Gelişme aşamaları boyunca bitkide gerçekleşen reaksiyonlar çok genel bir çerçevede ele alınır, hatta bunlara hiç değinilmez. Bu tip modellerde bitki gelişimi genelde tek bir parametrenin fonksiyonu olacak şekilde dikkate alınır. Bu durumda elde edilen sonuçların doğruluğu ve farklı bölgelerde uygulanabilirliği tartışmaya açık hale gelir. Aşağıdaki Şekil 1.1’de, tanımlamalı bir bitki-iklim modelinin işleyişi özetlenmiştir.



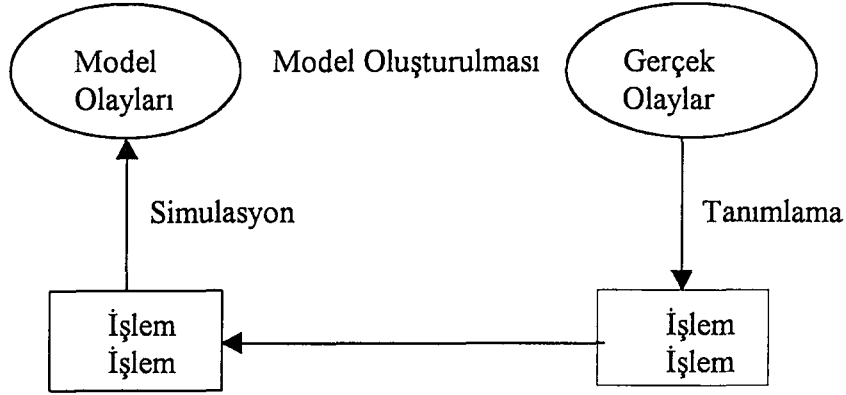
Şekil 1.1. Bitki Yapısının Tanımlamalı Modellerle Ele Alınması (Penning de Vries ve ark., 1989).

1.3.2. Açıklamalı Modeller

Açıklamalı modellerde, tanımlamalı modellerde dikkate alınmayan bitki gelişme aşamaları ve bu aşamalarda meydana gelen reaksiyonlar da analize tabi tutulur. Bir açıklamalı modelde bitkinin topraktan suyu alma olayından, güneşten gelen radyasyonun vermiş olduğu enerji ile gerçekleşen fotosentez olayına, bitki ve toprak yüzeyinden meydana gelen buharlaşmaya kadarki tüm aşamaların tanımlanması gereklidir. Bu zorunluluk, bitkisel gelişme ve verim tahmininde yapılan tahminlerin güvenilirliğini arttırıcı bir avantaj olarak kullanıcıya yansıyacaktır. Açıklamalı model kullanımında, bitki gelişiminde belirleyici rol oynayan meteorolojik parametrelerin etkisine oldukça çarpıcı biçimde şahit olunabilir. Yeterli veri altyapısının temininin ardından geliştirilen bir açıklamalı model, bitkinin gelişiminin ve veriminin ölçüsü olan buharlaşma ve fotosentez gibi aktivitelerin meteorolojik parametreler tarafından nasıl yönlendirildiğini açık şekilde ortaya koyacaktır.

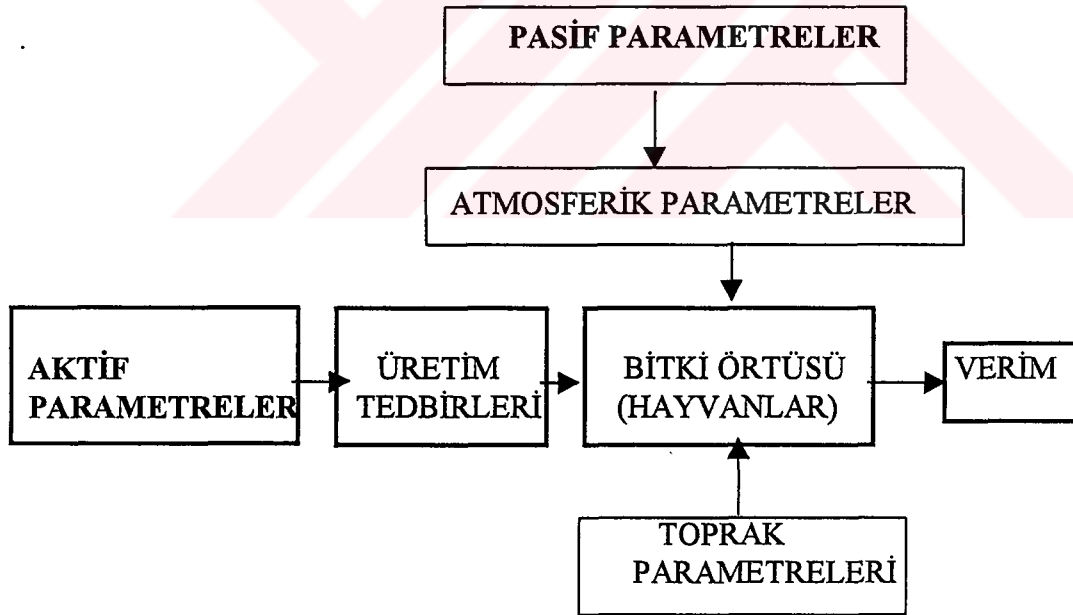
Açıklamalı modelleri ortaya çıkaran çalışmaların belli bir plan çerçevesinde yürütülmesi zorunludur. Bu tip çalışmaların genel olarak üç aşamada gerçekleştirildiği söylenebilir: İlk model, karmaşık model ve özet model (Şaylan, 1994a). İlk model aşamasında modelin dayanağı olan ana yaklaşımlar geliştirilir. Karmaşık model aşamasında bir önceki aşamada ortaya konan temel algoritmaların sistemin bütünü ve alt bileşenleri arasındaki etkileşimleri ayrıntılı olarak ortaya koyacak şekilde ele alınması söz konusudur. Özet model aşaması ise, önceden karmaşık olarak irdelenen hadiselerin daha basit ve sonuç alıcı kullanıma hazır hale getirilmesini kapsar. Tanımlamalı modeller genel yapı itibarıyla açıklamalı modellerin ilk model aşamasını temsil eder konumdadırlar. Aşağıdaki Şekil 1.2’de, açıklamalı bir model sisteminin işleyişi sunulmuştur.

Açıklamalı modellerin kullanımında tarımcının inisiyatifi altında bulunan ve bitki gelişimi ile verimini önemli ölçüde etkileyen işlemlere; kontrol dışı meteorolojik parametrelerin etkileri analiz edilebilir. Üretimde müdahale kapsamında bulunan işlemlere genel olarak "aktif parametreler" denirken, üretici tarafından herhangi bir kontrolün mümkün olmadığı parametreler de "pasif parametreler" adını alır. Aktif parametrelere örnek olarak sulama, ilaçlama, gübreleme, araziye işleme aktiviteleri verilebilir.



Şekil 1.2. Açıklamalı Modelin Çalışma Döngüsü (Penning de Vries ve ark., 1989).

Tarımda pasif parametreler ise genel olarak tüm meteorolojik hadiselerle tekabül etmektedir. Aşağıdaki Şekil 1.3, aktif ve pasif parametrelerin dikkate alınmasıyla tarımsal faaliyetlerin yönlendirilmesine dair diyagramı göstermektedir:



Şekil 1.3. Aktif ve Pasif Parametrelerin Tarımsal Üretim Sürecindeki Rolü.

Modellerin nitelikleri dikkate alınarak daha hassas şekilde sınıflandırılmaları da mümkündür. Bunlardan fenolojik modellerde, bitki büyüme döneminin başlangıç, gelişme ve hasat süreçleri ayrıntılı olarak ele alınır.

Yapılan işlemlerin temelinde çoğunlukla toplam ısı enerjisinin dikkate alınması yatmaktadır. Stokastik modeller ise, kullanım alanı bölgesel sınırlar içinde kalan

modellerdir. Sistem işleyişinde belirsizliğin hakim olması bu sonucu doğurmaktadır. Meteorolojik parametrelerin tam değerlerinin bilinmesinin söz konusu olmadığı bu modeller genellikle elde bulunan iklimsel veritabanının kullanılmasıyla çalışır. Deterministik modeller, işleyiş bakımından stokastik modellerin tam tersi özellikler göstermektedir. Bunun nedeni bu model tipinde küresel ölçekte geçerli olan matematiksel denklemlerin kullanılmasıdır. Böylece yapılan tahminlerin güvenilirliği, gerek zamansal ve gerekse bölgesel ölçeklerde artmış olur. Regresyon modellerinde bitkinin bilinen ağırlık değerleri, bazı ampirik fonksiyonların işleyişiyle bağdaştırılır. Yapılan çalışma sadece bitkinin gözlenmiş ağırlığına göre gerçekleştiğinden, sistem genelinin net izahı bu tip modellerde pek mümkün olmamaktadır. Mekaniksel modellerde bitkinin verim değerine ulaşmada pasif parametrelerin etkisi değerlendirilir. Bitkisel verimin ölçüsü olan bitki ağırlığı, fotosentez ve solunum süreçlerinin bir fonksiyonu olacak şekilde dikkate alınır. Böylelikle regresyon modellerinden daha hassas sonuçların elde edilmesi söz konusu olur. Mekaniksel modellerin fizyolojik modeller olarak nitelenmesi mümkündür. Statik modeller, açıklamalı ve tanımlamalı model sınıflandırmasına benzer bir yapıyı içlerinde barındırır. Tanımlamalı statik modeller bitkinin fotosentez aktivitesini temel alarak hesaplama yapar. Açıklamalı statik model tipinde nitel ve nicel açıdan daha geniş bir yelpazeye hitap eden sonuçlara ulaşılması mümkündür. Son olarak dinamik modellerde belirli bir bitki türünün gelişme safhalarını gayet yakından alakadar eden parametrelerin hassas şekilde analize tabi tutulmaları söz konusudur. Bu parametrelerin kullanımıyla bitkinin fiziksel, kimyasal ve fizyolojik süreçlerini etkileyen meteorolojik faktörler ön planda ele alınmış olur.

1.3.3. Bitki-İklim Modellerinde Simulasyon Süreci

Simulasyon uygulamak üzere model yazılımı üzerinde çalışmaya başlayan araştırmacı, ilk olarak modelin gerektirdiği girdi verilerini tür ve miktar bakımından elinde mevcut olanlarla karşılaştırmalıdır. Bunun yanı sıra modelin sunduğu çıktıların da ihtiyaç duyulan sonuçlara tekabül edip etmediğinin belirlenmesi de öncelik arz edecektir. Bütün bu başlangıç kontrolleri sonunda, kullanıcı ya elindeki verilerdeki eksiklikleri giderecek, ya da bu verileri girdi olarak kabul edebilecek başka bir model seçecektir. Bu başlangıç aşamalarının dikkate alınması simulasyona yönelik bir gerek şartı teşkil etmemekle birlikte, sonradan ortaya çıkması muhtemel zaman kayıplarının önüne geçilmesini sağlayıcı öneme sahiptir. Kullanılacak modelin seçilmesinin

ardından modelin fonksiyonelliği analiz edilmelidir. Kontrol değişkenlerine müdahale ederek, halihazırda uygulanan problem çözüm çalışmalarında yönlendirici rol oynanması imkanını kullanıcıya veren modeller tercih edilmelidir. Modelin sunduğu çıktı sonuçlarından en önemli olanı doğal olarak verimdir. Ancak gerçek anlamda tanımlamalı bir modelden bahsedildiğinde modelin ihtiyaç duyduğu girdi verilerinin tümünü optimum düzeyde kullanmalı ve bunlara uygun düşen güvenilir sonuçları da sunmalıdır. Bu noktada model kullanımında çoğu zaman söz konusu olan önemli bir çelişkinin vurgulanması gerekir ki o da simülasyonda etkisi olmayan ayrıntıların modelden ayıklanmasıdır (van Keulen ve Seligman, 1987).

Bitki-iklim modellerinde görülen karmaşıklığın genellikle analiz edilen olayın doğasından kaynaklandığı düşünülür. Açıklamalı bir model, bu modelin gerektirdikleri ve sundukları ile birlikte dikkate alındığında karmaşıklığın artması doğal olacaktır. Bu nedenle mevcut zorluğu daha da fazlaştıran ayrıntılara sadece sonuçlardaki hassasiyete olumlu yansımalar olduğu müddetçe tahammül edilmelidir. Günümüzde çeşitli araştırma sahalarından araştırmacıların birlikte yürüttükleri model geliştirme çalışmalarında bu konu üzerinde de durulmaktadır. Yine de model uygulayıcıları birbirinden çok farklı kullanım amaçlarıyla yazılımlara el atmakta ve bu durumda uygulayıcıların da sisteme müdahale edici altyapıya genel anlamda sahip olma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Zamanla model uygulayıcılarının çeşitli beklentilerle tasarımcıların karşısına çıktıkları da olmuştur. Bu bağlamdaki en önemli beklenti, bir bütün olarak ele alınması gereken sistemin işleyişini temsil eden fonksiyon eşitliklerini birbirlerine gerçek anlamda bağlayabilen yazılımların geliştirilmesidir. Böylelikle bir modelin verdiği sonuçlar teorik olarak testten geçmiş birer hipotez halini alabilir ve modelin ciddi anlamda ticari üretim yapılan araziler üzerinde kullanılması söz konusu hale gelir.

1.4. Bitki-İklim Modellerinin Geliştirilme Nedenleri

Elde mevcut bulunan bitki-iklim modellerinin niteliğini ve niceliğini artırmaya yönelik çalışmalar özellikle Dünyanın gelişmiş ülkeleri tarafından uygulanmaktadır. Dünya üzerinde yeni tarım alanlarının açılması, bugünkü durumda verimi arttırmak için seçilebilecek bir yol değildir. Tarım arazilerinin genişletilmesi gibi tarımda yatay gelişme olarak adlandırılan faaliyetlerin yerini artık birim araziden maksimum verimin

teminine yönelik çalışmalar almıştır. Bitki veriminin önceden tahmini ve bu verimin mümkün mertebe yükseklerle çıkarılması, bitki gelişim safhalarının ayrıntılı analizini zorunlu kılmaktadır. İlgili analizlerin yeterli süratte ve doğrulukta yapılmasını sağlayan bilgisayar teknolojisi ile tarımsal meteorolojik kullanım amaçlı model çalışmaları hız kazanmıştır. İlk başta bitki gelişme aşamalarının ve bitki veriminin tahmini amaçlanmıştır. Daha sonraları, elde edilen sonuçların bir ülkenin tarım politikalarına yön verici özelliğe ulaştığı ortaya çıkmıştır. Bu duruma gelinceye kadar model sonuçlarına olan güveni artırıcı yazılım ve donanım gelişmeleri olmuştur. Ana hedef olan maksimum verime ulaşılmasına yönelik çalışmalar, bir bölgede belirli bir bitkinin hangi meteorolojik koşullar altında en iyi verim değerini vereceğini ortaya koyar. Elde edilen sonuçlar, bölgede belki de uzun yıllar boyunca üretilen bitki türlerinden başka türlere geçilmesi sonucunu da doğurabilir. Bitki gelişiminin sahip olduğu karmaşık mekanizmanın arazi üzerinde yapılan uygulama çalışmalarıyla ortaya konmasının zorluğu bilinmektedir. Model özellikle bu önemli zamansal ve maddi kayıpların önüne geçilmesi konusunda kuvvetli bir seçenektir. Model kullanımının sonuçları tarımcıya sadece doğru yerde doğru bitki türünün ekilmesi avantajını sağlamaz; aktif parametrelerin miktarına ve zamanlamasına yönelik ışık tutucu rol de oynar. Ayrıca modeller gelecekte gerçekleşmesi muhtemel ekstrem iklim senaryolarının sonuçlarına hazırlıklı olma avantajını da ilgililere şimdiden sunar. Bitki gelişimini ve verimini makul doğrulukta ortaya koyabilen bir modelin kullanım amacı ve sahası genişler. Bu durumda söz konusu modelin tarım teknolojisi transfer çalışmaları doğrultusunda çeşitli ülke topraklarında uygulanması ve modelin tohumlama, bitki fizyolojisi ve bitki gelişimi yönetim araştırmalarında da yol gösterici olması sağlanır.

Bitki-iklim modelleri çeşitli genel ve pratik kullanım amaçlarına hizmet etmektedir (Şaylan, 1994a). Modellerin genel kullanım amaçları arasında bitki gelişimi sırasında meydana gelen olayların analiz edilmesi, toprak-bitki-atmosfer sistemindeki süreçlerin bitki gelişimine etkilerinin belirlenmesi ve bitkide meydana gelen karmaşık reaksiyonları öğretici eğitim programlarının uygulanması yer almaktadır. Pratik kullanım amaçları arasında ise farklı ekim tarihleri ve çevre koşulları altında potansiyel bitki veriminin tahmin edilmesi, iklimde meydana gelmesi olası değişimlerin bitkisel verime etkilerinin ortaya konması ve bir bölgede en iyi verim değerlerini verebilecek kültür tiplerinin belirlenmesi sayılabilir.

Dünya’da bitki-iklim modelleri üzerinde yürütölmüş olan çok sayıda çalışma mevcuttur (Hoogenboom ve ark., 1994). Bu çalışmada CERES (Crop Environment Resource Synthesis)-Wheat ve SIMWASER (Simulation von Wasser und Ertrag) açıklamalı modelleri ele alınmıştır. Yapılan araştırmalar sonunda, üretimi yapılan tüm bitki türlerinde olduğu gibi buğday için de çok sayıda model çalışması gerçekleştirildiği görölmüştür. Bu çalışmada buğdayın gelişme aşamaları boyunca meteorolojik koşullar altında çevresiyle etkileşimleri analiz edilmiştir. Sonuçta bitki gelişimine ve verimine tüm faktörler tarafından yapılan karşılıklı toplam etkinin ortaya konması amaçlanmıştır. Sabit ya da önceden kolaylıkla tahmin edilebilen koşullar altında çalıştırılan ya da sadece bu koşullar altında işleyebilen modeller tatmin edici sonuçlar verebilmektedir. Ancak bitki gelişimi gibi karmaşık bir mekanizma, atmosferik koşulların çoğu zaman düzensiz olan çeşitliliği altında daha da karmaşıklaşmakta ve sabit koşullardan bahsedilmesi zorlaşmaktadır. Özellikle gelişmiş ölkelerde yapılan araştırmalar, bu belirsiz koşulların açıklanmasını kolaylaştırmaya yöneliktir. Elde edilen tecrübeler gelişmekte olan ölkelerin tarımsal faaliyetlerinin yönlendirilmesi amacına da hizmet etmektedir.

Gelişmekte olan bir ölk konumundaki Türkiye henüz bitki-iklim modeli uygulama ve geliştirme çalışmalarında istenen düzeye ulaşamamıştır. İlk bakışta ön planda değilmiş gibi görünen bu özel sorunun çözümü; dışarıdan tarımsal ürün ithal etme noktasına gelen Türkiye'nin ilk etapta kendi kendine yetebilme vasfını yeniden kazanmasını sağlayacak, uzun vadede ise ölkemizi önemli bir tarım ihracatçısı konumuna getirecektir. Türkiye sınırları içindeki bir proje olmasına rağmen zengin potansiyeli birçok ölkenin ilgi odağı haline gelmiş bulunan GAP ve ölkemizin öteki tarımsal alanlarında alınması ve hayata geçirilmesi beklenen tarımsal politik kararları objektif anlamda ciddi kriterler ışığında ele almak gerekmektedir. Bu zorunluluğun bitki-iklim model uygulamalarının sunduğu seçenekler ışığında giderilmesi mümkündür. Ölkemizin tarım potansiyeli dikkate alındığında, bu alanda atılması zorunlu adımlar konusunda zaman kaybetmeden harekete geçilmesinin ve böylece çiftçiye iki binli yıllarda modern yöntemlerle tarım yapma imkanının tanınmasının önemi açıkça ortaya çıkmaktadır.

1.5. Konu ile İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar

Buğday (*Triticum aestivum*), Dünya üzerinde ticari üretimi en fazla yapılan bitkidir. Nemli tropikal iklim koşullarına sahip alçak enlem bölgeleri dışında Dünya'nın hemen hemen her yerinde buğday tarımı yapılabilmektedir. Buğdayın kökeni Batı Asya olup, bu bölge bitki örtüsü çeşitliliği bakımından hala çok zengindir. (Zohary ve ark., 1969). Geniş ekim sahalarının mevcudiyetine rağmen Dünya'da buğday tarımından elde edilen verimin ortalama değeri 200 kg/da seviyesinde seyretmektedir. Ortalamayı düşüren nedenler arasında tropiklerin uygun olmayan iklim koşulları, çoğu bölgede yetersiz ve bilinçsiz şekilde yürütülen tarımsal faaliyetler sayılabilir. Bununla beraber, söz konusu olguların son yıllarda dikkatle ele alındığı uygulamaların oldukça tatmin edici neticeler verdiği de gözlenmektedir (van Keulen ve Seligman, 1987). Buğday bitkisi hakkında günümüze kadar birçok model çalışması yapılmıştır. Başka bitki türleri için yürütülen model çalışmalarında olduğu gibi buğdaya yönelik çalışmalarda da bitki gelişimini yönlendirici müdahaleler giderek artan hassasiyet derecelerinde dikkate alınmış ve günümüzün gelişmiş modelleri atmosferik faktörlerin yanı sıra, topraktaki besin maddelerinin ve kimyasalların miktar değişimleri gibi özellikleri girdi verisi olarak kullanıcıdan talep etmeye başlamıştır. Bu durum, simulasyon ayrıntılarını fazlaştırmaya ve bitki gelişiminin bir bütün olarak değerlendirilmesini zorlaştırmaya etki yapmaktadır. Böylece ekim yapılan araziler için yeterli veritabanlarının mevcut olma zorunluluğu da ortaya çıkmaktadır. Ancak, girdi çeşidindeki ve miktarındaki artışın, başta verim olmak üzere simulasyon sonuçlarında da hassasiyet artışı sağlayacağı da dikkate alınmaya değer bir unsurdur.

İklimin ve atmosferik şartların bitki verimine etkisi, uzunca süredir araştırmacıların ilgi odağıdır. Meteorolojik faktörlerin bitki gelişimine ve verimine etkilerinin izah edilebilmesi amacıyla günümüzde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bitki gelişiminin atmosferik etkilerin dikkate alınmasıyla analiz edilmesi, iklimsel faktörlerin bitkinin fotosentez faaliyetini nasıl yönlendirdiğinin daha iyi anlaşılabilmesine imkan tanımıştır. Buna bağlı olarak, bitki gelişimi ile kuru madde miktarları da meteorolojik parametrelerdeki değişimlerin doğrudan ya da dolaylı etkileri vasıtasıyla önceden tahmin edilebilir hale gelmiştir. Ancak, tahmin edilen etkilerin her bir bitki gelişme dönemi boyunca oynadıkları rollerin sonuçta elde edilen ürün değerleriyle bütünleşik olarak ilişkilendirilmesi oldukça zordur. Yine de bu

konuda yapılan çalışmalar, çeşitli iklimsel parametrelerin verim değerlerine etkilerini temsil edebilen ilişkilerin belirlenmesini sağlamıştır (van Keulen ve Seligman, 1987).

Belirtilen birçok neden, Dünya'daki birçok ülkeyi bitki-iklim simulasyon modelleri konusunda çalışmalar yapmaya itmiştir. Özellikle İkinci Dünya Savaşı'nın ardından geçen 55 yıl gibi bir sürede küresel nüfusun neredeyse iki katına çıkması gıda ihtiyacını arttırmış olup, bu artış gelişmiş ülkeleri bitki gelişimine etkide bulunan tüm faktörlerin nasıl ve ne gibi etkilerde bulunduğunu daha kolay ve az masrafla inceleyebilmek için bitki-iklim model çalışmalarına öncelik vermeye itmiştir.

Bitki-iklim simulasyon model çalışmalarının başlaması 60'lı yılların sonu ile 70'li yılların başlarına denk gelmektedir. Dünya'da bitki gelişiminin simulasyonuna yönelik ilk model, 1969 yılında Brouwer ve de Wit tarafından geliştirilmiştir. Bu tarihten itibaren özellikle 70'li yıllarda model çalışmaları daha da yoğunlaşmıştır (Franzini, 1993).

Kişisel çabaların ön planda olduğu bu ilk dönem model çalışmalarının ardından bilgisayar teknolojinin gelişmesine paralel olarak üniversiteler ve araştırma merkezleri de bitki-iklim simulasyon çalışmalarına ağırlık vermiştir. Newman (1974), bitki verimi ve iklimsel faktörler arasında deterministik ve stokastik yaklaşımların kurulduğu basit bir model geliştirmiştir. Aynı yılda Haun (1974), buğday verimini sıcaklık ve nemin fonksiyonu olarak modelleme yoluna gitmiştir. Daha sonra Stewart (1975), bazı benzeşim teknikleri ve istatistiksel yaklaşımlarla toprak-bitki atmosfer arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak belirlemeye çalışmıştır.

Jensen (1975), sıcaklığa ve yağışa dayalı simulasyon model denemeleri gerçekleştirmiştir. Baier, (1978) yaptığı bir çalışmada, meteorolojik parametrelerin transpirasyon, fotosentez üzerindeki karmaşık etkilerini matematiksel eşitliklerle ortaya koymuştur.

Modeller basitten karmaşığa doğru birçok sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır. Bunlara yönelik çeşitli örnekler giriş kısmında yer almıştır. Bilgisayar teknolojisi gelişiminin günümüzdeki seviyesinden gayet uzak olduğu 60'lı ve 70'li yıllarda gerçekleştirilen modelleme çalışmalarının daha çok tanımlamalı modeller niteliğinde kaldığı gerçeğinin bu aşamada vurgulanması gerekmektedir.

Söz konusu yıllarda yapılmış olan model çalışmaları, basitlikleri nedeniyle kullanım alanları genellikle sadece geliştirildikleri bölge ile sınırlı kalan çalışmalar olmuştur. Bu çalışmalara birçok örneğin verilmesi mümkündür. Pengra (1952), buğday verimini yağışla ilişkilendirmeyi denemiştir. Hesaplanan verim değerinin, gerçek değer sadece % 37'sini temsil ettiği bu denemenin ardından yapılan çalışmalar giderek daha başarılı sonuçlar vermeye başlamıştır. Örneğin Army (1959) tarafından Güney Teksas'ın yüksek ovalarında yapılan çalışmalarda doğruluk oranları % 55 ve % 66 olarak gerçekleşmiştir. Staple ve Lehane (1954) Kanada Bozkırlarında buğday verimini yağış verisi yardımıyla tahmin etmeyi denemiş ve % 36 ile % 62 arasında değişen doğruluklarda sonuçlar elde etmiştir.

Williams ve Robertson (1965), bölgesel yağış verilerine çoklu regresyon analizi uygulayarak yine Kanada'da buğday verimini % 89 doğruluğunda tahmin etmiştir. Gangopadhyaya ve Sarker (1965) tarafından yapılan araştırmalar, buğday veriminin % 75'inin tek başına yağış verisine dayandırılarak açıklanabileceğini göstermiştir. Benzer durum Lomas ve Shashouha'nın (1973) Hindistan'da yaptıkları çalışmada % 61 ile % 79 arasında değişen sonuçlar vermiştir. Kurak bölgelerde yapılan bazı araştırmalar, yıllık toplam yağışla buğday verimine uygulanan basit regresyon analizleri vasıtasıyla bu iki olgunun oldukça iyi biçimde ilişkilendirilebileceğini ortaya koymuştur. Aynı bölgelerde çoklu regresyon ve ana bileşenler (principal components) analizleri uygulandığında ise yağış ve verim arasında dikkate değer bir ilişki ortaya çıkmamıştır (Lomas, 1972).

Karmaşık eşitliklerin bilgisayar ortamında ele alındığı modeller 80'li yılların ikinci yarısından itibaren yaygınlaşmıştır. Bunların ilk örnekleri arasında CERES-Wheat Modeli yer almaktadır (Ritchie ve Otter, 1984). Basit yaklaşımların kullanıldığı tanımlamalı model denemeleri, açıklamalı model çalışmalarına bir temel teşkil etmiştir. Stewart ve Dwyer (1990) tarafından geliştirilmiş olan bir buğday simulasyon modeli çalışması, geçmiş dönemde bitki gelişimine meteorolojik parametrelerin etkilerinin ele alındığı bazı basit matematiksel modellere dayanmaktadır (Williams, 1973; Williams ve ark., 1975). Araştırmacılar bu matematiksel modellere bilgisayar teknolojisinin izin verdiği güncel müdahalelerde bulunarak geniş kullanım sahasına sahip yeni bir model ortaya çıkarmıştır.

Lascano ve arkadaşları (1987) tarafından geliştirilen ENWATBAL (Energy and Water Balance) Modeli, toprak-bitki-atmosfer sisteminin işleyişini dikkate alarak, toprak ile bitkide gerçekleşen su ve enerji akışını ortaya koymaya çalışır. Model bu amaçla başta evaporasyon, transpirasyon ve toprak su dengesi ile ilgili teorilerden yola çıkmakta ve infiltrasyon, toprak sıcaklık profili gibi hesaplamaları gerçekleştirebilmektedir. ENWATBAL Modeli, iklim değişimi senaryolarına yönelik uygulamalarda da kullanılmıştır. Model Zeng ve Heilman (1997) tarafından artan CO₂ miktarlarının verime etkilerinin analizinde kullanılmıştır.

Chipanshi ve arkadaşları (1997), CERES-Wheat Modeli ile Kanada'da yaptıkları bir çalışmada yetiştirme dönemine ait geçmişteki ve dikkate aldıkları dönemdeki meteorolojik faktörleri kullanarak buğday verimini tahmin etmiştir. Modelin sonuçları ile arazide ölçülen sonuçlar arasında oldukça iyi bir ilişki tespit edilmiştir. 1980'li yılların ikinci yarısından itibaren araştırmacıların birçok bitki için hesap yapan genel modeller yerine, tek bir kültür tipine yönelik hassas analizler gerçekleştiren modellerin tasarımına ağırlık vermeye başladıkları görülmüştür.

Günümüzde bitki-iklim model çalışmalarının Dünya'da küresel ölçekte gerçekleştirildiği üç ana merkez bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, Honolulu'daki Hawaii Üniversitesi'nde uzun süredir yürütülmekte olan IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer) Projesidir (IBSNAT, 1986). Proje kapsamında başta buğday, mısır ve soya olmak üzere temel kültür bitkileri için modelleme çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Çeşitli üniversitelerde ve araştırma enstitülerinde geliştirilen modellerin gerektirdiği girdi verileri ve dosya yapıları IBSNAT Projesi'ne uygun olacak şekilde düzenlenmektedir. Bunların ardından araştırma sonuçlarının gelişmekte olan ülkelere gerçekleştirilen tarımsal faaliyetlerde yönlendirici rol oynanması amacıyla bu ülkelere transferi aşamasına gelmektedir.

Avrupa'daki merkez, Hollanda'nın Wageningen kentinde bulunan CABO Araştırma Merkezidir. Burada yürütülen araştırmaların odak noktasını tüm MACROS-CSMP modellerine yönelik geliştirme çalışmaları oluşturmaktadır. Hollandalı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda da simulasyon modellerinin gelişmekte olan ülkelere kullanımının sağlanması önemli bir amaçtır. Bu konuda araştırmacılar özellikle merkezi Filipinlerde bulunan pirinç araştırma enstitüsü

ile sıkı ilişkiler içerisinde çalışmıştır. Burada yapılan çalışmalar sonucunda Filipinler için çok sayıda model geliştirilmiştir (Penning de Vries, 1991). Bu modeller Avrupa Birliği'nin tarım politikalarının belirlenmesinde yol gösterici araştırmaların yapılmasında da kullanılmıştır (Franzini, 1993). Yapılan çalışmalar sonunda araştırmacılar modellerde kullanılan temel kavramların birbirine önemli ölçüde benzerlik gösterdiğini belirlemişlerdir. Bu nedenle modellerde belirli bir aşamadan sonra sadece kullanım amacına ve kültür tipine özgü kombinasyonların gerçekleştirilmesine üzerine yoğunlaşmıştır. Geliştirilen bu son dönem modellere örnek olarak soya bitkisi modeli SOYCROS ve FABEAN verilebilir.

Dünya'da bitki-iklim modeli çalışmalarının gerçekleştirildiği ve idare edildiği üçüncü büyük merkez, Avustralya'da bulunan Queensland Üniversitesi'dir. Buradaki araştırmaların temelinde, bitki gelişimini temsil eden matematiksel formülasyonların en açık şekillerinin elde edilmesi ve bunların modellerde uygulanmasının sağlanması yatmaktadır. Hollanda'da olduğu gibi burada yapılan çalışmalarda da modeller, geçerliliği artık sabit olan bazı kavramlar üzerinde inşa edilmektedir.

Rosenzweig (1989), CERES-Wheat Modelini kullanarak iklim değişimi ile artan CO₂ konsantrasyonunun mısır ve buğday bitkileri üzerine etkilerini araştırmıştır. Plantureux ve arkadaşları (1991) CERES Modelini Akdeniz İklimi koşulları altında denemiş ve kültür tipine özgü genetik katsayı ayarlamalarının yapılmasının ardından gerçeğe oldukça yakın verim değerleri elde edilmiştir. Aynı şekilde, Lahrouni ve Ledent (1990) tarafından yapılan çalışmada CERES-Maize modeli vasıtasıyla mısır veriminin simule edilmesi söz konusu olmuştur. Çalışmada özellikle mısırın belirli fenolojik dönemlerde güneş radyasyonu ile atmosferik sıcaklıkta meydana gelen değişimlere gösterdiği hassasiyetlerin belirlenmesi üzerinde durulmuştur.

Birçok model çalışmasında kullanılan parametreler, hesaplamalarda mümkün mertebe kolaylık sağlanması amacıyla basit eşitliklerle temsil edilmektedir. Örneğin Goudriaan (1977), bitki-iklim modellerindeki iklimsel parametrelerin en önemlilerinden olan fotosentetik aktif radyasyon ile bitki tarafından absorblanan toplam radyasyon miktarı arasındaki ilişkiyi kullanmıştır. Atmosferik koşulların izin verdiği ölçüde gerçekleşen bitki gelişimine ait karmaşık mekanizmaların sade ifadelerine örnek olarak Goudriaan (1986) tarafından yapılan çalışmalar da verilebilir.

Her iki araştırmacı da fotosentez ile fotosentetik aktif radyasyon arasında eksponensiyal bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur.

Bitki gelişim safhalarını yönlendirmesi bakımından gözardı edilemeyecek bir diğer meteorolojik faktör ise sıcaklıktır. Sıcaklık, bitkinin solunum, fotosentez ve yaprak oluşumu gibi yaşamsal faaliyetlerine doğrudan etki etmekte olup, birçok k lt rtipi için bu konuda yapılmış çalışmalar mevcuttur. Örneğin sıcaklığın fotosenteze etkisinin ortaya konmaya çalışıldığı birçok araştırma arasında Berry ve Downton (1982) sayılabilir. McCree (1974), 10 C'lik bir sıcaklık artışının bitkide solunum miktarını iki katına yükselttiğini belirlemiştir. Sıcaklığın bitki gelişimine etkilerinin daha anlaşılır şekilde belirlenmesi amacıyla çeşitli kavramlar da geliştirilmiştir. Bunlara  rnek olarak Warrington ve Kanemasu (1983) tarafından geliştirilmiş olan “derece-gün” (DG) kavramı gösterilebilir. Bu kavram, kritik bir sınır sıcaklığından ya da temel sıcaklıktan olan hava sıcaklıkları farklarının toplamına bağlı olarak bitki gelişiminin ele alınmasına dayanmaktadır. Doğrusal bir sıcaklık-bitki gelişimi ilişkisine dayanan DG kavramı bu özelliği nedeniyle bazı durumlarda yetersiz kalmaktadır. Bunun  zerine aynı temele dayanan, ancak ilişkiyi doğrusal olarak ele almayan bir yaklaşım Summerfield ve Roberts (1987) tarafından ortaya konmuştur.

Birleşmiş Milletler bünyesinde de tarımsal kullanım amaçlı simulasyon model tasarımı çalışmaları yürütülmektedir. Birleşmiş Milletlerin gıda ve tarımsal üretime yönelik alt birimi olan FAO (Food and Agricultural Organisation)  nemli besin kaynağı niteliği taşıyan 11 bitki tipinin gelişmekte olan  lkelerde yetiştirilme potansiyellerinin belirlenmesi çalışmalarına uzun süre önce başlamıştır (FAO, 1978). Söz konusu  alışmalar, Kanada gibi gelişmiş  lkelerde de test amaçlı sonuçların ortaya konmasına yönelik olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Dumanski ve Stewart, 1983; Stewart, 1983; Stewart ve ark., 1984). FAO içinde tasarlanan modellerin güvenilirliğinin arttırılması amacıyla çeşitli araştırmacılar bölgesel modifikasyonlar uygulama yoluna da gitmiştir (Bootsma ve ark., 1993). Benzer şekilde Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) içinde de bir tarımsal meteorolojik araştırma grubu yer almakta ve burada özellikle iklimsel değişimlerin tarımsal meteorolojik etkileri araştırılmaktadır.

Meteorolojik parametrelerin etkisi altında gerçekleşen bitki gelişimi, çok farklı platformlarda analize tabi tutulmaktadır. Bu çalışmalar bölgesel ya da küresel ölçekte gerçekleştirilebildiği gibi, bu ikisinin arasında yer alan kıtasal ölçekli araştırmalardan söz edilmesi de mümkündür. Bu konuda özellikle Avrupa Kıtası için yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Avrupa, çok sayıda sanayileşmiş ülkeyi üzerinde bulunduran bir kıta olmasına rağmen, yüzölçümü bakımından pek büyük değildir. Bu nedenle bu kıta üzerinde yürütülen tarımsal faaliyetlerdeki dikey gelişimin önemi daha da artmaktadır. Avrupa'daki iklimsel değişimlerin, ticari üretimi yapılan kültür tiplerine etkilerinin ele alındığı model çalışmalarına bir örnek olarak AFRC-Buğday Modeli gösterilebilir. AFRC Modeli, özellikle mevsimsel sıcaklık değişimlerinin, gelişme aşamalarının uzunluğuna yaptığı etkilerin ortaya konmasında kullanılmaktadır. Bu model daha sonra geliştirilmiş ve bu haliyle İngiltere'deki buğday üretimine iklimsel değişimin etkilerinin ortaya konmasında kullanılmıştır (Goudriaan ve ark., 1990; Morison ve Butterfield, 1990). Modelin temelinde derece-gün kavramı yatmaktadır. Sonuçta modelin sıcaklık değişimlerine bağlı olarak oldukça hassas simülasyonlar gerçekleştirdiği görülmüştür. Araştırmacılar bu çalışmada mukayese ortamının yaratılması amacıyla SIMTAG (Stapper, 1984) Modelini de analizlere dahil etmiştir. SIMTAG, yapı ve işleyiş bakımından CERES-Wheat'e benzerlikler taşımaktadır. Mitchell'in (1990) yaptığı çalışmada da AFRC Modeli kullanılmış ve 1.5°C'lik bir sıcaklık artışının buğday veriminde % 15'e karşılık gelen bir verim artışı sağlayacağı görülmüştür. Bu çalışmada bulutluluk üzerinde de durulmuş ve bulutluluğun % 10 ila % 12 arasında artması durumunda CO₂ ve sıcaklık artışından kaynaklanan verim yükselmesinin nötralize olduğu belirlenmiştir.

Dünya'da küresel ölçekte gerçekleşen ısınma, tarıma ayrılan bölgelerde uzun süredir yetiştirilen türlerin orta ve uzun vadede de aynı şekilde yetiştirilip yetiştirilemeyeceğinin belirlenmesini önemli kılmaktadır. Küresel ısınma gerçeği, yukarı enlemlerin daha ılıman iklimlere sahip olacağını, halihazırda ılıman iklim koşullarının hüküm sürdüğü bölgelerde ise yarı kurak iklimlere geçileceğinin sinyallerini vermektedir. Bu durumda bitki-iklim model simülasyonlarında uygulanan sıcaklık senaryolarının, bir bölgede yetiştirilecek kültür tipinin belirlenmesi açısından taşıdığı önem daha da artmaktadır.

Habjorg (1990), küresel ısınmanın Kuzey Avrupa'daki bitki örtüsü üzerine etkilerini araştırmış ve İskandinavya'da önümüzdeki 30 yıl içinde ortalama sıcaklık artışının yazın 2 °C, kışın ise 3 °C ila 4 °C civarında gerçekleşeceğini öngörmüştür. Araştırmanın yürütüldüğü Norveç, bitki örtüsü bakımından kuzeyinde ve güneyinde önemli farklılıklar ihtiva eden bir ülkedir. Kuzeyde bulunan bitki örtüsü, iki aydan kısa süren gelişme dönemleriyle 10 °C ila 12 °C arasında değişen ortalama sıcaklıklara uyum gösteren türlerden oluşmaktadır. Güneyde ise gelişme dönemleri yedi aya çıkabilen ve ortalama 15 °C ila 17 °C'lik sıcaklık koşulları altında yaşayan türler mevcuttur. Ülkenin karasal iklim koşullarını yansıtan iç bölgelerinde yazın en yüksek (33 °C) ve kışın en düşük (-50 °C) sıcaklık değerleri arasındaki fark 85 °C olurken, bu değer okyanusa yakın güneybatı bölgesinde 35 °C olarak gerçekleşmektedir. Bu bölgede kaydedilen en yüksek yaz ve en düşük kış sıcaklıkları sırasıyla 25 °C ve -10 °C olmuştur. Aynı araştırmacı, bu bölgede meydana gelen ısınmanın olası sonuçlarının ortaya konması amacıyla çeşitli bitkileri mevcut konumlarından daha güneyde yetiştirmeyi denemiş ve türlerin yeni yaşam bölgelerine uyumunun genelde zayıf olduğunu belirlemiştir. Kıtaya özgü arktik bitki örtüsünün, sıfırın üzerinde giderek yükselen kış sıcaklıklarının sonucunda tamamen ortadan kalkma tehlikesiyle karşı karşıya bulunduğu da bu çalışmada özellikle vurgulanmıştır.

Unsworth'un (1990) yaptığı araştırma, önceden tedbir alınmadığı takdirde meteorolojik hadiseler tarafından tarımsal faaliyetlerin sürüklenebileceği riskin boyutlarını göstermektedir. Isınma, hem gelişmenin gerekenden hızlı gerçekleşmesi, hem de gelişme döneminin süresinin normalden kısa olması sonucunu doğurmaktadır. Bu durum, bir bölgede yetiştirilen kültür tiplerinin gerekenden fazla süre tarlada kalması sonucunda verimin düşmesi anlamına gelmektedir. Unsworth yaptığı çalışmada, kışın hüküm süren düşük sıcaklıklar nedeniyle ortadan kalkan bazı bitki hastalık ve zararlılarının, ısınma trendi sayesinde kışı hayatta geçirerek bitkilerin ilkbahardaki yaşamsal faaliyetlerini olumsuz etkilediklerine dikkat çekmiştir. Söz konusu araştırma, 1988-89 döneminde kış mevsiminin İngiltere'de normalden 2.5 °C-3 °C daha yüksek ortalama sıcaklıklar arz etmesi üzerine gerçekleştirilmiştir.

İklim değişikliğinin bitki vernalizasyonuna, yani bitkinin belirli bir süre düşük sıcaklıkların etkisinde kalmasına yaptığı etkinin araştırıldığı bir çalışmada (Craigon ve

ark., 1990), sıcaklık artışıyla birlikte havuç bitkisinin vernalizasyonunda meydana gelen değişime yönelik bir model yaklaşımı yapılmıştır. Havucun vernalizasyonunun gerçekleştiği minimum, optimum ve maksimum sıcaklık değerleri sırasıyla -1 °C, 6.1 °C ve 16.1 °C'dir. Çalışmada birkaç sezon boyunca gerçek sıcaklık değerlerine ortalama 4 °C'ye tekabül eden eklemeler yapılmıştır. Sonuçta artan sıcaklıkların havucun vernalizasyonunu tetikleyici etkisi olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada buğday bitkisi için de benzer durumun söz konusu olduğu vurgulanmış ve normalde düşük sıcaklıklarla bağdaştırılan vernalizasyonun sıcaklık artışıyla birlikte artmasına dikkat çekilmiştir. Bu durum, farklı bölgelerde ekilen kültür tiplerinin tepkilerinin belirlenmesinde tüm meteorolojik parametrelerin etkisinin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Günümüzde birçok açıklamalı model, bitki örtüsü üzerindeki atmosferik kütlelerin optimum kompozisyonunda bir CO₂ artışıyla kendini gösteren değişiminin genellikle bitkinin fotosentezinde artmayla sonuçlanması durumunu da dikkate almaktadır. CO₂ artışı sadece güneş radyasyonunun fazla olduğu durumlarda değil, düşük radyasyon değerleri kaydedildiğinde de söz konusudur. Ayrıca artan CO₂ miktarlarına uyum sağlayan kültür tiplerinde birim yaprak alanına düşen fotosentez miktarı uyum sağlayamayanlara oranla az olmaktadır. Birim alandan gerçekleşen fotosentezin azalması ise, yaprakların mevcut fotosentez kapasitelerinin yüksekmiş gibi görünmesine neden olmaktadır (Goudriaan, 1990). Artan CO₂ konsantrasyonlarının bitkisel verime etkilerinin ortaya konmasına yönelik çok sayıda model çalışmalarından bazıları da Strain ve Cure (1985) ile Nonhebel (1993) tarafından geliştirilen modellerdir. Araştırmacılar genç domates bitkilerinin artan CO₂ değerlerine tepkisini simule etmeyi denemiştir. Sonuçta artan CO₂ konsantrasyonunun, bitkinin ihtiyaç duyduğu optimum fotosentez sıcaklığını yükselttiği belirlenmiştir. Yüksek yaprak alan indeksi değerlerinin mevcut olması durumunda birim yaprak alanına düşen ortalama fotosentetik aktif radyasyon değeri düşmekte olup, bu durum artan CO₂'nin verime olan katkısını sınırlamaktadır.

CO₂ miktarında meydana gelen artışın sıcaklık trendinde artış şeklinde iklime yansımalarının bitkisel üretime olan etkisine yönelik bir başka model yaklaşımı da Spitters ve arkadaşları (1989) tarafından geliştirilen SUCROS (Simple and Universal

Crop Growth Simulator) modelidir. Modele daha sonra Nonhebel (1990) tarafından bazı eklemeler yapılmıştır. Bu modelde, atmosferik CO₂ miktarında meydana gelen artışın bitki verimini iki şekilde etkilediği üzerinde durulmaktadır. Bunlardan birincisi, artışın bitkide fotosentez yapma dürtüsü uyandırdığıdır (Strain and Cure, 1985). İkinci etki ise, bitkinin su kullanımına gösterdiği hassasiyetin artmasıdır.

Modelde buğday bitkisi ele alınmış ve gerçekleştirilen sıcaklık artışı simülasyonları, gelişmenin hızlanması ve gelişme döneminin kısılması nedeniyle buğday veriminde düşmeler meydana geleceğine işaret etmiştir. Atmosferik CO₂ miktarının iki katına çıkarıldığı simülasyonlar ise verimde artış sonucu ile karşılaşılacağını göstermiştir. Artan CO₂ miktarının sıcaklığa da artış şeklinde yansıtacağı düşüncesinden hareketle modelde bu iki parametrenin verime birlikte yaptıkları etki de simule edilmiş ve ürün miktarında yine artış gerçekleştiği görülmüştür. Araştırmada gerçekleştirilen simülasyonlar Hollanda'da yürütülmüş ve modelin özellikle meteorolojik verilerin temin edildiği kaynağa karşı hassas olduğu gözlenmiştir. Şehir merkezine yakın bir meteoroloji istasyonundan alınan veriler, ekimin yapıldığı arazi koşullarını genellikle tam yansıtmamıştır. Bu durum simülasyon sonuçlarının güvenilirliğini etkilemektedir. Böylece adı geçen bölge için bu modelden elde edilen sonuçların başka bölgeler için ölçü alınması yerine, bizzat bu bölgelerde uygulanan simülasyonların sonuçlarına itibar edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Değişen mevsimsel CO₂ değerlerinin ortaya koyduğu koşulların buğday gelişimine ve verimine etkilerini ele alan çalışmalara bir örnek olarak Kansas'ta kışlık buğday üzerine yapılan kapsamlı bir araştırma verilebilir (Mearns ve ark., 1992). Çalışma, aralarında ortalama sıcaklık ve nem bakımından farklılık arz eden iki bölgede gerçekleştirilmiştir. CO₂ değişiminin yağışla birlikte analiz edildiği simülasyonların sonuçları pek çarpıcı olmadığı, buna karşılık özellikle sıcaklık değişimlerinin CO₂ değişimleri ile birlikte dikkate alınması durumunda bitkinin verdiği tepkilerin arttığı çalışma sonunda ortaya çıkmıştır.

Birçok araştırmada, tarımsal üretimin atmosferik şartlara ve dolayısıyla iklime karşı son derece hassas olduğu vurgulanmakla birlikte, iklimsel değişikliklerin global tarım üretimini ciddi biçimde sınırladığına dair somut kanıtların eksikliğinin hissedildiği de belirtilmektedir. İklim değişimlerinin bitkisel üretime yaptığı etkiler günümüzde

genellikle bitki-iklim modelleri vasıtasıyla irdelenmektedir (Carter ve ark., 1988). Danimarka'da bu konunun incelenmesine yönelik bir çalışma, Mitchell (1990) tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırmacı deneylerini buğday üzerinde yürütmüş ve sürdürülmekte olan buğday tarımının belirli bir seviyeye kadar sıcaklık artışından olumlu etkileneceğini belirlemiştir. Sıcaklığa uygulanan 0.5 °C'lik ve 1.0 °C'lik arttırma işlemleri verimde % 15'e ulaşan artışlara işaret etmiştir. 1.5 °C'yi bulan sıcaklık artışlarıyla birlikte verimdeki artış yüzdesi düşmektedir. Verim artış yüzdesi sıcaklığa uygulanan 2.0 °C'lik artışlardan itibaren % 10 seviyesinin altına düşmekte olup, 2.5 °C'lik artışın ise verime artık olumlu bir katkı sağlayamadığı görülmektedir.

Benzer amaçlı çalışmalardan biri de Olesen (1989, 1990) tarafından yapılmıştır. Olesen, araştırmasında iki model kullanmıştır. Bunlardan birincisi WATCROS (Water Balance and Crop Production Simulation) Modelidir (Aslyng ve Hansen, 1982). Bu model, çeşitli kültürleri için su kullanımına ve iklim değişimlerine yönelik parametrelerin bitkisel üretimle ilişkilerinin simule edilmesi amacıyla hizmet etmektedir. Hansen (1986) tarafından geliştirilen HEJMDAL Modeli ise bu çalışmada kullanılan bir diğer model olup, simülasyonlarda ayrıntılı fizyolojik prensiplere yer vermektedir. Bunlara örnek olarak, CO₂'nin üretime etkisinin incelenmesi verilebilir. Her iki modele de sıcaklık artışı (3 °C), yağış azalışı (% 30) ve radyasyon azalışı (% 5) senaryoları uygulanmıştır. WATCROS Modeli, HEJMDAL'inkilere oranla daha düşük verim salınımları göstermiştir; hatta yağış senaryosunda gerçek verim değerinin hiç değişmediği belirlenmiştir. HEJMDAL Modelinde ek olarak CO₂ senaryoları da uygulanmış ve her simülasyonun verimde değişme sonucunu doğurduğu gözlenmiştir.

Mearns ve ark. (1992), Kansas'ta CERES-Wheat modelini kullanarak iklim değişiminin buğday bitkisinin verimine etkilerini incelemiştir. Araştırmada sıcaklık, yağış ve CO₂ miktarında GCM'ler ile tahmin edilen değişim senaryolarının verime etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırmacılar yaptıkları analizler sonucunda hava sıcaklığındaki 1.5 °C'lik artış durumunda bitki gelişme döneminin 8 gün kısaldığını, sıcaklık 4.5 °C arttırıldığında ise bu sürenin 24 güne yükseldiğini belirlemişlerdir.

Bitki gelişimi ve verimi konusunda iklim değişimi olgusu oldukça önemlidir (Squire ve Unsworth, 1988). Porter'ın (1990) çalışmasında bu önemli noktalar başlıca üç madde altında toplanmıştır. Bunlardan birincisi, atmosferdeki CO₂ ve sıcaklık

özelliklerinde meydana gelen değişimlerin kültür tiplerinin normal gelişmelerindeki davranışlarının iyi analiz edilmesi suretiyle ele alınması gerektiğidir. Dikkat çekilen ikinci nokta, iklimsel değişim etkilerinin diğer çevresel etkenlerle birlikte değerlendirilmesinin önemidir. Son olarak, araştırmalarda ve analizlerde kullanılan simulasyon modellerinin belirli bir sistematik çerçevesinde karşılaştırmalı olarak ele alınmasının gereği belirtilmiştir. Atmosferde artan CO₂ ve sıcaklık değerlerinin bitki gelişimine ve verimine etkilerinin Finlandiya'da araştırıldığı model çalışmalarına bir örnek olarak Karvonen ve Peltonen-Sainio (1990) tarafından geliştirilen model gösterilebilir. Model ilk etapta bitki asimilasyonunu hesaplamaktadır. Bunun ardından sıra, bitkide birim zamanda gerçekleşen asimilasyonun belirlenmesine ve buradan yola çıkarak ilgili günün tamamındaki asimilasyon değerine ulaşılmasına gelmektedir. Günlük toplam fotosentez değeri model tarafından köklere, yapraklara, sapa ve öteki organlara karşılık gelen kuru madde miktarlarına dönüştürülmektedir. Model sonuçları, artan CO₂ değerlerinin, birim yaprak alanından gerçekleşen fotosentezi arttırdığını göstermiştir. Sıcaklığın ise iki farklı etkisi söz konusu olmuştur. Artan hava sıcaklıkları bir yandan bitkinin solunum aktivitesinin sürekliliğini arttırmakta, öte yandan Finlandiya'ya yabancı bazı kültür tiplerinin yetiştirilmesine uygun atmosferik koşulların temsil edilmesini sağlamaktadır.

İklimde meydana gelen değişimler, ülkelerin yürüttükleri tarım politikalarına gelecekte ne şekilde yön vereceklerinin belirlenmesi konusunun önemini arttırmaktadır. Bu noktada bitki-iklim modellerinin sağlayacağı imkanlardan faydalanılması artık bir ihtiyaç haline gelmiştir. Rabbinge (1990), Hollanda'da 1989'da başlatılan bir projede, modeller vasıtasıyla Avrupa'nın tarım yapılan bölgelerine orta ve uzun vadede yapılması gereken müdahalelerin kararlaştırıldığını belirtmektedir.

Modeller, öncelikle toprak ve iklim koşullarının dikkate alınması suretiyle Avrupa'nın çeşitli bölgeleri için tarımsal üretim potansiyellerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ülkelerin farklı politik hedeflerine uygun düşen bir optimizasyon modeline (GOAL, General Optimal Allocation of Land Use) kanalize edilmektedir (Veeneklaas, 1990).

Avrupa Birliği ülkelerinin izlediği ortak tarım politikası da modellerden geniş ölçekte yararlanılan bir araştırma sahasının sonuçlarını temsil etmektedir. Ortak

çalışmada öncelikle ayrıntılı haritaların coğrafi bilgi sistemi (Geographic Information Systems, GIS) dahilinde analize tabi tutularak Avrupa'nın potansiyel tarım alanlarının nitel özelliklerinin belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Nitel bakımdan tarım arazisi olarak değerlendirilemeyecek alanlar, bir sonraki aşama olan nicel analizlere dahil edilmemiştir. İlk aşamayı geçen bölgelere van Keulen ve Wolf (1986) tarafından geliştirilen ve daha sonra van Diepen (1987) tarafından düzenlenen bir modelin kullanımını kapsayan simülasyonlar uygulanmıştır. Bunun ardından yeniden GIS'e başvurularak, ürün değerlerinin bölgesel dağılımının haritalanması sağlanmıştır.

Buğday kültür tiplerine yönelik bitki-iklim model çalışmaları incelendiğinde, bunların basit istatistiksel verim tahmin modellerinden, karmaşık açıklamalı simülasyon modellerine kadar uzanan geniş bir yelpazeye sahip oldukları görülür. Buğday modellerinin bitki gelişimine yaklaşımları ve kullanıcıya sundukları çıktıların çeşitliliği dikkat çekicidir. Toprak neminden yola çıkarak buğday veriminin tahmin edilmesine yönelik model çalışmalarına bir örnek olarak Baier ve Robertson tarafından (1968) gerçekleştirilen bir çalışma verilebilir. Ampirik ilişkilerden yararlanılarak farklı iklim koşulları altında yapılan tahminlerin başarı oranları da farklı olmaktadır. Çalışmanın temelinde toprak nemi dikkate alınmış ve buna yönelik bir çoklu regresyon modeli oluşturulmuştur. Sonuçta verim hakkında yapılan tahminlerin güvenilirliğinin arttığı belirlenmiştir. Toprağın nem miktarında meydana gelen oynamalar günlük yağışla, potansiyel evaporasyonla ve değişen atmosferik koşullarla bağdaştırılmıştır. Bu model çalışması Kanada'da buğday için yapılmış ve çalışmada sekiz adet tarımsal meteoroloji istasyonuna ait verilerden birkaç yıl boyunca faydalanılmıştır. Çalışma sonunda çeşitli sıcaklık ve yağış koşulları altında modelin tahmin kabiliyeti ortaya çıkmıştır. Yapılan araştırmalarda, yüksek toprak nemi değerlerinin gözlemlendiği sezonların sonunda bitki veriminde önemli düşüşlerin gerçekleştiği gözlenmiştir. Bunun üzerine çalışmada toprak nemindeki yükselişin tek başına etkisinin yanı sıra, bu etkiyi fazlaştırmaya muhtemel olan güneş radyasyonu düşüşü ve yağış artışı olayları da karşılaştırmalı analize tabi tutulmuştur. Toprak nemliliğindeki değişimin minimum sıcaklık dönemleriyle ilişkisi de incelemeye alınmıştır. Bu model çalışması sonucunda karşılaşılan önemli bir olgu ise, fazla ayrıntıya girmeden doğrudan doğruya verim tahminine yönlendirilmiş olan modellerin, çok çeşitli tipte ve miktarda veri talep

ederek aynı çeşitlilikte çıktılar hesaplamaya çalışan modellere nazaran daha iyi sonuçlar verebilmesi olmuştur.

Üzerinde buğday tarımı yapılan yarıkurak bir arazinin sulama uygulanmadan optimum kullanılması amacıyla yürütülen bir model çalışmasında ise bağımsız değişkenler cinsinden su dengesinin ele alındığı regresyon eşitlikleri yerine aylık bitkisel transpirasyon değerleri ele alınmıştır (Zaban, 1981). İsrail’de yürütülen bu çalışmada bitki, toprağın nem içeriğine bağlı olarak gelişme gösteren bir kök sistemi ve yine toprak nem içeriğine bağlı olarak büyüyen bir bitki örtü sistemi olmak üzere iki sistem altında temsil edilmiştir. Transpirasyon; kap evaporasyonunun, bitki örtüsünün ve toprağın nem değerlerinin fonksiyonu olarak ele alınmıştır. Toprak nemi, kök bölgesinin su alma kapasitesinin bir ölçüsü kabul edilmiştir. İkinci araştırma döneminde yine bir önceki çalışmada ele alınan tanımlamalı model kullanılmıştır. Sonuçlar, buğdayın ardından yazlık bir bitki ekildiğinde modelin verimi oldukça iyi tahmin edebildiğini göstermiştir. Aynı araziye devamlı buğday ekildiğinde ya da araya nadas periyodları sokulduğunda ise, tahminlerin gerçek değerlerden sapması artmaktadır. Son olarak üzerinde çalışılan arazilerden elde edilen gerçek ölçüm değerlerinden yola çıkılarak regresyon katsayılarının yeniden hesaplanması yoluna gidilmiştir. Ortaya çıkan yeni katsayılar öncekilerden bir hayli farklı olmasına karşın, elde edilen verim değerlerinin gerçeği yansıtmaya kabiliyetinin arttığı gözlenmiştir. Simule edilen zaman aralığı daraldıkça, hesaplanan verim değerlerinin gerçekliği de azalmaktadır. Ele alınan bu iki adet regresyon-simulasyon modelinin kullanımı sonucunda; agroteknik eğitim almış olan ve elinde yeterli meteorolojik veri altyapısı bulunan uygulayıcıların bölgeye özgü kalibrasyonları yapmalarının ardından bu modellerin verim tahmininde etkin olarak kullanılabileceği ortaya çıkmıştır. Model uygulayıcılarının karşısına çoğu zaman bir ikilem gibi çıkan sorun ise şudur: Çok sayıda değişik tipte veri girdisi gerektiren ve aynı çeşitlilikte çıktıları kullanıcıya vermeye çalışan modellerde tahmin yeteneği kısıtlı olabilmektedir. Bunun nedeni, modellerin kullandığı fonksiyonlara ait eşitliklerin her birinin tek başına bir eşitlikmiş gibi değerlendirilmesi ve öteki eşitliklerle birlikte sisteme yapılan bütünleşik etkinin dikkate alınmaması olup, son zamanlarda yürütülen model güncelleme çalışmalarında bu konu üzerine yoğunlaşmaktadır.

Buğday gelişiminin simülasyonuna yönelik bir başka model çalışması da (TAMW modeli) Maas ve Arkin tarafından (1980) yapılmıştır. Araştırmacılar buğday verimi tahmin çalışmalarında vernalizasyon ve arazinin işlenmesi gibi o güne kadar nispeten geri planda ele alınmış olan parametreler için daha hassas analizlerin yapılmasının, tahmin güvenilirliğini arttıracaklarını düşünmüştür. Bu model çalışması sırasıyla fenoloji, çimlenme, dane oluşumu ve dolumu, toprak-su dengesi adlarını taşıyan dört alt modelden oluşmuştur. Bitkinin çimlenme aşamasının süresi toprak neminin ve sıcaklığının gidişatına bağlıdır. Vejetatif aşamanın kapsadığı zaman ise fotoperiyoda ve vernalizasyona bağlıdır. Vernalizasyon sadece günlük ortalama sıcaklığın bir fonksiyonu olarak planlanmıştır. Yaprak alanı ise modelde sıcaklığa ve toprak nem içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Meteorolojik olayların sonucu olarak ortaya çıkan topraktaki kar örtüsü ve don olayı, yaprak alan gelişimini olumsuz etkilemektedir. Modelin kullanımında gereken meteorolojik girdi verileri günlük maksimum ve minimum sıcaklıklar, yağış, günlük toplam radyasyon, kar tabakasının derinliği ve toprak nemi olup, bunlara tüm alt modellerde ihtiyaç duyulmaktadır.

Yarıkurak bir bölge için su stresinin buğday verimine etkisine yönelik bir simülasyon çalışması da, Hochman tarafından (1978) gerçekleştirilmiştir. Çalışma, geniş bir yarıkurak bölge olan Akdeniz Bölgesi'nde yapılan büyük ölçekli bir potansiyel verim araştırma çalışmasının bir alt birimini teşkil etmektedir (van Keulen ve ark., 1983). Çalışmanın temelinde transpirasyon değerleri dikkate alınmıştır. Enlem, günlük toplam radyasyon ve yaprak alanı verilerinin yardımıyla günlük potansiyel CO₂ asimilasyon değerleri hesaplanmıştır. Bu model çalışması vasıtasıyla iki önemli sonuca ulaşılmıştır. Bunlardan birincisi; buğdayla ilgili olarak geliştirilen bir modelin toprakta meydana gelebilecek nem stresini dikkate almasının zorunlu olduğudur. İkinci önemli sonuç ise; erken dönemlerde gerçekleşen stresin ardından yeterli düzeyde çimlenemeyen kültür tiplerinden elde edilen verim değerlerinin düşük olmasının kesinliğidir. Gerçekte gözlenen verim değerleriyle modelin hesapladıkları arasındaki sapmalar, modelin geliştirilmesi sırasında ele alınan yapılara yönelik eksik bilgilerin tamamlanması için uyarıcı olmuştur.

Simülasyon sonuçlarının gerçek verim değerlerinden hissedilir derecede yüksek çıkması, belirli bir arazi tipi üzerinde ekimi yapılan bitki karakteristiklerinin seçilmesi konusunda yol göstericidir. Böylece bir modelin kullanılabilir olmasının sadece mevcut

koşullar altındaki çıktı bileşenlerini doğru olarak tahmin etmekle sınırlı olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

Dünya’da geçmişte ve günümüzde birçok modelleme çalışması yapılmış ve halen yapılmaktadır. Aşağıdaki Tablo 1.1, Dünya’da yapılan Bitki-İklim Simulasyon çalışmalarına yönelik bazı başka örnekleri bir arada göstermektedir:

Tablo 1.1. Bugüne Kadar Gerçekleştirilen Bazı Bitki-İklim Model Çalışmaları (Whisler ve ark., 1986; Özen, 1997).

MODEL ARAŞTIRMACILARI	ARAŞTIRMA BÖLGESİ	MODELİN İSMİ	BİTKİNİN CİNSİ	YAPILAN HESAPLAMALAR
Acock,B.,V.R. Reddy, F. D. Whisler,D.N.,Baker,J.M. McKinion, H. F. Hodges ve K. J. Boote	USDA-ARS Mississippi State Uni. ve Florida Üniversitesi	GLYCM	Soya fasülyesi	Fotosentez, solunum, transpirasyon ve bitki gelişimi
Allen, J. ve J. H. Stamper	Florida Üniversitesi	CITRUSM	Limon	Fotosentez
Angus, J. F. ve J. H. Stamper	CSIRO, Int. Pirinç Enst.	IRRIMOD	Pirinç	Bitki gelişimi, evaporasyon
Arkin, G. F., J. T. Ritchie ve R. L. Vanderlip	Texas A&M U. USDA/SEA ve Kansas State Üniversitesi	SORG	Sorgum	Fotosentez, transpirasyon ve evaporasyon
Baker, D. N., J. R. Lambert ve J. M. McKinion	USDA/SEA (Mississippi) Clemso Uni.	GOSSYM	Pamuk	Fotosentez, Bitki gelişimi
Baker, D. N., D. E. Smika, A. L. Black, WO. Wills ve A. Bauer	USDA/SEA (Mississippi, Colorado, North Dakota)	WINTER WHEAT	Buğday	Fotosentez, transpirasyon, bitki gelişimi
Curry, R. B., G. E.Meyer, J. G. Streeter ve H. L. Mederski	Ohio Tarımsal Araştırma ve Geliştir. Mer.	SOYMOD OARDC	Soya fasülyesi	Fotosentez, evaporasyon
Duncan, W. G.	Kentucky Uni.	SIMAIZ	Mısır	Fotosentez
Duncan, W. G.	Kentucky Uni.	MIMSOZ	Soya fasülyesi	Fotosentez
Duncan, W. G.	Kentucky Uni.	PEANUZ	Yer fıstığı	Fotosentez
Fick, G. W.	Cornell Uni.	ALSIM	Yonca	Fotosentez, bitki gelişimi
Holt, D. A., G. E. Miles, R. J. Bula, M. M. Schiber, D. T.Doughtery	Purdue Uni. ve USDA/SEA	SIMED	Yonca	Fotosentez, bitki gelişimi
Jones, C. A. ve R. T. Ritchie	USDA/SEA (Texas) ve IFDC(Alabama)	CERES-MAIZE	Mısır	Bitki gelişimi, toprak su dengesi
Kercher, J. R.	Lawrence Livermore	GROW1	Genel	Fotosentez, transpirasyon
van Keulen, H.	Hollanda Tarım Univ. (Wageningen)	GRORYA	Pirinç	Fotosentez
van Keulen, H.	Hollanda Tarım Univ. (Wageningen)	ARIDC-ROP	Yarı kurak arazilere	Evapotranspirasyon, azot dönüşümü, transpirasyon
Lambert, J. L., D. N. Baker ve J. M. McKinion	Clemson Uni. ve USDA/SEA (Mississippi)	RHZOS	Toprak	
Loomis, R. S. ve E. Ng	California Uni.	POTATO	Patates	Fotosentez, transpirasyon
Loomis,R.S.,J.L.Wilson,D.W. Rains	California Uni.	COTGRO	Pamuk	Fotosentez, transpirasyon

Türkiye henüz bitki-iklim modeli uygulama ve geliştirme çalışmalarında istenen düzeye ulaşamamıştır. Ülkemizde bu konuda yapılan çalışmaların sayısı son derece sınırlıdır. Buğday üzerinde Benli ve arkadaşları (1990) yılında yaptıkları bir çalışmada Türkiye buğday üretiminin tahmini için aşamalı regresyon tekniğini kullanmışlar ve farklı meteorolojik parametreler ile verim arasındaki ilişkiyi tespit etmeye çalışmışlardır. Şaylan (1993, 1994a, 1994b, 1995a, 1995b, 1996a, 1996b, 1996c)

tarafından yapılan çalışmalarla farklı modellerin tarımsal meteorolojide nasıl kullanılabileceği yapılan araştırma çalışmaları ile ayrıntılı olarak vurgulanmıştır. Şaylan ve ark. (1994), yaptıkları bir çalışmada, modellerin tarımsal kuraklığın analizinde kullanılma imkanlarını belirlemiştir. Yine Şaylan ve ark. (1995) yaptığı bir diğer çalışmada küresel ısınmanın etkileri bitki-iklim modelleri ile tespit edilmiştir. Eitzinger ve Şaylan (1995) tarafından modellerde kullanılacak olan verilerin ölçüm noktalarının sonuçlara etkileri araştırılmıştır. Sezen (1993) ve Sezen ve arkadaşları (1998) CERES-Wheat modelini su-verim ilişkilerinin tespiti amacıyla Çukurova şartlarında test etmiştir. Köksal (1995), aynı şartlarda Mısır bitkisinin gelişimine yağış eksikliğinin etkilerini CERES-Maize modeli ile belirlemiştir. Evsahibioglu ve Benli (1998), EPIC simulasyon modelinin bitki veriminin tahmininde kullanılmasını açıklamışlardır. Durak ve Şaylan (1997, 1998) tarafından CRPSM ile CERES-Maize modelleri kullanılarak özellikle iklim değişimi sonucu meydana gelebilecek farklı sıcaklık değişimi senaryoları için mısır bitkisinin verimine etkileri tahmin edilmiştir. Şaylan ve Özen (1997) tarafından yapılan bir çalışma ile özellikle çevresel değişimin tarımsal meteorolojik etkilerinin modellerle nasıl belirleneceği ortaya konmuştur. Şaylan ve ark. (1998), Dünya’da ve Türkiye’de bitki iklim modelleri ve bu alanda ülkemizde yapılabilecekleri vurgulamıştır. Durak ve Şaylan (1998), Avusturya’da ölçülen verileri kullanarak, iklim değişiminin tarımsal meteorolojik etkilerinin modellerle nasıl belirlenebileceğini açıklamışlardır. Şaylan ve ark., (1998) yaptıkları çalışmada, Avusturya’da mısır bitkisindeki gelişime iklim değişiminin etkilerini CRPSM Modeli ile tespit etmiştir.

Yukarıda belirtilen Dünya’daki çalışmaların aksine, ülkemizde meteorolojik faktörlerin bitki gelişimine olan etkilerinin bitki-iklim modelleri ile belirlenmesi konusunda her hangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu araştırma ile amaçlanan, meteorolojik faktörlerin bitki gelişimine olası etkilerinin ülkemizde belirli bir yer ve bitki için belirlenmesidir.

BÖLÜM 2

BUĞDAYIN TARIMSAL METEOROLOJİK ÖZELLİKLERİ

2.1. Buğdayın Agrometeorolojisi

Buğday, serin iklim tahılları içerisinde yer alan ve değişik iklim şartları altında yetiştirilebilen ucuz bir besin kaynağı olması nedeniyle, hızla artan dünya nüfusunun beslenmesinde vazgeçilmez bir üründür (Benli ve ark. 1990). Ülkemizdeki duruma bakıldığında 1960'lı yıllardan itibaren buğday ekilen alanların genişlemediğini, ancak tarımsal üretim üzerinde iklimin ve yapılan tarımsal faaliyetlerdeki gelişmelerin etkisinin olduğunu görülmektedir. 1960'larda 1000 kg/ha olan buğday verimi aradan geçen 20 yıl gibi bir süre sonunda % 100 artış göstermiştir. Buğday verimi Avrupa ortalaması 4700 kg/ha iken, bu değer Almanya, İngiltere ve Fransa gibi ülkelerde 6000 kg/ha'a kadar çıkmaktadır (Kün ve ark., 1989). Ülkemizde buğday ekilen alanların % 70'inin yetersiz yağış alan bölgelerde bulunması buğdayın kuraklıktan, sıcaklıktan ve radyasyondan etkilenmesine ve verimin düşük gerçekleşmesine neden olmaktadır.

Dünya literatüründe buğdayın agrometeorolojisi hakkında yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Dünya'da buzullarla ve çöllerle kaplı bölgeler dışında buğday üretimi yapılmayan yer yok gibidir. Buğday birçok bölgede sulama gerektirmeksizin yetiştirilebilmektedir. Bu durum, buğdayın kurak şartlara, yani yağış eksikliğine dayanıklılığının bir göstergesidir. Yarı tropikal kuşakta kış yağışlarına denk gelen zaman dilimi başlangıcında ekilen buğday, tropiklerde ekvatora mümkün mertebe yakın bölgelerde yetiştirilmekte, yukarı enlemlerde ise deniz seviyesinden oldukça yüksek alanlarda üretilmektedir. Ekvatora uzak olan tropikal bölgelerin uzun yağışlı mevsimlere sahip olanlarında da buğday kışlık bitki olarak ekilmektedir. Sayılan bu

bölgeler dışında da ekstra sulama uygulanması kaydıyla buğday üretilmesi mümkündür (FAO, 1979).

Buğdayın çeşitli alt türleri iklime bağlı olarak kış ve ilkbahar mevsimlerinde ekilmektedir. Yazlık buğday ekim tarihinden itibaren 100 ila 130 günlük bir süre içinde hasad olgunluğuna erişirken, kışlık buğday için gereken süre 180 ila 260 gün olmaktadır. Gün uzunluğu ve sıcaklık gibi meteorolojik parametrelere duyulan gereksinim, bir araziye ekilecek türün tespitinde belirleyici rol oynayan olgudur. Buğday türleri üşüme gereksinimleri, kışa dayanıklılık ve gün uzunluğu süresine gösterilen hassasiyet bakımından incelenerek kışlık ya da yazlık buğday gruplarından birine dahil edilirler. Üşümeye yani vernalizasyona duyulan ihtiyaç, özellikle kışlık buğdayın ekiminden sonraki uzunca bir periyod boyunca önemlidir. İlerleyen gelişme aşamalarında bitkinin üşümeye duyduğu ihtiyaç ortadan kalkar ve düşük sıcaklıklara gösterilen dirençte düşme meydana gelir. Örneğin ilkbahardaki aktif büyüme periyodu içinde yer alan başak oluşumu ve çiçeklenme aşamalarında kaydedilen negatif sıcaklıklar söz konusu aşamaların verimli geçmesini engeller. Böylece, daha yumuşak olan ilkbahar donlarının buğday verimine zararlı etkisinin daha fazla olacağı söylenebilir. Yazlık buğday, gelişiminin başlangıcında bir üşüme periyoduna ihtiyaç duymaz; ancak o da kışlık buğday gibi don olayına karşı hassastır. Her iki buğday grubu için gelişmenin gerçekleşebileceği optimum sıcaklık aralığı 15 °C ve 20 °C değerleri arasındadır. İlkbahar donları, yazlık buğdayın ekim tarihinin seçilmesinde belirleyicidir. Ekimden sonra belirli bir dönemin kuru ve sıcak (18 °C civarında) geçmesi tercih edilir. Günlük ortalama sıcaklığın 10 °C ila 12 °C seviyesinin altına düştüğü dönemler, verimin riske atılması anlamına gelmektedir (FAO, 1979). Buğday türlerinin genetik katsayıları hakkında sahip olunan bilgilerle yine bu türlerin iklimsel gereksinimlerinin ve verim durumunun bağdaştırılması tarımsal meteorolojik açıdan önem taşımaktadır.

Buğday ekimi yapılacak toprağın optimum pH değeri 6 ila 8 arasındadır. Dolayısıyla verim asit yağışlarından olumsuz etkilenecek bir özelliğe sahiptir. Buğday bitkisi toprağın su içeriğine karşı ılımlıdır. Yeterli yağışın kaydedildiği ya da eksik miktarın düzenli sulamayla telafi edildiği arazilerde buğday nemli toprak yüzeyinin

2 cm ila 4 cm altına ekilirken, nispeten kuru toprak yüzeylerinde ekim derinliği 5 cm ila 8 cm olarak seçilir.

2.2. Buğdayın Güneş Radyasyonu Gereksinimi

Bitkiler yaşamsal faaliyetlerini idame ettirebilmek için ihtiyaç duydukları enerjiyi doğrudan doğruya güneş ışığından sağlarlar. Güneş radyasyonu ile klorofil birlikte fotosentez sürecini gerçekleştirir ve bu süreç, bitki gelişimi ve verimi ile sonuçlanan gelişme aşamalarını destekleyen organik besin maddelerinin üretilmesini sağlar. Ancak bitkisel verimin doğrudan doğruya güneş radyasyonu ile açıklanması oldukça karmaşıktır (Evans, 1973).

Güneş radyasyonunun buğday yaprakları tarafından absorbe edilme işlemi genellikle spektrumun görünür bölgesinde, kırmızı ve mavi bantlar arasında gerçekleşmektedir. Radyasyonun bitki gelişimine etkisi karmaşık bir konu oluşturur. Düşük radyasyon yoğunluğu durumlarında bitkiler sap uzunluklarını arttırma eğilimi gösterirler; ancak bu işlem yetersiz gerçekleşen fotosentez olayı nedeniyle çoğu zaman kısıtlanır (Kirby ve Faris, 1970). Benzer durum bitki yapraklarının büyümelerinde de söz konusudur. Radyasyon yoğunluğu arttıkça bitki yaprak boylarının kısaldığı, yaprakların yayvan ve kalın bir yapıya büründüğü gözlenmiştir. Genel olarak yaprak boyu enine oranla daha büyük gelişme gösterdiğinden, söz konusu durumlar özellikle düşük radyasyon yoğunluğu bölgelerinde gözle görülebilir çarpıcılıkta gerçekleşir. Artan güneş radyasyonu yoğunluğu, bitki başına düşen yaprak alan değerlerinin de artması anlamına gelir. Radyasyon yoğunluğunun artması bir buğdayın yaprak gelişimine olumlu etki yapar; ancak radyasyonu belirli bir değerden fazla özümseyen bitki, artık yapraklarının niteliğinden çok niceliğini arttırma yoluna gidecektir.

Artan radyasyon değerleri buğdayın gelişimine her zaman pozitif etki yapmaz. Örneğin gün uzunluğunun yüksek değerlerine karşılık gelen büyük güneş radyasyonu değerleri bitki gelişiminin ivmesini gereğinden fazla arttırıcı rol oynadığında, arzulanan verim değerlerinden uzaklaşılır. Bu durumda iklim değişimi senaryolarının bitkisel verime etkileri incelenirken öncelikle kültürtiplerinin iklim değişkenlerine karşı hassasiyetlerinin belirlenmesi gerekir (Barrow ve Semenov, 1995).

Evans (1973), gün uzunluğunu ele alarak yaptığı bir araştırmada buğdayın çeşitli koşullarda gerçekleştirmesi gereken optimum fotosentez aktivitelerini ortaya koymuştur. Laboratuvar koşullarında yapılan denemelerle buğdayın maksimum fotosentezi gerçekleştirmesi ve bunu verime yansıtması sağlanmıştır; ancak arazide yürütülen gerçek üretim deneylerinde ortaya çıkan fotosentez değerleri çok büyük sapmalara sahip olmaktadır.

Güneş radyasyonu ile bir bitkide gerçekleşen fotosentez faaliyeti arasındaki ilişkide yaprak alan indeksi yönlendirici bir konumdadır. Güneş radyasyonunun bir bitkinin iç kısımlarına doğru sızması yaprakların büyüklüğüne, şekline ve yatayla yaptıkları açıya bağlıdır. Bitkide yapraklardan başka radyasyon absorblayıcı kısımların bulunması da mümkün olup, bunlar da söz konusu aktiviteyi etkileyecektir.

Başaklar, üst seviye yaprakları ile birlikte buğday bitkisinin tepe kısmını temsil ederler ve fotosentezde aktif rol alırlar. Bu aktiviteler dane dolum işleminin de temelini oluşturmaları bakımından önem taşırlar. Bu durumda güneş radyasyonunun bitkinin alt seviyelerde yer alan kısımlarına sızmasının önemi ortadan kalkmaktadır. Bu noktada ortaya çıkması beklenen sorun, az radyasyon alan alt kısımların besin maddelerini yukarıya nakletme işleminin yavaşlaması olacaktır. Aşırı güneş radyasyonunu uzun süre alan buğdayın gelişiminin çok hızlı olması da, nispeten uzun vadede karşılaşılması muhtemel başka bir sorundur. Böylece fotoperiyod kavramının da bitki gelişimi ve verimi analiz çalışmalarına dahil edilmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Erken gelişme aşamalarında asimile edilen fazla radyasyon, bitki organlarının gelişimine katkıda bulunmaktadır. Bu dönemde depo edilen enerji ileriki gelişme aşamalarında dane gelişimini etkileyici rol oynamaktan uzaktır. Dane gelişimi daha çok o anki gelişme aşaması döneminde gerçekleşen fotosentez olayının sonuçlarından etkilenecektir. Radyasyonda meydana gelen mevsimsel değişimlere bağlı olarak potansiyel enerji depolama kapasitesini belirleyen karakterleri etkileyen faktörler dikkate alındığında ise, erken dönemde alınan güneş radyasyonunun dolaylı da olsa bir etkisinin olabileceğini kabul etmek gerekir.

2.3. Buğdayın Sıcaklık Gereksinimi

Buğday bitkisinin gelişme aşamasına bağlı olarak sıcaklık isteği değişim gösterir. Buğdayın çimlenme aşaması oldukça geniş çerçeveli meteorolojik koşullar altında gerçekleşir. Tohumların nem içeriği yüksek olan toprağa ekilmesi durumunda sıcaklık, yüzeye çıkışı ve filizlenmeyi etkileyici bir özellik kazanır. Çok düşük toprak sıcaklığı değerlerinde meydana gelen küçük artışların, buğdayın toprak yüzeyinde çıkışa geçmesi için gereken zaman dilimini oldukça kısalttığı görülmektedir. Suzuki (1964) tarafından yılında yürütülen araştırmada buğdayın gelişimi için gereken alt sıcaklık sınırı belirlenmeye çalışılmıştır. Suzuki, ortalama gündüz sıcaklığının 5 °C, gece sıcaklığının ise 1 °C olduğu koşullarda buğdayın erken gelişme aşamalarında gösterdiği gelişmenin normal olduğunu belirlemiştir. Düşük sıcaklıklar fidelerin diriliğinin azalmasına ve protein sentez aktivitelerinin yavaşlamasına neden olmaktadır. Sıcaklıkların düşük seyretmesinin başka bir olumsuz etkisi de bitkinin fosfor absorpsiyonunun sınırlanmasıdır. Fidelerde sınırlı gerçekleşen fosfor absorpsiyonu, bitkideki şeker sentez işleminin de yetersiz gerçekleşmesine neden olmaktadır.

Favereau ve arkadaşlarının (1968) yaptıkları çalışma, yazlık buğdayın filizlenmesi için gereken optimum sıcaklıkların 20 °C ile 25 °C değerleri arasında olduğunu göstermiştir. Çalışmada ortalama sıcaklığın 14 °C olarak gerçekleştiği bir arazi deneyi yürütülmüş ve bu durumda optimum yüzeye çıkışın % 43'lük bir azalmaya maruz kaldığı tespit edilmiştir. Azerbaycan'da yürütülen bir çalışmada ise çıkışın en iyi gerçekleştiği sıcaklık aralığı kültür tipine bağlı olarak 12 °C ile 20 °C arasında belirlenmiştir (Grebenikov ve ark., 1969). Küresel ölçekli arazi çalışmalarında 20 °C ile 25 °C olarak belirlenen ilk aralığın tercih edildiği görülmektedir. Buğdayın filizlenme işleminin gerçekleşebildiği minimum ve maksimum sıcaklıklar ise sırasıyla 5 °C ve 35 °C olarak belirlenmiştir. Çimlenmenin meydana geldiği minimum, optimum ve maksimum sıcaklık değerleri çevresel faktörlere olduğu kadar seçilen kültür tipinin özelliklerine de bağlıdır.

Buğdayın vejetatif gelişim sürecindeki hava sıcaklığı gereksinimleri de kendine has özellikler arz etmektedir. Yüksek sıcaklık koşulları altında özellikle vernalizasyon döneminin kapsadığı gün sayısı azalmakta ve bu durum vejetatif dönemin uzunluğuna da yansımaktadır.

Olgunluk dönemiyle birlikte buğdayın hava sıcaklığı gereksinimleri önemli farklılıklar göstermeye başlar. Saplar maksimum yüksekliklerine ulaştıklarında vejetatif aşama sona erer ve çiçeklenme dönemi başlar. Çiçeklenmenin ilk dönemlerinde buğday sapının en alt kısmında yer alan yaprak ya da yapraklar kuruyarak ölür. Bu yaprakda depolanmış olan besin, çözünmüş halde bitkinin o an için en hızlı gelişme gösteren organları olan başaklara gönderilir. Başak oluşumu ve de özellikle çiçeklenme aşamalarında buğdayın ekstrem sıcaklıklarla kuraklığa, yani yağış eksikliğine gösterdiği hassasiyet artmaktadır. Bu etkenlerin her biri verimde azalışa neden olmaktadır. Belirli bir kültürtipi için bir bölgede çiçeklenmeden tam olgunluğa kadar geçmesi gereken süre genelde sabittir. Dikkate alınan çevre koşulu ve kültür tipi sayısı arttıkça bu sürede önemli oynamalar meydana gelmektedir. Süredeki değişimler daha çok çevresel etkenlerden kaynaklanmaktadır. Bütün etkenlerin ortaya koyduğu şartlar sonuçta çiçeklenme ile olgunluk evreleri arasında geçen zamanın 30 ila 80 güne tekabül ettiğini göstermiştir. Çiçeklenme ile olgunluk arası periyodun kısa olmasını sağlayan faktörler düşük toprak nemi, yüksek sıcaklık ve güneş radyasyonunun günün önemli bir kısmında yüzeye ulaşmasıdır.

Aşırı sıcaklar buğday verimine olumsuz şekilde etkimektedir. Asana ve Williams (1965) tarafından yapılan bir çalışmada, sıcaklık stresinin buğdaydaki dane gelişimine yaptığı etki ele alınmıştır. Çalışmada beş buğday tipi, başaklanma dönemi bitiminden bir hafta sonrası ile olgunluk dönemi arasını kapsayan periyotta incelenmiştir. Bu dönemde bitkiler 25 °C, 28 °C ve 31 °C'lik gündüz sıcaklıklarıyla 9 °C ve 12 °C'lik gece sıcaklıklarına maruz bırakılmıştır. Sabit gece sıcaklığı değerlerinde gündüz sıcaklıklarının artırılması, incelenen tüm kültür tiplerinde verimin azalması ile neticelenmiştir. Sırasıyla 24 °C/19 °C olarak belirlenen gündüz/gece sıcaklık değerlerinin 27 °C/22 °C olacak şekilde değiştirilmesi durumunda genelde tüm kültür tiplerinin gelişimi hız kazanmıştır. Sıcaklıkların 30 °C/25 °C şeklinde uygulanması durumunda ise tüm kültür tiplerinin gelişimleri hızlanmıştır.

Nuttonson'un (1948) yaptığı çalışmada buğday tiplerinin sıcaklığa gösterdikleri hassasiyetlerin, kültürtipinin yanı sıra konuma da bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Özellikle Marquis tipi buğday, çıkıştan sonraki dönemde yüksek büyüme-derece-gün (BDG) değerlerine ihtiyaç duymaktadır. Daha sonraları toplam

BDG değerlerine fotoperiyodların da katılmasıyla Nuttonson'un ortaya koyduğu bu BDG yaklaşımı geliştirilmeye çalışılmıştır.

Yapılan çalışmaların sonuçları dikkate alındığında, buğdayın büyümesine ve gelişmesine sıcaklığın yaptığı etkilerin şu şekilde özetlenmesi mümkün olmaktadır:

Toprakta yeterli miktarda nem bulunması durumunda buğdayın çimlenme değerini belirleyen etken sıcaklık olmaktadır. Çimlenme sonrası dönemde toprak sıcaklığı da yaprak alan indeksi değerinin büyümesine yönelik etki yapabilir. Yine de hava sıcaklığı ve radyasyon gibi iklimsel etkenlerin vejetatif aşamayla üretim aşamalarında oynadıkları rol daha belirleyicidir.

Suyun ve iyonların kökler tarafından yeterli şekilde bitki içine alınabilmesi için elverişli toprak sıcaklığı koşullarının geçerli olması mecburidir. Bunun nedeni su alım işleminde rol oynayan kök direnci değerlerinin kök hücrelerindeki metabolik faaliyetlere bağlı olarak değişmesidir.

Kuru madde üretimindeki net artış, sıcaklık değerlerindeki değişimlere bağlıdır. Buğday verimindeki net artışın en çok geerleştiği sıcaklık aralığı 20 C-25 C değerleri ile sınırlanmıştır. Daha yüksek sıcaklık aralıklarında net artış düşmekte olup, bunun nedeni yüksek sıcaklıkların bitki gelişimini gereğinden fazla hızlandırıcı etki yapmasıdır. 35 C ve üstündeki sıcaklıklarda ise yaprak gelişimi, verimi ciddi biçimde azaltacak kadar hızlı sonuçlanmaktadır.

2.4. Buğdayın Yağış Gereksinimi

Tüm yeşil bitki türleri, gelişimleri boyunca kuru madde oluşumu için kullanılandan çok daha fazla suya ihtiyaç duymaktadır. Bu suyun kaynağı yağışlardır. Bitkinin oluşturduğu birim kuru madde miktarı ile transpirasyon değeri (bitki tarafından atmosfere bırakılan subuharı, terleme), bitkinin “transpirasyon katsayısı” olarak adlandırılır.

Buğdayın su gereksinimlerinin gelişme aşamaları ile birlikte dikkate alınması, toprak rutubeti parametresinin verimdeki belirleyici rolünün çarpıcı biçimde vurgulanmasını sağlar. Bir bitkinin büyümesi ve gelişmesi, doku ve organları oluşturan hücrelerin birbirlerinden farklılaşarak büyümeleri vasıtasıyla geerleşir. Bitki gelişme

aşamalarını oluşturan fizyolojik süreçlerin hemen hemen hepsinde su en azından bir nakil vasıtası olarak önemli rol oynamaktadır. Milthorpe (1950) yaptığı çalışmada, buğdayın çimlenme esnasında kuraklığa gösterdiği dirençlerdeki değişimleri ayrıntılı olarak ele almıştır. Sonuçta bu direnç değerlerinde ilerleyen gelişme aşamalarına bağlı olarak ciddi değişimler gerçekleştiği ortaya çıkmıştır. Erken gelişme dönemlerinde bitki kuraklığa karşı tam bir direnç göstermektedir. Buğdaydaki yaprak oluşumunun başladığı zamana kadar geçen sürede toprak su içeriğinde meydana gelen % 98'lik bir azalma sonucunda bitkinin boy atmasını sağlayan köklerin tamamı ölmektedir.

Bitkilerin su ihtiyaçlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar, olası sulama işlemlerinin zamanlamasının ve miktarının doğru olarak yapılabilmesini sağlayacaktır. Bu amaca ulaşılması için öncelikle evapotranspirasyon vasıtasıyla bitkinin kaybettiği su buharı miktarlarının tam olarak hesaplanması gerekecektir (Rana ve ark., 1997).

Slatyer'in (1973) yaptığı çalışmada gelişme aşamaları boyunca buğdayın su stresi konusuna genel geçerlilik arz eden bir yaklaşımın ortaya konması amaçlanmıştır. Sonuçta, su stresinin özellikle buğdayın hızlı tamamlanan gelişme dönemlerinde önem kazandığının söylenebilmesi mümkün olmuştur. Hücre genişlemesi işleminin de su stresine karşı oldukça hassas olduğu ayrıca ortaya çıkmıştır. Stres ortadan kalktıktan sonra dahi hücre genişlemesi olayı tam bir düzen içinde devam edememektedir. Gelişen dokular, stresin sona ermesinden sonra bir rahatlama evresi geçirmektedir. Bu nedenle yağış miktarı ve dağılımı, buğdayın gelişimi için son derece önemlidir.

Buğday için olgunluk aşamasındaki yağış eksikliğinden kaynaklanan su stresi ele alındığında, verimde belirleyici olan bu önemli dönemin üç kritik alt dönemde analiz edilebileceği görülür (FAO, 1979). Birinci dönemde, potansiyel dane sayısı için belirleyici olan çiçeklenme başlangıcı ve çiçek oluşumu süreçleri esnasındaki su stresinin etkisi incelenir. Küçük su stresi değerlerinin dahi çiçeklenmeyi olumsuz etkileyebildiğine dair bulgular mevcuttur.

Başak oluşumu aşamasında gerçekleşen gelişme faaliyeti, yağışın yetersiz olmasından etkilenmekte ve bu durum başak başına düşen dane sayısının azalmasıyla neticelenmektedir (Bingham, 1967).

Slatyer (1973) tarafından yapılan bir çalışmada, su stresinin buğdayın gelişmesine etkileri kapsamlı olarak ortaya konmaktadır. Söz konusu etkiler şu şekilde özetlenebilir:

Üretimde kullanılan bitki organlarının oluşum dönemiyle çiçeklenme aşamalarında bitki fazla suya karşı gizli bir ihtiyaç hissetmektedir. Bu dönemlerde ortaya çıkabilecek su stresleri, oluşan başak başına düşen dane sayısını ve dolayısıyla da verimi azaltıcı sonuçlar verecektir. Stresin, üretimde kullanılacak bitki organlarını oluşturan dokulara kısmi zarar vermesi muhtemeldir; dokuların zarar görmesi ise polen oluşumunu kesinlikle olumsuz etkileyecektir. Yine bu dönemlerde (organ oluşumu ve çiçeklenme) kök büyümesi, stresten son derece olumsuz etkilenmekte ve bu durum çiçeklenme dönemi başlangıcında kök büyümesinin tamamen son bulmasıyla dahi sonuçlanabilmektedir. Bu dönemlerde yeterli kök gelişiminin gerçekleşmemesi, bitkinin su absorpsiyonunu da aza indirmektedir. Sonraki gelişme dönemlerinde toprak su içeriğinin yeterli seviyelerde seyretmesi ise (kök gelişiminin artık sona ermiş olması nedeniyle) telafi edici sonuçlar vermeyecektir. Gelişimin bu kritik dönemlerinde bitki topraktaki suyun izin verdiği maksimum transpirasyonu gerçekleştirme ihtiyacını duymaktadır. Toprak su içeriğinde dolayısıyla yağışta bu dönemde meydana gelecek azalmalar düşük atmosferik nem koşullarıyla birleştiğinde ise, bitki gelişimi ve veriminde ileriki dönemlerde ortaya çıkabilecek zararların kalıcılığı artmaktadır. Buğdayın çiçek oluşumunda kullandığı organlarının oluşma döneminde sulama yapılması, verime doğrudan ve maksimum bir katkı olarak yansımaktadır. Bu dönemde kaydedilecek yağışlar da (su stresini azaltıcı etkileri nedeniyle) aylar sonra elde edilecek verime olumlu katkı sağlayacaktır.

Araştırmacılar, buğdayın su gereksiniminin yağış miktarına bağlı olarak değişecek şekilde analiz edilmesi üzerinde de durmuştur. Yüksek verim değerleri için buğdayın tipine, gelişme aşamasına ve periyoduna bağlı olarak 450 mm-650 mm arasında bir su miktarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Su açığına en hassas periyod olarak çiçeklenme dönemi gösterilebilir. Polen oluşumu kuvvetli su streslerinden ciddi biçimde etkilenmektedir. Başak gelişimi ve çiçeklenme dönemlerinde meydana gelen yağış eksikliği, bitki başına düşen başak sayısında, başak boyunda ve başak başına düşen dane sayısında azalmalara neden

olmaktadır. Çiçeklenme döneminde meydana gelebilecek yağış eksikliğinin önemli bir başka etkisi de kök gelişiminin bu dönemde yavaşlaması, hatta tamamen durmasıdır. Bu durum potansiyel verimde ciddi bir azalmayla kendini gösterecektir. Çiçeklenme döneminde gerçekleşen su stresinden kaynaklanan olumsuz sonuçlar, ileriki dönemlerde bitkiye en uygun koşulların sağlanması durumunda bile telafi edilememektedir.

Dane gelişme döneminde meydana gelen yağış eksikliği dane ağırlığında düşüşe neden olmaktadır. Söz konusu stres sıcak, kuru ve şiddetli rüzgarlarla birlikte etkiğinde ise danelerin kısmen kuruduğu ve böylece ticari ürün değerlerinin asgariye indirildiği gözlenmektedir.

Buğdayın topraktan su alım işlemi temel bir yaşamsal aktivitedir. Bu aktivitenin her aşaması, tarım kadar meteorolojinin de ilgi alanındadır ve böylece tarımsal meteorolojinin kapsamı içine girmektedir. Topraktaki mevcut su durumuna göre uygulanması düşünülen sulama işlemlerinin zamanlaması da meteorolojik parametrelerin ortaya koyduğu koşullara göre ayarlanmaktadır.

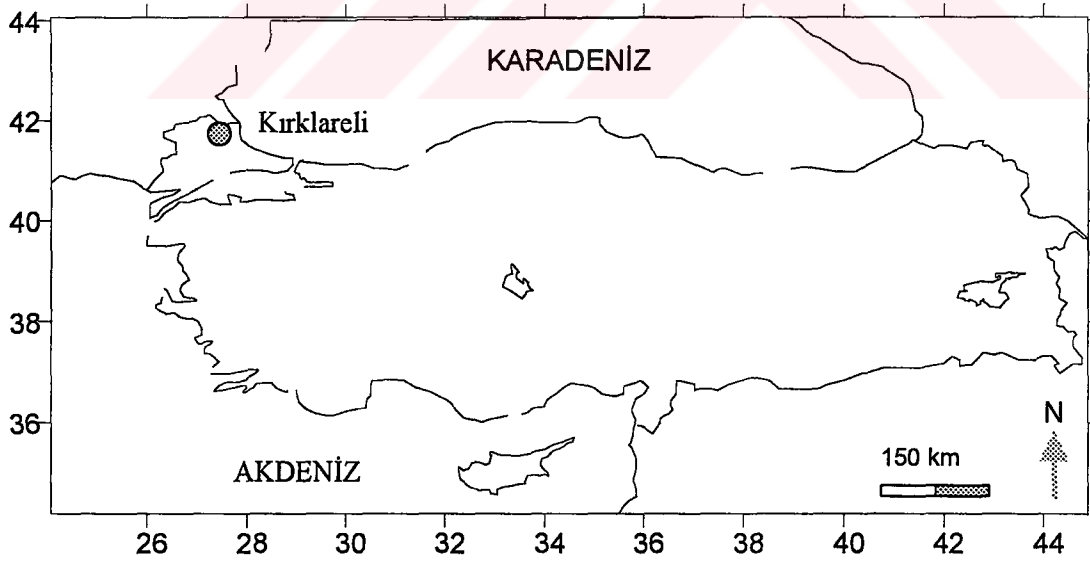
Maksimum evapotranspirasyonun günde yaklaşık 5 mm ila 6 mm civarında gerçekleştiği koşullarda, topraktaki kullanılabilir su miktarının normalin % 50'sine düşmesinden itibaren buğdayda su stresi başgöstermektedir. Düşme % 70-% 80 seviyesine ulaştığında bitki orta şiddette su stresine maruz kalmakta, % 80'i aşan düşmelerde ise stres şiddetli hal almaktadır.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

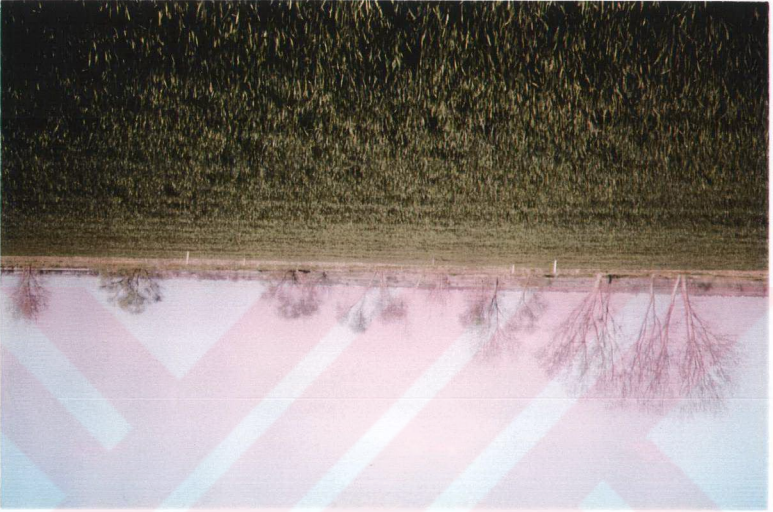
3.1. Araştırma Alanının Özellikleri

Bu araştırma çalışması, Trakya'da Kırklareli Atatürk Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Deneme Arazisi'nde yürütmüştür. Kırklareli ili, 41°41' kuzey enlemleri ve 27°13' doğu boylamlarında bulunmaktadır (Şekil 3.1). Arazinin deniz seviyesinden yüksekliği 233 m'dir. Şekil 3.2'de ve Şekil 3.3'te görülen araştırma arazisinin alanı ise 24000 m² olup, bu alanın eni 120 m, boyu ise 200 m'dir (Kamburoğlu, 1999).



Şekil 3.1. Deneme Yerinin Türkiye'deki Konumu.

Şekil 3.3. Deneme Alanının Bitki Gelişme Dönemindeki Görünümü (Mayıs 1999).



Şekil 3.2. Deneme Alanının Ekim Öncesi Görünümü (Ekim 1998).



3.2. Deneme Alanının Atmosfer-Toprak-Bitki Özellikleri

3.2.1. Deneme Yerinin İklimi

Kırklareli’nde genel olarak Trakya Bölgesi’nde hakim olan tipik kara iklimi özellikleri yaşanmaktadır. Bölgede yazlar sıcak ve yarıkurak, kışlar ise soğuk ve yağışlı geçmektedir. Özellikle Avrupa’nın doğusunda hakim olan cephesel hareketlerin bir sonucu olarak oluşan sistemlerin soğuk ve yağışlı havası yurdumuzda ilk olarak Trakya Bölgesi’ni etkisi altına almaktadır. Kırklareli’nde deneme alanında uzun yıllık ortalama sıcaklık 12.2°C, bağıl nem % 69 ve güneş radyasyonu 12 MJ/m² gün olarak hesaplanmıştır (Kamburoğlu, 1994; Bakanoğulları, 1998). Enstitü arazisinde 1984 ve 1997 yılları arasında ölçülen meteorolojik parametrelerin uzun yıllık ortalama değerleri aşağıdaki Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kırklareli iline ait meteorolojik parametrelerin uzun yıllık ortalamaları (Bakanoğulları, 1998).

Meteorolojik Ölçümler	Uzun yıllık değerler	Meteorolojik Ölçümler	Uzun yıllık değerler
Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)	12.2	En Yüksek Kar Örtüsü (mm)	120
Ekstrem Maksimum Sıcaklık (°C)	40.4	Yıllık Buharlaşma Toplamı (Havuz Değeri) (mm)	1035.7
Ekstrem Minimum Sıcaklık (°C)	-20.3	Günlük En Çok Buharlaşma (mm)	14.6
Ortalama Maksimum Sıcaklık (°C)	18.6	Ortalama Bağıl Nem (%)	68.7
Ortalama Minimum Sıcaklık (°C)	7.3	En Düşük Bağıl Nem (%)	4.0
Ortalama Toprak Sıcaklığı (5 cm) (°C)	15.4	Ortalama Buhar Basıncı (mb)	10.2
Minimum Toprak Sıcaklığı (5 cm) (°C)	-6.0	Ortalama Bulutluluk (x/10)	5.0
Ortalama Toprak Sıcaklığı (10 cm) (°C)	15.2	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	6.1
Minimum Toprak Sıcaklığı (10 cm) (°C)	-2.5	Ortalama Güneş Radyasyonu (MJ/m ²)	11.7
Ortalama Toprak Sıcaklığı (20 cm) (°C)	14.8	I. Dereceden Hakim Rüzgar yönü	NE
Minimum Toprak Sıcaklığı (20 cm) (°C)	-2.0	II. Dereceden Hakim Rüzgar yönü	N
Ortalama Toprak Sıcaklığı (50 cm) (°C)	14.7	Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)	3.0
Minimum Toprak Sıcaklığı (50 cm) (°C)	1.6	En Büyük Rüzgar Şiddeti ve Yönü	19.5; (NE)
Ortalama Toprak Sıcaklığı (100 cm) (°C)	14.6	Yaz Günleri (T _{max} >= 25.0 °C)	109.5
Minimum Toprak Sıcaklığı (100 cm) (°C)	4.1	Kış Günleri (T _{max} <=-0.1 °C)	4.5
Yıllık Yağış Toplamı (mm)	463.8	Donlu Günler (T _{min} <=-0.1 °C)	61.2
Günlük En Çok Yağış (mm)	57.0	Şiddetli Donlu Günler (T _{min} <=-10 °C)	2.2

Tablo 3.1’den de görüleceği üzere, deneme alanındaki ortalama toplam yağış değeri 463.8 mm’ye karşılık gelmektedir. Bu durum, deneme alanında yarı kurak iklim şartlarının hakim olduğunu göstermektedir. Tarımda suyun doğal kaynağı olan yağışın son derece

önemli bir meteorolojik faktör olarak karşımıza çıktığı alanlar bu kurak ve yarıkurak iklim özelliklerine sahip alanlardır. Bu nedenle Kırklareli ilinde de buğday verimi bilhassa yağışın miktar ve dağılımındaki şartlara göre değişim göstermektedir. Kuzeydoğulu ve kuzeyli rüzgarların hakim olduğu bu deneme alanında dikkate alınan 14 yıllık ölçüm döneminde ekstrem maksimum sıcaklık için 40 °C, ekstrem minimum sıcaklık için ise -20 °C değerleri kaydedilmiştir.

3.2.2. Deneme Alanının Toprak Yapısı

Kırklareli'nin toprak yapısı genel olarak alüvyal özellikleri yansıtmaktadır. Denemenin yapıldığı yerdeki toprağın özellikleri aşağıdaki Tablo 3.2'de belirtilmiştir (Çakır ve Cangir, 1999).

Tablo 3.2. Deneme Yerindeki Toprağın Özellikleri.

Tabaka Derinliği	0-5 cm	5-10 cm	10-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	90-120 cm
Toprak Parametresi						
Tarla Kapasitesi (%)	22.8	23.6	24.2	27.2	26.6	27.5
Solma Noktası (%)	10.4	10.3	10.6	12.1	12.9	15.5
pH	7.9	7.8	7.9	-	-	-
Elektrik İletkenliği (mmhos/cm)	0.8	0.6	0.5	-	-	-
Değişebilir Potasyum (kg/da)	75	69	63	-	-	-
Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	1.38	1.37	1.39	1.39	1.48	1.57
Doymuş Su İçeriği (% ağırlık)	66.2	65.8	69.5	-	-	-
Çözünabilir Sodyum (me/l)	1.2	0.8	0.5	-	-	-
Kil (%)	19	17	19	21	18	18
Silt (%)	28	28	26	28	31	18
Kum (%)	53	55	55	51	51	64

3.2.3. Analiz Edilen Kültürtipleri

Bu araştırma çalışmasında Buğday (*triticum aestivum*) bitkisine ait iki kültürtipinin (Attila ve Pehlivan) tarımsal meteorolojik analizler altında verim tahmini yapılmıştır.

Bu araştırma çalışmasında araziye ekimden hemen önce miktarı 50 kg/ha olacak şekilde azotlu gübre verilmiştir. Bitki hastalıkları ile mücadele amacıyla yine ekimden kısa bir süre önce Glean tipi ilaç 5 g/da miktarında araziye uygulanmıştır. Gelişme dönemleri

boyunca araziye sulama uygulanmamış ve bitki gelişimi doğal yağış koşulları altında takip edilmiştir. Bitkinin kuru madde miktarındaki değişimin ölçülmesi işlemi de toprak su içeriği ölçümleri ile paralel olarak yürütülmüş ve yine 3 farklı noktadan alınan bitki örnekleri toprak üstü ve altı aksamalarına ayrılarak kurutma fırınında kurutulduktan sonra ağırlıklar belirlenmiştir. Bitkiler aralarında 15'er cm'lik mesafeler bulunan düzenli sıralar halinde parsellere ekilmiş ve ekim derinliği 6 cm olarak seçilmiştir.

3.2.4. Kullanılan Aletler ve Yapılan İşlemler

Çalışmada iki vejetasyon periyodu dikkate alınmıştır. Birinci periyod 22.10.1997 tarihinde ekilen ve 6.07.1998 tarihinde hasad edilen Attila tipi buğdayın gelişme aşamalarını kapsamakta; ikinci periyod ise 9.10.1998'da ekilen ve 21.06.1999'da hasad edilen Pehlivan tipi buğdayın gelişme dönemine karşılık gelmektedir. Her iki dönem boyunca meteorolojik veriler bitkilerin geliştiği deneme alanında ölçülmüş ve düzenli olarak kaydedilmiştir. Özellikle 1998-1999 döneminde yetiştirilen buğday bitkisinin (Pehlivan) meteorolojik özelliklerinin yanı sıra, toprak su içeriği, bitkiye yönelik fenolojik gözlemler ve kuru madde miktarlarındaki değişimler de düzenli olarak takip edilmiştir.

Bu araştırma çalışmasında 1998 yılı Nisan ayı başından itibaren tam otomatik bir meteoroloji istasyonundan bilgisayar ortamına doğrudan doğruya aktarılan verilerden yararlanılmıştır. Bu otomatik istasyon vasıtasıyla düzenli olarak kaydedilen verilerden hava sıcaklığı, nem, rüzgar şiddeti ve yönü toprak yüzeyinden 2 m yükseklikte alınırken, güneş radyasyonu 1.5 m yükseklikte ölçülmüştür. Hava sıcaklığı -40 °C ile +60 °C değerleri arasında sıcaklık verisi ölçen bir termokapil ile ölçülürken, nem % 10 ile % 100 arasında ölçüm yapan bir HMP35C nem sensorü kullanılarak ölçülmüştür. Güneş radyasyonu KİPP ZONEN tipi radyasyon aleti vasıtasıyla ölçülmüştür. Yağış değerleri, Texas Electronics Firması tarafından üretilen ve 0.1 mm hassasiyette yağış verisi kaydedebilen bir TE525 yağış ölçer vasıtasıyla tedarik edilmiştir. Buharlaşma değeri bir A sınıfı buharlaşma kabı vasıtasıyla düzenli olarak kaydedilmiştir. Rüzgar şiddeti maksimum 50 m/s değerini ölçebilecek kapasitede bir anemometreden temin edilmiştir. Bunun yanı sıra, toprak üstü minimum sıcaklık ile toprak içinde 5, 10, 20, 50, 100 cm derinliklerde toprak sıcaklıkları da düzenli olarak kaydedilmiştir. Ayrıca otomatik bir buharlaşma

havuzu vasıtasıyla buharlaşma değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Sistemdeki tüm aletlerden gelen veriler düzenli olarak birer saat aralıklarla CR 21X Campbell tipi bir veri toplayıcıda toplanmıştır. Daha sonra veriler bir masaüstü bilgisayara direkt bir hat vasıtasıyla aktarılmış ve disketlere nakledilmiştir. Bu işlemleri gerçekleştiren sisteme enerji desteği bir 10 W'lık güneş kollektörü ve 12 V'luk bir kuru pil tarafından ve şehir cereyanından sağlanmıştır.

22.10.1997 tarihinden 1.04.1998 tarihine kadar olan döneme ait veriler meteorolojik ölçümlerde klima istasyonlarında kullanılan standart mekanik aletlerle yapılan ölçüm sonuçları alınmıştır. 1.04.1998 tarihinden 21.06.1999 tarihine kadar ise otomatik istasyon vasıtasıyla toplanan veriler bu çalışmada kullanılmıştır. Aşağıdaki Şekil 3.4., araştırmada kullanılan tam otomatik meteoroloji istasyonunu göstermektedir.



Şekil 3.4. Araştırmada Kullanılan Tam Otomatik Meteoroloji İstasyonu.

Meteorolojik ölçümlerin yanı sıra toprak su içeriği ölçümleri de düzenli aralıklar ile 0-30, 30-60 ve 60-90 cm derinliklerinden ve her defasında 3 noktadan numune alınarak gravimetrik yöntem ile belirlenmiştir. Bitkinin kuru madde miktarındaki değişimin ölçülmesi işlemi de toprak su içeriği ölçümleri ile paralel olarak yürütülmüş ve yine 3 farklı noktadan alınan bitki örnekleri toprak üstü ve altı aksamalarına ayrılarak kurutma fırınında kurutulduktan sonra ağırlıklar belirlenmiştir. Aşağıdaki 3.5a, 3.5b ve 3.5c numaralı şekillerde, laboratuarda kullanılan hassas tartı ile fırın görülmektedir.



Şekil 3.5a. Araştırmada Kullanılan Hassas Elektronik Tartı.



Şekil 3.5b. Hasada Yakın Dönemde Araziden Analiz için Alınan Buğday Numuneleri.



Şekil 3.5c. Laboratuarda Kullanılan Fırın.

Çalışmada yukarıda görülen aletlerin yanı sıra toprak su içeriğinin gravimetrik yöntemle belirlenmesi için her defasında üç farklı noktadan alınan numunelerin temininde gerekli olan burgu ve özel toprak kapsülleri de kullanılmıştır. Ayrıca hasadın ardından, nem içeriği % 10'un altında olan dane numunelerinin önce bir klasik eleklerle başaklardan ayrılması denenmiştir. Bu işlem yeter hassasiyette gerçekleşmediğinden, numuneler Edirne Zirai Araştırmalar Enstitüsü'nde kurulu bulunan özel havalandırılmalı bir düzeneğe tam olarak başaklardan ayrılmıştır.

Yapılan tüm ölçümler, çalışmada kullanılan bitki-iklim modellerinin uygulanabilmesi için gerekli olan veritabanının oluşturulması amacına hizmet etmiştir. Bu amaçla, arazi denemelerine başlanmadan önce çalışmada kullanılacak olan modeller ayrıntılı analize tabi tutulmuş; ölçülmesi gereken atmosfer, toprak ve bitki parametreleri tespit edilerek bunların düzenli olarak kaydedilmesi sağlanmıştır.

Bu çalışmada Dünya’da bitki-iklim model uygulamaları çerçevesinde kullanılan iki model dikkate alınmıştır. Bunlar CERES-Wheat ve SIMWASER modelleridir. Aşağıda bu modeller ve modellerin esasları açıklanmıştır.

3.3. DSSAT Sistemi

CERES-Wheat Modeli, 1982 yılından beri yürütülmekte olan bir projenin sürekli güncellenen bir alt birimini temsil etmektedir. Söz konusu proje kısaca IBSNAT (International Benchmark Sites for Agrotechnology Transfer) olarak bilinmektedir (IBSNAT, 1986; Tsuji ve ark, 1994; Hoogenboom ve ark., 1994). Amerika Birleşik Devletleri’nde bulunan Hawaii Üniversitesi merkez olmak üzere önce ulusal, zamanla bölgesel ve en nihayetinde küresel bir araştırma sahasına hitap eder hale gelen IBSNAT Projesi, günümüzde gelişmiş ülkelerle gelişmekte olan ülkeler arasındaki tarım teknolojisi transferine yönelik önemli bir köprü vazifesi görmektedir. Projenin başlıca hedefleri arasında tarım teknolojisi transfer çalışmalarının gerçekleştirilmesi, böylelikle üretim çalışmalarının başlangıç aşamasında atmosferik parametrelerin etkisinin dikkate alınması yoluyla risk faktörlerinin minimuma indirgenmesi, ticari üretimi yapılan bitkilerin gelişme ve verim eğilimlerinin uzun vadeli tarımsal deneyler yerine modellerle daha kısa zamanda saptanması sayılabilir.

Bu amaçla yürütülen çalışmalarda, üretim deneylerinde kullanılmak üzere bilgisayar teknolojisinden faydalanılmakta ve oldukça geniş veri tabanları yardımıyla güncel bitki-iklim simulasyon modellerinin tasarımı yapılmaktadır. CERES(....) modeller gurubu, IBSNAT’ı kendine temel alan DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) adında kurumlar ve disiplinlerarası bir sistemin ürünlerindendir.

DSSAT’ın ortaya çıkmasının ana sebebi, başta iklim olmak üzere birçok çevresel faktörün tarımsal üretime yönelik verim beklentilerinde belirsizliğe yol açmasıdır. DSSAT’la amaçlananın; tarlaya ekilecek bitkinin türünden ve miktarından, gelişme aşamaları boyunca yapılması gerekebilecek müdahalelerin zamanlamasına kadar birçok işlemdeki belirsizliğin ve dolayısıyla geleneksel yöntem uygulamalarının meydana getirdiği ürün kayıplarının en aza indirgenmesi olduğu da söylenebilir. DSSAT, yapı olarak ise kullanımı kolay bir yazılımlar bütününe karşılık gelmektedir. Bu yazılımlar, bitki-iklim modellerini ve onların sağlıklı çalışmasını destekleyici yan

birimleri kapsamaktadır. Sistem, oldukça karmaşık bir yapı arz eden ve daha önce belirtilmiş olan toprak-bitki-atmosfer üçgeninin karşılıklı reaksiyonlarını girilen verilerin özelliklerine göre değişen hassasiyet oranlarında analiz etmektedir. Bu çalışmada DSSAT içinde bulunan modellerden CERES-Wheat ele alınmış ve gerekli bitki, toprak, atmosfer verilerini içinde barındıran veri tabanlarının oluşturulmasının ardından, seri simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. DSSAT içinde yer alan CERES yapısı ayrıca mısır, darı ve arpa ve sorgum için de simülasyon yapmaktadır (Tsuiji ve ark., 1994).

DSSAT, birçok çalışmada yönlendirici rol oynayan karar verme mekanizmaları için tasarlanan bir yazılımlar bütünü olarak değerlendirilebilir. Esas amaç, her bitki türünün araziye ve meteorolojik etkenlere bağlı olarak ortaya çıkan biyolojik gereksinimlerinin saptanması suretiyle kullanıcının önceden belirlediği hedeflere ulaşmasını mümkün kılmaktır.

DSSAT yazılımının içeriği kabaca üç ana madde altında ele alınabilir. Bunlardan birincisi veri tabanı yönetim kısmıdır. Burada verilerin girilmesi, yedeklenmesi ve gerektiğinde veriler üzerine müdahale edilmesi konuları ele alınmıştır. İkinci kısımda, ele alınan simülasyon modellerinin listelenmesi sağlanır. Buradaki işlemler, bitki türünün gelişim süreçlerinin ve verimlerinin dış etkenler altında tahminini sağlayan bitki-iklim simülasyon modelinin belirlenmesi ile sonuçlanır. Son kısımda ise tarımsal meteorolojik araştırmalarda sık sık sorulan “ne olursa.....ne olur?” tipindeki sorulara gerçeğe yakın yanıtların arandığı kısımda güvenilir tarım yapabilmenin başlıca koşullarını sağlama yolları araştırılır. Bu durum, başvuru karar verme desteği sistemlerinin de güvenilir olmasını zorunlu hale getirir. Güvenilir bir sistem verim için sadece bir yıl ilerisini değil, 5, 10, 20 hatta 50 yıl ilerisini mantıklı şekilde simule edebilmelidir.

Geleceğe yönelik simülasyonların güvenilirliğini sorgulamanın en kolay yolu, kullanılan model(ler)in geçmişte elde edilmiş olan gerçek değerlere yakınlığını incelemektir. Eksiksiz çalışan bir sistemin sadece geleceğe yönelik tahminler yapmasının yeterli olmadığı da böylece ortaya çıkar.

Tarımsal faaliyetler; atmosfer, toprak, bitkinin genetik yapısı, hastalık-zararlılar ve bitki yönetimi faktörlerinin ortaya koyduğu koşullar çerçevesinde gerçekleşir. Bir bitki-iklim modeli bu koşulların tek başına ve birbirleriyle karşılıklı olarak yaptıkları etkileri ortaya koymak zorunda olduğundan, model çalışması disiplinlerarası faaliyetleri kapsamı gerektiren bir yapıya bürünür. Farklı çalışmaların ve araştırma sonuçlarının bütünleşmiş olarak kullanıcının hizmetine sunulması, DSSAT'ta iki ana aşamayla gerçekleştirilmiştir. Birinci aşama, programların (modellerin) ihtiyaç duyduğu ortak verilerle veri formatlarının kullanıcıya bildirildiği arayüzeydir. İkinci aşama ise bir dış arayüzey olup, kullanıcının kolaylıkla seçebileceği DSSAT fonksiyonlarını içerir. Birinci arayüzeyin gerektirdiği verilerin büyük bir kısmı, enstitüde yapılan ölçümlerle temin edilmiş ve bu veriler kuvvetli bir veritabanını teşkil edecek yapıya ulaşmıştır. Bu çalışmada DSSAT'ın 1999 yılındaki son sürümü olan v3.5 kullanılmıştır.

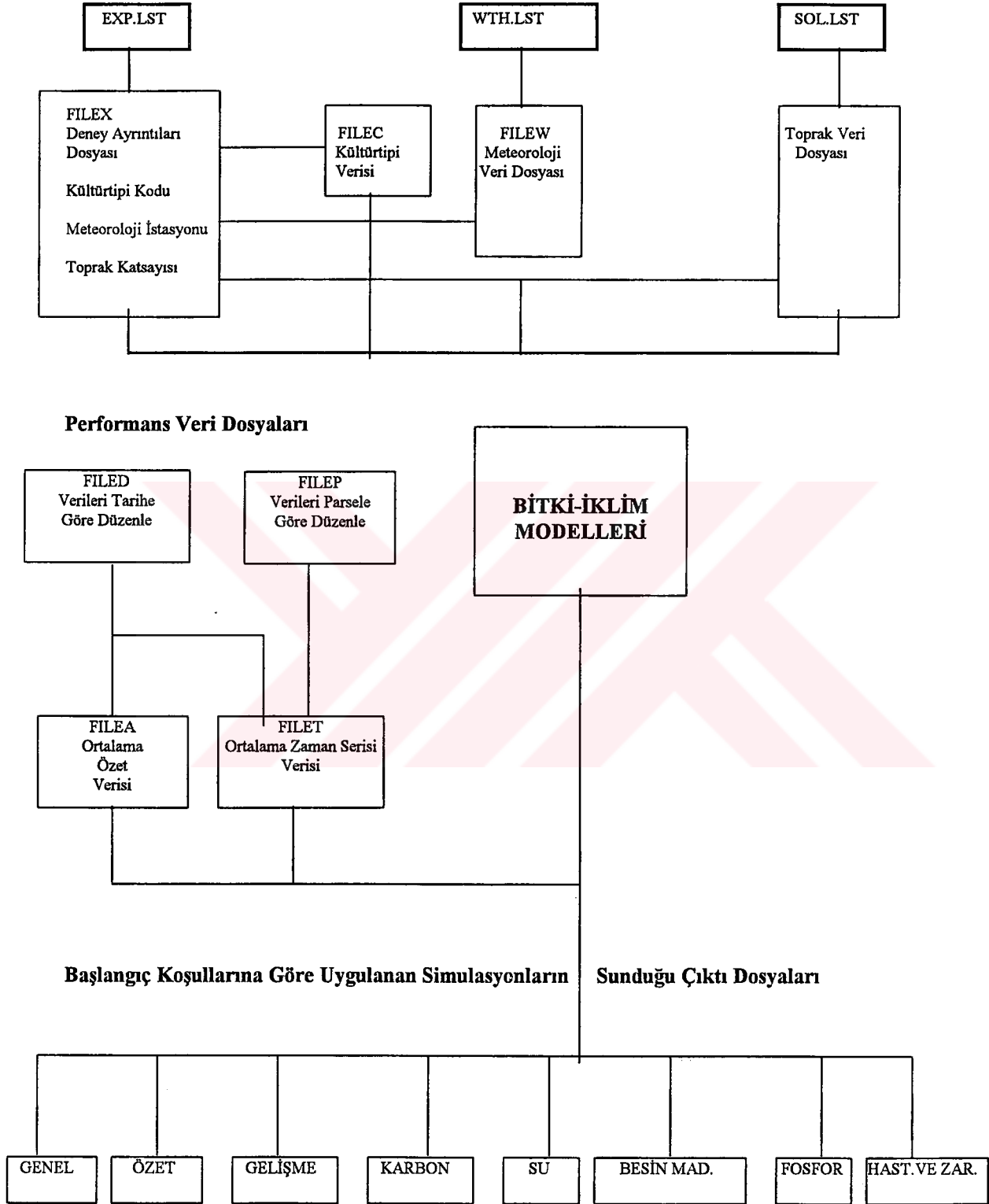
3.3.1. DSSAT'ın Kullanıcı Arayüzeyi

DSSAT ana menüsü, kullanıcıların seçim yapmasını sağlayan beş adet seçeneğe sahiptir. Bu seçeneklerde sırasıyla modellerin gerektirdiği verilerin ele alınması (Veriler Seçeneği), sistemin kullandığı bitki-iklim modelleri ile ilgili işlemlerin yapılması (Modeller Seçeneği), sistemin verilere uyguladığı analizlerin yürütülmesi (Analizler Seçeneği), sistem gereçlerinin ele alınması (Gereçler Seçeneği) ve sisteme kalıcı müdahalelerin yapılması ya da sistemden çıkılması söz konusudur.

Veriler seçeneğinde, kullanıcıların atmosfer, toprak ve deney verilerine ulaşmasını sağlanmaktadır. Sürümler güncellendikçe bu seçeneğin içerdiği alt seçenek sayısı artmaktadır.

Modeller kısmında kullanıcı kalibrasyon, değerlendirme ve hassasiyet analizi gibi amaçlara yönelik olarak modellere ulaşabilir. Öteki kısımlar modelin ilerleyen aşamalarında kullanıcının karşısına çıkacaktır. DSSAT'ta çeşitli tahıllar (mısır, buğday, darı, pirinç ve arpa) ve üç adet hububat türü (yerfıstığı, soya fasulyesi ve kuru fasulye) için simulasyon yapan modeller bulunmaktadır. Farklı modellerin ihtiyaç duyduğu girdiler de farklı olabilmektedir. Modellerin ihtiyaç duyduğu girdiler için ayrı bir modül oluşturulmuş ve bu sayede programların büyüklüğü ile karmaşıklığının

indirgenmesi sağlanmıştır. Aşağıdaki Şekil 3.6'da DSSAT içinde gerçekleştirilen hesaplamaları gösteren bir akış diyagramı yer almaktadır.



Şekil 3.6. DSSAT İçinde Gerçekleştirilen Hesaplamalar.

3.3.2. DSSATv3.5'in Kullandığı Modeller

DSSAT, çeşitli bitki-iklim modellerinin en son sürümlerini kullanıcının hizmetine sunmaktadır (IBSNAT, 1990; Jones ve ark., 1994). Tahıllar (mısır, buğday, darı ve arpa) CERES ana modeli içinde yer almıştır. Hububatlar ise CROPGRO ana modeline dahil edilmiştir. Cassava bitkisi ise CROPSIM ana modeli altında incelemeye tabi tutulmaktadır. CERES ana modeli, beş adet bitki-iklim modelinin bir araya gelmesiyle oluşturulmuştur. CERES genel yapısı her modelin gerektirdiği verileri tek bir modül üzerinden alır. Bu yapı, grafik programı, genetik katsayı hesaplayıcısı ve mevsimsel analiz programları gibi programlarla tam bir uyum içinde çalışır. CROPGRO ana modeli üç adet bitki-iklim modelini (SOYGRO, PNUTGRO ve BEANGRO) içermektedir. Bu ana model de içinde barındırdığı modellerin gerektirdiği verileri tek bir modül altında talep etmektedir.

3.3.3. DSSAT Modellerinin Kullanılması

Bu kısımda DSSAT'ın kullanıcı arayüzeyi genel hatlarıyla ele alınacak ve modelin özellikle toprak, bitki ve atmosferle ilgili kısımlarının işleyişi üzerinde durulacaktır.

Tarla alt menüsünde toprak analizi ile ilgili kısma girildiğinde, DSSAT içinde kullanılan toprak analizi verilerine ulaşılabilen deney arazilerinin bir listesine ulaşılmaktadır. Bunun ardından ilgili arazi için gereken verilerin girilmesi işlemi gerçekleştirilir. Girilen veriler çalışmanın ileri kısımlarında ele alınacak olan format sınırlamalarına uyum göstermelidir. Elde bulunan ek verilerin de arazi için kullanılan bir “editör” yardımıyla girilmesi mümkündür. Böyle bir editörün yardımıyla yeni araziler de kayda geçirilebilir. Kodlarla ilgili menü seçeneğinin amacı; kimyasal madde, gelişme aşaması gibi yönetim girdilerine ve gözlenen (ya da simule edilen) verilerin kısaltmalarına yönelik bilgilere kullanıcının ulaşmasını sağlamaktır. Bu dosyalara giriş, kullanıcı tarafından yüklenen (yapılandırılan) bir metin editörü (text editör) vasıtasıyla gerçekleşir. Bir kullanıcı editörünün konumu ve uygulama dosyasının ismi, DSSAT v3.5'in giriş sayfasındaki SETUP ana menü başlığı altında girilir. Deneylerle ilgili olan menü seçeneğinde; modellere giriş, veri girişi, grafiksel gösterim, sonuçların listelenmesi, yazıcıdan çıktı alınması ve modellerin başka modellerle bağlantısının

sağlanması gibi deneysel veri yönetimi fonksiyonlarının kullanıma sunulması amaçlanmıştır. Bitki menüsünün kullanıma sunulmasındaki amaç, bitki-iklim modellerinin ihtiyaç duyduğu bitki tipleri ve katsayıları bilgilerine erişimi sağlamaktır. Burada kullanıcının kendi deney verilerinden yararlanarak bitki-iklim modellerine yönelik bitki katsayılarını hesaplama imkanı da vardır.

Atmosferle, yani meteorolojik parametrelerle ilgili menü seçeneği kullanıcıya geniş kapsamlı atmosferik veri yönetimi imkanları sunmaktadır. Bunların arasında meteoroloji istasyonlarına yönelik arama ve düzenleme işlemleri, eksik gözlem değerlerinin silinmesi ya da uygun şekilde tamamlanması, günlük atmosferik verilerin grafiksel olarak canlandırılması ve genel istatistikler yer almaktadır. Bu menü seçeneğinde tüm günlük meteoroloji dosyalarının belirli bir konumda yer alması sağlanır. Bu konumda dosya ismi, bölge ismi, iklim zone, yıl, enlem, boylam, deniz seviyesinden yükseklik, yıllık ortalama sıcaklık ve dosyaların büyüklüklerine göre sıralanması özellikleri bulunmaktadır. Bu dosyaların oluşturduğu liste, atmosferik verilerin girilmesinin ardından kendini güncelleyen bir liste içinde yer alır. Günlük veriler içeren atmosfer dosyalarından istenilene de bu liste yardımıyla ulaşılabilir. Ayrıca burada atmosferik hadiselerin uygun şekilde konumlandırılması için dosyaların düzenlenmesi de mümkündür. Burada farklı adreslerdeki atmosferik verilerin küresel bir listesi de kullanıcıya sunulur. Böylece kullanıcı çeşitli atmosfer dosyaları arasından uygun gördüklerini seçebilir. Program, seçilen adresteki atmosfer dosyalarını hazır biçimde sunar ve böylece atmosferik veri içeren her adreste listenin kesintisiz çalışması sağlanır. Kullanıcı burada yapay olarak oluşturulmuş atmosfer dosyalarının hangilerine erişip erişemeyeceğini de belirleyebilir. İklim dosyaları, bölge için genel bilgi ve günlük atmosferik değişkenlerin uzun vadeli aylık ortalamalarını içerir. Bu veriler, bir bölge için ölçülmüş günlük verilere ulaşamayan hallerde gerekli günlük verinin üretilmesi amacıyla kullanılır. Bir iklim veri listesi yöneticisi, ulaşılacak iklimsel veri dosyalarının gösterilmesi, bu dosyaların incelenmesi ve hazırlanması, belirli karakteristiklere sahip iklim tiplerinin araştırılması, bitki-iklim modelleri ve atmosferik veri üreticisi tarafından kullanılacak olan bir bölge listesinin sürekliliğinin sağlanması imkanlarını kullanıcıya sunmaktadır.

Kabarcık sayıda alt menüye sahip olan atmosfer menüsü seçeneklerinde kullanıcıya atmosfer veri dosyalarının yeniden yapılandırılması, eksik verilerin

tamamlanması, atmosferik veri üretilmesi, günlük atmosfer verileri üzerinde istatistiksel hesaplamaların yapılması ve verilerin grafiksel gösteriminin gerçekleştirilmesi imkanları da sunulmaktadır. Yapılan çok sayıda işlem arasında bir istasyon isminin seçilmesi, istasyonla ilgili bilgilerin hazırlanarak girilmesi ve aylık ortalama atmosfer verilerinin girilmesi de vardır. Seçilen istasyonla ilgili geçmiş verileri (arşiv verilerini) içeren dosyalardan yararlanarak şimdiki verilerin tahmin hesabının yapılması da mümkündür. Arşiv dosyalarında saklanmış olan günlük gerçek meteoroloji verilerinden ya da türetilmiş günlük meteorolojik verilerden yola çıkılarak meteorolojik katsayıların hesaplanması da bu atmosferik parametre menü seçeneği altında gerçekleştirilen işlemlerdendir. Türetilen veriler ayrıntılı analizlerde kullanılmak üzere geçici arşiv dosyalarında saklanırlar. Bu veriler daha sonra DSSAT içinde tanımlanmış yıllık dosyalara ya da programdan bağımsız başka bir dosyaya nakledilebilir. Mevcut herhangi bir arşiv dosyasında yer alan verilere uygulanacak çeşitli istatistiksel hesaplama yöntemleri arasından seçim yapılması imkanı da bu menüde kullanıcıya verilmiştir.

Toprakla ilgili olan menü seçeneği, kullanıcının DSSAT içindeki tüm toprak profili verilerine ulaşmasını sağlar. DSSAT'taki modellerin kullandığı toprak verileri ilgili dosyada saklanır. Kullanıcı toprak tipleri arasında isime, tanıma, yapıya, derinliğe, bölgeye, şehre, enleme ve boylama göre araştırma yapabilir. Hazırlanacak dosyalar için seçme ve düzenleme fonksiyonları da mevcuttur. Bitki-iklim modellerinin çalıştırılması için ihtiyaç duyulan yeni toprak profillerinin oluşturulması işleminin gerçekleştirilmesine yönelik seçeneklerin sunulması da bu menünün önemli işlevleri arasındadır. Bu seçeneklerde toprak dosyalarının kullandığı toprak parametrelerini hesaplayacak programla karşılıklı olarak toprak verilerinin girilmesi, toprak karakteristiği verilerini içeren geniş bir veritabanına girilerek istenen bölgeninkine yakın özellikte bir toprak tipinin seçilmesi ve toprak parametrelerinin doğrudan doğruya girilmesi söz konusudur.

DSSAT, her tipte veri için zengin arşiv dosyaları bulundurmaktadır. Böylece kullanıcı uygun dosya formatlarına baştan sahip olmakta ve kendi orijinal verilerini bu dosyalara girmek suretiyle simulasyon yoluna gidebilmektedir. Verilerin format yardımı olmadan baştan itibaren elle girilmesi de mümkündür. Girilen çok sayıda veri tipi arasında toprağın profil girdileri, eğimi, rengi, geçirgenliği, drenaj özellikleri,

tabaka derinlikleri, toprak horizonu ve toprağın kum, kil, silt içeriği gibi değerler sayılabilir.

3.4. CERES-Wheat Modeli

CERES-Wheat Modelini oluşturan program, DSSAT genel yapısından bağımsız olarak incelendiğinde, yazılımın ana program tarafından çağırılan altı adet alt program ihtiva ettiği görülür (Godwin ve ark., 1989). Tüm alt programlarda, toprak-bitki-atmosfer etkileşiminin ortaya koyduğu karmaşık süreçlerin nispeten basit matematiksel eşitliklerle ifade edilmesi esastır. Örneğin bitkinin potansiyel kuru madde üretimi fotosentetik aktif radyasyonun doğrusal bir fonksiyonudur. Fotosentetik aktif radyasyon ise, tamamen yaprak alan indeksine bağlı olarak hesaplanmaktadır.

İlgili işlemlerde su stresi ve optimum değerlerin uzağında gerçekleşen hava sıcaklıkları gibi kuru madde miktarını azaltıcı etkenler de ayrıca dikkate alınmaktadır.

CERES-Wheat içinde bulunan alt programlardan ilkinde (PROGRI), çeşitli değişkenlere karşılık gelen verilerin okunması ve bunlara ait başlangıç değerlerinin konumlandırılması işlemleri gerçekleştirilmektedir.

İkinci alt programda (SOILRI), farklı büyüklükteki toprak su içeriği miktarları için başlangıç değerlerinin hesaplanması ve toprak tabakaları ile yağışı ilgilendiren bilgilerin okunması söz konusudur.

Modelin üçüncü alt programında (WATBAL) her bir gün için toplam su içeriği değerleri hesaplanır. Bu kısımda gerçekleştirilen çok sayıda işleme örnek olarak potansiyel evapotranspirasyonun hesaplanması gösterilebilir:

İlgili günün maksimum sıcaklık değeri 5 °C ile 35 °C arasında ise:

$$ETP=1.1*(R_g*(2.04*10^{-4}-1.83*10^{-4}*ALB)*(T_{ort}+29)) \quad (3.1)$$

İlgili günün maksimum sıcaklık değeri 35 °C'den büyük ise:

$$ETP = (R_g * (2.04 * 10^{-4} - 1.83 * 10^{-4} * ALB) * (T_{ort} + 29)) * ((T_{max} - 35) * 0.05 + 1.1) \quad (3.2)$$

İlgili günün maksimum sıcaklık değeri 5 °C'den küçük ise:

$$ETP = (R_g * (2.04 * 10^{-4} - 1.83 * 10^{-4} * ALB) * (T_{ort} + 29)) * 0.01 * e^{0.18(T_{max} + 20)} \quad (3.3)$$

Eşitliklerde ETP, potansiyel evapotranspirasyonu; R_g , güneş radyasyonunu; ALB, yüzey albedosunu; T_{ort} , günlük ortalama hava sıcaklığını ve T_{max} , günlük maksimum hava sıcaklığını göstermektedir. Bu alt programda potansiyel evapotranspirasyonun yanı sıra aktüel evaporasyon, tabakalar arası toprak su akışı ve dağılımı gibi hesaplamalar da yapılmaktadır.

CERES-Wheat Modelini oluşturan alt programların dördüncüsünde (CALDAT), ölçümlerin yapıldığı tarih ile takvim günü arasındaki dönüşüm işlemi gerçekleştirilir.

Beşinci alt programda (PHENOL) bitki gelişimini yönlendiren faktörlere yönelik hesaplamalar gerçekleştirilir ve gelişme aşamalarının her biri için ilgili faktörlere ait çıktılar sunulur. Burada gerçekleştirilen hesaplamalar arasında gün uzunluğu hesabı ve bu veriden yola çıkılarak bitkinin içinde bulunduğu gelişme aşamasının belirlenmesi sayılabilir.

CERES-Wheat'in altıncı alt modeli olan GROSUB içinde, bitki gelişme aşamalarının her birinde kaydedilen gelişme miktarları bir araya getirilir. Çok sayıda ayrıntılı işlemi içinde barındıran bu alt programda ana amaç, günlük bitkisel kütle artış değerine ulaşmaktır.

Bunun için aralarında fotosentetik aktif radyasyonun ve sıcaklık stresinin belirlenmesinin de bulunduğu ara hesap aşamaları gerçekleştirilir. Büyümenin gelişme aşamasına bağlı olarak hassas şekilde ortaya konması amacıyla yapraklarla kaplı alanın günlük değişimi, dane ağırlığının toplam kuru maddeye oranı ve dane dolum oranı gibi parametreler de bu kısımda ayrıca hesaplanmaktadır.

Son alt modelde (WRITE) toprağın ve bitki kütlesinin su dengesi ile ilgili hesaplanan büyüklüklerin sunulması işlemi yapılır.

CERES-Wheat Modeli'nde evapotranspirasyon hesapları, günlük bağıl nem ve rüzgar hızı verilerine ihtiyaç duyan ve hassas sonuçlar verebilen Penman Yöntemi'nin ya da Priestly-Taylor Yöntemi'nin kullanılmasıyla yapılabilir. Enerji dengesi yöntemi de evapotranspirasyon hesabında kullanılabilecek üçüncü bir seçenek olarak sunulmuştur.

Ayrıca karbondioksidin, bitkinin fotosentez sürecine ve su kullanımına yaptığı etkiler DSSAT içinde simüle edilebilir. Karbondioksidin gözeneksel iletkenliğe yaptığı etkiden yola çıkılarak günlük potansiyel transpirasyonun hesabı yoluna gidilmiştir. DSSAT, kullanıcıya atmosfer verileri (gün uzunluğu da dahil olmak üzere) üzerinde istediği değişiklikleri yapma imkanını sunmuştur.

Yeni model sürümleri iki adet meteorolojik “üretici” ihtiva etmektedir. Bu özellik, az sayıda meteorolojik veri yardımıyla ileriye yönelik çok sayıda verinin elde edilmesini sağlar. Böylece sadece aylık ortalama değerlerin mevcut olduğu bölgelerde dahi modeller kendilerine kullanım sahası bulabilmektedir.

DSSAT, uzun vadeli çalışmalar için (trend analizi gibi) bir arazide hasat edilen en son bitki türünün bitiş koşullarının, aynı araziye yeni ekilecek bitkinin başlangıç koşulları olarak atanmasını da sağlar.

3.4.1. CERES-Wheat Modelinin Girdileri ve Çıktıları

CERES-Wheat Modeli araştırmacılara geniş müdahale imkanları ve simulasyon sonuçları sunmaktadır. Bu durum modelin girdi verileri ile çıktıların çeşitliliğinin de artması anlamına gelmektedir. Bu kısımda söz konusu verilerin ve ilgili dosyaların tanıtılması amaçlanmıştır.

3.4.1.1. CERES-Wheat Modelinin Toprakla İlgili Girdileri

Bu veriler model tarafından topraktaki su, azot, fosfor ve kök gelişimi ile ilgili hesaplamalarda kullanılmaktadır. Toprak dosyası içinde yer alan bu veriler, toprak profillerine yönelik bir veri tabanına temel teşkil etmektedir. Dosyanın ilk üç satırında araştırmanın yürütüldüğü ülke, bölge, enlem, boylam ve toprak özellikleri ile ilgili kodlar girilmektedir. Sonraki satırlarda yer alan kısaltmaların tanımları ve birimleri aşağıdaki Tablo 3.3'te sunulmuştur. Modelin ihtiyaç duyduğu toprak verileri, gelişme dönemi başında enstitü arazisinde gerçekleştirilen çalışmaların sonuçlarından faydalanılması suretiyle temin edilmiştir. Oldukça hassas ölçümlerin gerçekleştirildiği bu analizler özellikle toprağın kimyasal içeriğinin ortaya konması açısından önem taşımaktadır (bkz. Ek Şekil A1, Şekil A2).

Tablo 3.3. CERES-Wheat Toprak Girdi Dosyası İçinde Yer Alan Parametreler.

TANIM	PARAMETRE	BİRİM
SCOM	Toprak renk ve nem kodu	-
SALB	Albedo	-
SLUI	Evaporasyon sınırı	cm
SLDR	Drenaj oranı	1/gün
SLRO	Akış eğri numarası	-
SMPX	Değişebilir fosfor belirleme yön. Kodu	-
SMKE	Potasyum belirleme yön. Kodu	-
SLB	Toprak tabakasının taban derinliği	cm
SLMH	Ana horizon	-
SLLL	Akışın gerçekleştiği alt sınır	Cm ³ /cm ³
SDUL	Akışın gerçekleştiği üst sınır	Cm ³ /cm ³
SSAT	Toprağın doygunluğu	Cm ³ /cm ³
SRGF	0-1 arası kök gelişme faktörü	-
SSKS	Hidrolik iletkenlik	cm/h
SBDM	Toprağın hacim ağırlığı	g/cm ³
SLOC	Organik karbon içeriği	%
SLCL	Kil içeriği (r<0.002mm)	%
SLSI	Silt içeriği (0.002mm<r<0.05mm)	%
SLCF	Büyük danelerin oranı (r>2mm)	%
SLNI	Toplam azot içeriği	%
SLHW	Toprak suyunun pH değeri	-

3.4.1.2. CERES-Wheat Modelinin Bitki İle İlgili Girdileri

DSSAT yapısı içinde yer alan CERES-Wheat Modeli, analiz edilen kültür tipi hakkında türe özgü çok sayıda veri talep etmektedir. Bu nedenle her bir kültür tipi için nitel ve nicel bakımdan önemli farklılıklar arz eden dosyalar yerine ana deney dosyasında (FILEX) kültür tipleri ile ilgili ortak verilerin bir tablo halinde sunulması uygun görülmüştür (Tablo 3.4.).

Tablo 3.4. CERES-Wheat Modelinin Bitki İle İlgili Girdileri.

TANIM	PARAMETRE
CG	Bitki türünü tanımlayıcı kod
CR	Kültür tipine özgü tanımlayıcı kod
INGENO	Kültür tipini araştırma bölgesine göre tanımlayan kod
CNAME	Kültür tipinin uluslararası adı

FILEX Dosyasında bitkiye yönelik bu verilerin yanı sıra simülasyonlarda belirleyici önem taşıyan çok sayıda parametre de yer almaktadır. Bunlar başlangıç koşulları, sulama, gübreleme, topraktaki artık maddeler, toprağın işlenmesi, kimyasal madde uygulanması, çevresel değişimler ve hasat ayrıntıları ile ilgili parametrelerdir. FILEX bu parametreleri, çağrılan toprak, bitki ve atmosfer dosyaları ile birlikte uygulayarak simülasyon sürecini kontrol altında tutmaktadır (FILEX dosya örneği için bkz. Ek Şekil A.2).

3.4.1.3. CERES-Wheat Modelinin Meteorolojik Girdileri

CERES-Wheat Modelinin simülasyon sürecinde en hassas ve süreklilik arz edecek şekilde ihtiyaç duyduğu veriler, meteorolojik parametrelerle ilgili olanlardır. Model, bitkinin maruz kaldığı atmosferik koşulları tüm gelişme dönemi boyunca yansıtan günlük verilerle çalışmaktadır. Simülasyon hassasiyetinin artırılması amacıyla meteorolojik verilerin ekimden önceki ve hasattan sonraki birkaç günlük dönemi de kapsayacak şekilde tedarik edilmesi yerinde olacaktır. Böylece ekimin yapılacağı tarihe karşılık gelen toprak koşullarının önceden tahmin edilmesi mümkün hale gelecektir. Meteorolojik verilerin kapsadığı zaman diliminin daha da artması, ekim tarihinden kültür tipi seçimine kadar geniş ölçekli bir yelpazede karar verme seçeneklerini araştırmacılara verecektir.

Miktar bakımından modelin kullandığı en fazla sayıda veriyi içeren meteoroloji dosyasının bu özelliği, dosya formatının DSSAT yapısı içinde belirlenen şekle uygunluğunu önemli hale getirmektedir. Modelin meteoroloji dosyasını tanıttıcı bir kesit, Ek Şekil A.3'te verilmiştir. Bu dosyanın ilk satırında dosya türü ve verilerin ait oldukları bölge tanımlanmaktadır. Dosyada yer alan öteki kısaltmaların karşılık geldiği parametreler ve birimleri aşağıdaki Tablo 3.5'te sunulmuştur.

Tablo 3.5. CERES-Wheat Modelinin Meteorolojik Girdileri.

TANIM	PARAMETRE	BİRİM
INSI	Enstitü tanıttıcı kod	-
LAT	Enlem	-
LONG	Boylam	-
ELEV	Araştırma bölgesinin deniz seviyesinden yüksekliği	m
TAV	Bölgenin aylık ortalama sıcaklık değeri	°C
REFHT	Sıcaklık verilerinin ölçüldüğü referans seviyesi	m
WINDHT	Rüzgar verilerinin ölçüldüğü referans seviyesi	m
DATE	Tarih (yıl +gün)	-
SRAD	Güneş radyasyonu	MJ/m ² gün
TMAX	Maksimum hava sıcaklığı	°C
TMIN	Minimum hava sıcaklığı	°C
RAIN	Yağış	mm
*DEWP	Çiğ noktası sıcaklığı	°C
*PAR	Fotosentetik aktif radyasyon	Mol/m ² gün

*Bu veriler simülasyon hassasiyetinin artırılması amacıyla, mevcut olmaları durumunda girilmektedir.

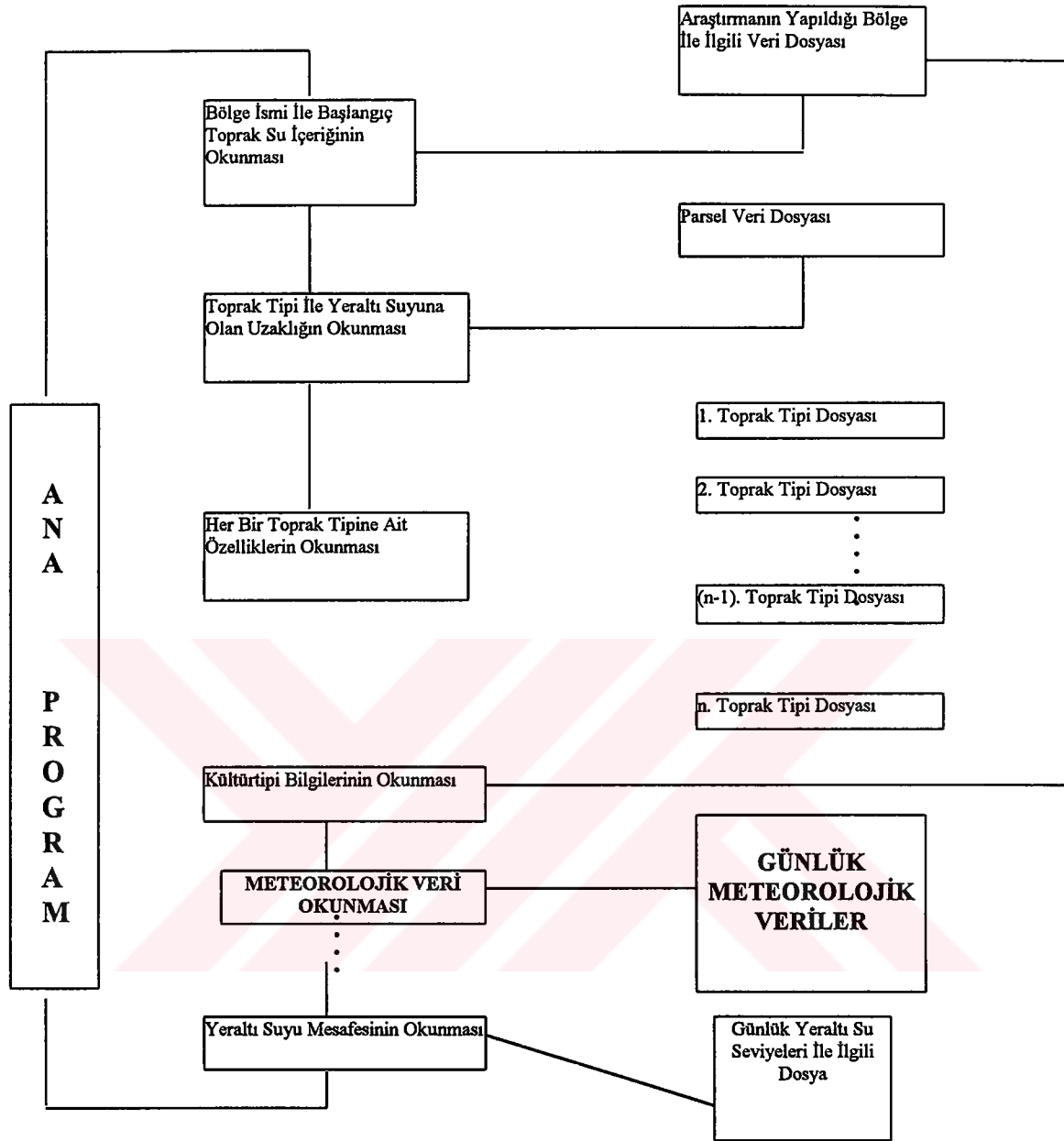
3.5. SIMWASER Modeli

3.5.1. Modelin Temelleri ve Kullanım Amacı

SIMWASER, Wolkewitz ve Stenitzer tarafından 1976 yılında Berlin Kültürteknik Enstitüsü'nde yürütülmüş olan bir model çalışmasının sonucudur. Bu çalışmada kullanılan SIMWASER sürümü, 1988 yılında Stenitzer'in modeli yeniden düzenlemesi ile elde edilmiştir. SIMWASER modeli de CERES-Wheat gibi açıklamalı modeller sınıfına dahil olup, ortaya koyduğu sonuçların güvenilirliği sayesinde zamanla küresel kapsamlı bir uygulama sahası elde etmiştir.

SIMWASER Modeli'nde amaçlanan, toprak su içeriği ile bitkisel verim arasındaki ilişkinin açık şekilde ortaya konması ve bu ilişkinin bitkisel verime etkilerinin analiz edilmesidir. Model genel anlamda güneş radyasyonu altında atmosferden alınan karbondioksitin, köklerden sağlanan su ve inorganik maddeler ile

birlikte organik besin maddesine (bitkinin kuru madde miktarına) dönüştürülmesini incelemektedir. Bu bağlamdaki temel çıkış noktası ise, bitkinin topraktan aldığı suyun bir ölçüsü olan transpirasyonun, bitki kuru madde miktarına bağlı olarak gösterdiği doğrusal değişimdir. Klorofilli bitkilerde kuru madde üretimi; bitkinin güneş radyasyonu altında atmosferden karbondioksit, topraktan ise su alması ve ardından atmosfere oksijen ve su buharı vermesi süreçlerinin sonucudur. Bu süreçler, toprakta bitkinin ihtiyacı kadar su bulunup bulunmaması durumlarına göre bitki yapraklarından gerçekleşen transpirasyon ve asimilasyon tarafından yönetilir. Genel olarak, bir bitkideki kuru madde üretiminin, yaprak asimilasyonu ve transpirasyon etkileri altında gerçekleştiği ve dolayısıyla bitki gelişiminin, bitkinin günlük su tüketimine doğrudan bağlı olduğu söylenebilir. SIMWASER modelinin işleyiş temeli, sözü edilen süreçlerin sayısallaştırıldığı bazı eşitlikler tarafından belirlenmektedir. Model, özellikle toprak su içeriğinde meydana gelen değişimlerin bitkisel verime doğrudan etkisi olduğunu dikkate alarak hesap yapmakta; bitki hastalık ve zararlıları, toprakta besin maddesi sıkıntısı gibi verimi olumsuz etkileyen faktörleri ise dikkate almamaktadır. Dolayısıyla, bu modelin kuraklık gibi iklimsel olayların bitkisel verime etkilerinin analizinde etkili kullanım alanlarına sahip olduğu söylenebilir. Gerekli toprak, bitki ve atmosfer parametrelerini karşılayacak yeterlikte verilerin uygun formatlı veri dosyaları içine girilmesinin ardından model çalıştırılabilir. SIMWASER yazılımı FORTRAN programlama dilinin kullanılmasıyla geliştirilmiştir. Program önce kullanıcı tarafından ilgili dosyalara atanan isimleri ister; bunun ardından simulasyon işlemi gerçekleştirilir. Modelin okuma yaptığı girdi dosyalarında ekim, hasat tarihleri ve meteorolojik veriler bulunur. Bu verilerden yola çıkılarak önce bitki gelişme aşaması hesaplanır. Daha sonra evapotranspirasyon ile topraktaki su hareketi belirlenir; son olarak da bu hesaplamalar ışığında bitki verim değerlerinin simulasyonu gerçekleştirilir. Aşağıdaki Şekil 3.7’de, SIMWASER Modelinin kullandığı girdi dosyaları ile bunların modeldeki işlevleri görsel olarak özetlenmiştir.



Şekil 3.7. SIMWASER Modeli'nde Gerçekleştirilen Hesaplamaların Akış Diyagramı.

3.5.2. SIMWASER Modeli'nin Girdileri ve Çıktıları

SIMWASER Modeli üç tür dosya içinde hazırlanan girdi verilerini kullanıcıdan talep etmekte, gerçekleştirilen simülasyonlar sonunda ise, tüm hesaplamaların ve değerlendirmelerin birlikte sunulduğu bir çıktı dosyasını ortaya koymaktadır. Girdi dosyaları sırasıyla toprak su içeriği ve bitki gelişimi verilerini içeren dosya (*.dat), araştırma arazisi ve arazi toprağının niteliklerini içeren dosya (*.tie) ve atmosferik parametrelere karşılık gelen verileri içeren dosya (*.dat) şeklinde belirtilebilir (Bu

dosya örnekleri sırasıyla A.4, A.5 ve A.6 numaralı ek şekillerde verilmiştir). Aşağıdaki Tablo 3.6., meteoroloji dosyasının içerdği verileri göstermektedir.

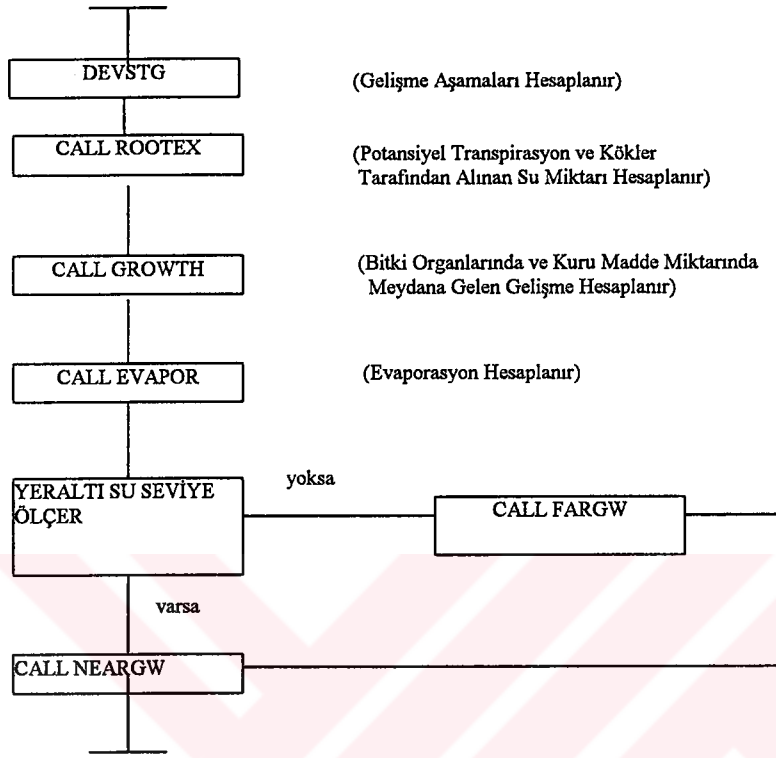
Tablo 3.6. SIMWASER Modelinin Meteorolojik Girdi Dosyasında Yer Alan Parametreler.

VERİ DEĞERİ	SATIR	SÜTUN	PARAMETRE	BİRİM
1999	1	1	Yıl	-
1	1	2	Ay	-
1	1	3	Gün	-
149	1	4	Gün uzunluğu	S/10
82	1	5	Maksimum Sıcaklık	°C/10
8	1	6	Minimum Sıcaklık	°C/10
26	1	7	Saat 7'deki sıcaklık	°C/10
71	1	8	Saat 14'teki sıcaklık	°C/10
33	1	9	Saat 21'deki sıcaklık	°C/10
93	1	10	Saat 7'deki bağıl nem	%
71	1	11	Saat 14'teki bağıl nem	%
83	1	12	Saat 21'deki bağıl nem	%
87	2	1	Ortalama bağıl nem	%
43	2	2	Saat 7'deki buh. bas. Farkı	g m ⁻³ /100
223	2	3	Saat 14'teki buh. bas. Farkı	g m ⁻³ /100
104	2	4	Saat 21'deki buh. bas. Farkı	g m ⁻³ /100
123	2	5	Ortalama buh. bas. Farkı	g m ⁻³ /100
18	2	6	2m'deki rüzgar şiddeti	m*s ⁻¹ /10
0	2	7	Yağış	mm
196	2	8	Günlük toplam radyasyon	MJ*m ⁻² *d ⁻¹ /100

SIMWASER Modeli incelendiğinde, yazılımın yapılan tüm hesaplamalar için ayrı ayrı alt programlar ihtiva edecek şekilde düzenlendiği görülür. Bu alt programların her biri, kullanım amacına uygun olarak birer alt “model” olarak da düşünülebilir. Tüm alt modeller birbirleriyle ve ana programla bağlantı içinde olup, sonuçta verim değerinin simule edilmesinde kullanılırlar.

Bitki gelişimi alt modelinde bitkinin türüne ve niteliğine bağlı olarak gelişme aşamalarının süreleri simule edilir. Bitki yaprak ve kök gelişiminin son bulunduğu geçiş aşamasının (vejetatif aşamadan generatif aşamaya geçiş) başlangıç ve bitiş tarihlerinin minimum hata payıyla hesaplanması, simulasyon sonuçlarının güvenilirliği açısından önem arz etmektedir. Hesaplamalarda Nuttonson'un ortaya koyduğu “fototermik birim” kavramının kullanılmasıyla, modelin her bir gelişme aşamasını gün mertebesinde analiz etmesi sağlanmıştır. Fototermik birimlerin gerçek toplam değeri, ele alınan bitkinin gelişmek için ihtiyaç duyduğu toplam (potansiyel) fototermik birim değeriyle mukayese edilir ve böylece bitkinin içinde bulunduğu gelişme aşaması belirlenir.

Aşağıdaki Şekil 3.8’de, modelde analiz edilen gelişme aşamalarının akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.8. SIMWASER Modeli’nde Bitki Gelişme Aşamalarının Ele Alınışı.

Potansiyel transpirasyon alt modeli’nde potansiyel transpirasyonun toplam değerinin, bitkinin gelişme aşamaları boyunca tüketmesi gereken toplam su miktarına eşit olduğu dikkate alınmıştır. Model bu değeri hesaplamak için öncelikle potansiyel evapotranspirasyonun bilinmesine ihtiyaç duyar:

$$ETP = (f_t \cdot R_n + 0,864 \cdot VPD / r_a) / (f_t + r_c / r_a) \quad (3.4)$$

Eşitlikte: ETP, potansiyel evapotranspirasyonu; f_t , sıcaklık faktörünü; R_n , net radyasyonu; VPD, buhar basınç farkını; r_a , aerodinamik direnci; r_c , bitki direncini göstermektedir.

Eşitlikteki f_t değeri model tarafından aşağıdaki ara eşitliğin kullanılmasıyla hesaplanır:

$$f_t = \exp (- 0.296 + 0.53 * T_{ort}) \quad (3.5)$$

Eşitlikte T_{ort} , ortalama hava sıcaklığını göstermektedir.

Aerodinamik direnç ise aşağıdaki ifadeyle elde edilir:

$$r_a = \ln(z/z_0)^2 / (k^2 * u) \quad (3.6)$$

Eşitlikte: z , rüzgar hızının ölçüm yüksekliğini; z_0 , sürtünme uzunluğunu; k , Karman Sabitini; u , z yüksekliğindeki rüzgar hızını göstermektedir.

z_0 değerini veren ifade aşağıdaki gibidir:

$$z_0 = 0.1 * h \quad (3.7)$$

Eşitlikte: h , bitki yüksekliğini göstermektedir.

Bitki yüzey direnci değerini elde etmek için, yaprakların gözeneksel direnci ve toprak direnci değerleri kullanılır. Üzerinde bitki örtüsü bulundurmayan çıplak toprak için toprak direnci:

$$r_{ss} = 2.00 \text{ s/cm} \quad (3.8)$$

şeklinde bir sabite eşit kabul edilir. Eşitlikte: r_{ss} , toprak direncini göstermektedir. Toprağın bitki örtüsüyle kaplı olduğu durum için r_{ss} değeri hesaplanmak istendiğinde ise yaprak alan indeksi hesaba katılır ve toprak direnci, yaprak alan indeksinin bir fonksiyonu olarak değerlendirilir. Böylelikle bitki örtüsünün gelen güneş

radasyonuna yaptığı azaltıcı etki dikkate alınmış olur. Her iki durumda da bitki yüzey direnci aşağıdaki ifadeyle bulunur:

$$r_c = 1 / (F_{bitki} / F_{toprak}) \quad (3.9)$$

Eşitlikte: r_c , bitki yüzey direncini; F_{bitki} , bitkiden meydana gelen ısı akısını; F_{toprak} , topraktan meydana gelen ısı akısını göstermektedir. Yaprakların gözeneksel direnci, toprak direnci ve global radyasyon değerleri, F_{toprak} ve F_{bitki} değerlerinin hesaplanmasında kullanılırlar.

Gerçek transpirasyon alt modeli kısmında SIMWASER gerçek transpirasyonu, bitkinin toprak tabakalarından aldığı toplam su miktarına eşit kabul eder ki bu yeter derecede doğru bir yaklaşımdır. Bir bitkinin kökleri vasıtasıyla toprağın belirli bir tabakasından aldığı su miktarı; köklerin inebildiği derinliğe, kök uzunluğu yoğunluğuna (toprağın birim hacmine düşen kök uzunluğu değerine) ve kök bölgesindeki tabakaların su içeriğine bağlıdır. Bütün bu etkenlerin dikkate alınmasıyla bitkinin bir tabakada kökleri vasıtasıyla topraktan aldığı su miktarını veren eşitlik aşağıdaki gibidir:

$$WE = (\psi_{pfl} - \psi_{erde}) / (r_c - r_{ss}) * WD * H * VF \quad (3.10)$$

Eşitlikte: WE, köklerin su alımını (çekimini); ψ_{pfl} , bitki içi su potansiyelini; ψ_{erde} , toprak suyu potansiyelini; r_{ss} , toprak direncini; r_c , bitki direncini; WD, toprak tabakalarındaki kök uzunluğu yoğunluğunu; H, toprak tabakalarının kalınlığını ve VF, ıslaklık faktörünü göstermektedir.

Suya doymuş toprak tabakalarının neden olduğu oksijen sınırlamasının köklerin su alımını olumsuz etkilemesi de “ıslaklık faktörü” olarak dikkate alınmaktadır. İhtiyacı olan suyu topraktan tam olarak karşılayamayan bir bitki, su sıkıntısının olmadığı koşullara oranla daha fazla ısınır; çünkü nemli bir ortamda

bitkinin buharlaşmaya harcadığı enerji, kuru bir ortamda ısı enerjisi oluşumuna harcanır. Bitkinin ısı enerjisindeki artışın bir sonucu olarak bitki sıcaklığında da artış meydana gelir ve bu durum bitki gelişimini hızlandırıcı rol oynar. Bu nedenle SIMWASER modeli; potansiyel transpirasyon, gerçek transpirasyon, aerodinamik direnç ve gün uzunluğu değerlerini kullanarak, su kısıtlaması altındaki bir bitkide meydana gelmesi muhtemel sıcaklık artışını ayrıca hesaplar.

Asimilasyon ve bitki gelişimi alt modeli'nde bir bitkinin, gelişimi için ihtiyacı olan suyu topraktan yeterli miktarda karşılayabildiği takdirde yapraklarının gözeneklerini gün ışığı altında sürekli açık tuttuğu dikkate alınmıştır. Bu ideal durumda bitki gözeneklerinden içeri maksimum miktarda karbondioksit alınır (potansiyel asimilasyon). Gerçekte bitki ihtiyaç duyduğu su miktarına her zaman ulaşamayacağından gözenekler zaman zaman kısmen kapanır; gözeneklerin tamamen kapanması da söz konusu olabilir. Bu durumda gerçek asimilasyondan bahsedilir. Bir yaprağın birim alanından gerçekleşen asimilasyonu gösteren ifade aşağıda verilmiştir:

$$F = (e * I * F_{\max}) / (e * I + F_{\max}) \quad (3.11)$$

Eşitlikte: F, asimilasyonu; I, yaprak alanındaki radyasyon yoğunluğunu; $F_{\max}$, $I \rightarrow \infty$ iken F'in aldığı sınır değerini, e, radyasyon eğrisinin eğimini göstermektedir.

SIMWASER modelinin en ayrıntılı ve can alıcı kısmı olarak ele alınabilecek olan bu alt modelde esas anlamda bitkisel üretimin hesaplanması sözkonusudur. Bu amaçla hazırlanan bir "hasad indeksi" ile bitkinin ticari olarak değerlendirilebilir kısmının niceliği elde edilir. Ardından birim toprak alanına düşen kuru madde miktarı hesaplanır ki bu da bitkisel üretimin sayısal değerini verir. Simulasyon sonuçlarının doğruluğu; bu alt modelde gerçek ve potansiyel asimilasyonun, bitkinin hassas dönemlerini yansıtan bir stres faktörünün, bitki türüyle ilgili bir sıcaklık faktörünün ve bitkinin gelişme aşamasına bağlı olan kök gelişiminin dikkate alınmasıyla gerçekleşir. Toprak evaporasyonu alt modeli, herhangi bir bitki örtüsü tarafından kaplanmamış, çıplak toprak yüzeyinden meydana gelen buharlaşmanın potansiyel evaporasyona karşılık geldiğinden hareket eder. Hasad, nadas dönemlerinde ve ekilen bitkinin henüz

toprak altında olduğu dönemlerde yüzeyden gerçekleşen evaporasyon, potansiyel evaporasyondur. Potansiyel evaporasyonu veren eşitlik aşağıdadır:

$$E_p = (f_t * R_n + 0,864 * VPD_0/r_a) / (f_t + 1,0 + r_{ss}/r_a) \quad (3.12)$$

Eşitlikte: E_p , topraktan meydana gelen potansiyel buharlaşmayı; f_t , sıcaklık faktörünü, R_n , net radyasyonu; VPD , buhar basınç farkını; r_a , aerodinamik direnci ve r_{ss} , toprak direncini göstermektedir.

Yüzeyin bitki örtüsü ile kaplı olması durumunda ise bitki örtüsünün yüzeye ulaşan güneş radyasyonunu azaltıcı etkisi sözkonusudur. Bu durumda model; güneş radyasyonunda bitki boyunca meydana gelen azalmayı, zemin direncindeki artışla ilişkilendirerek inceler.

SIMWASER Modeli'nin kullandığı gerçek toprak evaporasyonu değeri, toprağın potansiyel evaporasyon değeri ile maksimum evaporasyon değerlerinin karşılaştırılması ile elde edilir. Bu iki değerden küçük olanı model tarafından gerçek evaporasyon olarak değerlendirilir.

SIMWASER, su hareketi alt modeli'nde topraktaki su hareketini bitkinin köklenme bölgesi ile sınırlı olan alanda inceler. Köklenme bölgesindeki su dağılımını belirleyen etkenler arasında yağışların sağladığı su, yeraltından kapilarite kuvveti vasıtasıyla yükselen su, toprak evaporasyonunun neden olduğu su kaybı, toprağın alt tabakalarına sızan su ve kökler tarafından alınan su sayılabilir. Bu modelde kökler tarafından alınan suyun yatay doğrultuda hareket ettiği kabulü yapılmıştır. Geri kalan hareketlerin hepsinin düşey doğrultuda gerçekleştiği düşünülmüştür.

Bir toprak profilindeki su hareketinin hesaplanmasından önce, profilin yeraltı suyuna olan mesafesinin belirlenmesi gerekir. Yeraltı suyuna uzak profillerin altındaki toprak iri gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu durumda alttaki katmandan profil içine doğru yükselici bir su hareketi gerçekleşmez; sadece profilden aşağıya doğru bir sızma hareketi olabilir. İncelenen bir profildeki toprak tabakaları arasındaki su hareketlerine dair Darcy Kanunu aşağıdaki gibidir:

$$V = K * I_h \quad (3.13)$$

Eşitlikte; V , geçirgenlik hızını; K , geçirgenlik katsayısını; I_h , hidrolik eğimi göstermektedir.

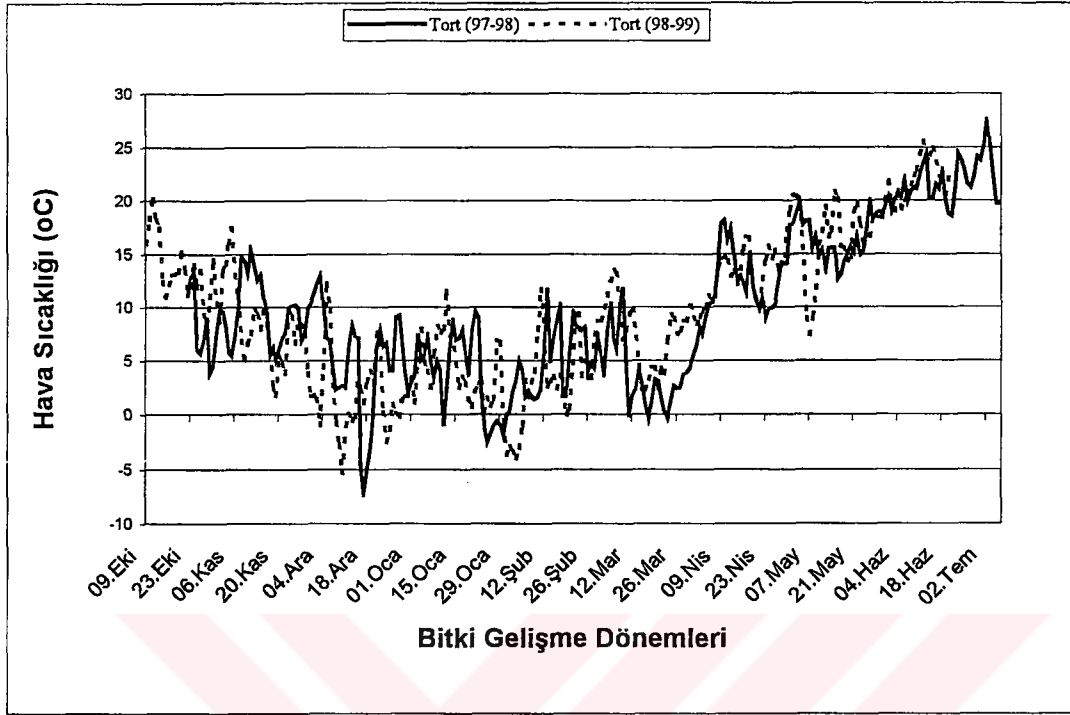
Doymamış toprak tabakasındaki kalıcı olmayan su hareketinin elde edilmesi amacıyla Darcy Eşitliği'nin kullanılmak istenmesi, kişiyi bir kısmi diferansiyel eşitlikle karşı karşıya getirir. Bu diferansiyel eşitlik, Parlange'nin (1971) yaptığı gibi ilgili analitik ifadelerle çözülebileceği gibi; farklar yöntemiyle yapılan sayısal yaklaşımlarla da sonuca ulaşılabilir (van Keulen and van Beek, 1971). SIMWASER Modelinde geçirgenlik hızı, tabakanın kapiler su iletme yeteneği, tabakaya ait matriks potansiyeli gibi etkenler bu aşamada dikkate alınır ve ara hesaplardan oluşan bir süreçte çözüme gidilir (çıkış dosyası örneği için bkz. Ek Şekil A.7).

BÖLÜM 4

METEOROLOJİK FAKTÖRLERİN BİTKİ GELİŞİMİNE ETKİLERİNİN ANALİZİ

4.1. Meteorolojik Ölçüm Sonuçları

Bu çalışmada, bitki gelişimi açısından son derece önemli olan meteorolojik faktörler iki farklı gelişme dönemi boyunca saatlik olarak denemenin yürütüldüğü Kırklareli Köy Hizmetleri Atatürk Araştırma Enstitüsü'nde ölçülmüştür. 22.10.1997 tarihinden başlayıp, 6.07.1998 tarihinde biten ilk ölçüm periyodu 254 gün sürmüştür. Bu periyod bundan sonra 97-98 periyodu veya ölçüm dönemi olarak adlandırılacaktır. 9.10.1998 tarihinde başlayıp, 21.06.1999 tarihinde sona eren ikinci ölçüm periyodu ise 255 gün sürmüştür. Bu gelişme dönemi de 98-99 periyodu veya ölçüm dönemi olarak adlandırılacaktır. Ortalama hava sıcaklığı özellikle 98-99 periyodunda, ilk döneme göre daha düşüktür. İlk ölçüm döneminde (97-98) ortalama hava sıcaklığı 9.83 °C, ikinci dönemde (98-99) ise 9.41 °C'dir (Şekil 4.1). 97-98 döneminde ortalama hava sıcaklığının maksimum değerine (27.4 °C) hasad aşamasında ulaşılmıştır. Bu dönemdeki minimum hava sıcaklığı ise, bitkinin vernalizasyon aşamasında gerçekleşmiş ve bu periyodda hava sıcaklığı -7.2 °C'ye kadar düşmüştür. 98-99 ölçüm döneminde ise, günlük ortalama hava sıcaklığının maksimum değeri yine hasad aşamasında (25.5 °C) ölçülmüş, minimum sıcaklık ise -5.4 °C olmuştur.



Şekil 4.1. 97-98 ve 98-99 Bitki Gelişme Dönemlerinde Hava Sıcaklığının Zaman Serisi.

98-99 döneminin başlangıcında hava ile toprak sıcaklığının yüksek olması; bitki ekiminin, 97-98 dönemine göre yaklaşık iki hafta erken yapılmasıyla sonuçlanmıştır.

Hava sıcaklığı özellikle bitkinin gelişmeye başlamasında ve gelişmenin tüm aşamalarında bitki sistemini kontrol eden önemli parametrelerden biridir. Her bitkinin gelişimini en iyi bir şekilde sürdürebileceği bir sıcaklık vardır. Bu sıcaklığa optimum sıcaklık denir. Bu sıcaklığın altında ve üstündeki değerler bitki gelişimine olumsuz etkilerde bulunabilir. Optimum sıcaklık istekleri bitkilerin gelişme aşamalarına göre değişiklik gösterir. Bu nedenle bitkinin çiçeklenme aşamasındaki optimum sıcaklık isteği ile çimlenme aşamasındaki optimum sıcaklık isteği birbirinden farklılıklar gösterir. Bir kısım bitkilerin ekimden sonra bazı fenolojik aşamalara ulaşabilmesi için belirli dönemlerde düşük sıcaklıklara maruz kalması gerekmektedir. Kışlık buğday da böyle bir sıcaklık isteğine sahiptir. Bu nedenle kışlık buğday kışa girmeden ekilir ve kışın bir süre düşük sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra, artan sıcaklıklar ile gelişmesine devam eder.

Bitkinin yukarıdaki gibi düşük sıcaklığa maruz kalması tarımsal meteorolojide vernalizasyon olarak adlandırılır. Vernalizasyon, bitkinin vejetatif aşamadan generatif aşamaya geçebilmesi için özellikle kışlık bitkiler için önem arz eder.

Kışlık buğday bitkisinin gelişimi için optimum sıcaklıklar 0 °C ile 8 °C arasında değişmektedir. Bu sıcaklık aralığı iklime ve buğdayın tipine göre değişiklik göstermektedir. Bazı araştırmacılara göre, buğday bitkisinin gelişimi süresince 3 °C ile 5 °C üzerindeki sıcaklıkların bitki gelişimini arttırıcı sıcaklıklar olduğunu dikkate alınırsa, bu sıcaklıkların bitki için önemi daha da iyi anlaşılır. Şekil 4.1'den ve 4.2'den de görüldüğü gibi hava sıcaklığı özellikle 98-99 ölçüm döneminin kısa bir bölümünde 97-98 dönemine göre yüksek olmasına rağmen, özellikle ilkbahar aylarına girilmesi ile birlikte ikinci ölçüm periyodunda ilk periyoda göre dikkate değer bir artış meydana gelmiştir. Mayıs ayı ortalarından itibaren her iki dönemdeki hava sıcaklıkları arasındaki farklılık son derece azdır.

Bitki gelişiminde sıcaklığın etkisini belirlemek amacıyla kullanılan yöntemlerden biri de Büyüme-Derece-Gün (BDG) yöntemidir. Bu yöntemin kullanılmasında farklı yaklaşımlar olmasına karşın yöntemin esası, ortalama hava sıcaklığının bitkinin gelişmeye başlaması için gerekli bir taban sıcaklıktan olan farklarının toplanmasıdır. Buğdayın büyüme derece gün değerinin hesaplanmasında 5 °C temel sıcaklık olarak alındığında ilk dönemde ekilen Attila çeşidinin ekiminden hasad olgunluğuna erişebilmesi için 1481 Büyüme-Derece-Gün'e ihtiyacı olduğu hesaplanmıştır. İkinci periyotta ekilen Pehlivan çeşidinin hasad aşamasına gelebilmesi için ise 1405 büyüme-derece-günün gerekli olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada buğday bitkisinin meteorolojik faktörlere bağlı olarak gelişiminin nasıl değiştiği ekim, çimlenme, çıkış, kardeşlenme, sapa kalkma, başak oluşumu, çiçeklenme, danede süt oluşumu ve hasat olgunluğu tarihlerinin arazide gözlenmesi ile saptanmıştır. Zira bitkinin ekiminden hasadına kadar olan dönemde bu fenolojik aşamalara gelmesini etkileyen en önemli faktör sıcaklıktır.

98-99 periyodunda hava sıcaklığı, bitkinin kardeşlenme aşamasından itibaren (9.11.1999), sapa kalma aşamasının başladığı 5.4.1999 tarihine kadar nadiren 10 °C'nin üzerinde ölçülmüştür. Hava sıcaklığının artması ile birlikte, sapa kalkma fenolojik aşaması ile bitki gelişimine devam etmiştir. Bu fenolojik dönemden itibaren hava sıcaklığı hasad aşamasına kadar giderek artmıştır. 98-99 döneminde bitkinin ekimden kardeşlenme aşamasına (9.11.1998) gelebilmesi için 255 BDG gerekmiştir. Aynı dönemde düşen toplam yağış miktarı ise 135 mm'dir.

Bitkinin ekimden sapa kalkma aşamasına (5.04.99) ulaşabilmesi için gereken toplam BDG değeri ise 484'tür ve bu aşamaya ulaşmaya kadar bitki oldukça fazla toplam yağış (527 mm) etkisi altında kalmıştır. Sapa kalkma fenolojik aşamasından başaklanma aşamasına (28.04.99) gelebilmesi ise, aynı dönemde bitkinin daha toplam yaklaşık 200 BDG'ye ulaşması ile mümkün olmuştur. Bitkinin başaklanma fenolojik aşamasından çiçeklenme aşamasına (8.05.99) ulaşabilmesi için ise 100 BDG gerekmiştir. Bitkinin çiçeklenme aşamasından danede süt oluşumu aşamasına (24.05.99) gelebilmesi, yaklaşık 50 mm yağış ve 190 BDG değeri ile mümkün olmuştur. Danede süt oluşumu fenolojik aşamasından hasad aşamasına (21.06.99) ulaşılması ise, 422 BDG değeri ile gerçekleşmiştir (Tablo 4.1).

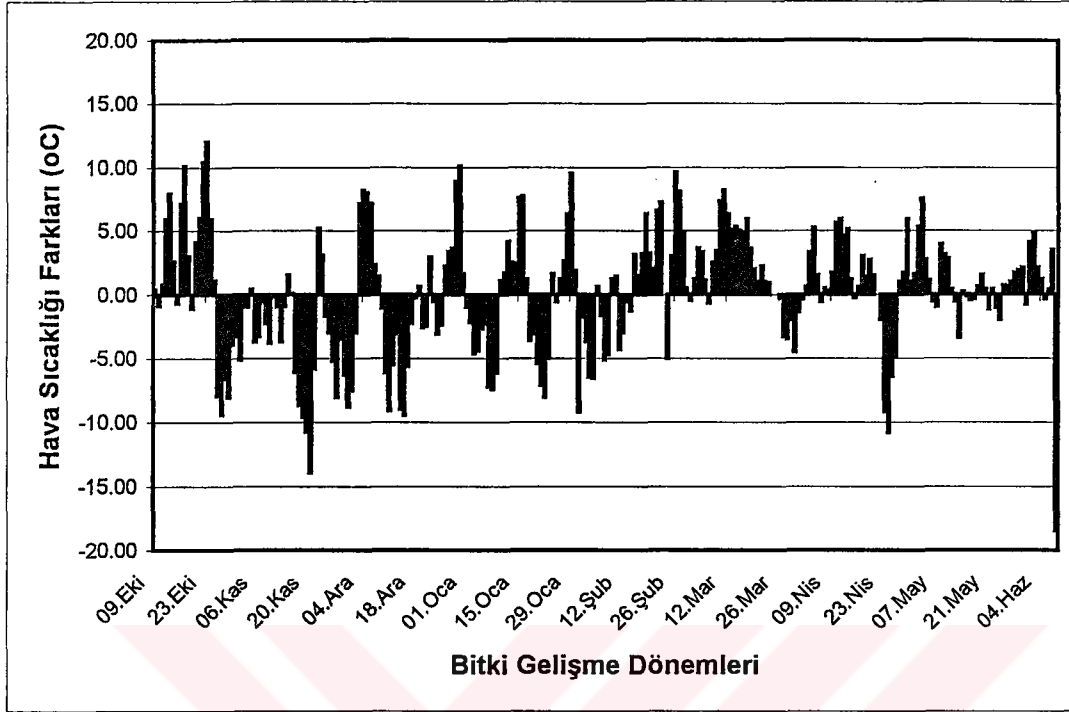
97-98 periyodunda minimum sıcaklık -9.8 °C olurken bu değer 98-99 periyodunda -9.6 °C'ye kadar düşmüştür. Aynı şekilde 97-98 ve 98-99 periyodlarında maksimum sıcaklıklar sırasıyla 36.1 °C ve 32.1 °C olarak gerçekleşmiştir. Kışlık buğdayın ekimden kısa bir süre sonra düşük sıcaklıklara maruz kalması yani vernalizasyon geçirmesi son derece önemlidir. Bitki 0 °C ile 5 °C derece arasında toplam 122 derece-gün'e maruz kalmıştır ve bu değer buğdayın vernalizasyonu için bir ölçü teşkil etmektedir. Aşağıdaki Tablo 4.1'de, 98-99 dönemi için buğdayın fenolojik aşamalara bağlı olarak değişen büyüme-derece-gün miktarları verilmiştir.

Tablo 4.1. 98-99 Periyodunda Fenolojik Aşamalar ve Meteorolojik Faktörler.

Fenolojik Aşamalar	Büyüme-Derece-Gün (°C)	Toplam Yağış (mm)	Toplam Radyasyon (MJ/m ² gün)
Ekim	0	0	0
Çimlenme	65	0	31.2
Çıkış	94	79.8	47.7
Kardeşlenme	255	135	145.8
Sapa kalkma	484	527	659.2
Başak oluşumu	680	547	881.4
Çiçeklenme	783	557	983.4
Dane süt oluşumu	973	610	1156.4
Hasad	1405	675	1490.8

Buğday bitkisinin 0 °C'nin altında geçirdiği derece-gün değeri ise ilk dönem 33, ikinci dönem 35.5 olarak hesaplanmıştır. Her iki buğday çeşidinin aralarında bu bakımdan büyük bir farklılık bulunmamaktadır.

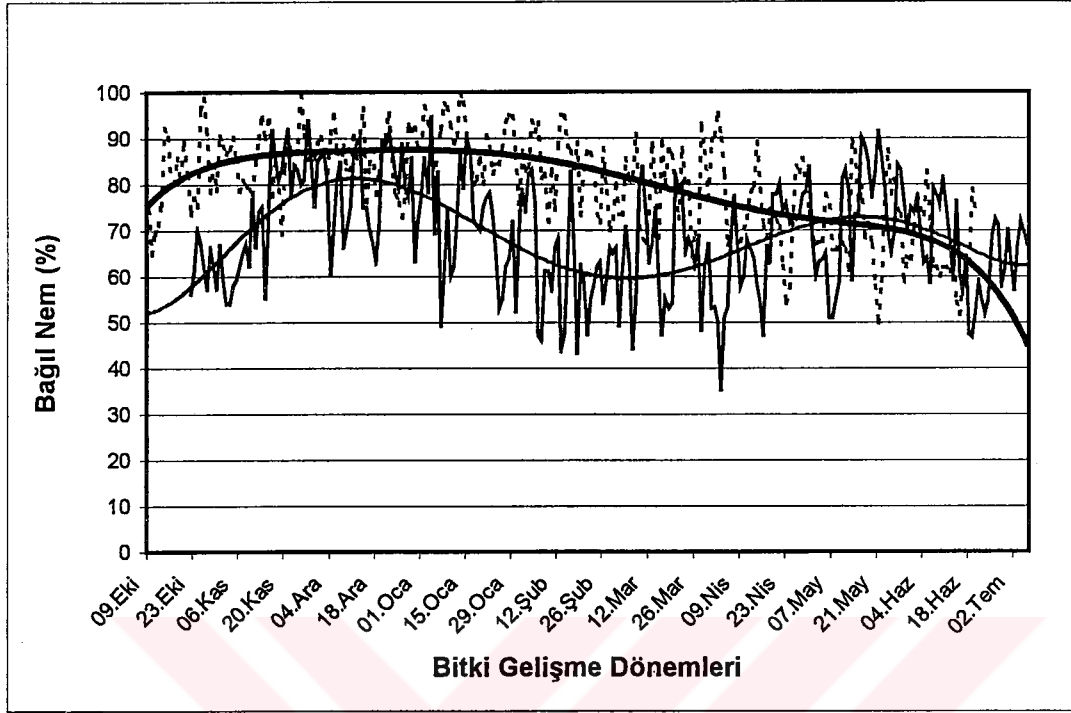
Aşağıdaki Şekil 4.2'de, hava sıcaklığı farklarının her iki ölçüm dönemi boyunca değişimi (2. Dönem-1. Dönem) görülmektedir. 98-99 dönemi özellikle Şubat ayının üçüncü haftasından itibaren genel olarak bir önceki dönemden yüksek ortalama sıcaklıklara sahip olmuştur. 98-99 dönemindeki nispeten yüksek ortalama sıcaklıklar, bitkinin ekim tarihinin de bir önceki dönemdekinden öne alınması ile sonuçlanmıştır. Bu durum hasad aşamasına erken ulaşılmasını da sağlamıştır.



Şekil 4.2. 97-98 ve 98-99 Bitki Gelişme Dönemlerinde Hava Sıcaklıkları Farkının Değişimi.

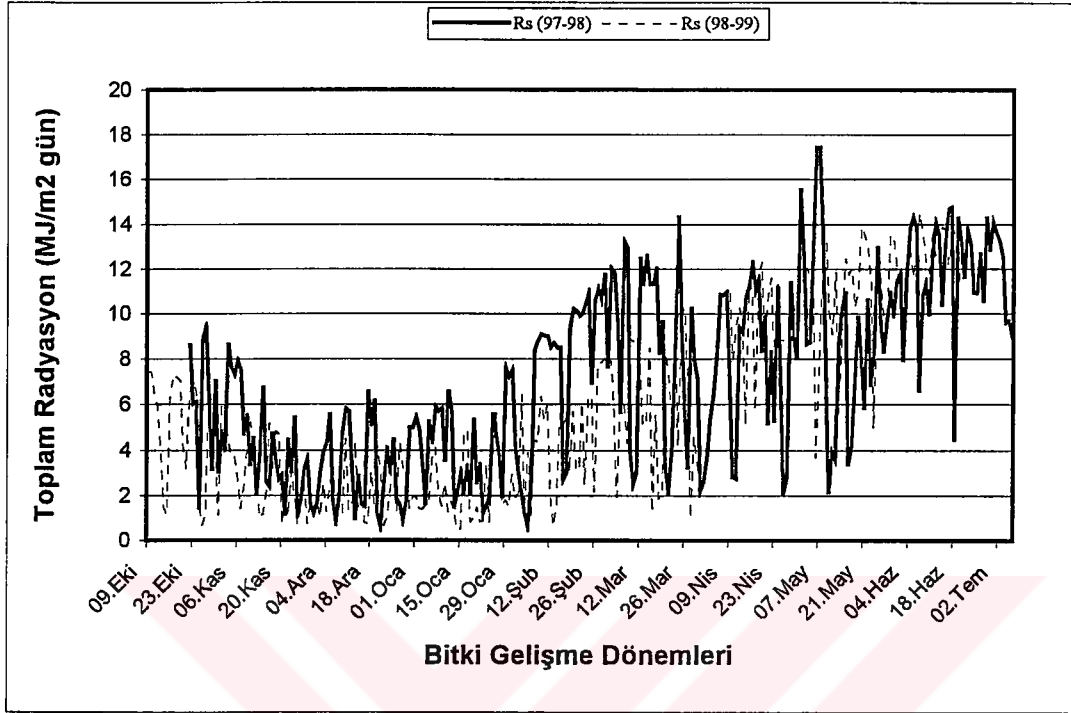
Her iki ölçüm döneminde bitki gelişimi üzerinde ve özellikle buharlaşmada son derece önemli rol oynayan bağıl nemin değişimi değerlendirildiğinde, ilk dönemde bağıl nemin ikinci ölçüm dönemine göre % 14 daha az olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.3). Mayıs ayı ortalarından itibaren her iki periyodda ölçülen bağıl nem değerleri arasında büyük farklılıklar bulunmamaktadır. Şekil 4.3'te ince sürekli çizgi ile gösterilen eğri 97-98 periyodundaki bağıl nem değişimini göstermekte, kalın koyu çizgi ile gösterilen eğri ise bu parametrenin 98-99 periyodundaki değişimine karşılık gelmektedir.

İlk dönemde minimum bağıl nem % 35 değerine kadar düşerken, ikinci ölçüm döneminde minimum bağıl nem % 49.7'den aşağıya düşmemiştir. Bu durumda 98-99 döneminin daha rutubetli bir yıl olduğu anlaşılmaktadır. Analize tabi tutulan iki ölçüm dönemi boyunca bağıl nemin aldığı değerler, aşağıdaki Şekil 4.3'te verilmiştir.



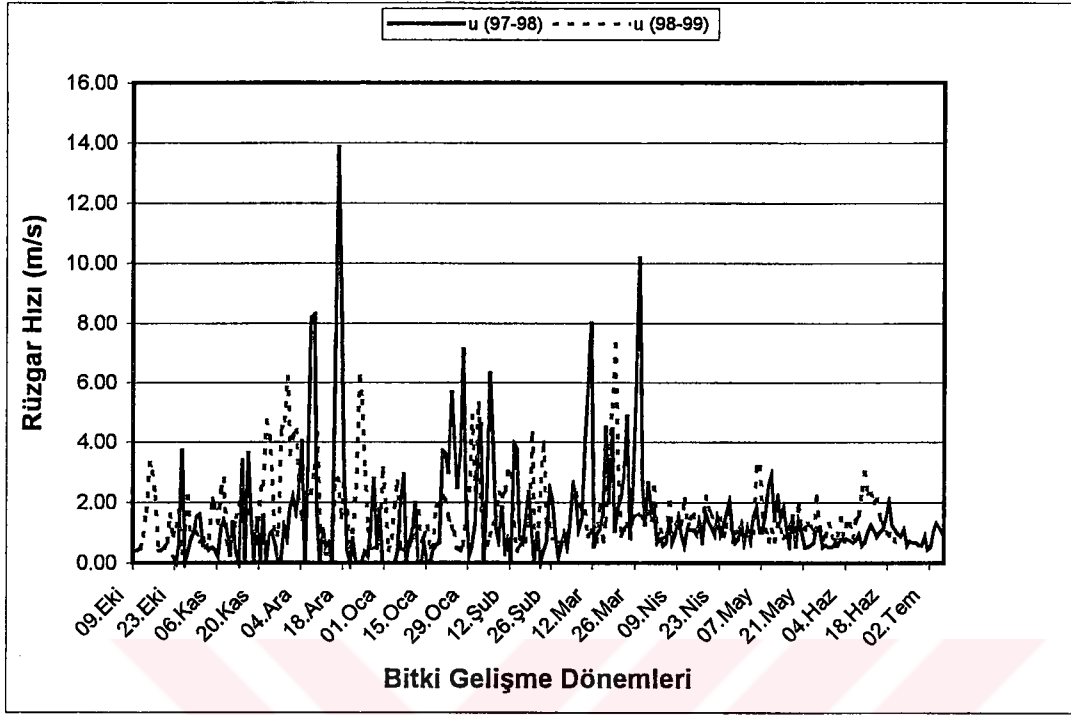
Şekil 4.3. 97-98 ve 98-99 Bitki Gelişme Dönemlerinde Bağıl Nemin Değişimi.

Radyasyon, bitki gelişimini kontrol eden en önemli meteorolojik faktörlerden biridir. Diğer meteorolojik faktörleri de kontrol eden radyasyon miktarı (dolayısıyla güneşlenme), bitki gelişimine yön veren fotosentez ile buharlaşma, tarım ve orman meteorolojisinde son derece önemli olan faktörlerdir. İki dönem güneş radyasyonu açısından karşılaştırıldığında, ilk dönem ortalama toplam radyasyonunun $7.1 \text{ MJ/m}^2\text{gün}$, ikincisinin ise $5.85 \text{ MJ/m}^2\text{gün}$ olduğu görülmüştür. Buğdayın ekimden hasada gelinceye kadar gerekli olan toplam radyasyon miktarı ise 97-98 periyodunda $1831.7 \text{ MJ/m}^2\text{gün}$ 'dür. Buna karşılık 98-99 döneminde toplam radyasyonun $1490 \text{ MJ/m}^2\text{gün}$ olduğu belirlenmiştir. Böylece 97-98 periyodunda ekilen buğday tipinin, 98-99 periyodunda ekilen buğday tipinden $340.9 \text{ MJ/m}^2\text{gün}$ daha fazla bir toplam radyasyona maruz kaldığı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.4. 97-98 ve 98-99 Bitki Gelişme Dönemlerinde Toplam Radyasyonun Değişimi.

Özellikle buharlaşmaya etkide bulunan bir meteorolojik faktör olan rüzgar hızının her iki dönemdeki değişimleri incelendiğinde, ilk dönemdeki ortalama rüzgar hızı (1.53 m/s) ile ikinci dönemdeki rüzgar hızı (1.62 m/s) arasında önemli bir fark bulunmadığı görülmüştür. Bitki örtüsü üzerindeki hava kütlesinin hareketini sağlayan rüzgar, buharlaşmayı etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu nedenle bitki-iklim modellerinde buharlaşma hesaplamalarında rüzgar faktörü yer almaktadır. Bu çalışmada ikinci dönemde ölçülen rüzgar hızı şiddeti, ilk dönemkine göre daha yüksektir. İlk dönemde maksimum rüzgar hızı 13.93 m/s olurken, ikinci dönemde ise 7.30 m/s olmuştur (Şekil 4.5). Buğday bitkisinin sapa kalkması ile birlikte, yüzeydeki pürüzlülüğün artması ve yaz mevsimine girilmesi sonucunda günlük ortalama rüzgar hızı şiddeti nadiren 2 m/s'yi aşmıştır. Bu dönemin öncesinde 2 m/s şiddetinin çoğunlukla aşıldığı, rüzgarlı bir periyod geçirilmiştir.



Şekil 4.5. 97-98 ve 98-99 Bitki Gelişme Dönemlerinde Rüzgar Hızının Zaman Serisi.

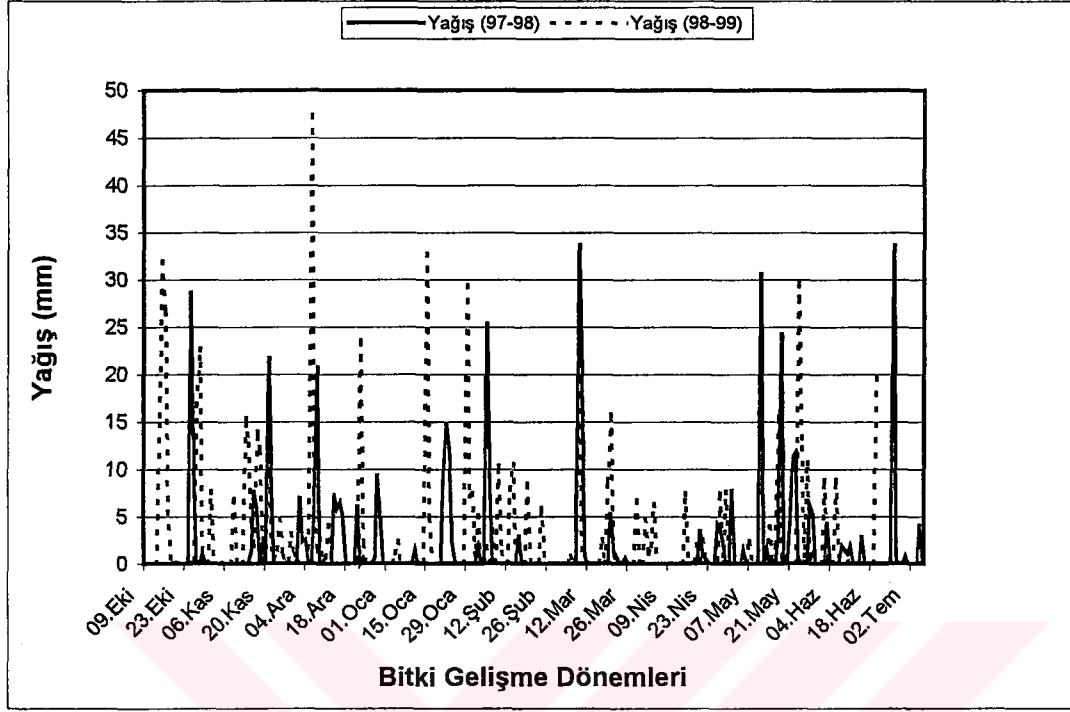
Bitki gelişiminde en önemli rolü oynayan suyun doğal kaynağı olan yağış, bir bitki türünün herhangi bir yerde yetişip yetişemeyeceğine miktar ve dağılım bakımından belirleyici olarak etkiyen son derece önemli bir girdidir. Bu meteorolojik faktörün tüm bitkisel ürün potansiyeli üzerinde belirleyici rolünün bulunması, ülkemiz genelinde yağışların bitki gelişme dönemlerinde yeterli miktarda düşmemesi nedeniyle önemlidir.

Yağış özelliklerine bakıldığında, ilk gelişme döneminde yağışların toplamının 494 mm'ye ulaştığı, ikinci ölçüm döneminde ise ilk döneme göre % 36 daha fazla yağış meydana geldiği (675 mm) belirlenmiştir (Tablo 4.2). İlk dönem ortalama yağış 1.91 mm/gün'den, ikinci dönemde bu değer 2.65 mm/gün'e kadar çıkmıştır. İkinci dönemde meydana gelen yağış deneme yerinin uzun yıllık ortalama değerlerinin üzerindedir (Şekil 4.6).

Günlük maksimum toplam yağış ilk dönemde 33.8 mm ve ikinci dönemde 47.4 mm olarak gerçekleşmiştir. 98-99 döneminde kardeşlenme fenolojik aşamasına

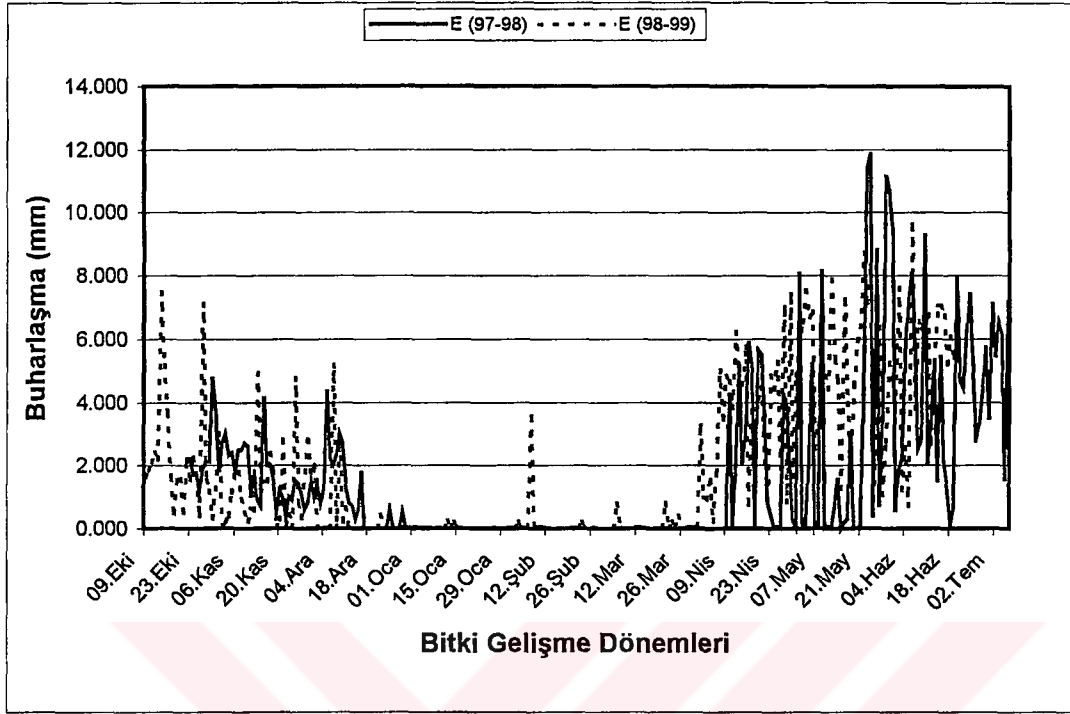
gelineye kadar buğday bitkisi yetiştirilen alana toplam 135 mm yağış düşmüştür. Kardeşlenme aşamasından sapa kalkma aşamasına gelinceye kadar toplam 391.6 mm, sapa kalkma aşamasından başaklanma fenolojik aşamasına kadar 20.6 mm, bu aşamadan çiçeklenme aşamasına gelinceye kadar 10.2 mm, çiçeklenmeden dane süt oluşumu aşamasına gelinceye kadar ise 52.4 mm ve buradan hasad aşamasına gelinceye kadar ise 66 mm yağış düşmüştür (Tablo 4.1). 98-99 periyodunda düşen toplam yağışın % 72'si (527 mm) vejetasyon periyodunun ilk 178 gününde meydana gelmiştir. Yağışların geriye kalan % 28'i ise son 77 günde toprağa düşmüştür.

Bitki gelişimi sırasında meydana gelen transpirasyonun ve evaporasyonun bileşimi olan evapotranspirasyon, gelişimin önemli bir göstergesidir. Bitki gelişimi ile ilgili olarak yapılan birçok araştırmada bitkinin gelişme aşamalarının tespitinde transpirasyon baz alınmaktadır. Bu çalışmada her iki ölçüm döneminde de bir A-sınıfı buharlaşma havuzundan lan buharlaşma düzenli olarak kaydedilmiştir. Bilhassa 1997-1998 döneminin kış periyodunda buharlaşma ölçümleri yapılmadığından, bu zaman aralığındaki buharlaşma değerleri kullanılamamıştır. İlk dönemde meydana gelen toplam buharlaşma 415 mm'dir. Ortalama buharlaşma ise 1.61 mm/gün'dür. Aynı dönemde maksimum buharlaşma 11.83 mm/gün'e kadar ulaşmıştır. İkinci ölçüm döneminde toplam buharlaşma 480 mm'ye, ortalama buharlaşma 1.88 mm/gün'e çıkmıştır. Bu son ölçüm döneminde maksimum buharlaşma 9.64 mm/gün değerine kadar yükselmiştir (Şekil 4.7). Buhar basınç farklarına ait bir grafik de ayrıca verilmiştir (Şekil 4.8).

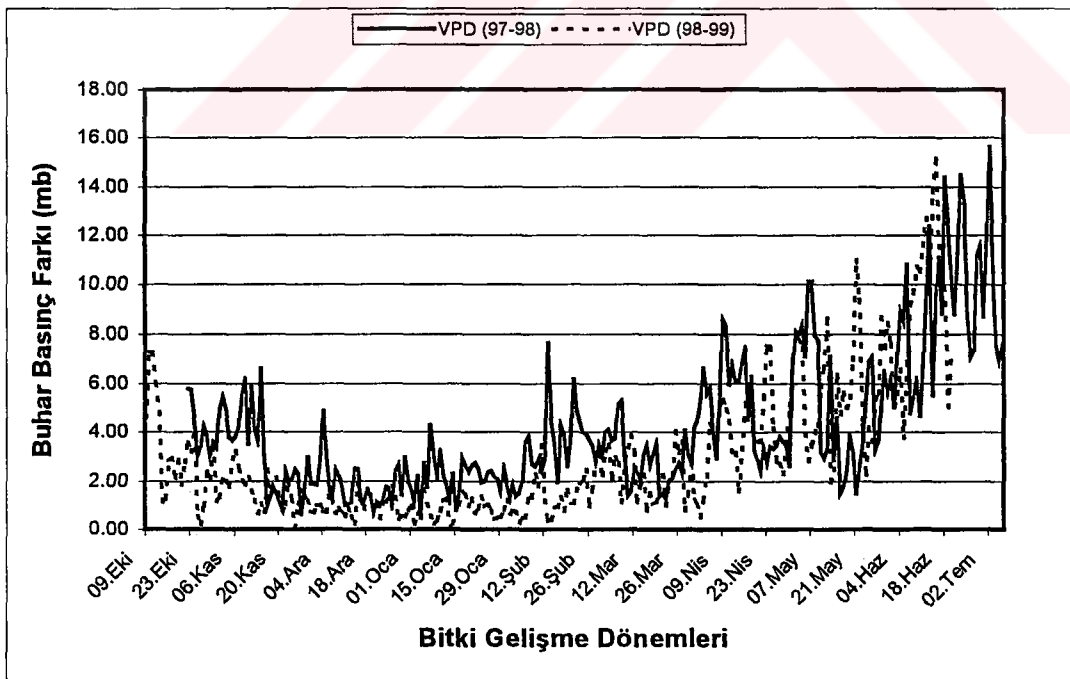


Şekil 4.6. 97-98 ve 98-99 Bitki Gelişme Dönemlerinde Yağışın Zaman Serisi.

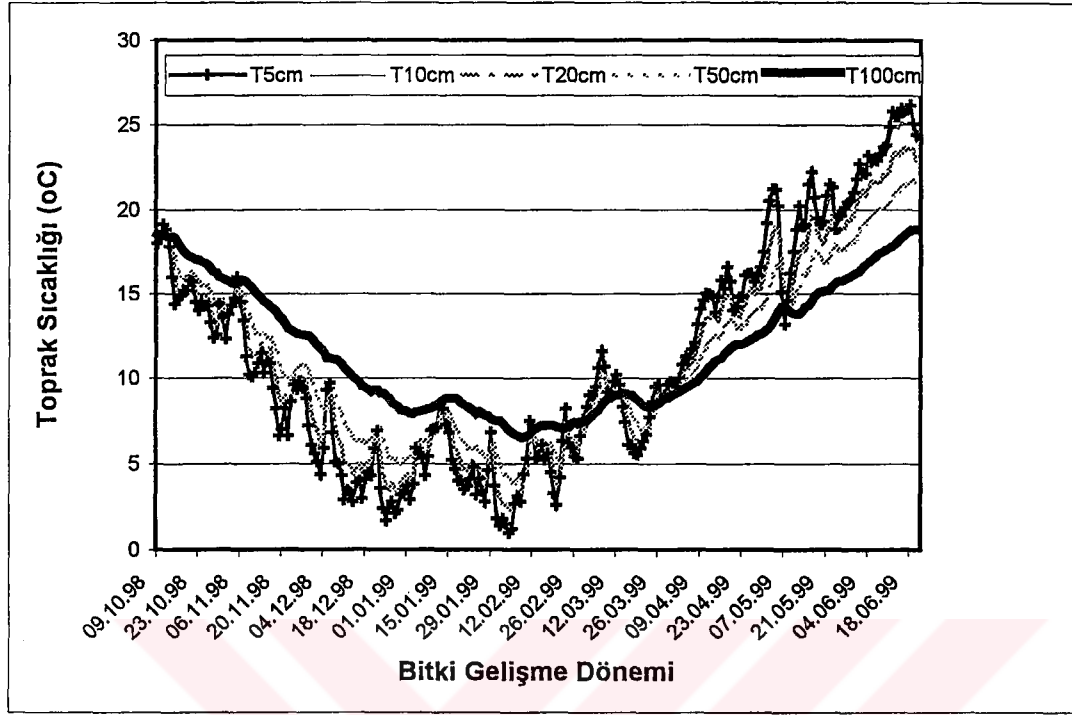
Farklı derinliklerde ölçülen toprak sıcaklık verilerine bakıldığında en yüzeyden derine doğru gidildikçe, ölçülen toprak sıcaklıkları ortalamaları 11.15 °C'den 11.7 °C'ye kadar değişmektedir. Toprak yüzeyinde ölçülen maksimum sıcaklık 26.2 °C'dir. En derin tabakanın maksimum sıcaklığı ise 18.8 °C olarak kaydedilmiştir (Şekil 4.9). Nisan ayının ilk haftasında toprak sıcaklığında meydana gelen önemli artış, buğday bitkisinin sapa kalkma aşamasına gelmesini ve böylece generatif aşamaya geçiş sinyallerinin verilmesini sağlamıştır. 5 cm toprak derinliğindeki ortalama sıcaklığın 8 °C'nin üzerinde olması, diğer derinliklerin ise 10 °C'nin üzerinde bir sıcaklığa ulaşması ile birlikte bitkide gelişme ivmelenerek devam etmiştir.



Şekil 4.7. 97-98 ve 98-99 Bitki Gelişme Dönemlerinde Buharlaşmanın Zaman Serisi.



Şekil 4.8. 97-98 ve 98-99 Bitki Gelişme Dönemlerinde Buhar Basınç Farkının Zaman Serisi.

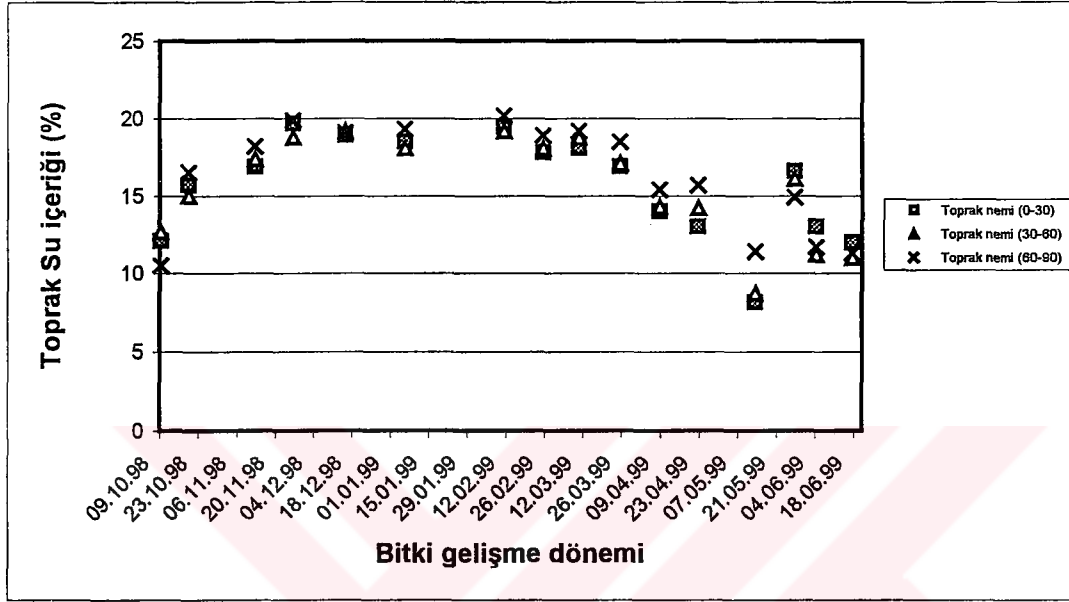


Şekil 4.9. 98-99 Bitki Gelişme Döneminde Farklı Derinliklerdeki Toprak Sıcaklıklarının Değişimi.

Tablo 4.2. Her İki Gelişme Döneminde Ölçülen Meteorolojik Değişkenlere Ait Bazı İstatistikler.

97-98 Periyodu	T _{ort} (°C)	RH (%)	u (m/s)	R _g (MJ/m ² /gün)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	VPD (mb)	Y (mm)	E (mm)
Ortalama	9.8	68.9	1.5	7.1	5.6	14.8	4.2	1.9	1.6
St. sap.	7.1	12.0	1.8	4.1	6.2	8.5	2.9	5.4	5.4
Maks.	27.4	95.0	13.9	17.4	18.9	36.1	15.7	33.8	11.8
Min.	-7.2	35.0	0.0	0.6	-9.8	-2.4	0.4	0.0	0.0
98-99									
Ortalama	9.4	80.1	1.6	5.8	5.2	15.6	3.0	2.6	1.9
St. sap.	7.0	10.5	1.2	4.1	6.6	8.9	2.8	6.5	2.5
Maks.	25.5	99.6	7.3	14.5	19.8	32.1	15.2	47.4	9.6
Min.	-5.4	49.7	0.3	0.5	-9.6	-1.9	0.0	0.0	0.0

98-99 gelişme döneminde toprak su içeriğinin değişimi de yapılan ölçümlerle ayrıca takip edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 4.10'da görüldüğü gibi, erken gelişme dönemlerinde nispeten yüksek olan tabaka su içeriği miktarları ilerleyen dönemlerde düşmektedir. Şekildeki değerler, kuru ağırlık yüzdesi cinsinden toprak su içeriklerini temsil etmektedir.



Şekil 4.10. 98-99 Gelişme Döneminde Ölçülen Toprak Su İçeriği Değerleri.

0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm tabakalarından sezon boyunca elde edilen ortalama miktarlar birbirine yakın olup, sırasıyla 15.68, 15.62 ve 16.29 değerlerine karşılık gelmektedir. Değerler hacim yüzdesi olarak su içeriği değerlerine çevrildiğinde 21.6, 21.7 ve 24.1 değerleri elde edilir. Bu değerler bitki gelişme dönemi boyunca ortalama toprak su içeriğinin tarla kapasitesine yakın olduğunu göstermektedir. Böylece 98-99 gelişme döneminde buğday bitkisinin genelde su stresi yaşamadığı ortaya çıkmaktadır.

4.2. Modellerin Uygulanması

Bitki-İklim Modellerinin en önemli avantajlarından biri, gerçekte uygulamanın zor olduğu ve zaman alan işlemlerin kısa zamanda ve ekonomik olarak yapılmasını sağlamasıdır. Bu çalışmada modellerde kullanılan tüm meteorolojik faktörlerin bitki gelişimine olan etkileri CERES-Wheat ve SIMWASER Modelleri kullanılarak incelenmiştir. Böylece farklı meteorolojik şartlar altında arazide ölçülen verilerin kullanılmasıyla ortaya çıkan değişik senaryolar karşılaştırmalı olarak bu iki model ile ortaya konmuştur. Burada dikkate alınan senaryolar, meteorolojik faktörlerde iklim değişimi gibi farklı nedenlerle meydana gelebilecek değişikliklerin bitki gelişimine nasıl etkide bulunacağını tespit edilmesinde kullanılmıştır. Bu nedenle hava sıcaklığı, toplam radyasyon ve yağış gibi meteorolojik faktörler ayrı ayrı ve birlikte bitki gelişimine yapabileceği etkiler ile ilgili senaryolar iki farklı modelde kullanılmıştır. Aşağıda sırasıyla bu meteorolojik faktörlerdeki değişimlerin buğday bitkisinin gelişimine ve verimine olası etkileri açıklanmıştır.

4.3. Sıcaklığın Bitki Gelişimine Etkileri

Sıcaklık bitki gelişiminde özellikle gelişme periyodunun uzaması ve kısalması açısından son derece önemli bir meteorolojik faktördür. Her bitkinin gelişiminin maksimum olduğu bir optimum sıcaklık değeri vardır. Bunun yanı sıra bitkilerin belirli bir sıcaklığın altında ve üstündeki değerlerde gelişmeleri ya olumsuz etkilenir ya da tamamen durur.

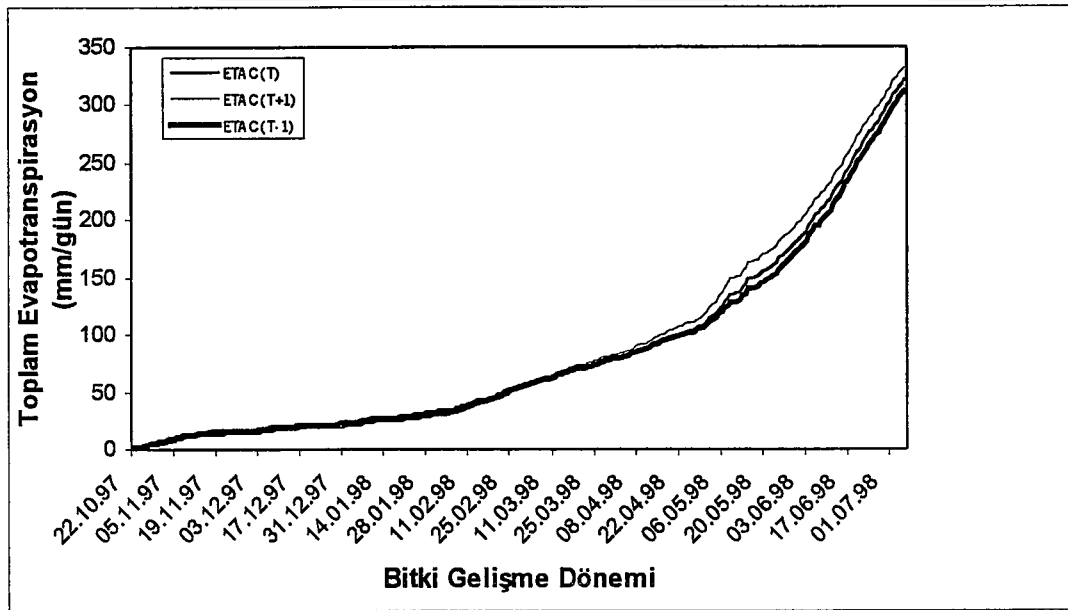
Tüm modellerde olduğu gibi Büyüme-Derece-Gün (BDG) değerinin hesaplanmasında kullanılan ana faktör olan sıcaklıktaki değişim, bitkinin gelişme dönemini doğrudan etkiler. Bu durum kendini bitkinin fenolojik dönemlerinin uzunluğundaki değişim ile gösterir. Bu çalışmada kullanılan SIMWASER Modeli'nde, sıcaklık değişkeni için dört önemli sınır dikkate alınmaktadır. Bunlar, bitkinin gelişme göstermeyeceği ancak zarar da görmeyeceği (don olayı gibi) bir düşük sıcaklık, bitkinin gelişmeye başlaması için gerekli bir temel sıcaklık, bitki gelişiminin maksimum olacağı ve sıcaklığın bitki için bir sınırlama oluşturmayacağı optimum sıcaklık ile bitki gelişiminin duracağı bir maksimum sıcaklıktır. Ortalama hava sıcaklığındaki bir değişim model tarafından bu dört kısıt altında ele alınır. CERES-Wheat Modelinde de bitki

gelişimi BDG değerinden yararlanılarak, yani maksimum ve minimum atmosferik sıcaklıklar dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Maksimum sıcaklığın üzerindeki ve minimum sıcaklığın altındaki sıcaklıklar bitki gelişiminin yavaşlamasına, hatta tamamen durmasına neden olmaktadır.

4.3.1. Sıcaklık Etkilerinin SIMWASER Modeli ile Analizi

4.3.1.1. 97-98 Ölçüm Dönemi

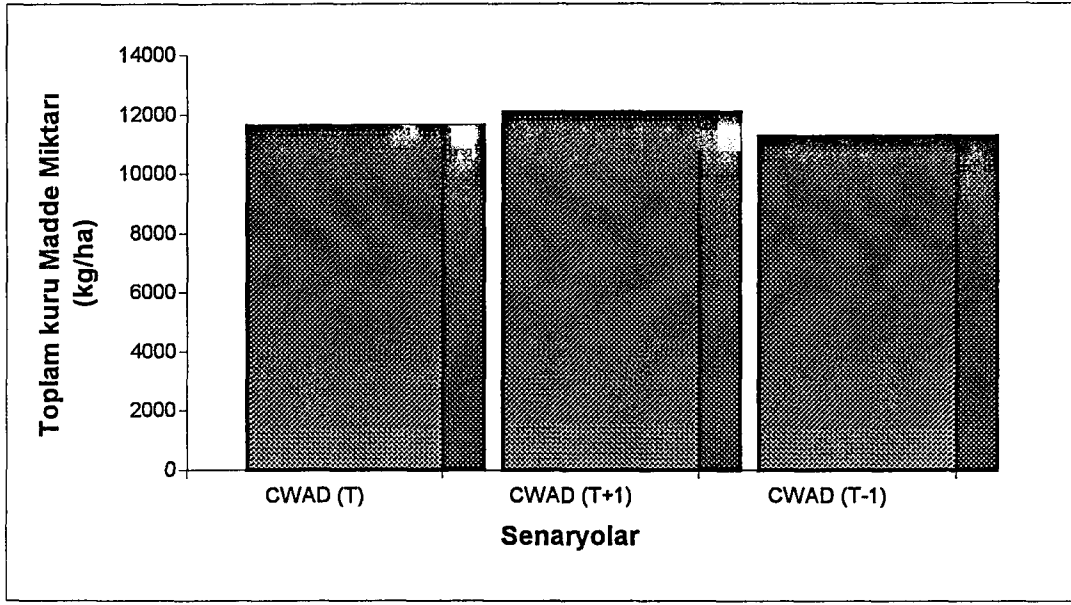
SIMWASER Modeli ile 97-98 ölçüm dönemi boyunca buğdayın sıcaklık artışlarına vereceği tepkiler sıcaklığın yapay olarak değiştirilmesi yoluyla incelenmiştir. Bu çalışmada sıcaklığın buğday bitkisinin gelişimine yapmış olduğu etki belirlenirken beş farklı sıcaklık senaryosu modelde kullanılmıştır. Bunlar ölçülen sıcaklık ve sıcaklığın 1 °C, 2 °C artırılması ile azaltılmasıdır. Sıcaklığın 1 °C artırılması durumunda bitki gelişme dönemi kısaltmakta, dolayısıyla daha erken bitki hasat olgunluğuna ulaşmaktadır. Aşağıdaki Şekil 4.11’de, hava sıcaklığında meydana gelebilecek 1 °C’lik artış ve azalışların, söz konusu bitkinin gelişme dönemi boyunca toplam evapotranspirasyon değerlerine yaptığı etkiler gösterilmiştir.



Şekil 4.11. SIMWASER Modeline Göre 1 °C’lik Sıcaklık Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.

Şekil 4.11'den de görüldüğü gibi, senaryolara ait eğriler gelişme dönemi boyunca birbirine oldukça yakın değerler göstermektedir. Sıcaklık artışı fenolojik aşamaların gerçekleşme tarihlerini erkenleştirici etki yapmasına karşın, üç senaryo için de yaklaşık olarak Mart ayı ortalarından itibaren eğrilerin birbirinden giderek bağımsız hareket etmeye başlaması söz konusudur. SIMWASER Modeli normal sezon için buğdayın hasad aşamasındaki toplam evapotranspirasyon değerini 321.2 mm olarak hesaplamış olup, bu değer ortalama 1 °C'lik bir sıcaklık artışı durumunda 333 mm, aynı miktardaki bir sıcaklık azalması durumunda ise 311.9 mm olarak öngörülmüştür. Bu durumda 1 °C'lik sıcaklık artışı, buğdayın 97-98 dönemi sonundaki toplam evapotranspirasyonunu % 4 oranında yükseltecek, sıcaklık azalışı ise yaklaşık % 3'lük bir toplam evapotranspirasyon azalması sonucunu doğuracaktır. 97-98 sezonunda A-sınıfı buharlaşma havuzundan ölçülen toplam buharlaşma değeri 415 mm'dir. Bu değer, açık su yüzeyinden meydana gelen buharlaşmayı temsil etmektedir. Söz konusu değer in kap katsayısı ile çarpılması sonucu elde edilen 290.5 mm değeri ise modelin toplam evapotranspirasyon için hesapladığından 30 mm daha azdır. Bu dönemde buğday için belirlenen gerçek toplam kuru madde miktarı 9920 kg/ha ve verim değeri 4000 kg/ha'dır.

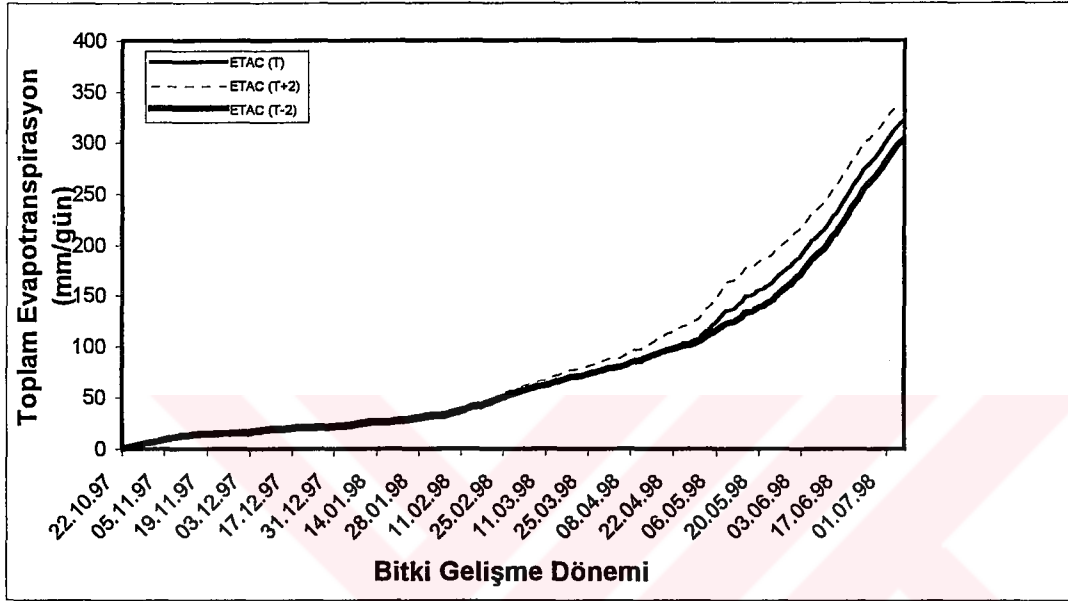
Aynı dönemde sıcaklıkta meydana gelmesi beklenen 1 °C'lik değişimin buğdayın gelişme dönemi boyuncaki toplam kuru madde miktarlarına yansımaları ise aşağıdaki Şekil 4.12'de verilmiştir. Bitkinin kuru madde miktarı, toprak üstü aksamın 70 °C sıcaklıkta 24 saat bekletildikten sonraki ağırlığını göstermektedir.



Şekil 4.12. SIMWASER Modeline Göre 1°C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.

Yukarıdaki şekil incelendiğinde, modelin buğdayın toplam evapotranspirasyonunda olduğu gibi toplam kuru madde miktarları için de sıcaklık artışına olumlu tepki vereceğini tahmin ettiği görülür. SIMWASER Modeli buğdayın sapa kalkma fenolojik aşamasına kadar (Nisan ayı başı) tüm senaryolar için dikkate değer kuru madde miktarı değerleri öngörmemekte ve 1 °C'lik sıcaklık artışı senaryosunun özellikle Nisan ayının ikinci yarısından hasad aşamasına kadarki dönemde dikkat çekici biçimde artan kuru madde miktarlarını göstermektedir. Modelin hesapladığı toplam kuru madde miktarı değeri 97-98 döneminde ölçülen sıcaklıklar için 11609 kg/ha olarak belirlenmiştir. Söz konusu değerin, hava sıcaklığının normalden ortalama 1 °C yüksek gerçekleşmesi durumunda 12048 kg/ha olacağı, 1 °C'lik bir günlük ortalama sıcaklık düşmesi durumunun ise bu değeri 11226 kg/ha seviyesine gerileteceği model tarafından tahmin edilmiştir. Bu veriler ışığında söz konusu sıcaklık artışının hasad aşamasındaki buğday kuru madde miktarını yaklaşık % 4 oranında arttıracak, sıcaklık azalışının ise % 3 civarında bir kuru madde azalışına neden olacağı ortaya çıkmıştır. Bu durum, özellikle bu ölçüm dönemindeki sıcaklıkların optimum büyüme-derece-gün (BDG) değerine ulaşmadığını göstermektedir. Sıcaklık artışıyla doğru orantılı olan toplam BDG değeri arttıkça verimin de artması, yukarıda belirtilen durumun geçerliliğini kanıtlamaktadır.

97-98 sezonu için gerçekleştirilen sıcaklık artış ve azalış simülasyonlarında 2 °C'lik değişimler uygulandığında, gerek toplam evapotranspirasyon için ve gerekse toplam kuru madde miktarları için daha çarpıcı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Aşağıdaki Şekil 4.13'te, buğdayın gerçekleşmesi beklenen 2 °C'lik sıcaklık artışlarına ve azalışlarına gösterdiği toplam evapotranspirasyon tepkileri görülmektedir.

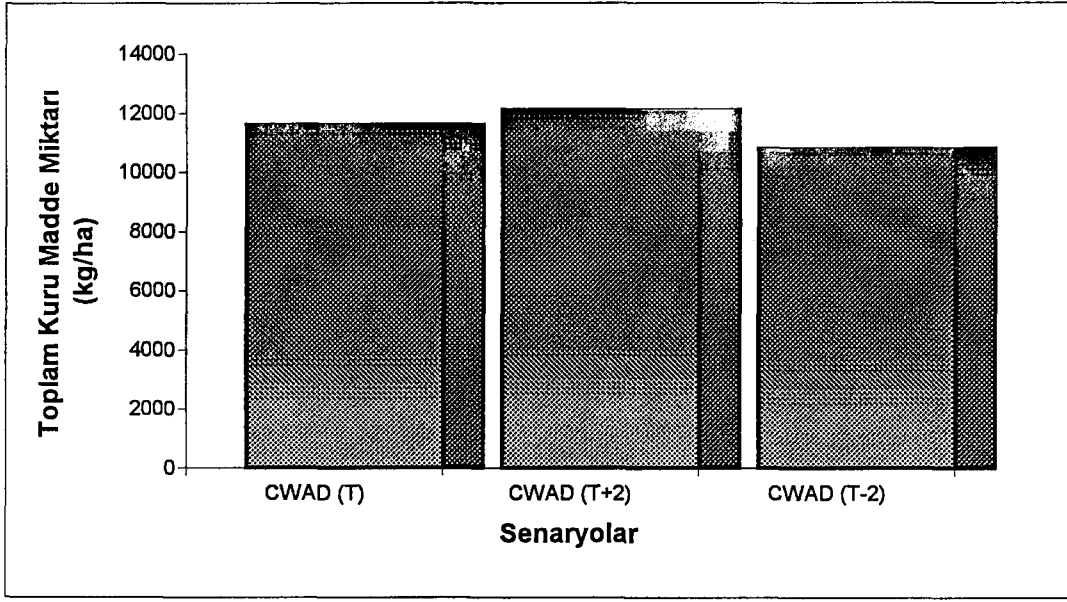


Şekil 4.13. SIMWASER Modeline Göre 2 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.

SIMWASER Modeli, hasad aşamasındaki buğdayın toplam evapotranspirasyon miktarı için 2 °C'lik sıcaklık artışı senaryosunda 334.1 mm değerini hesaplarken, bu değer aynı miktarda sıcaklık azalışı için 302.2 mm olarak öngörülmüştür. Bu değerlerin normal sezon evapotranspirasyon miktarına (321.2 mm) oransal olarak yansımaları ise sıcaklık artışı durumunun % 4'lük bir toplam evapotranspirasyon artışı sağlayacağını, sıcaklık azalmasının ise toplam evapotranspirasyon miktarında % 6.2 oranında bir düşmeyle sonuçlanacağını göstermektedir. Kolaylıkla görülebileceği gibi, SIMWASER Modeli tarafından uygulanan 1 °C'lik ve 2 °C'lik sıcaklık artışı senaryolarının toplam evapotranspirasyon miktarlarına yansımaları arasında pek az bir fark bulunmaktadır. Sıcaklık azalışlarına gösterilen tepkiler ise belirginliğini her iki sıcaklık azalış senaryosu için de arttırarak muhafaza etmektedir. Böylece 97-98 sezonunda ekilen buğday için

ortalama sıcaklıkta meydana gelmesi olası artışların belirli bir miktarından sonra toplam evapotranspirasyon değerlerinin etkilenmeyeceği, buna karşılık sıcaklık azalışlarına karşı bitkinin toplam evapotranspirasyon hassasiyetinin devam ettiği sonucuna varılmaktadır.

97-98 sezonunda ekilen buğdayın toplam kuru madde miktarı değerlerine 2 °C'lik sıcaklık senaryolarının uygulanması durumunda yine gelişme döneminin önemli bir kısmı boyunca söz konusu çıktı parametresine yönelik önemli gelişmelerin model tarafından kaydedilmediği görülür (Şekil 4.14). SIMWASER Modeli, dikkat çekici kuru madde miktarı artışlarını yine Nisan ayı başlarından itibaren vermekte ve buradaki senaryo eğrilerinin 1 °C artış ve azalış senaryolarınıninkilere nazaran birbirlerinden daha dikkat çekici şekilde bağımsızlaştıkları görülmektedir. Sıcaklık parametresinde söz konusu olan artış miktarının büyümesi bitki gelişimini ivmelendirmekte, böylece hem fenolojik aşamaların gerçekleşme zamanları erken tarihlerde olmakta, hem de bu aşamalar arasındaki zaman aralığı daralmaktadır. Hasad aşamasında normalde 11609 kg/ha'a karşılık gelen bir toplam kuru madde miktarı öngören SIMWASER Modeli, ortalama sıcaklıkta meydana gelebilecek 2 °C'lik bir artış için 12099 kg/ha'a karşılık gelen bir toplam kuru madde miktarı tahmini yaparken, bu değer aynı miktarda bir sıcaklık azalışı durumunda 10780 kg/ha olarak simule edilmektedir. Böylece 2 °C'lik sıcaklık artışının kuru madde miktarında % 4.2'lik bir artış sağlayacağı, sıcaklık azalması durumunda ise kuru madde miktarında % 7.6'ya varan bir düşüş gerçekleşeceği model tarafından hesaplanmıştır. Bu oranların, modelin 1 °C senaryo simülasyonları sonucunda elde edilen oranlarla karşılaştırılması sonucunda, buğdayın 97-98 sezonunda 1°C ila 2 °C değerleri arasındaki sıcaklık artışları durumunda önemli bir kuru madde artışı göstermediği, buna karşılık sıcaklık azalışlarına gösterdiği hassasiyeti ise koruduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.14. SIMWASER Modeline Göre 2 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.

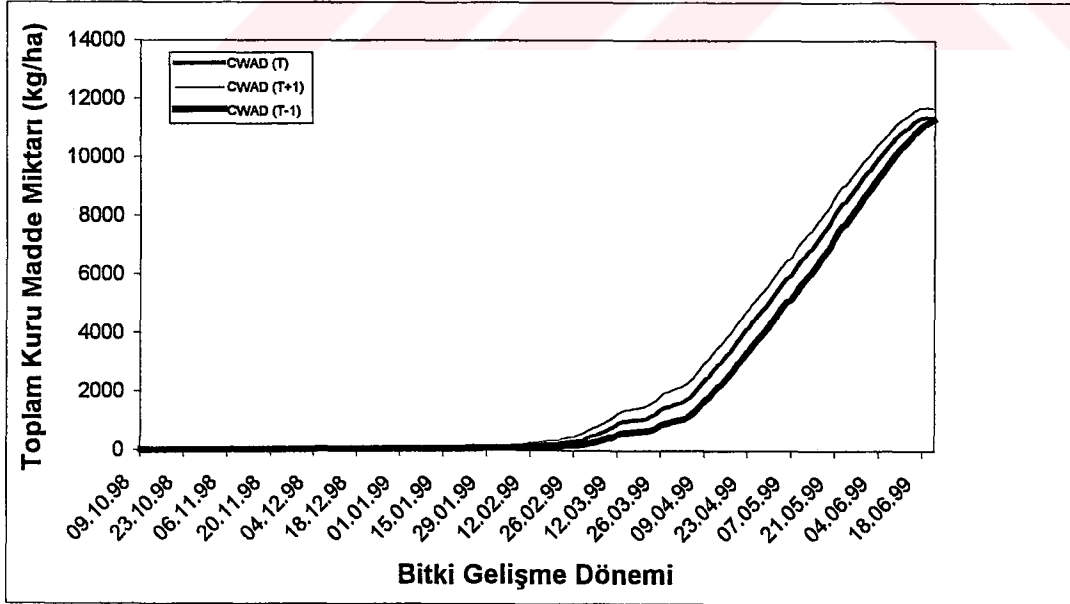
Yukarıdaki Şekil 4.14'ün incelenmesi sonucunda, bu dönemde sıcaklığın düşmesiyle birlikte bitki gelişme döneminin uzamasının, buğday verimini azaltıcı etki yapacağı sonucuna varılmıştır.

4.3.1.2. 98-99 Ölçüm Dönemi

SIMWASER Modeli vasıtasıyla gerçekleştirilen simülasyonlar, 98-99 döneminde de genel olarak sıcaklık artışlarının toplam evapotranspirasyon ve kuru madde miktarı değerlerini arttıracaklarını, sıcaklık azalmasının ise bunun tersinin söz konusu olacağını göstermektedir. Bu dönemde arzide ölçülen toplam kap buharlaşması 480 mm'dir. Bu miktar evapotranspirasyona dönüştürüldüğünde 326 mm değeri elde edilir. Böylece modelin ölçülen evapotranspirasyona yakın miktarları hesaplayabildiği ortaya çıkmaktadır. Bununla beraber SIMWASER, özellikle toplam evapotranspirasyon çıktısının hassas sonuçlar vermeyeceğini göstermektedir. Model bu dönemdeki toplam evapotranspirasyon değerlerini normal sezon için 318.3 mm hesaplamış olup, 1 °C'lik sıcaklık artışı ve azalışı senaryoları için de bu değere yakın değerler öngörmüştür. Hesaplanan değerlerin birbirine oldukça yakın olmasının yanı sıra, sıcaklık artışıyla doğal olarak artması beklenen evapotranspirasyon parametresinde

bir artış olmamıştır. Bu durumun en önemli sebebi, SIMWASER Modelinin buharlaşmaya yönelik hesaplamalarında Penman-Monteith Eşitliği'nin kullanılmasıdır. Söz konusu eşitlik, buharlaşma hesaplamalarında sıcaklıktan çok radyasyon, buhar basınç farkı ve toprak ısı akısı gibi parametreleri dikkate almaktadır. Ayrıca 97-98 döneminde hüküm süren ortalama sıcaklıkların, özellikle generatif gelişme döneminde bir sonraki döneme nazaran düşük olması da bu durumun sebepleri arasındadır.

98-99 dönemi sonunda araziden elde edilen gerçek toplam kuru madde miktarı 10920 kg/ha ve verim değeri 5240 kg/ha olmuştur. SIMWASER Modeli, 98-99 sezonuna ait sıcaklık simülasyonlarında bir önceki dönemde olduğu gibi yine gelişme döneminin önemli bir kısmı boyunca kuru madde miktarlarında önemli bir artma kaydetmemiştir. Bu durum, ilkbaharla birlikte ciddi anlamda yükselen sıcaklıkların kültür bitkilerinin gelişimi üzerine etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Bu sezonda da özellikle sapa kalkma ve başak oluşumu fenolojik aşamaları, buğdayın kuru madde miktarlarında ilk önemli artışların kaydedildiği dönemler olmuştur. Aşağıdaki Şekil 4.15'te, SIMWASER Modeli tarafından buğday bitkisinin 1 °C'lik sıcaklık değişim senaryolarına verdiği kuru madde miktarı tepkilerinin simülasyonları verilmiştir.

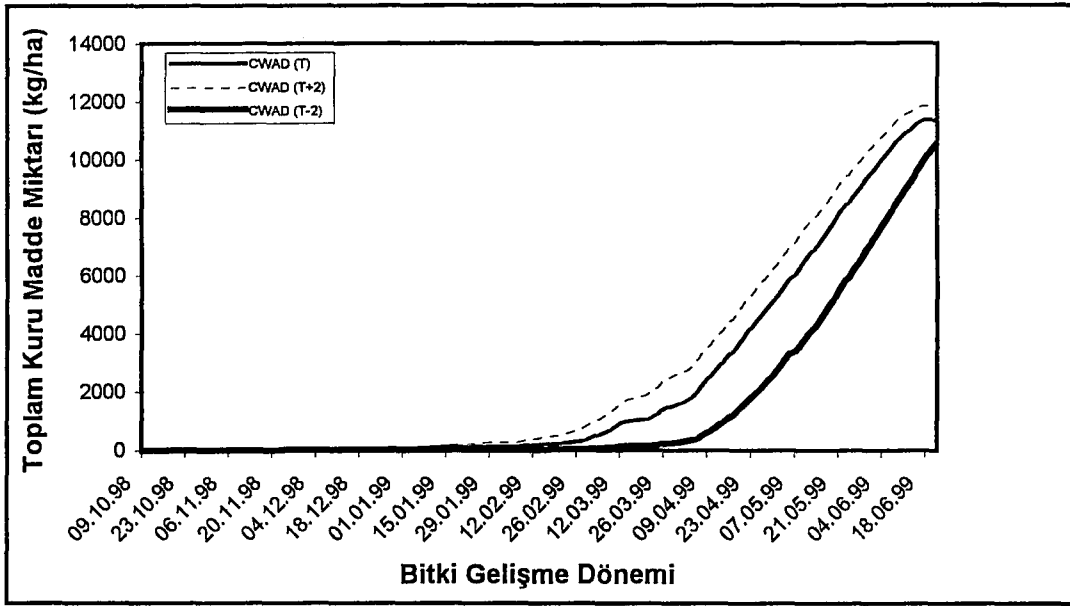


Şekil 4.15. SIMWASER Modeline Göre 1 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 98-99 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.

Model normal şartlarda buğdayın hasad aşamasındaki kuru madde miktarının 11346 kg/ha olarak gerçekleşeceğini öngörmektedir. Ortalama hava sıcaklığında 1 °C'lik bir artışın meydana gelmesi durumunda bu değer 11687 kg/ha olmakta, sıcaklıkta 1 °C'lik düşmenin söz konusu olması ise bu değeri 11265 kg/ha seviyesine çekmektedir. Bu değerler oransal olarak sırasıyla % 3'lük bir kuru madde artışı ve % 0.7'lik bir düşmeyi göstermektedir. Böylece 98-99 sezonunda bitkinin düşük sıcaklıklardan ziyade yüksek sıcaklık değerlerine karşı hassas olduğu SIMWASER Modeli tarafından ortaya konmuştur. 97-98 sezonunda bölgede buğdayın gelişimini tam olarak tamamlaması için gereken optimum sıcaklık değerlerine ulaşamadığı burada yeniden görülmektedir.

SIMWASER Modeli ile yapılan sıcaklık simülasyonlarında 2 °C'lik değişimlerin uygulanması durumunda, senaryoların ortaya koyduğu şartların ekstremliği doğal olarak artmaktadır. Bu senaryolara göre normal sezon için model tarafından 318.3 mm olarak hesaplanan toplam evapotranspirasyon değerinin 2 °C'lik sıcaklık artışı durumunda çok az bir artış gösterdiği, ortalama sıcaklığın 2 °C düşmesi durumunda ise 306.5 mm'lik bir değer söz konusu olacağı tahmin edilmiştir. Sıcaklık artışının 1 °C senaryosunda olduğu gibi toplam evapotranspirasyon değerinde yine önemli bir artış göstermemesi, sıcaklık artışının bitki gelişme aşamalarının süresini kısaltması ve dolayısıyla buğdayın gelişme sezonunun toplam süresinin kısılması ile açıklanabilir. Böylece daha sınırlı süreler için kaydedilen toplam evapotranspirasyon miktarları da doğal olarak düşük gerçekleşmektedir.

2 °C'lik sıcaklık artış ve azalışlarının buğdayın toplam kuru madde miktarı değerlerine yansımaları ise aşağıdaki Şekil 4.16'da verilmiştir. Burada da sıcaklık azaltılması senaryosunun artışına nazaran daha ekstrem değişimler arz ettiği görülmektedir. Böylece Pehlivan tipi buğdayın 98-99 dönemi boyunca düşük sıcaklıklara karşı gayet hassas olduğunun söylenmesi mümkün hale gelir.



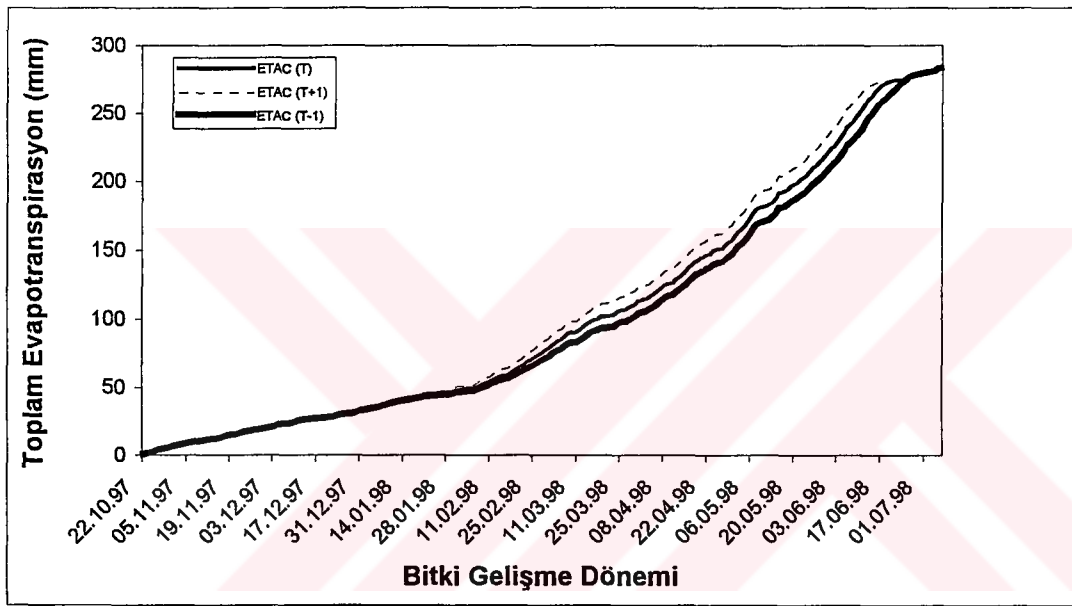
Şekil 4.16. SIMWASER Modeline Göre 2 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 98-99 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.

Model normal sezon sonunda buğdayın toplam kuru madde miktarı için 11346 kg/ha değerini hesaplamıştır. Bu değer, sıcaklığın 2 °C artması durumunda 11791 kg/ha'a yükselmekte, sıcaklıkların sezon boyunca aynı miktarda düşüş göstermesi durumunda ise hasad aşamasındaki toplam kuru madde miktarı için 10500 kg/ha değeri söz konusu olmaktadır. Böylece ortalama hava sıcaklığının 98-99 sezonununkinden 2 °C yüksek seyretmesi durumunda kuru madde miktarında % 3.9'luk bir artışın meydana geleceği, tersi senaryonun gerçekleşmesi durumunda ise % 8'e varan bir azalmanın söz konusu olacağı ortaya çıkmaktadır. Aynı miktarda sıcaklık artışı ve azalışı senaryolarının uygulanmasına rağmen, sıcaklık azalması durumunda kuru madde miktarında meydana gelen düşüş, artış durumunun sağladığı yükselişin iki katından fazla olmaktadır. Bu durumda buğdayın ilgili dönemde düşük sıcaklıklara karşı oldukça büyük hassasiyet gösterdiği ortaya çıkmaktadır. Dikkat çekici olan en önemli nokta ise, 1 °C senaryolarında yüksek sıcaklığa hassasiyet gösteren buğdayın, 2 °C senaryolarında düşük sıcaklıklara hassasiyet göstermesidir.

4.3.2. Sıcaklık Etkilerinin DSSAT (CERES-Wheat) Modeli İle Analizi

4.3.2.1. 97-98 Ölçüm Dönemi

DSSATv3.5 içinde yer alan buğday simulasyon modeli CERES-Wheat'in sıcaklıkta gerçekleşebilecek ortalama 1 °C'lik değişimler için verdiği sonuçlar aşağıdaki Şekil 4.17'de görülmektedir.

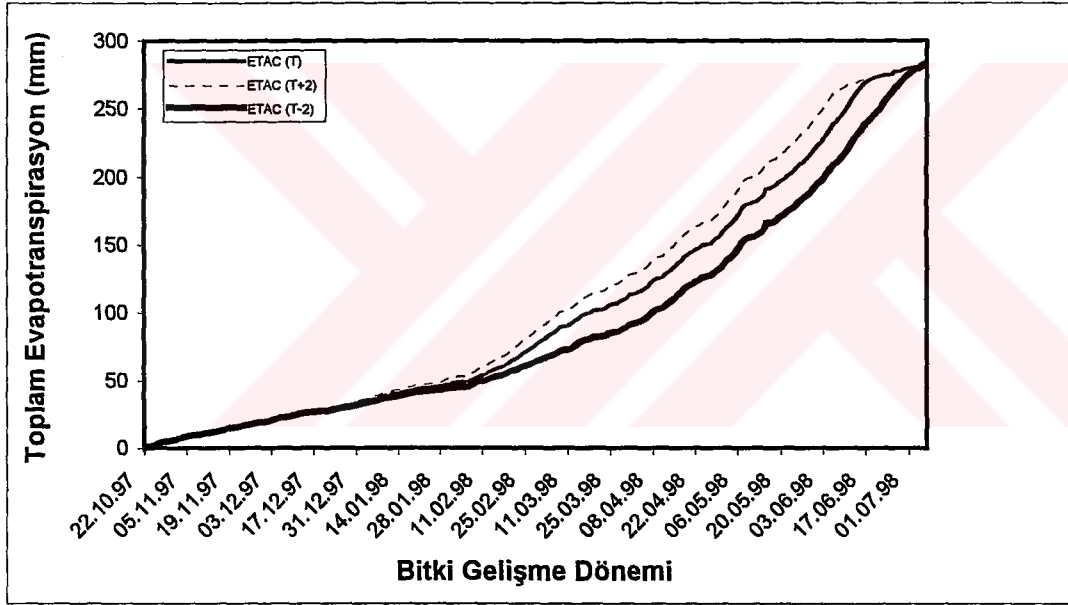


Şekil 4.17. CERES-Wheat Modeline Göre 1 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.

CERES-Wheat Modeli normal sezon için 283.8 mm'ye karşılık gelen bir toplam evapotranspirasyon değeri hesaplamıştır. Bu da gerçekte ölçülen evapotranspirasyon değeri olan 280.5 mm'ye oldukça yakın bir değerdir. Hesaplamalarda Penman Eşitliği kullanılmıştır. Sıcaklığın 1 °C artması durumunda ise bu değer 285.2 mm olarak gerçekleşmektedir. 1 °C'lik bir sıcaklık azaltılması durumunda ise toplam evapotranspirasyon için 283.5 mm değeri söz konusu olmaktadır. Sıcaklık artışına ve azalışına rağmen toplam evapotranspirasyonun hemen hemen sabit kalması, vejetasyon periyodundaki değişimlere rağmen evapotranspirasyonun normale yakın gerçekleştiğini göstermektedir.

% 8.8'lik bir artışı ve % 7.8'lik bir azalışı temsil etmektedir. Modelde buharlaşma hesabında kullanılan yöntemlerden enerji dengesi yönteminin dikkate alınması durumunda ise normal verim 4043 kg/ha ve sıcaklığın 1 °C artması senaryosuna ait verim 4084 kg/ha olurken, 1 °C'lik sıcaklık azalışı senaryosu verimi ise 4024 kg/ha olmaktadır. Aynı dönemde araziden elde edilen gerçek verim değeri 4000 kg/ha olmuştur.

Sıcaklık değişim sınırlarının 2 °C'ye yükseltilmesi durumunda CERES-Wheat simülasyonlarına ait eğrilerin birbirlerinden daha bağımsız hareket etmeye başladıkları, bununla beraber hakim trendlerin her durumda hemen hemen muhafaza edildiği aşağıdaki Şekil 4.19'da görülmektedir.

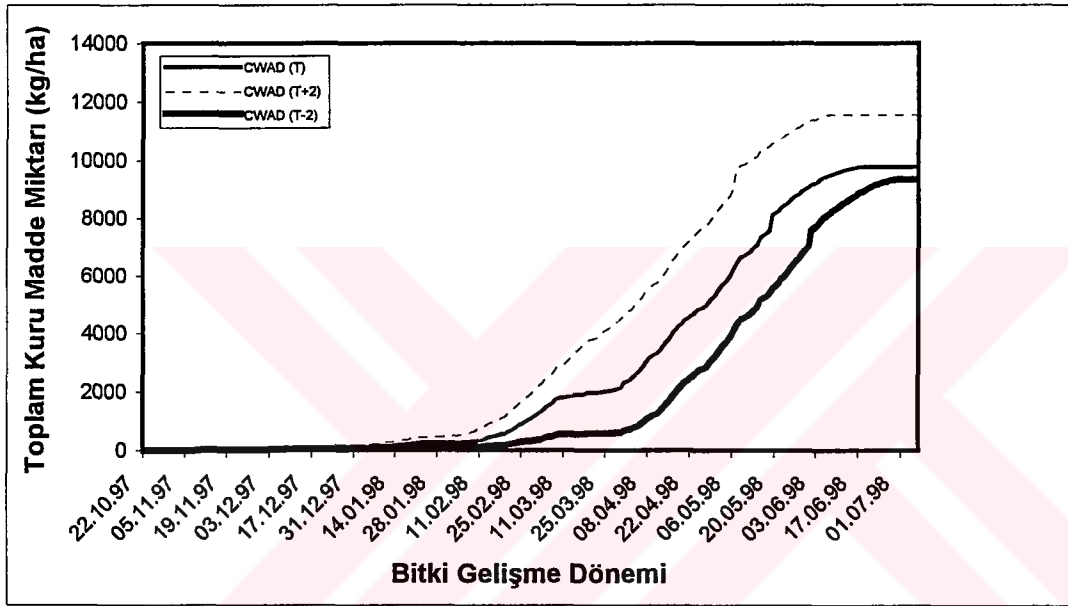


Şekil 4.19. CERES-Wheat Modeline Göre 2 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.

Şekilde dikkat çekici olan en önemli nokta, sıcaklık azalması senaryosuna ait eğri eğiminin ötekilere kıyasla dikkat çekici biçimde az olmasına karşın sezon sonunda ortaya çıkan toplam evapotranspirasyon değerlerinin her senaryo için birbirine oldukça yakın gerçekleşmesidir. 97-98 sezonu sonunda hasad aşamasındaki buğday için model tarafından yapılan toplam evapotranspirasyon tahminleri normal sıcaklık değerleri için 283.8 mm, sıcaklığın 2 °C arttırılması durumu için 283.6 mm, 2 °C'lik sıcaklık düşmesi

durumu için ise 281.5 mm olmuştur. Görüldüğü gibi bitki gelişme döneminin uzunluğundaki değişim, CERES-Wheat Modelinin de buğday için sıcaklık değişimleri durumunda söz konusu olan toplam evapotranspirasyon miktarlarını net biçimde yansıtmaması sonucunu doğurmaktadır.

CERES-Wheat Modeli de SIMWASER gibi sıcaklık değişimlerini kuru madde miktarlarına yansıtmayı evapotranspirasyona nazaran daha iyi gerçekleştirmiştir (Şekil 4.20).



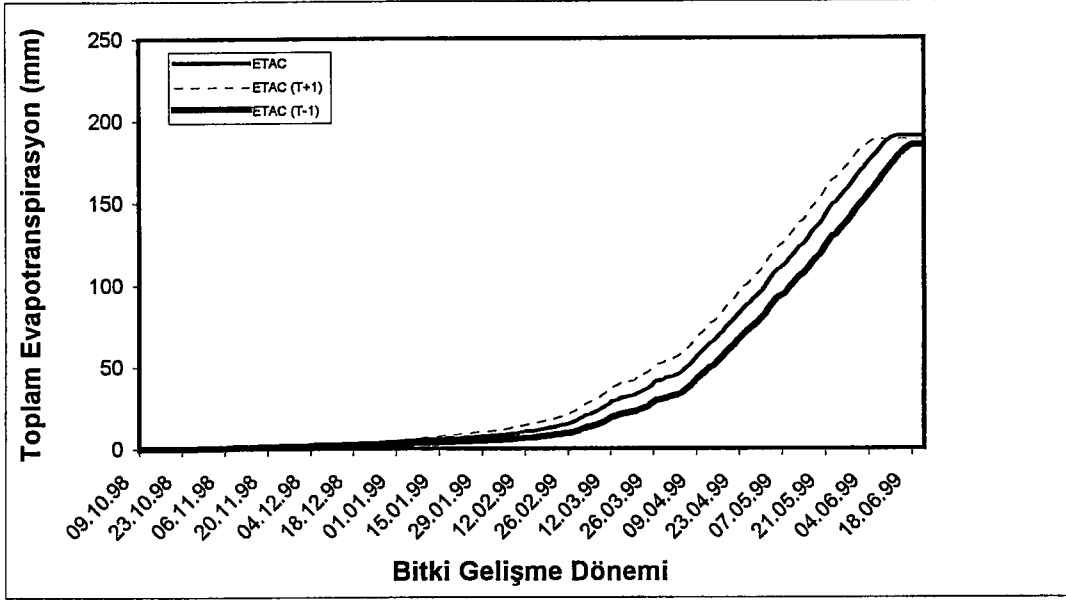
Şekil 4.20. CERES-Wheat Modeline Göre 2 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.

Şekilde Aralık ayının ortalarından itibaren buğdayda kuru madde miktarlarının gözle görülür nitelik kazandığı görülmektedir. Söz konusu dönem, başak oluşumunun bittiği ve başak büyümesi fenolojik aşamasına geçildiği dönemdir. Bu dönemde miktar bakımından düşük olan kuru madde değerleri arasında senaryolara göre önemli orantısızlıklar da söz konusudur. Bu durum uygulanan tüm senaryolarda da yaklaşık olarak gerçekleşmektedir. İlkbaharla birlikte hız kazanan bitki gelişimi ile birlikte kuru madde miktarlarında her senaryo için önemli artışlar kaydedilmekte ve bu durum uzun kış dönemi boyunca söz konusu olan düşük miktarlar arasındaki orantısızlığı da hafifletmektedir. Örneğin bu 2 °C'lik sıcaklık senaryosunda Kasım ayının 25'inde kuru madde miktarı değerleri normal sıcaklıklar için 29 kg/ha, sıcaklık azalışı için 22 kg/ha

ve sıcaklık artışı için 48 kg/ha olmuştur. Model tarafından sezon sonu için simule edilen değerler ise normal sıcaklıklar için 9768 kg/ha, sıcaklık artışı için 11567 kg/ha ve sıcaklık azalışı için 9340 kg/ha olmuştur. Bu değerlerin oransal mukayesesi yapıldığında, 2 °C'lik sıcaklık artışının hasad aşamasındaki kuru madde miktarını % 18.4 arttırdığı, sıcaklık azalışının ise % 4.4'lük bir kuru madde miktarı düşüşüne neden olduğu ortaya çıkmıştır. Verim için uygulanan senaryolar sıcaklık artışı için 4231 kg/ha, sıcaklık azalışı için ise 3179 kg/ha değerlerini vermiştir. Bu değerlerin oransal karşılıkları sırasıyla % 12.3'lük bir artışı ve % 15.6'lık bir azalışı göstermektedir.

4.3.2.2. 98-99 Ölçüm Dönemi

CERES-Wheat Modeli ile gerçekleştirilen 98-99 sezonu toplam evapotranspirasyon simülasyonlarında, uygulanan 1 °C senaryolarının Aralık ayının ilk haftasının sonundan itibaren dikkat çekici özelliğe sahip oldukları görülmektedir. Bu tarihten Nisan'ın ilk haftasına kadar geçen dönemde (sapa kalkma aşamasına kadarki dönem) senaryo trendleri sıcaklık değişimlerinin gerektirdiği şekilde gerçekleşmektedir. Nisan'ın ilk on günü içinde tüm eğrilerde belirgin bir eğim artışı meydana gelmektedir. Kısa bir süre sonra eğimdeki yükselme son bulmakta ve buğdayın toplam evapotranspirasyon değeri sabit olarak yaklaşık hasad döneminin sonuna kadar artmaktadır. Hasad aşamasında ise, bitki hızla kurumakta ve bu durum transpirasyonu hemen hemen sıfırlamaktadır. Böylece hasada yakın dönemde toplam evapotranspirasyon eğrileri x-eksenine neredeyse paralel olacak şekilde ilerlemektedir. Bu durumun sebebi, bitki transpirasyonunun yaklaşık % 98'ini gerçekleştiren yaprakların söz konusu dönemde artık solmuş olması nedeniyle evapotranspirasyonun toprak yüzeyinden gerçekleşen evaporasyonla sınırlanmasıdır. Aşağıdaki Şekil 4.21'de, CERES-Wheat Modeli'nin 98-99 sezonunda buğday için ortaya koyduğu 1 °C'lik sıcaklık senaryolarının zaman serisi sunulmuştur.

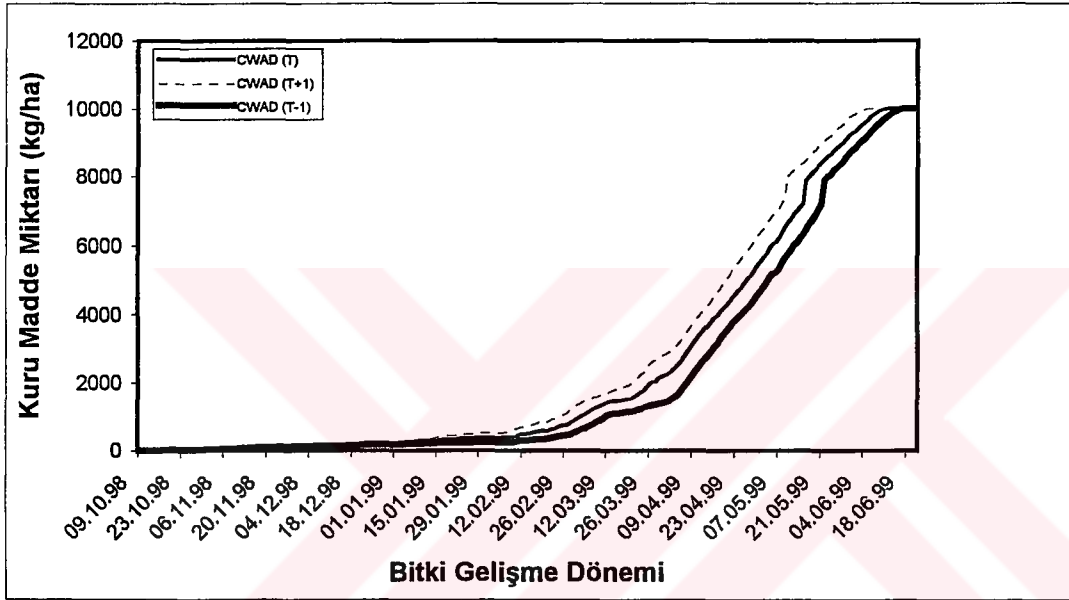


Şekil 4.21. CERES-Wheat Modeline Göre 1 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 98-99 Sezonunda Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.

Şekilden de görülebileceği gibi toplam evapotranspirasyon değerleri sıcaklık artış ya da azalışlarından hemen hemen hiç etkilenmemektedir. Modelin normal sıcaklık sezonu için öngördüğü toplam evapotranspirasyon değeri 190.5 mm olurken bu değer sıcaklıkların ortalama 1 °C yüksek ve alçak gerçekleşmesi durumlarında % 1'den daha az değişimler göstermektedir. Buharlaşma hesabında Penman Eşitliği'ni kullanan CERES-Wheat Modelinde toplam evapotranspirasyonun bitki gelişme döneminin uzunluğunda meydana gelen değişimlerin bir fonksiyonu olduğu böylece ortaya çıkmaktadır.

98-99 Sezonunda 1 °C'lik sıcaklık artışlarının buğdayın toplam kuru madde miktarlarına yansıması incelendiğinde, Şubat başından itibaren birbirlerinden gözle görülür biçimde bağımsızlaşmaya başlayan çıktı verilerinin, Nisan'ın ilk haftasından itibaren önemli artışlar göstermeye başladığı görülür. Örneğin sapa kalkma aşaması başlangıcına rastlayan 4 Nisan tarihinde normal sıcaklık senaryosu için 2489 kg/ha değerine karşılık gelen bir kuru madde miktarı söz konusu olmuştur. Bu ölçüm tarihi, tüm senaryolarda sapa kalkma fenolojik aşamasına geçilmek üzere olan bir zamanı temsil etmektedir. 1 °C'lik sıcaklık artışına karşılık gelen senaryo aynı tarihte

3095 kg/ha değerini, sıcaklık azalışı senaryosu ise 1642 kg/ha değerini göstermektedir. Bundan on gün gibi kısa bir süre sonrası için simule edilen değerler ise sırasıyla 3652 kg/ha, 4243 kg/ha ve 2786 kg/ha olmuştur. Söz konusu on günlük zaman aralığı dikkate alındığında, bu dönemde bitki gelişiminin meteorolojik parametrelerin etkisi altında ne kadar önemli bir ivmelenme kaydettiği iyice anlaşılabilir. Aşağıdaki Şekil 4.22’de, gelişme dönemi boyunca buğdayın kuru madde miktarlarında meydana gelen değişimler görülmektedir.

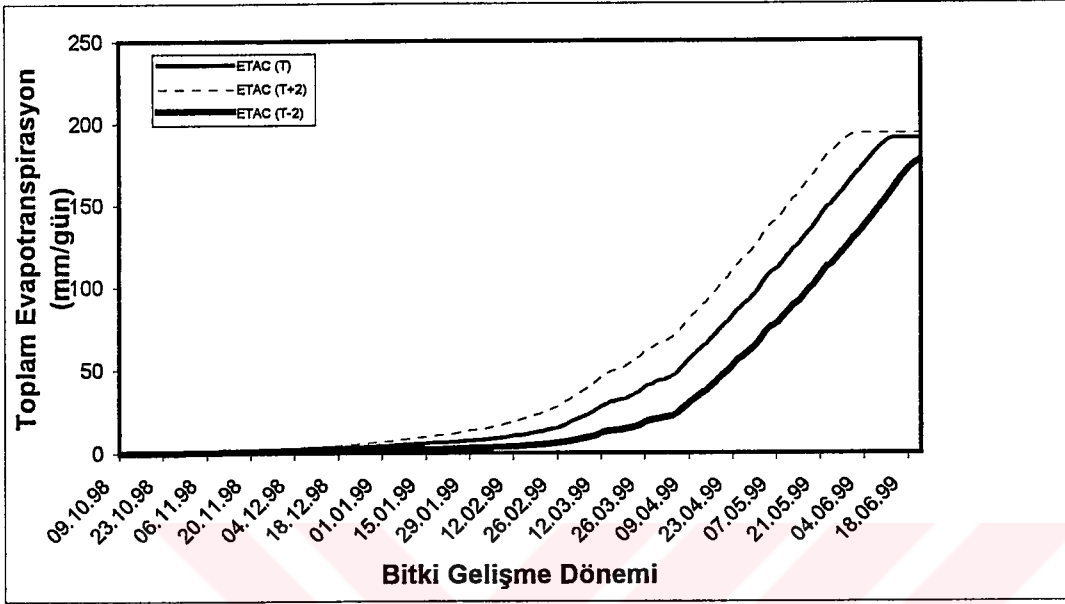


Şekil 4.22. CERES-Wheat Modeline Göre 1 °C’lik Sıcaklık Değişimlerinin 98-99 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.

Şekilde görülen senaryo eğrilerinin hasad aşamasında gösterdikleri değerler normal sıcaklık değerleri için 10008 kg/ha olurken, bu değer sıcaklığın 1 °C artışı ve azalışında önemli bir değişim göstermemiştir. Sıcaklık artış senaryosu verim için 4710 kg/ha çıktısını verirken, bu değer sıcaklık artışı ve azalışı durumlarının her ikisinde de pek büyük değişimler göstermemektedir. Böylece CERES-Wheat Modeli, buğdayın söz konusu sıcaklık değişimlerine önemli bir tepki vermediğini ortaya koymaktadır.

Sıcaklık değişim miktarları 2 °C’ye çıkarıldığında buğdayın toplam evapotranspirasyon değerleri arasındaki farklılıklar doğal olarak yükselmektedir.

Model, Kasım sonundan itibaren önemli miktarda toplam evapotranspirasyon değerleri yansıtmaktadır (Şekil 4.23).

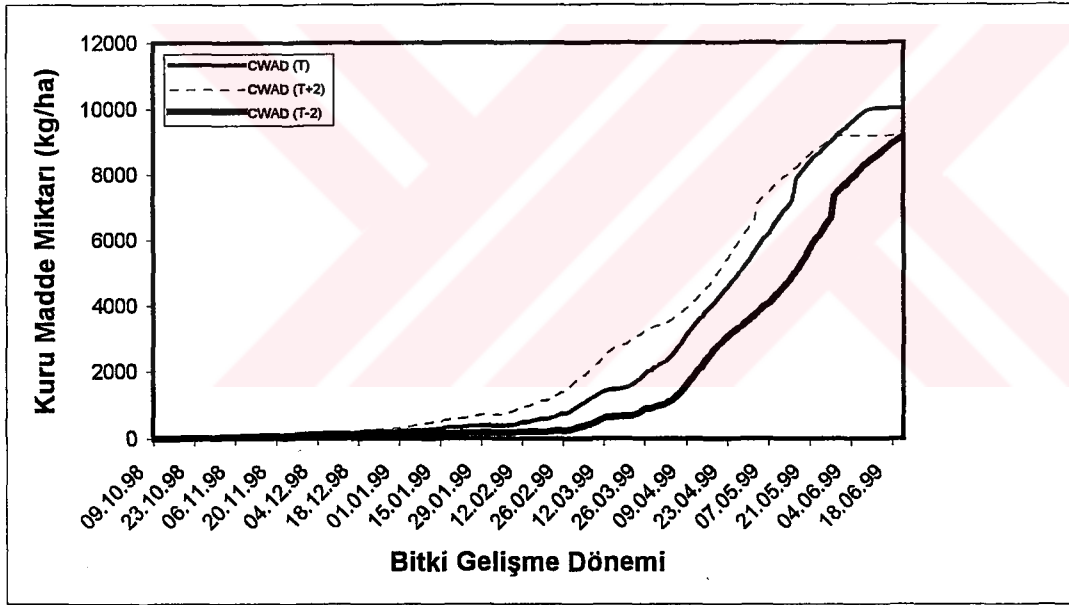


Şekil 4.23. CERES-Wheat Modeline Göre 2 °C'lik Sıcaklık Değişimlerinin 98-99 Sezonunda Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.

Sapa kalkma aşamasına kadar tüm senaryolar kayda değer toplam evapotranspirasyon miktarları göstermemekte, daha sonra hızla artan evapotranspirasyon faaliyetleri, senaryolara ait değerlerin artmasına ve eğriler arasındaki orantısızlığın da azalmasına neden olmaktadır. Örneğin bitkinin sapa kalkma aşamasına geçmeye hazırlandığı 5 Nisan tarihine kadar normal sezon, 2 °C'lik sıcaklık artışı ve azalışı durumları için kaydedilen toplam evapotranspirasyon miktarları sırasıyla 48.6 mm, 72.2 mm ve 24 mm olarak tahmin edilmiştir. Görüldüğü gibi sıcaklık azalış senaryosu bu tarihe kadar normal sezonda kaydedilen toplam evapotranspirasyon miktarının yarısını, sıcaklık artışı senaryosunununkinin ise üçte birini temsil etmektedir. Hasad aşamasında söz konusu olan toplam evapotranspirasyon miktarları ise yine sırasıyla 190.1 mm, 193.6 mm ve 177.1 mm olmaktadır. Bu durumda ortalama 2 °C'lik sıcaklık artışının, 98-99 sezonunda ekimi gerçekleştirilen buğdayın toplam evapotranspirasyon miktarını % 1.6 arttıracığı, aynı miktara karşılık gelen ortalama sıcaklık azalışının ise ilgili çıktı parametresinde % 7.5'lik bir azalmaya neden olacağı CERES-Wheat Modeli tarafından

ortaya konmaktadır. Böylece söz konusu dönemde buğdayın artan sıcaklıklara karşı evapotranspirasyonunda ciddi bir değişimin meydana gelmeyeceği, sıcaklık azalışına karşı gösterilen hassasiyetin ise nispeten fazla olduğu ortaya çıkmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, tüm dönemde buharlaşma toplamının ne kadar arttığı değil, buharlaşmanın hangi dönemlerde artış gösterdiği.

2 °C'lık sıcaklık değişimi senaryosunun, buğdayın toplam kuru madde miktarlarına yaptığı etkiler incelendiğinde, toplam evapotranspirasyon değerlerinde olduğu gibi toplam kuru madde miktarları için de sapa kalkma aşamasına kadar gayet düşük eğimle ilerleyen eğrilerin bu dönemden sonra ciddi anlamda artışlar göstererek hasad döneminde normal sezon için 10008 kg/ha, sıcaklık artışı için 9189 kg/ha ve sıcaklık azalışı için 9129 kg/ha değerlerine indirildiği görülmektedir (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. CERES-Wheat Modeline Göre 2 °C'lık Sıcaklık Değişimlerinin 98-99 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.

Bu durumda söz konusu sıcaklık artışının hasad aşamasındaki buğdayın toplam kuru madde miktarını % 8.9 oranında azaltacağı, aynı miktardaki sıcaklık azalışının ise % 9.6'ya varan bir kuru madde miktarı düşüşüne neden olacağı ortaya çıkmaktadır. Hem sıcaklık artışının, hem de azalışının kuru madde miktarında azalmaya neden olması, söz konusu dönemde gerçekleşen sıcaklıkların buğdayın ihtiyaç duyduğu

optimum derece-gün toplamına ulaşıldığını göstermektedir. 2 °C'lik sıcaklık değişimlerinin buğdayın hasad aşamasındaki verimine etkisi incelendiğinde modelin artış senaryosu için 4327 kg/ha değerini hesapladığı ve bu değer verimde % 8.8 oranında bir düşmeyi temsil ettiği görülmüştür. Model 2 °C'lik sıcaklık azalışı durumunda bitkinin gelişimini tamamlayamayacağını öngörmüştür. Bitki gelişme dönemine karşılık gelen periyodun uzatılması durumunda buğdayın gelişimini tamamlayacağı ve gerçek verim değeriyle oransal bakımdan düşük bir farklılık sergileyeceği söylenebilir.

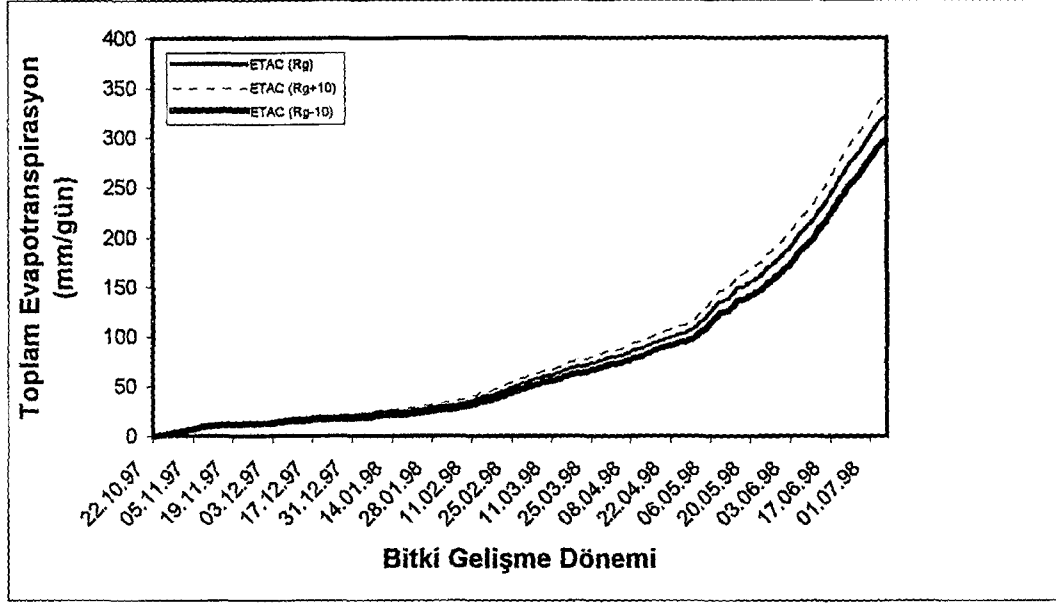
4.4. Güneş Radyasyonunun Bitki Gelişimine Etkileri

Güneş radyasyonu, bitki fotosentezine yaptığı destekleyici etki nedeniyle gerek evapotranspirasyonu, gerekse kuru madde miktarını önemli ölçüde yönlendirici rol oynayan bir meteorolojik parametredir. Bu çalışmada SIMWASER ve CERES-Wheat Modelleri vasıtasıyla yapılan güneş radyasyonu değişim senaryoları güneş radyasyonu tarafından buğday gelişimine yapılan etkiler sıcaklıkta olduğu gibi beş senaryo çerçevesinde ele alınmıştır. Senaryolar radyasyonda meydana gelen % 10'luk ve % 20'lik artışları, aynı miktarlardaki azalışları ve normal durumları kapsamaktadır.

4.4.1. Güneş Radyasyonu Etkilerinin SIMWASER Modeli ile Analizi

4.4.1.1. 97-98 Ölçüm Dönemi

97-98 sezonunda ekilen buğday tipine ait toplam evapotranspirasyon değerlerinin güneş radyasyonunda meydana gelmesi muhtemel % 10'luk artışlar ve azalışlar dikkate alınarak incelenmesi sonunda, radyasyondaki artışın toplam evapotranspirasyonu da genel anlamda arttıracığı ortaya çıkmıştır (Şekil 4.25). Güneş radyasyonundaki artışların bitkinin transpirasyon faaliyetinin toprak evaporasyonu ile birlikte arttırması doğaldır. Özellikle ileri gelişme aşamalarında artan fotosentez işlemi, bitki gözeneklerinden atmosfere gün boyu subuharı bırakılmasını mümkün kılmaktadır.

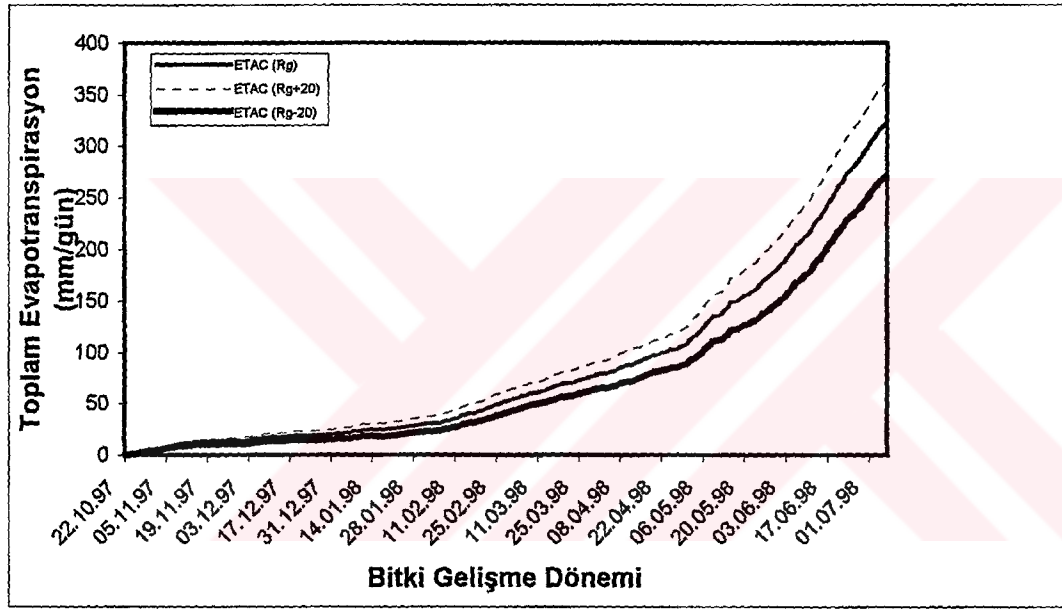


Şekil 4.25. SIMWASER Modeline Göre % 10'luk Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.

Şekilde yer alan senaryo eğrilerinin hasad aşaması sonunda ulaştığı toplam evapotranspirasyon değerleri normal radyasyon, % 10'luk radyasyon artışı ve % 10'luk radyasyon azalışı sezonları için sırasıyla 321.2 mm, 342.6 mm ve 296.8 mm olarak gerçekleşmiştir. Böylece normal sezon güneş radyasyonunu miktarında kaydedilecek % 10'luk bir artışın buğdayın toplam evapotranspirasyon değerini % 6.6 oranında arttıracak, bunun tersi durumun gerçekleşmesi durumunda ise toplam evapotranspirasyonda % 8.2'ye varan bir azalmanın söz konusu olacağı ortaya çıkmaktadır. Bu durum, 98-99 sezonunda kaydedilen meteorolojik parametre değerlerinin ortaya koyduğu koşullar altında gelişimini tamamlayan buğday bitkisinin düşük güneş radyasyonu miktarlarına karşı yüksek miktarlara nazaran daha hassas olduğunu göstermektedir. Modelde kullanılan Penman-Monteith Eşitliği'nin dayandığı temel parametrelerden olan güneş radyasyonunda meydana gelen değişimlerin, toplam evapotranspirasyona sıcaklık senaryosundakine nazaran daha iyi yansıdığı anlaşılmaktadır.

miktarına yansımaktadır. Radyasyonda meydana gelebilecek azalmanın kuru madde miktarında neden olacağı düşmeye oransal karşılığı ise yarı yarıya olmaktadır. Özellikle radyasyon azalış senaryosunun ortaya koyduğu çarpıcı sonuç, bitki gelişimini yönlendiren tüm meteorolojik faktörler arasında belki de en etkilisinin güneş radyasyonu parametresi olduğunun altını çizmektedir.

Güneş radyasyonu miktarında gerçekleştirilecek ortalama değişimler için % 20'lik senaryolar uygulandığında elde edilen sonuçların ekstremliği de doğal olarak artmaktadır (Şekil 4.27).

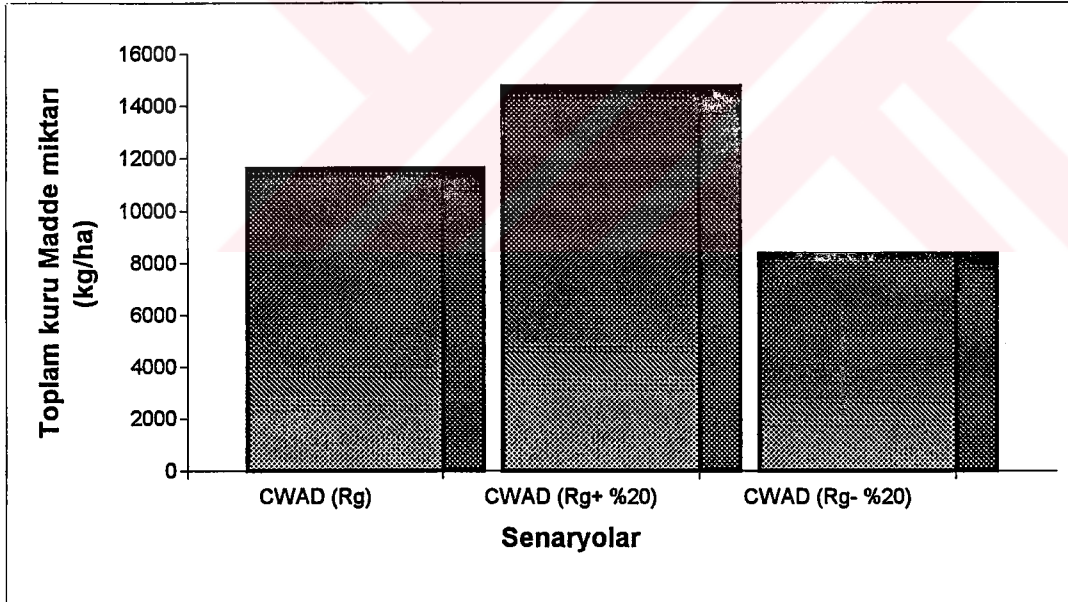


Şekil 4.27. SIMWASER Modeline Göre % 20'lik Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.

Şekil 4.27 incelendiğinde, güneş radyasyonu miktarlarında meydana gelen artış ve azalışların Aralık ayının ikinci haftasından itibaren (kardeşlenme ile sapa kalkma aşamaları arasında) kendini hissettirdiği kolaylıkla görülebilir. 10 Aralık tarihine ait senaryo değerleri normal durum için 17.5 mm değerini göstermekte olup bu değer % 20'lik güneş radyasyonu artışı senaryosu için 20.8 mm, azalış senaryosu için ise 13.4 mm olmaktadır. Eğriler % 10'luk senaryo eğrilerinin eğim arttırdığı döneme yakın bir dönemde (Mayıs ortasında) eğim arttırmakta ve bir kısa bir süre sonra hemen hemen sabitleşerek hasad aşamasına kadar durumlarını muhafaza etmektedir. Hasad

aşamasında model tarafından tahmin edilen toplam evapotranspirasyon değerleri normal sezon için 321.2 mm, radyasyonun % 20 artma durumu için 361.8 mm, radyasyonun % 20 azalması için ise 270.1 mm olmuştur. Bu değerler % 20'lik radyasyon artışının hasad aşamasındaki toplam evapotranspirasyonu % 12.6 oranında yukarıya çekeceğini, bunun tersi durumun ise söz konusu çıktı parametresinde % 19'luk bir azalmaya neden olacağını göstermektedir. Böylece buğdayın % 10'luk güneş radyasyonu değişimlerine gösterdiği hassasiyetlerin (radyasyon artışında % 6.6 artma, azalışında ise % 8.2 azalma) % 20'lik değişimler durumunda da yaklaşık olarak aynı oransal artışla devam ettiği ortaya çıkmıştır.

Güneş radyasyonu için uygulanan % 20'lik değişimlerin buğday kuru madde miktarlarına yansımaları da % 10'luk değişim senaryoları gibi çarpıcı sonuçlar ortaya koymaktadır. SIMWASER'in toplam kuru madde miktarı grafiklerinde hakim olan karakteristik özellikler aşağıdaki Şekil 4.28'de de mevcuttur.



Şekil 4.28. SIMWASER Modeline Göre % 20'lik Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 97-98 Sezonunda Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.

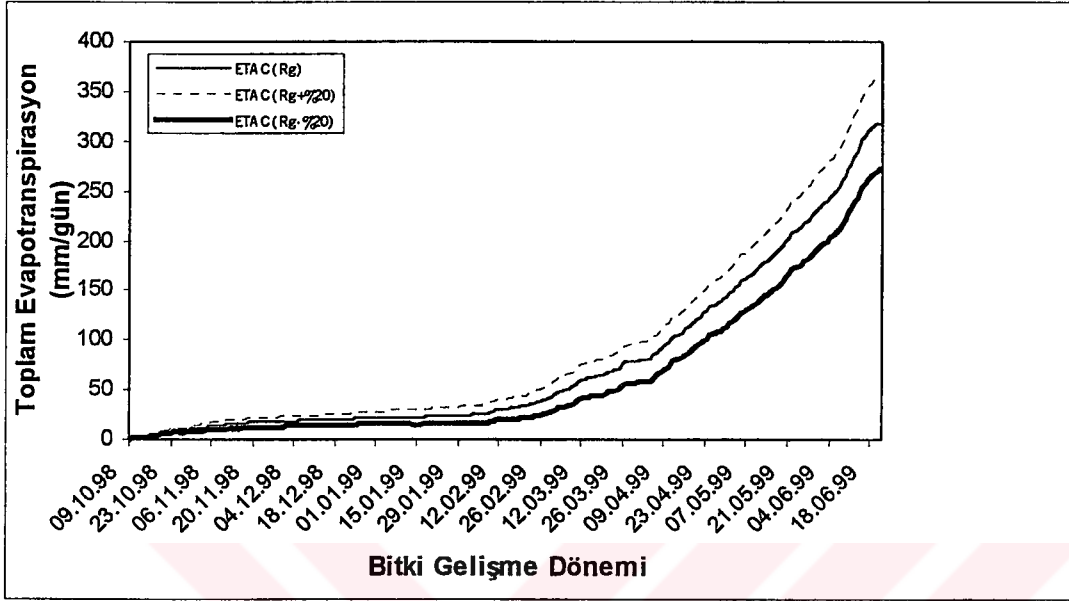
Şekilden modelin Nisan ayının sonlarına doğru kuru madde miktarları için görülür nitelikte değerler kaydettiği anlaşılmaktadır. Bu durumda buğday kuru madde oluşumunun başak oluşumu aşamasından itibaren önem kazandığı ortaya çıkmaktadır.

Normal sezon, % 20'lik güneş radyasyonu artışı sezonu ve aynı orandaki azalış sezonu senaryoları için modelin 22 Nisan tarihinde hesapladığı toplam kuru madde miktarları sırasıyla 56 kg/ha, 65 kg/ha ve 46 kg/ha olarak gerçekleşmiştir. Bu tarihte buğday başak oluşumu fenolojik aşamasına geçmeye hazırlanmaktadır. Bu tarihten sonra süratle artan kuru madde miktarları hasad aşamasında, yani Temmuz ayının ilk haftası içinde yine sırasıyla 11609 kg/ha, 14732 kg/ha ve 8357 kg/ha değerlerine ulaşmıştır. % 20'lik güneş radyasyonu artış senaryosunun sezon sonu toplam kuru madde miktarlarına yansımaları % 26.9'luk artışı gösterirken, aynı orandaki radyasyon azalmasının bu çıktı parametresindeki azaltıcı etkisi % 28.9 olmaktadır. Görüldüğü gibi güneş radyasyonundaki değişim oranlarının buğdayın toplam kuru madde değerlerine yansımaları hep daha yüksek oranlarda gerçekleşmektedir. % 20'lik değişim senaryolarının % 10'luk değişim senaryolarından en önemli farkı ise, bu değişim oranlarında buğdayın radyasyon azalışına ve artışına gösterdiği hassasiyetlerin hemen hemen aynı seviyede yer almasıdır.

4.4.1.2. 98-99 Ölçüm Dönemi

Güneş radyasyonunda meydana gelen değişimlerin 98-99 ölçüm döneminde verdiği sonuçlar, buğdayın bu meteorolojik parametreye karşı hassasiyetinin ortaya konmasını sağlamıştır. SIMWASER Modeli'nin, radyasyonda meydana gelebilecek % 10'luk değişimler sonucunda buğdayın toplam evapotranspirasyonunda meydana gelmesi beklenen oynamalara yönelik verdiği sonuçlar, aşağıdaki Şekil 4.29'da sunulmuştur. Daha önce de değinildiği gibi bitkinin radyasyona verdiği tepkiler incelenirken, modelin gerçekleştirdiği hesaplamalarda evapotranspirasyon için güneş radyasyonunun ele alındığı Penman Eşitliği'nin kullanıldığının dikkate alınması yerinde olacaktır.

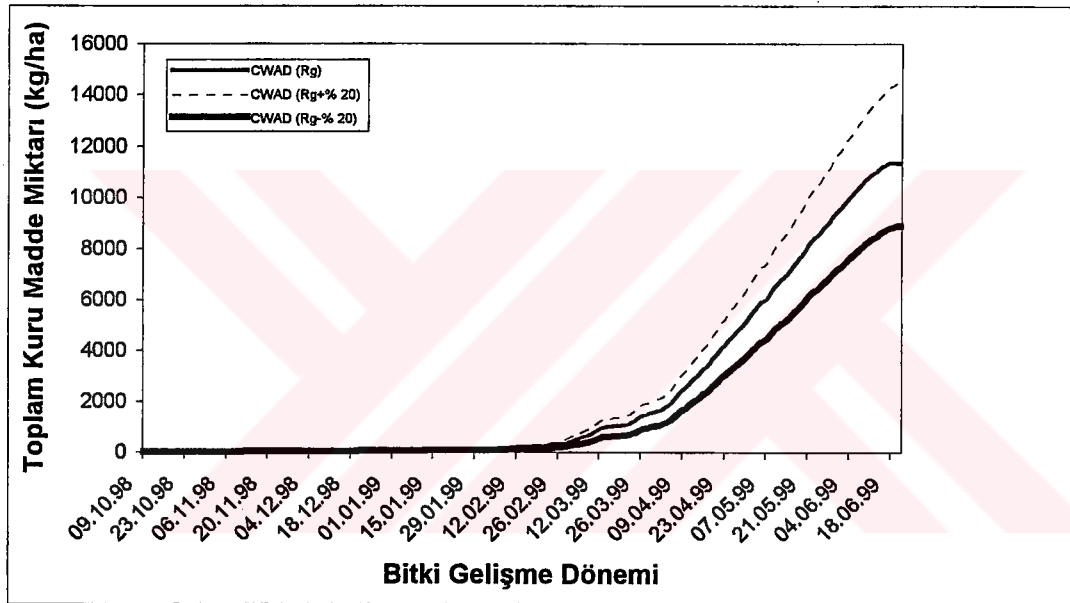
gelmektedir. Aşağıdaki Şekil 4.31, modelin 98-99 sezonunda % 20'lik radyasyon değişimleri için gerçekleştirdiği senaryoları sunmaktadır.



Şekil 4.31. SIMWASER Modeline Göre % 20'lik Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 98-99 Döneminde Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.

Şekilde kuru madde miktarlarının buğdayın gelişme dönemi boyunca iki defa önemli sürekliliğe sahip artışlar gösterdiği belirlenmiştir. Bunlardan birincisi kardeşlenme dönemi içinde (Ocak'ın ilk haftasında) başlamakta ve ikinci sıçramanın gerçekleştiği tarihte, yani sapa kalkma aşamasına geçilirken (Nisan ayı başlarında) son bulmaktadır. İkinci eğim artışı sonunda yine hasad aşamasına kadar geçen dönem boyunca sabit evapotranspirasyon artışları kaydedilmiştir. Hasad günündeki toplam evapotranspirasyon değerleri normal sezon için 318.3 mm olarak gerçekleşirken bu değer % 20'lik radyasyon artış senaryosu için 365 mm olmakta, radyasyon azalış senaryosu ise 271 mm değerini vermektedir. Oransal olarak güneş radyasyonunda gerçekleşecek % 10'luk artışın toplam evapotranspirasyonu % 14.6 arttıracığı, tersi durumda ise bu çıktı parametresinde % 17.4'e varan bir düşme gözleneceği model tarafından böylece tahmin edilmiştir.

% 20'lik güneş radyasyonu değişiminin 98-99 döneminde buğdayın toplam kuru madde miktarına yaptığı etkiler çarpıcıdır. Kardeşlenme dönemi içinde Şubat ayı ortalarından itibaren dikkat çekici biçimde artan kuru madde miktarları hasad aşamasına gelindiğinde artış senaryosu için 14450 kg/ha, azalış senaryosu için ise 8900 kg/ha değerlerini göstermiştir. Bu miktarlar 11346 kg/ha'lık orijinal sezon kuru madde miktarı karşısında sırasıyla % 27'lik artış ve azalışlar göstermektedir. Artış ve azalış oranlarının yüksekliği ve de bunların birbiriyle tam denge halinde bulunması, bu dönemde buğdayın güneş radyasyonundaki değişimlere karşı son derece büyük hassasiyet gösterdiğini ortaya koymaktadır (Şekil 4.32).



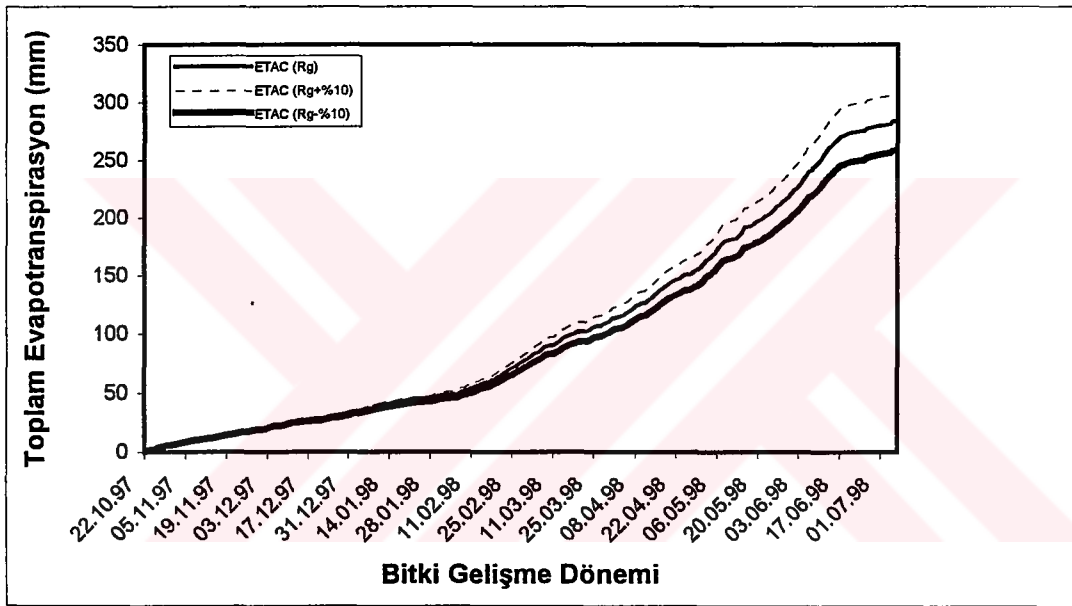
Şekil 4.32 SIMWASER Modeline Göre % 20'lik Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 98-99 Döneminde Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.

Bitkinin vejetatif dönemi kapatarak generatif dönem, yani gerçek anlamda verimi ilgilendiren üretim dönemine geçişinin habercisi buğdayda sapa kalkma aşamasıdır. Tüm senaryolarda Nisan ayının ilk yarısı içinde gerçekleşen sapa kalkma işlemi bu özelliği ile kuru madde miktarlarında ilk önemli sıçramanın gözlemlendiği dönemi temsil etmektedir. Bu durum Şekil 4.32'de de açıkça görülmektedir.

4.4.2. Güneş Radyasyonu Etkilerinin CERES-Wheat Modeli ile Analizi

4.4.2.1. 97-98 Ölçüm Dönemi

SIMWASER Modeli'nde ortaya konulduğu gibi CERES-Wheat Modeli vasıtasıyla gerçekleştirilen güneş radyasyonu simulasyonları da radyasyondaki artışın genel anlamda toplam evapotranspirasyonu arttıracak, tersi durumun ise bu çıktı değerlerinde düşmeyle sonuçlanacağını göstermektedir. Aşağıdaki Şekil 4.33, güneş radyasyonu miktarında meydana gelebilecek % 10'luk bir değişimin buğdayın toplam evapotranspirasyon miktarlarına yaptığı etkileri göstermektedir.

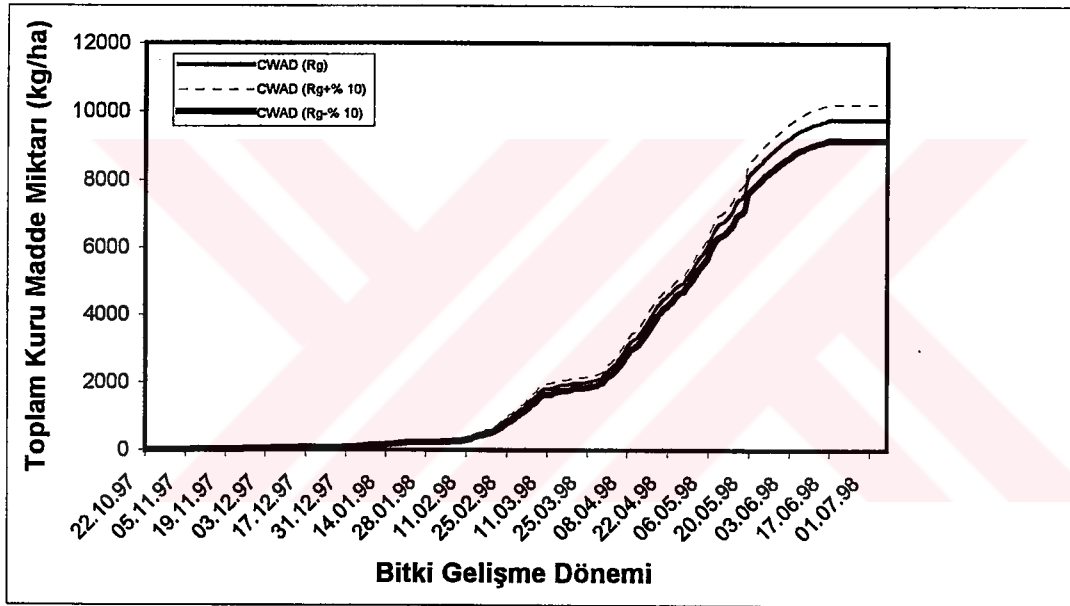


Şekil 4.33. CERES-Wheat Modeline Göre % 10'luk Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 97-98 Döneminde Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.

Şubat ayının ikinci haftasından itibaren (kardeşlenme dönemi içinde) birbirinden bağımsızlaşmaya başlayan senaryo eğrileri giderek artan toplam evapotranspirasyon miktarlarını Haziran'ın son on günlük zaman dilimine kadar korumaktadır. Hasad aşamasında modelin tahmin ettiği toplam evapotranspirasyon değerleri normal sezon için 283.8 mm, % 10'luk güneş radyasyonu artış senaryosu için 308.3 mm ve bunun tersi senaryo için de 258.5 mm olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin toplam

evapotranspirasyona yönelik oransal artış ve azalış karşılıkları ise sırasıyla % 8.6 (artış) ve % 8.9 (azalış) şeklinde gerçekleşmiştir. Modelde Penman Eşitliğinin FAO Modifikasyonunun yanı sıra kullanıma sunulmuş olan Priestly-Taylor Eşitliği de buharlaşma hesaplamalarında güneş radyasyonu parametresine yönelik hassasiyetin ortaya konmasına yardımcı olmaktadır. Modelde evapotranspirasyon hesabı için enerji dengesi yöntemi seçildiğinde ise, sonuçlar az da olsa değişim göstermektedir.

Güneş radyasyonunda meydana gelebilecek % 10'luk değişimin buğdayın bu dönemdeki toplam kuru madde miktarlarına etkisi incelendiğinde, modelin simule ettiği değerlerin Kasım sonundan itibaren önem kazandığı görülebilir (Şekil 4.34).

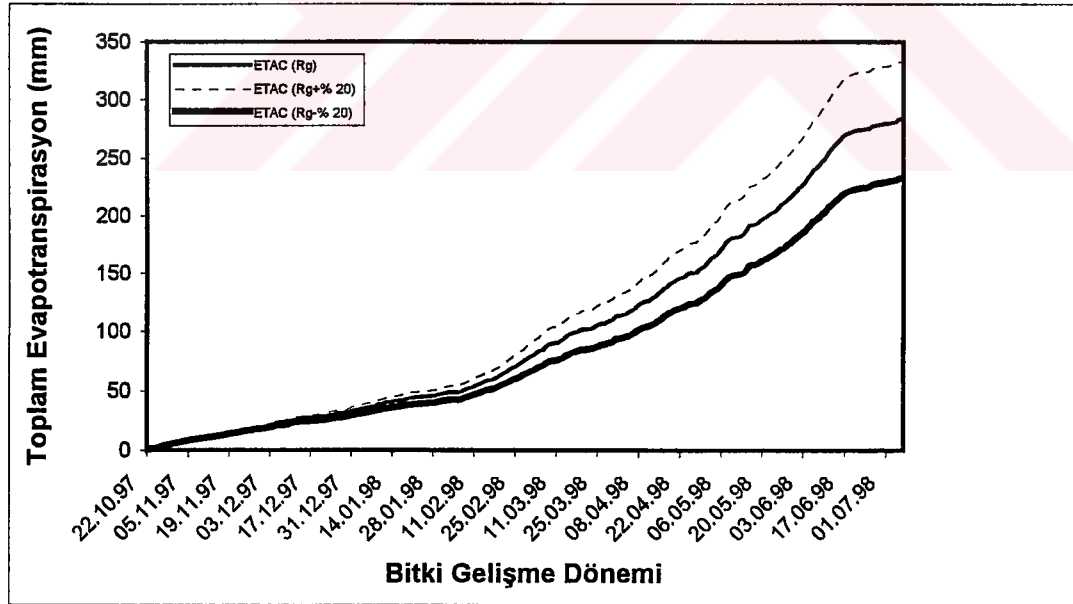


Şekil 4.34. CERES-Wheat Modeline Göre % 10'luk Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 97-98 Döneminde Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.

Şekil 4.34, bu çalışmada yürütülen simulasyonlarda trend niceliği en fazla değişen senaryolardan birini göstermesi bakımından önemlidir. Şubat'ın ikinci haftası içinde, yani kardeşlenme dönemi ortalarında tüm senaryo eğrileri eğim arttırmaktadır. Bu durum Mart ayının ilk haftasına kadar devam etmekte, bu tarihten kardeşlenme döneminin sonuna yaklaşılana Mart'ın son haftasına kadar geçen dönemde ise artış miktarları azalma eğilimi göstermektedir. Sapa kalkma aşamasına geçilen Nisan ayından itibaren önemli biçimde ivmelenerek artmaya başlayan kuru madde miktarları,

Mayıs ortasından sonra artış hızlarını yavaşlatmakta ve hasada yaklaşan Haziran ayı ortalarından sonra da neredeyse sıfırlanmaktadır. Normal sezonla, % 10'luk güneş radyasyonu artış ve azalış sezonları için model tarafından simule edilen toplam kuru madde miktarları sırasıyla 9768 kg/ha, 10218 kg/ha ve 9161 kg/ha olmuştur. Bu değerler artış ve azalış senaryoları için sırasıyla % 4.6'lık bir artışa ve % 6.2'lik bir azalışa karşılık gelmektedir. Model, % 10 oranındaki güneş radyasyonu artışı durumunda verimin 3906 kg/ha olarak gerçekleşeceğini öngörmektedir. Radyasyon azalışı senaryosu ise 3562 kg/ha değerini vermektedir. Hesaplanan bu miktarlar, radyasyon artışının verimi % 3.7 arttıracağını, tersi durumun ise bu çıktı değerinde % 5.4'lük bir düşmeye neden olacağını ortaya koymuştur. Böylece radyasyon değişiminin toplam kuru madde miktarlarına verimden daha yüksek oranda yansıtacağı belirlenmiştir.

Güneş radyasyonu parametresinde beklenebilecek değişim oranının % 20'ye yükseltilmesi durumunda CERES-Wheat Modeli tarafından gerçekleştirilen simülasyonlara ait toplam evapotranspirasyon senaryo eğrileri aşağıdaki Şekil 4.35'te verilmiştir.

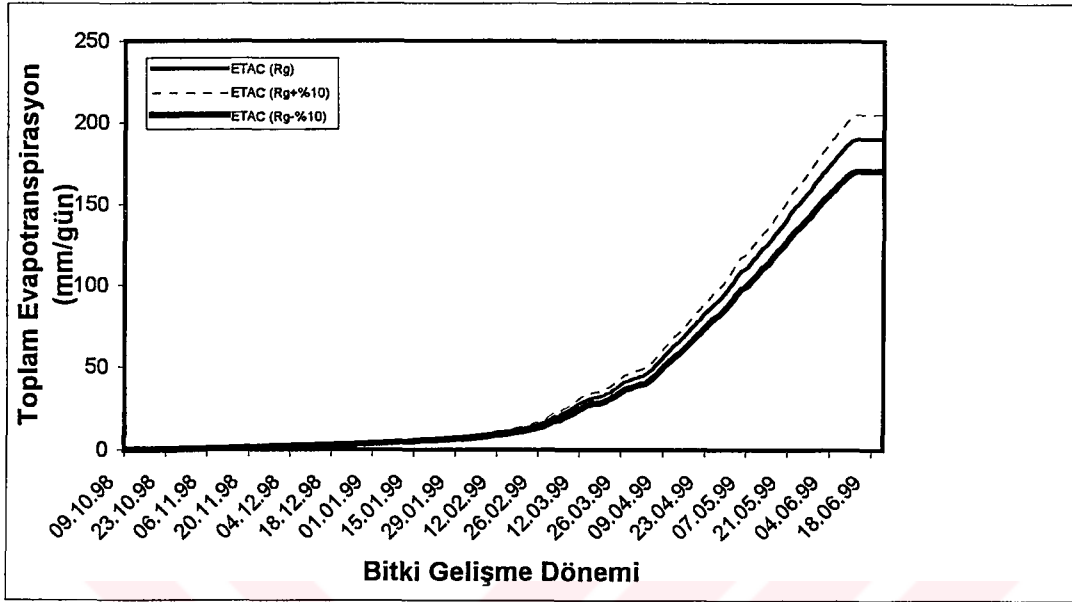


Şekil 4.35. CERES-Wheat Modeline Göre % 20'lik Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 97-98 Döneminde Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.

Modelin, tohumun toprağa atıldığı günden itibaren kayda değer evapotranspirasyon değerleri yansıttığı şekilden açıkça görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, bitki gelişiminin erken dönemlerinde toplam evapotranspirasyonda daha büyük rol oynayan evaporasyonun, bu özelliğini ilerleyen dönemlerde transpirasyona bırakmasıdır. İleri gelişme aşamalarında toplam evapotranspirasyon artışlarında meydana gelen sıçrama daha çok artan transpirasyon faaliyeti ile bağdaştırılabilir. Bunun nedeni söz konusu dönemlerde birim yüzey üzerinde yapraklar tarafından kaplanan alan oranının (yaprak alan indeksi) gösterdiği büyük artıştır. Hasad aşamasında normal sezon, artış sezonu ve azalış sezonu için hesaplanan toplam evapotranspirasyon değerleri sırasıyla 283.8 mm, 333.1 mm ve 233.3 mm olmuştur. Bu değerlerin oransal karşılıkları ise yine sırasıyla % 17.4'lük bir toplam evapotranspirasyon artışı ve % 17.8'lik bir azalıştır. Buğdayın 97-98 sezonunda güneş radyasyonundaki azalmalara karşı daha büyük bir evapotranspirasyon hassasiyeti gösterdiği anlaşılmaktadır. Radyasyon miktarında meydana gelebilecek % 10'luk değişimlerin sonuçlarıyla bu son değerler mukayese edildiğinde, bitkinin bilhassa radyasyon azalışına gösterdiği hassasiyetin ivmelenerek arttığı ortaya çıkmaktadır.

Güneş radyasyonu miktarında gerçekleşmesi beklenen % 20 oranındaki değişimin buğdayın toplam kuru madde miktarlarına etkisi ise aşağıdaki Şekil 4.36 incelenerek görülebilir. Şekil incelendiğinde, buğdayın radyasyon artışına karşı büyük miktarda kuru madde değişimi göstermediği, radyasyon azalışı durumunda ise göz ardı edilemeyecek bir kuru madde azalışına maruz kaldığı görülmektedir. Ocak ayının son on günlük döneminden itibaren radyasyon azalış senaryo eğrisi ötekilerden önemli ölçüde uzaklaşmaktadır. Şubat ayının ilk haftasından sonra önemli bir ivme göstermeye başlayan kuru madde artış miktarları, kısa bir dönem için biraz azalmakta olup, bunun ardından yeniden çıkışa geçerek Mart sonu ile yaklaşık Mayıs'ın 20'si arasındaki dönem boyunca (sapa kalkma aşaması) hasad dönemine yaklaşmaktadır. % 20'lik radyasyon artış senaryosunun hasad aşamasında gösterdiği değer (10726 kg/ha), normal sezonun gösterdiği değerden (9768 kg/ha) % 9.8 oranında bir artışa karşılık gelmektedir. Aynı orandaki radyasyon azalışının bu çıktıya yaptığı azaltıcı etki ise % 14.7'ye ulaşmaktadır (Radyasyon azalışı durumunda hesaplanan toplam kuru madde değeri 8328 kg/ha olmuştur).

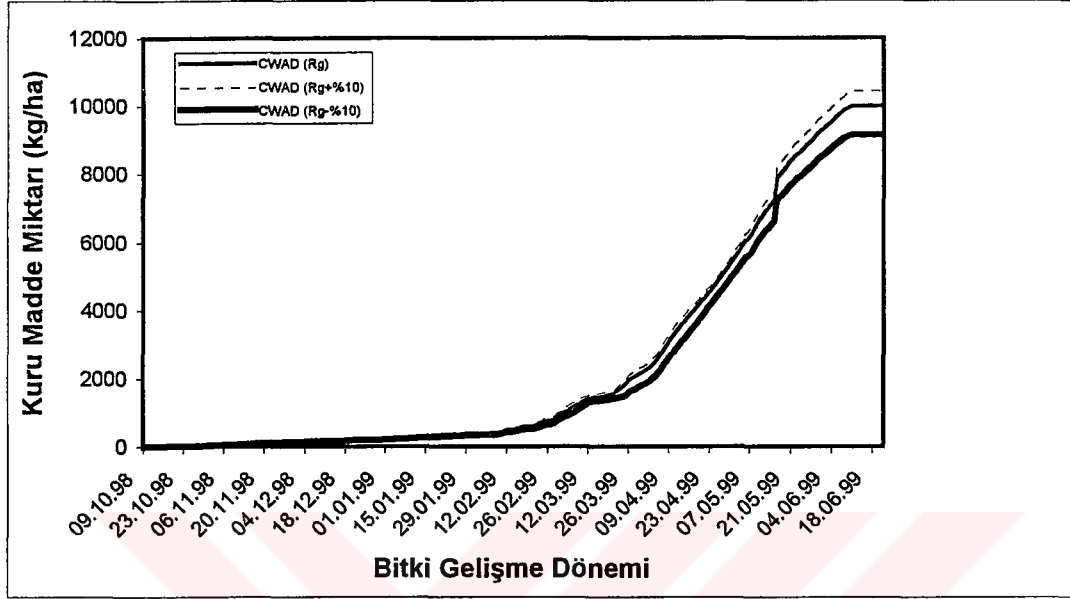
olumlu etkimektedir. Aşağıdaki Şekil 4.37’de, buğday için 98-99 sezonu boyunca hesaplanan toplam evapotranspirasyon değerleri görülmektedir.



Şekil 4.37. CERES-Wheat Modeline Göre % 10’luk Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 98-99 Döneminde Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon değerlerine Etkisi.

Görüldüğü gibi şekilde ilkbaharla birlikte artan evapotranspirasyon değerleri dikkat çekmektedir. Bitkinin bu özelliği incelenirken, ilkbaharda artış gösteren yağışların evapotranspirasyonu arttırıcı etki yapacağının dikkate alınması da faydalı olacaktır. Hasad aşamasındaki buğday için normal güneş radyasyonu sezonunda gerçekleşecek toplam evapotranspirasyon miktarını model 190.5 mm olarak hesaplamıştır. % 10’luk radyasyon artış senaryosu için bu değer 205.4 mm olmakta, tersi durumda ise toplam evapotranspirasyon 170.7 mm olarak gerçekleşmektedir. Bu miktarlar ortalama güneş radyasyonunda meydana gelebilecek % 10’luk artışın buğdayın toplam evapotranspirasyonuna % 7.8’lik bir artış şeklinde yansıyacağını, aynı oranda bir radyasyon azalmasının ise bu çıktı parametresinin gösterdiği değerde % 11.6 oranında bir düşmeye neden olacağına işaret etmektedir. Oranlar, buğdayın söz konusu dönemde azalan radyasyon değerlerine karşı daha hassas olduğunu ortaya koymaktadır.

98-99 döneminde güneş radyasyonu miktarında meydana gelebilecek % 10 oranında değişimlerin buğdayın toplam kuru madde değerlerine etkisinin dikkate alındığı senaryo simulasyonlarına ait grafik aşağıdaki Şekil 4.38’de verilmiştir.

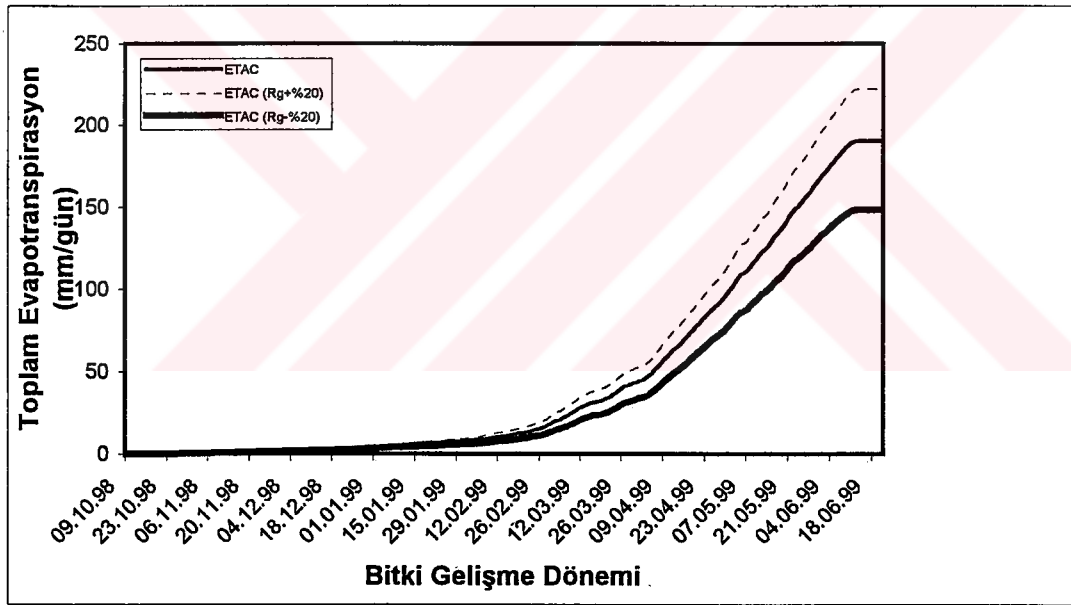


Şekil 4.38. CERES-Wheat Modeline Göre % 10'luk Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 98-99 Döneminde Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.

Şekil 4.38’de görülen senaryo eğrileri, kardeşlenme dönemiyle birlikte (Kasım ayı başından itibaren) dikkate değer kuru madde miktarları yansıtmaktadır. Mart’ın son haftası ile Nisan’ın ilk haftasını kapsayan zaman diliminde, yani kardeşlenme aşamasından sapa kalkma aşamasına geçişin gerçekleştiği dönemde önemli çıkış gösteren kuru madde miktarı artışları, Mayıs ayının ikinci haftası içinde yavaş yavaş ivme kaybetmekte, hasada yaklaşan son bir haftalık dönemde ise tamamen sıfıra indirgenmektedir. Hasad aşamasındaki buğdayın normal sezondaki toplam kuru madde miktarı (10008 kg/ha), radyasyonun % 10’luk bir artış göstermesi durumunda 10453 kg/ha olarak hesaplanmakta, % 10’luk radyasyon düşmesi durumunda ise bu değer 9162 kg/ha’a gerilemektedir. Bu değerlerin sezon sonu toplam kuru madde miktarlarına oransal yansıması radyasyon artışı için % 4.4’lük bir artışı, radyasyon azalışı için ise % 9.2’lik bir azalmayı göstermektedir. Bu durumda, söz konusu dönem için buğdayın azalan radyasyon değerlerine gösterdiği hassasiyetin, artan radyasyon değerlerine oranla iki kat fazla olduğu saptanmıştır. Söz konusu senaryo, artış durumu

için 5044 kg/ha'a karşılık gelen bir verim değeri hesaplamıştır. Azalış senaryosu ise 4372 kg/ha değerini öngörmüştür. Bu durumda % 10'luk güneş radyasyonu artışının verime % 6.4 oranında olumlu etkiyeceği, bunun tersi senaryonun ise % 7.8'lik bir verim düşmesine neden olacağı anlaşılmaktadır. Böylece verim çıktısının radyasyon artışına karşı kuru madde miktarına nazaran daha büyük hassasiyet göstereceği, radyasyon azalışı için ise bunun tersinin geçerli olacağı ortaya çıkmaktadır.

Güneş radyasyonu miktarında gerçekleşmesi beklenen değişim oranı % 20'ye yükseltildiğinde modelin verdiği sonuçların doğal olarak daha ekstrem özellikler arz ettiği görülmüştür. Toplam evapotranspirasyona ait senaryo grafiği, çıkış aşamasından kardeşlenmeye geçilen Kasım'ın ilk yarısı içinde tüm senaryolar için önemli değişiklikler göstermeye başlamıştır (Şekil 4.39).

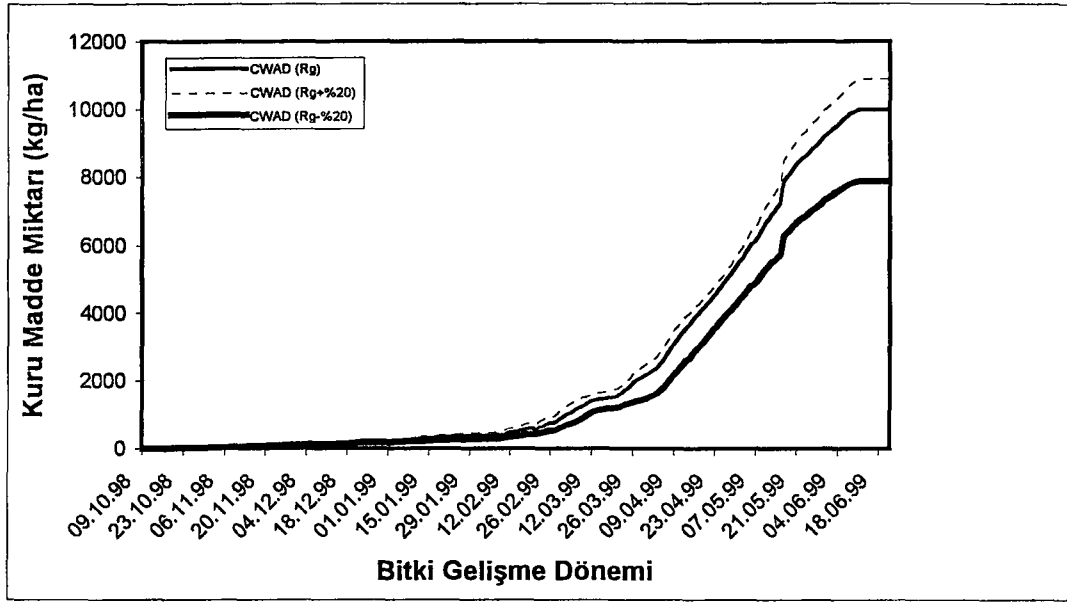


Şekil 4.39. CERES-Wheat Modeline Göre % 20'lik Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 98-99 Döneminde Buğdayın Toplam Evapotranspirasyon Değerlerine Etkisi.

Şekil 4.39 incelendiğinde, senaryoların iki dönem için önemli oranda evapotranspirasyon artışı işaret ettiği ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birincisi Şubat'ın ikinci haftası içinde gerçekleşmekte, ikinci sıçrama ise Nisan'ın ilk haftasında gözlenmektedir. Bu dönemler, kardeşlenme sonucu sapa kalkma başlangıcı arasındaki geçiş aşamasına karşılık gelmektedir. Hasada yaklaşık on gün kala (10 Haziran)

evapotranspirasyon toplamları ciddi artışlar göstermekten uzaklaşmaya başlamakta ve giderek sıfıra yaklaşmaktadır. Normal sezon için 190.5 mm olarak hesaplanan toplam evapotranspirasyon değeri, radyasyonun ortalama % 20 artış göstermesi durumunda 222.1 mm'ye yükselmekte, aynı orandaki radyasyon azalışı ise bu değeri 148.3 mm'ye çekmektedir. Bu sayısal değerlerin oransal ifadesi radyasyon artış senaryosu için % 16.5'lik bir artış, radyasyon azalış senaryosu için ise % 28.4'lük bir azalış şeklinde ortaya çıkmaktadır. Tüm değerler buğdayın bu dönemde özellikle radyasyon azalışına karşı büyük hassasiyete sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Güneş radyasyonu miktarında meydana gelebilecek % 20 oranındaki değişimin 98-99 sezonunda ekimi gerçekleştirilen buğdayın toplam kuru madde miktarlarına yaptığı etki incelendiğinde, Şubat ayının ikinci yarısından sonra özellikle radyasyon azalış senaryo eğrisinin ötekilerden ciddi biçimde uzaklaşmaya başladığı görülecektir (Şekil 4.40). Bu dönem aynı zamanda model tarafından gözle görülür kuru madde artışlarının kaydedilmeye başlandığı zaman dilimini de temsil etmektedir. Mart sonu ile Nisan başı arasındaki dönemde, yani sapa kalkma aşaması başlangıcında kuru madde miktarlarındaki artış önemli bir sıçrama göstermekte ve eğriler elde ettikleri eğimi bitki başak oluşumu aşamasına geçene kadar (Mayıs sonu) muhafaza etmektedir. Bu dönemde kısa bir süre için toplam kuru madde miktarı artışı maksimuma yükselmekte, bunun ardından eğimler eski seviyeye inmekte hasada yakın döneme kadar bu durum değişmemektedir. Beklenildiği gibi hasaddan önceki son bir haftalık dönemde toplam kuru madde miktarı hemen hemen sıfırlanmaktadır. % 20'lik radyasyon değişiminin verim için verdiği sonuçlar artış durumu için 5363 kg/ha, azalış durumu için ise 3725 kg/ha olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin oransal karşılıkları sırasıyla % 13.1'lik bir verim artışı ve % 21.4'lük bir verim azalışı olmuştur. Bu değerler % 10'luk değişim senaryosunun ortaya koyduklarıyla karşılaştırıldığında, buğdayın artan güneş radyasyonuna gösterdiği hassasiyeti koruduğu, azalan radyasyon değerlerine ise oransal olarak daha hassas olduğu belirlenmiştir.



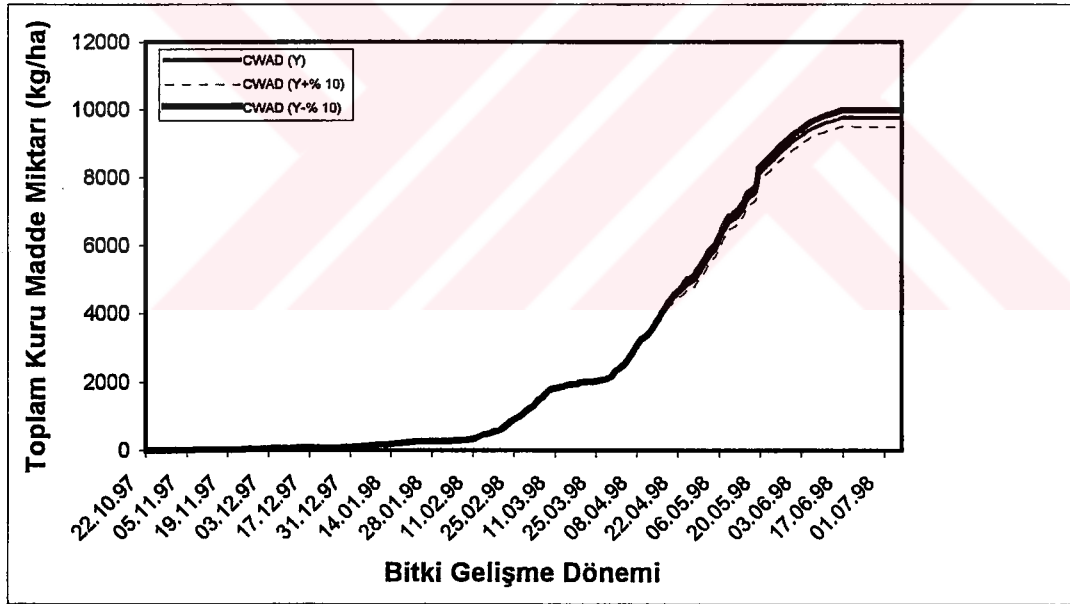
Şekil 4.40. CERES-Wheat Modeline Göre % 20'lik Güneş Radyasyonu Değişimlerinin 98-99 Döneminde Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.

Şekilde görüldüğü gibi özellikle radyasyon azalışı kuru madde miktarına çarpıcı şekilde etkimektedir. Hasad aşamasındaki normal sezon toplam kuru madde miktarının (10008 kg/ha) radyasyon artış (10900 kg/ha) ve azalış (7890 kg/ha) sezonları için hesaplanan değerlerle oransal mukayesesi sonucunda, radyasyon artışının toplam kuru madde miktarında % 8.9'luk bir artış sağlayacağı, tersi durumun ise bu çıktı parametresinde % 26.8'e varan bir azalmaya neden olacağı ortaya çıkmıştır. Bu oranlar % 10'luk senaryo sonuçları ile karşılaştırıldığında, buğdayın radyasyon artışına gösterdiği hassasiyetin aynı şekilde devam ettiği, radyasyon azalışına verilen tepkinin ise önemli boyut kazandığı görülmüştür. Modelin evapotranspirasyon hesabında kullandığı Penman Eşitliği, toplam kuru madde ağırlığının hesaplanmasında da kendini hissettirmektedir; çünkü toplam kuru madde ağırlığının belirlenmesinde evapotranspirasyon da önemli rol oynamaktadır.

4.5. Yağışın Bitki Gelişimine Etkileri

Yağış, fotosentezi, evapotranspirasyonu ve bitki organlarıyla dokularına besin maddelerinin naklini sağlayan suyun temel kaynağı olması nedeniyle önem arz eden bir meteorolojik parametredir. Belirli bir kültürü için yağış miktarının optimum değerlerden uzak gerçekleştiği dönemler, içinde bulunulan gelişme aşamasına bağlı

Yağış değişiminin buğdayın toplam kuru madde miktarlarına yaptığı etkilerin belirlenmesi amacıyla model vasıtasıyla uygulanan % 10'luk simulasyon senaryoları ise nisbeten tatmin edici sonuçlar vermiştir (Şekil 4.41). Kardeşlenme döneminin ortalarında tüm senaryolar için kuru madde miktarları önemli bir sıçrama göstererek artmaya başlamaktadır. Bu hızlı artış kardeşlenme döneminin sonuna doğru yavaşlamakta ve bu durum aynı ayın son günlerine kadar devam etmektedir. Bitkinin sapa kalkma aşamasına geçtiği Nisan ayı başından itibaren yeniden ve bir öncekinden daha kuvvetli olacak şekilde artış gösteren kuru madde miktarları bu dönemde yağış değişiminin gerektirdiği farklılıkları da yansıtmaya başlamaktadır. Hızlı artış, yaklaşan hasad dönemiyle birlikte yeniden ivme kaybetmekte ve hasada yaklaşık on gün kala tüm senaryolarda sıfırlanmaktadır. Buğdayın kuru madde miktarları açısından yüksek ve düşük yağış değerlerine karşı hemen hemen aynı derecede daha hassas olduğu da yine Şekil 4.41'den kolaylıkla yorumlanabilmektedir.

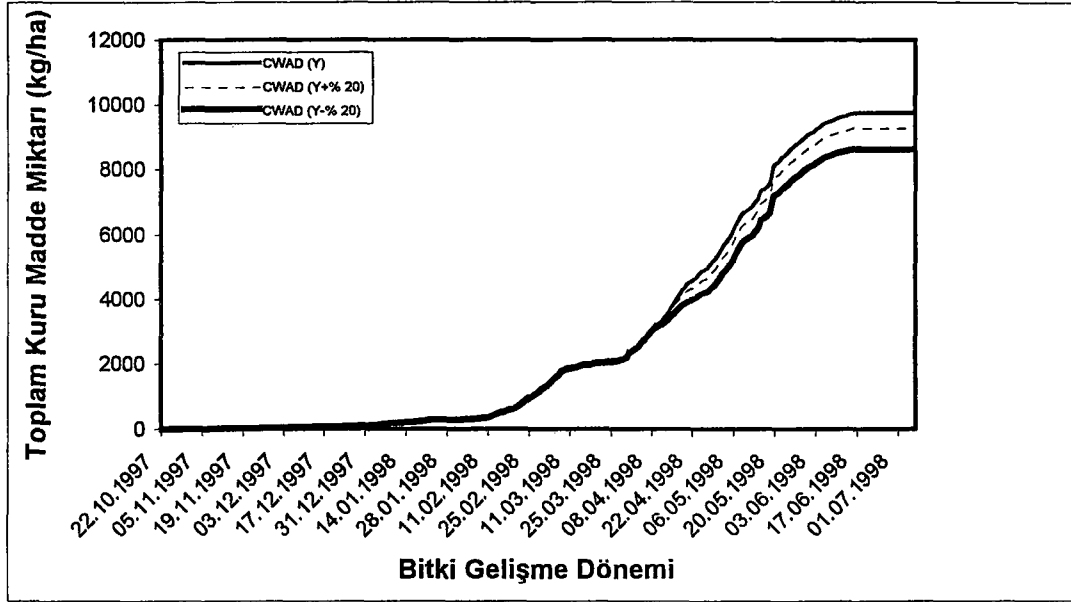


Şekil 4.41. CERES-Wheat Modeline Göre % 10'luk Yağış Değişimlerinin 97-98 Döneminde Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.

Modelin hesapladığı sayısal değerler, hasad aşamasındaki buğdayın normal sezon ile % 10'luk ortalama yağış artış ve azalış sezonları için sırasıyla 9768 kg/ha, 9500 kg/ha ve 9988 kg/ha olmuştur. Böylece yağışın 97-98 sezonu normalinin % 10 üzerinde gerçekleşmesi kuru madde miktarını % 2.7 azaltacak, % 10'luk ortalama yağış azalması durumunda ise % 2.3'lük bir verim artışı gerçekleşecektir. Aynı değişim senaryoları verim çıktısı için artış durumunda 3644 kg/ha değerini, azalış durumunda ise 3868 kg/ha değerini vermiştir. Böylece buğday, yağışın % 10 oranında artış göstereceği bir sezonda % 3.2'lik bir verim düşmesine maruz kalacak, bunun tersinin gerçekleşmesi halinde ise verimini % 2.7 oranında arttıracaktır. Görüldüğü gibi yağış artışı ve azalışı buğdayın kuru madde miktarı ve verim parametrelerini yaklaşık olarak aynı oranlarda etkilemektedir.

Yağış değerlerinde kaydedilecek % 20 oranındaki artış ve azalışların buğdayın toplam evapotranspirasyonuna etkisinin pek yüksek olmadığı belirlenmiştir. Normal sezon için 283.8 mm olarak hesaplanan toplam evapotranspirasyon değeri, % 20'lik yağış artışı için 283.9 mm olmakta, % 20'lik yağış azalması ise 281.9 mm'lik bir toplam evapotranspirasyon değeri vermektedir. Birbirine son derece yakın olan bu değerlerden artış senaryosuna ait olanı toplam evapotranspirasyonda önemli bir değişmeye işaret etmezken, azalış senaryosu % 0.7 oranında bir toplam evapotranspirasyon düşüşüne karşılık gelmektedir. Sayısal değerler buğdayın bu dönemde yağıştaki azalışa ve artışa hassasiyet göstermediğini ortaya koymakta olup, bu durumun nedeni, modelde kullanılan evapotranspirasyon eşitliği olan Penman'ın yağışa dayanmamasıdır.

Aynı senaryo kuru madde miktarları için uygulandığında ise, modelin verdiği sonuçların daha tatmin edici olduğu ortaya çıkmaktadır. Aşağıdaki Şekil 4.42, sezonluk yağışta gerçekleşebilecek % 20'lik değişimlerin buğday kuru madde miktarına etkisini göstermektedir.



Şekil 4.42. CERES-Wheat Modeline Göre % 20'lik Yağış Değişimlerinin 97-98 Döneminde Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.

Normal sezon için daha önce 9768 kg/ha olarak hesaplanan toplam kuru madde miktarı, yağışın % 20 oranında artış gösterdiği sezonda 9296 kg/ha'a gerilemekte, aynı orandaki yağış azalış sezonu ise bu değeri daha da aşağıya çekerek 8643 kg/ha'lık bir toplam kuru madde miktarını göstermektedir. Görüldüğü gibi hem yağışın hem artma hem de azalma durumlarının ikisi için de toplam kuru madde miktarlarında düşme öngörülmektedir. Yağış artış senaryo simülasyonu % 4.8 oranında bir kuru madde azalışına işaret ederken, bu azalma yağış azalma durumu için % 11.5'e tırmanmaktadır. Yağıştaki artış ve azalışların 97-98 döneminde ekilen buğdayın kuru madde miktarında azalma meydana getirmesi, bu dönemde bölgede kaydedilen toplam yağış miktarının (450 mm) ele alınan kültürtipi için optimum miktarı temsil ettiğini, bu değerin üzerindeki ve altındaki yağış değerlerinin ise buğdayın kuru madde miktarı için olumsuz etkiye bulunacağını göstermektedir. % 20 oranında artan ve azalan yağış senaryolarının ikisi de verim parametresi için düşme göstermektedir. Bu durumlar için hesaplanan verim değerleri sırasıyla 3552 kg/ha (% 5.7'lik verim düşüşü) ve 3251 kg/ha (13.7'lik verim düşüşü) olmuştur. Böylece yağışta % 10 oranında meydana gelebilecek bir azalma için verimde artış gösteren buğdayın, yağış azalma oranı % 20'ye çıktığında önemli bir verim azalışı göstereceği ortaya çıkmaktadır.

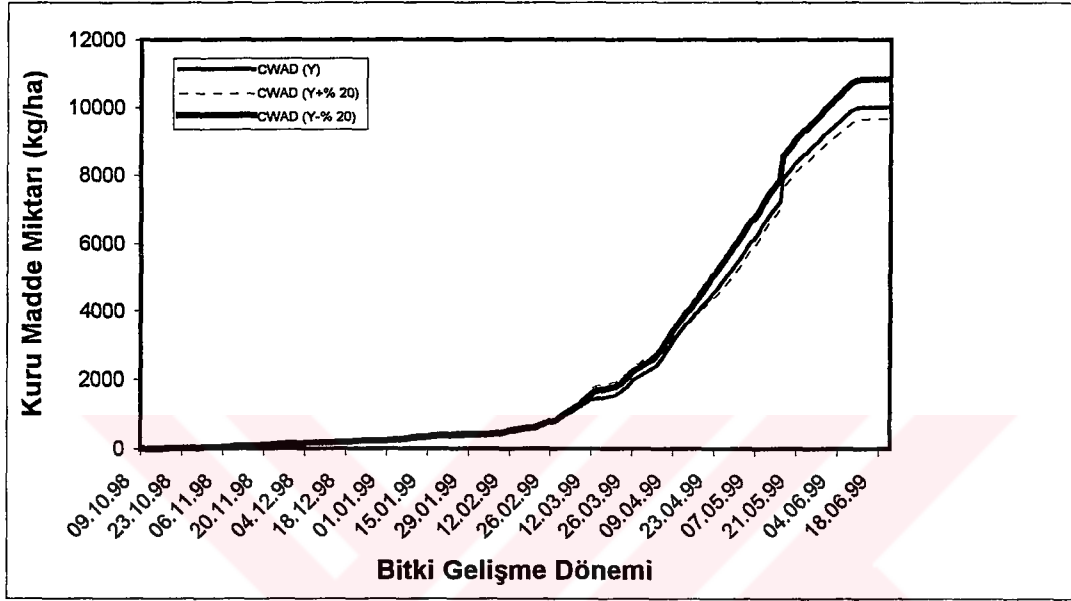
4.5.1.2. 98-99 Ölçüm Dönemi

Bu ölçüm döneminde ekimi gerçekleştirilen kültürtipinin toplam evapotranspirasyona da yağış tarafından pek bir etki yapılmadığı CERES-Wheat Modeli tarafından öngörülmektedir. Kültürtiplerinin evapotranspirasyon aktivitesinin yağış miktarlarındaki değişimlerden bağımsız olamayacağı temel düşüncesi, bu modelin yağış girdisini evapotranspirasyon çıktısına sağlıklı olarak yönlendiremediğini göstermektedir.

Model, yağış tarafından buğday evapotranspirasyonuna yapılan etkinin oldukça az olacağını öngörmektedir. Hasad aşaması için hesaplanan değerlere bakıldığında, normal sezon için 190.5 mm olan evapotranspirasyonun, yağışın % 10 oranında arttığı ve azaldığı sezonlar için gösterdiği değişimlerin % 1'in altında gerçekleşeceği ortaya çıkmıştır. 98-99 gelişme dönemi boyunca uzun yıllık ortalamaların üzerinde gerçekleşen yağışların daha da arttırıldığı senaryolar buğdayın optimum ihtiyacını aştığından, bu durumlarda elde edilen evapotranspirasyon ve kuru madde miktarı çıktıları azalmaya meyletmektedir. Yine de söz konusu dönemde modelin % 10'luk yağış değişimi-toplam kuru madde miktarı ilişkisine yönelik verdiği sonuçlar toplam evapotranspirasyon için olanlara nazaran gerçekçidir. Sapa kalkma fenolojik aşamasına kadar yaklaşık olarak aynı miktarları gösteren senaryo eğrileri, bu dönemde yavaş yavaş birbirinden uzaklaşmakta ve artan yağışın kuru madde miktarında düşmeye neden olacağı ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.43).

yine tam olarak yansıtmamakta olup, bunun nedeni modelin buharlaşma hesabı aşamalarında yağış faktörünü dikkate almayan bir eşitliği (Penman) kullanmasıdır.

% 20 oranında gerçekleşebilecek yağış miktarı değişiminin buğday toplam kuru madde miktarlarına etkisi ise aşağıdaki Şekil 4.44'ün incelenmesiyle anlaşılabilir.



Şekil 4.44. CERES-Wheat Modeline Göre % 20'lik Yağış Değişimlerinin 98-99 Döneminde Buğdayın Toplam Kuru Madde Miktarlarına Etkisi.

Sapa kalkma aşaması başlayana kadar yaklaşık olarak aynı toplam kuru madde miktarlarını gösteren eğrilerden yağış azalışına ait olanı, bu dönemden sonra hissedilir biçimde diğerlerinden uzaklaşarak hasada yakın dönemde 10824 kg/ha değerine ulaşmıştır. Yağış artış senaryosunun hasad aşamasında gösterdiği toplam kuru madde miktarı ise 9661 kg/ha seviyesinde kalmıştır. Bu değerler normal sezon için hesaplanan toplam kuru madde miktarıyla (10008 kg/ha) karşılaştırıldığında % 20'lik yağış azalış senaryosu için % 8.2 oranında bir toplam kuru madde miktarı artışı, bu durumun tersinin ele alındığı senaryo için ise % 3.5'lik bir toplam kuru madde miktarı azalışı ortaya çıkmaktadır. Bu oranlar söz konusu dönemde buğdayın ihtiyaç duyduğundan daha fazla miktarda yağışa maruz kaldığını ve yağış azalışına verilen tepkinin artışının iki katından fazla olduğunu göstermektedir. Verim parametresi dikkate alındığında ise % 10'luk senaryoların gösterdiği koşulların, % 20'lik değişim

senaryosuna hemen hemen uygun biçimde yansıdığı görülmektedir. Bu dönemde yağışta meydana gelebilecek % 20 oranında bir artış için model 4598 kg/ha'lık bir verim değeri hesaplamakta, aynı orandaki yağış azalış senaryosu için ise 5095 kg/ha değeri söz konusu olmaktadır. Bu değerlerin oransal karşılıkları sırasıyla % 3'lük bir verim azalması ile % 7.4 oranında bir verim artışı olmuştur.

4.6. CERES-Wheat Modeline Göre Senaryoların Fenolojik Aşama Tarihlerine Etkileri

Hava sıcaklığı, özellikle bitki gelişimine önemli etkilerde bulunan ve fenolojik aşamaların gerçekleşme zamanlarının erken ya da geç olmasını birinci derecede yönlendiren bir meteorolojik parametredir. Aşağıdaki tablolar, 97-98 ve 98-99 sezonlarında buğdayın geçirdiği belli başlı fenolojik aşamaların gerçekleşme tarihlerinde sıcaklığa bağlı olarak CERES-Wheat Modeli tarafından öngörülen değişimleri göstermektedir.

Tablo 4.3. 97-98 Sezonunda Çeşitli Sıcaklık Senaryolarında Buğdayın Fenolojik Aşamaları için CERES-Wheat Modeli Tarafından Yapılan Tahminler.

SENARYO	EKİM	ÇİMLENME	VEJETATİF GELİŞME SONU	DANE DOLUM BAŞLANGICI	HASAD OLGUNLUĞU
T	22 Ekim	8 Kasım	24 Nisan	19 Mayıs	22 Haziran
T+1	22 Ekim	6 Kasım	17 Nisan	12 Mayıs	15 Haziran
T-1	22 Ekim	9 Kasım	30 Nisan	25 Mayıs	28 Haziran
T+2	22 Ekim	5 Kasım	12 Nisan	7 Mayıs	10 Haziran
T-2	22 Ekim	10 Kasım	5 Mayıs	1 Haziran	5 Temmuz

Tablo 4.4. 98-99 Sezonunda Çeşitli Sıcaklık Senaryolarında Buğdayın Fenolojik Aşama Tarihleri için CERES-Wheat Modeli Tarafından Yapılan Tahminler.

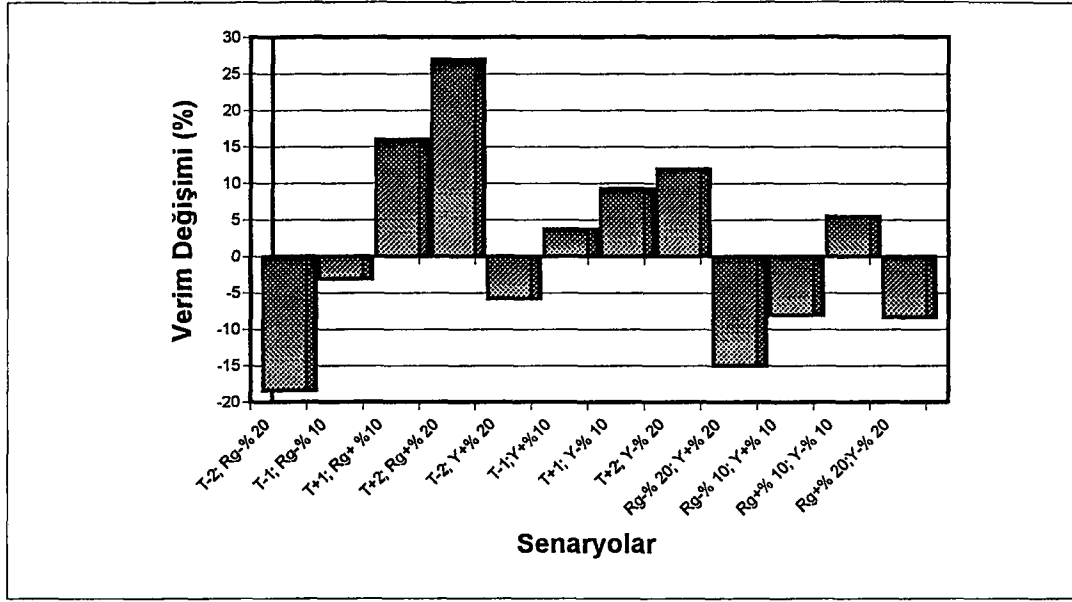
SENARYO	EKİM	ÇİMLENME	VEJETATİF GELİŞME SONU	DANE DOLUM BAŞLANGICI	HASAD OLGUNLUĞU
T	9 Ekim	18 Ekim	20 Nisan	16 Mayıs	15 Haziran
T+1	9 Ekim	17 Ekim	14 Nisan	10 Mayıs	8 Haziran
T-1	9 Ekim	18 Ekim	26 Nisan	22 Mayıs	20 Haziran
T+2	9 Ekim	16 Ekim	10 Nisan	3 Mayıs	3 Haziran
T-2	9 Ekim	19 Ekim	2 Mayıs	29 Mayıs	-
Gözlenen	9 Ekim	13 Ekim	28 Nisan	24 Mayıs	15 Haziran

CERES-Wheat Modeli, bitkinin fenolojik gelişme safhalarının gerçekleşme tarihleri için sıcaklığa dayanan büyüme-derce-gün kavramını kullanmakta olup, bu yöntem bitki-iklim model tasarımlarının çoğunda tercih edilmektedir. Yöntem bir bitkinin içinde bulunduğu gelişme aşamasının tayininde bitkinin o ana kadar maruz kaldığı ortalama sıcaklık değerleri ile kültürtipine özgü bir temel sıcaklık değeri arasındaki günlük farkların toplamına dayanmaktadır. Böylece senaryoların fenolojik aşama gerçekleşme tarihleri için en doğru sonuçları sıcaklık parametresine bağlı olarak vermesi beklenir. Yukarıdaki tablolarda bu durum açıkça görülmektedir.

4.7. Birden Fazla Meteorolojik Parametrenin Değiştiği CERES-Wheat Modeli Simulasyonları

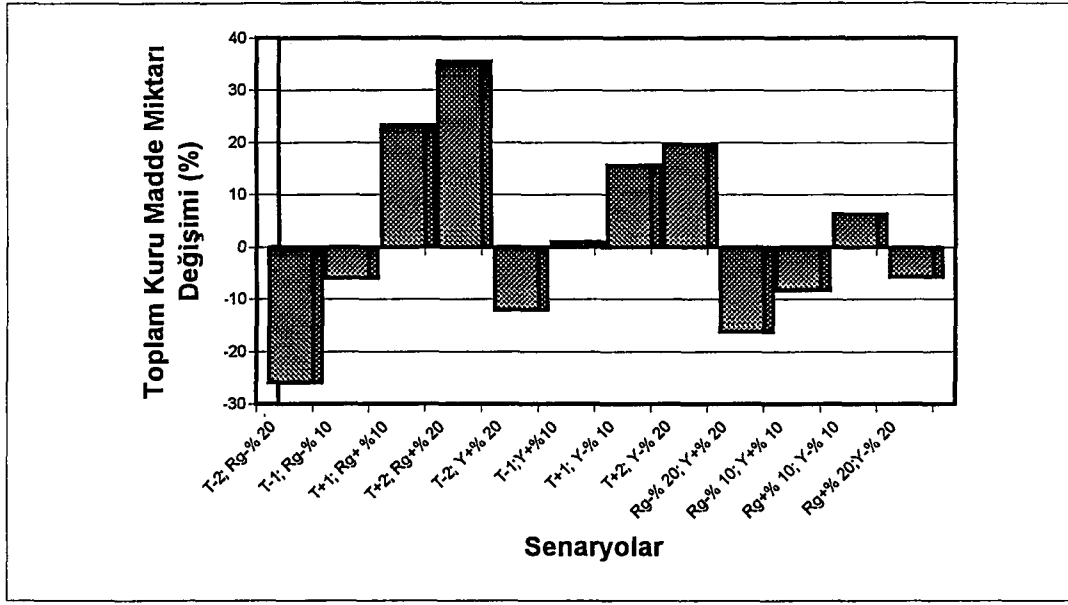
CERES-Wheat Modeli, aynı dönemde ele alınan meteorolojik parametre çeşidinin birden fazla olması durumlarında da bitki gelişimini analiz edilebilmektedir. Buna ek olarak model, bitki fotosentezini yakından ilgilendiren karbondioksit (CO_2) parametresindeki değişimlerin olası sonuçları hakkında da bilgi sahibi olunmasını sağlamaktadır.

Çok sayıda meteorolojik parametrenin aynı anda değişmesine dayanan simulasyonların, 97-98 döneminde ekimi gerçekleştirilen Attila kültürtipinin toplam evapotranspirasyon, verim ve kuru madde miktarları için verdiği oransal değişim sonuçları sırasıyla aşağıdaki 4.45., 4.46 ve 4.47 numaralı şekillerde sunulmuştur.



Şekil 4.46. Birden Fazla Meteorolojik Parametre Değişimi Simulasyonlarının 97-98 Dönemi İçin Verim Değerine Yansıma Oranları.

Aynı dönemde sıcaklığın (2 °C) ve güneş radyasyonunun (% 20) birlikte artış gösterdiği senaryoya verim çıktısının verdiği tepki ise gayet olumludur (% 26.9'luk verim artışı). Aynı parametrelerde aynı oranlarda azalmanın simule edildiği senaryoda ise % 18.4'lük bir verim düşmesi öngörülmüştür. Verim senaryolarının toplam evapotranspirasyonunkinden en önemli farkı, burada radyasyonun arttırılıp yağışın azaltıldığı senaryonun artışa değil, azalışa işaret etmesidir.

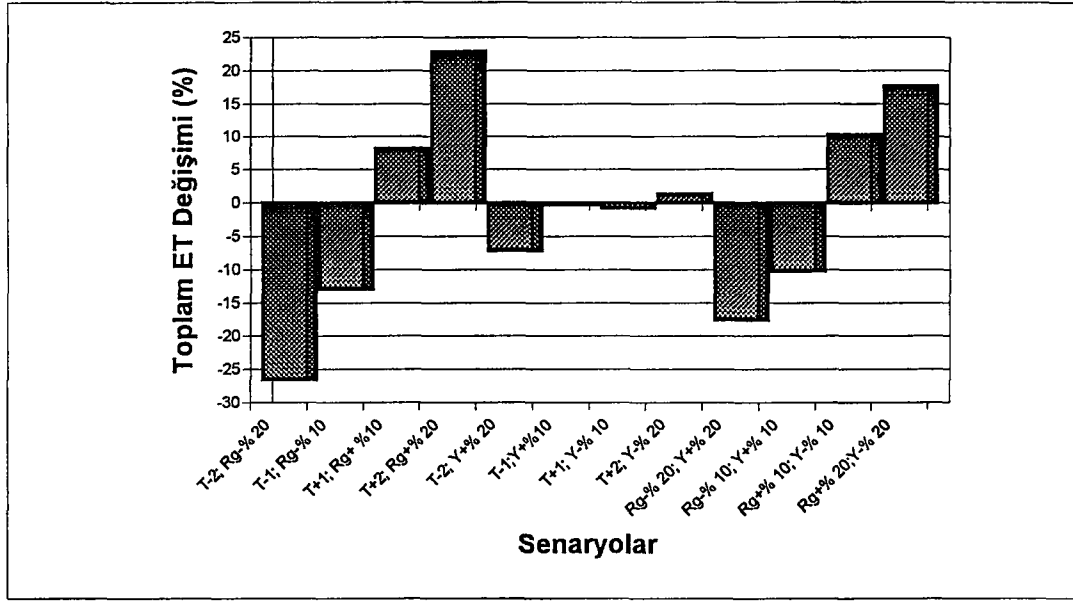


Şekil 4.47. Birden Fazla Meteorolojik Parametre Değişimi Simulasyonlarının 97-98 Dönemi İçin Toplam Kuru Madde Miktarına Yansıma Oranları.

97-98 döneminde uygulanan çoklu değişim senaryolarının toplam kuru madde miktarı çıktısı için verdiği sonuçlar en olumlu tepkinin yine sıcaklık ve güneş radyasyonu artışlarına verileceğini göstermektedir (T+2 °C ve Rg+% 20 için toplam kuru madde miktarında % 35.4 oranında artış). Söz konusu parametrelere aynı oranlarda azaltım uygulanması durumunda ise toplam kuru madde miktarında % 26'lık bir düşme gerçekleşecektir (Şekil 4.47).

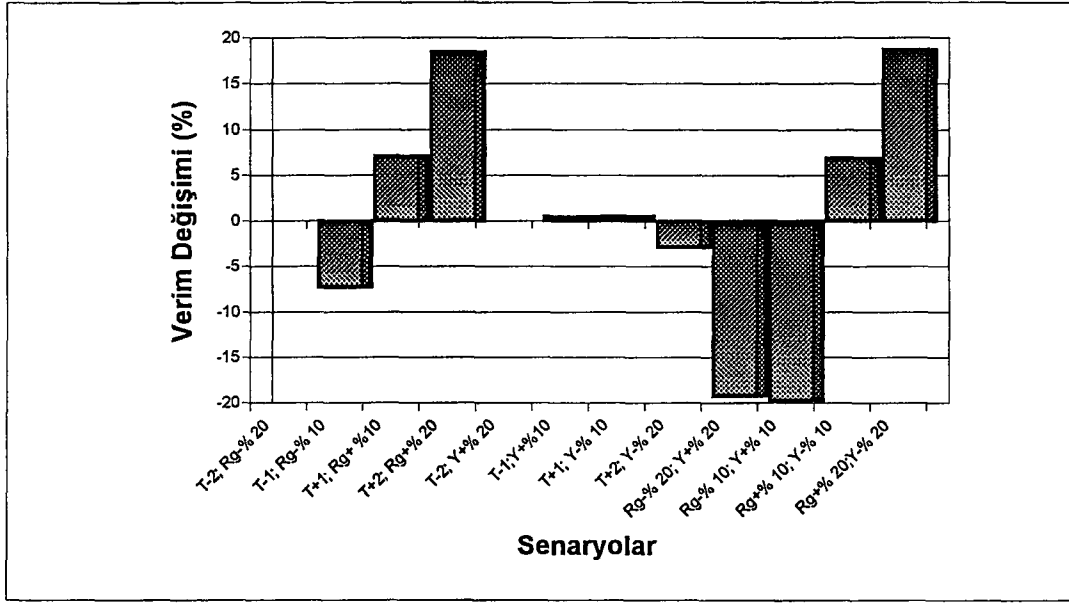
Görüldüğü gibi tüm çıktı parametreleri ekstremliğin arttığı senaryolara doğal olarak daha belirgin tepkiler vermektedir. 97-98 döneminde çıktıları en önemli ölçüde etkileyen meteorolojik parametrenin güneş radyasyonu olduğu da grafiklerden görülmektedir. En belirleyici çoklu simulasyon çifti ise güneş radyasyonunun sıcaklıkla birlikte oluşturduğu ikilidir.

Aynı senaryoların 98-99 döneminde uygulanmasından elde edilen sonuçlar yine sırasıyla aşağıdaki 4.48., 4.49. ve 4.50 numaralı şekillerde verilmiştir.



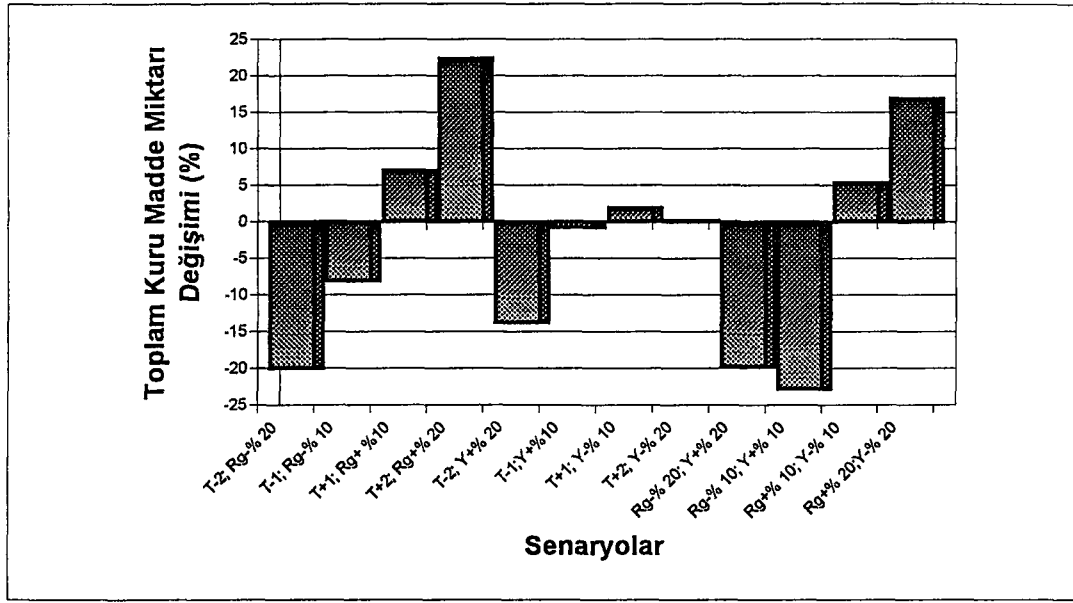
Şekil 4.48. Birden Fazla Meteorolojik Parametre Değişimi Simulasyonlarının 98-99 Dönemi İçin Toplam Evapotranspirasyon Değerine Yansıma Oranları.

Buğdayın toplam evapotranspirasyon bakımından 98-99 döneminde de bir önceki dönemdekine benzer tepkiler verdiği görülmektedir. Sıcaklık ve güneş radyasyonu ikilisi yine en belirleyici simulasyon sonuçlarına zemin hazırlamaktadır. Sıcaklığın 2 °C, radyasyonun da % 20 oranında arttığı bütünleşik senaryonun ortaya koyduğu sonuç, toplam evapotranspirasyonda % 22.8’lik bir artıştır. Bu durumun tersine karşılık gelen senaryo ise toplam evapotranspirasyonda % 26.5’lik bir düşmenin meydana geleceğini göstermektedir.



Şekil 4.49. Birden Fazla Meteorolojik Parametre Değişimi Simulasyonlarının 98-99 Dönemi İçin Verim Değerine Yansıma Oranları.

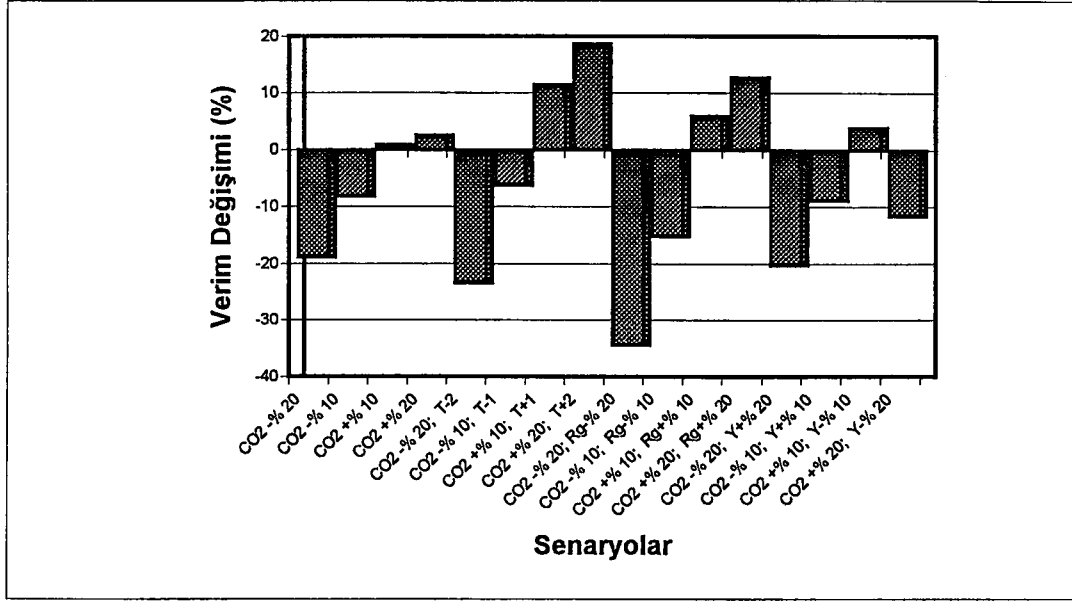
Aynı dönemin verim çıktısı için gerçekleştirilen çoklu simulasyonlarının tümünde yine güneş radyasyonu parametresindeki değişimleri içeren senaryoların oldukça dikkat çekici sonuçlar verdiği belirlenmiştir. % 20'lik güneş radyasyonu artışının 2 °C'lik sıcaklık artışı ve % 20'lik yağış azalışı ile oluşturduğu çiftlerden elde edilen sonuçlar sırasıyla % 18.4'lük ve % 18.7'lik verim artışlarını göstermekte olup, bu değerlerin birbirine yakınlığı dikkat çekicidir. Bu durumda buğdayın 98-99 dönemi için yüksek sıcaklıklar kadar düşük yağış değerlerine de ihtiyaç duyduğu ortaya çıkmaktadır. Yağışın attığı, buna karşılık güneş radyasyonunun azaldığı senaryolarda da oldukça keskin simulasyon tepkileri elde edilmiştir. Bu senaryolar % 20 seviyesine yaklaşan oranlarda verim düşmeleri göstermiştir.



Şekil 4.50. Birden Fazla Meteorolojik Parametre Değişimi Simulasyonlarının 98-99 Dönemi İçin Toplam Kuru Madde Miktarına Yansıma Oranları.

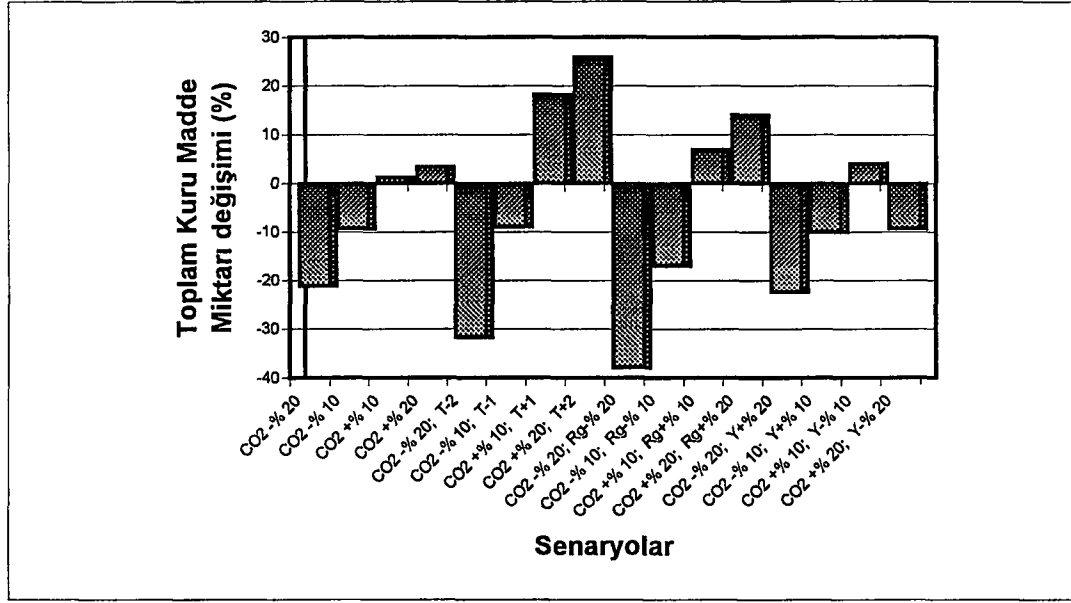
Aynı dönem için toplam kuru madde miktarı değişimleri incelendiğinde yine güneş radyasyonu ve sıcaklık parametrelerinde meydana gelen artışların olumlu sonuçlarıyla karşılaşılmaktadır. Radyasyonun % 20, sıcaklığın ise 2 °C artış gösterdiği senaryo toplam kuru madde miktarının % 22.3 oranında artacağını öngörmüştür. Bu durumun tersine karşılık gelen senaryoda ise % 20'lik bir toplam kuru madde miktarı azalışı simule edilmiştir. Güneş radyasyonunun azalıp yağışın arttığı, ve bunun tersinin gerçekleştiği tüm senaryolar da önemli toplam kuru madde azalışlarının habercisi olmaktadır.

CERES-Wheat Modeli'nde dikkate alınan meteorolojik parametre değişimleri, her iki dönem için muhtemel CO₂ değişimleri ile kombinasyonlar teşkil edecek senaryolar için de simülasyona tabi tutulmuştur. Aşağıdaki 4.51 ve 4.52 numaralı şekiller, 97-98 sezonu için uygulanan senaryolara ait simülasyon sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 4.51. CERES-Wheat Modelinin Olası CO₂ Değişimleri için Hesapladığı 97-98 Dönemi Verim Değişim Oranları.

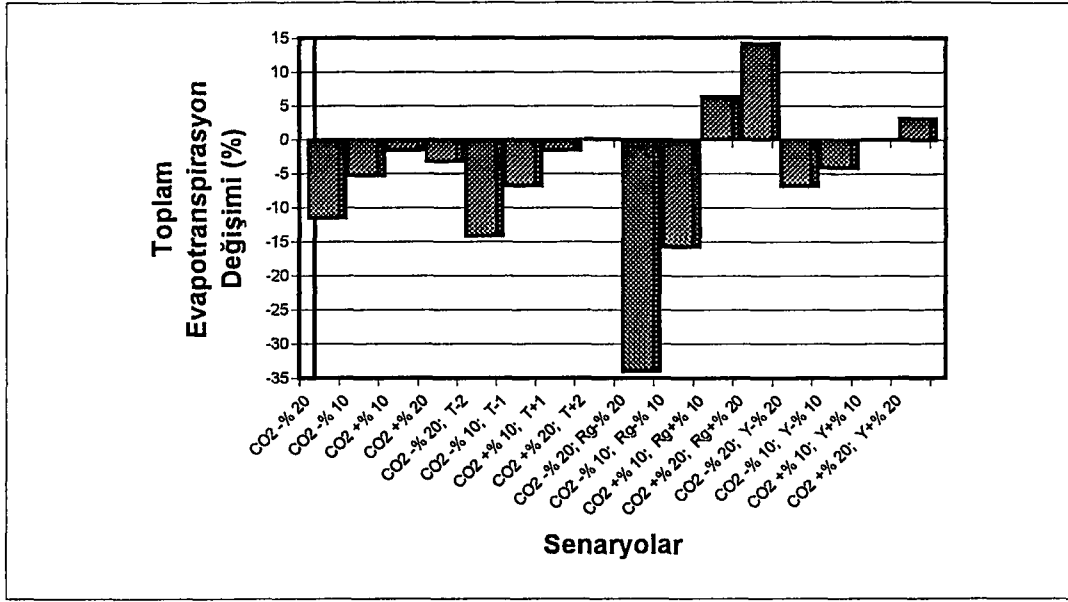
Aynı dönemde verim çıktısının uygulanan CO₂ değişimlerine tepkisi incelendiğinde, radyasyonda ve CO₂'de meydana gelebilecek % 20 oranındaki azalışların yine en düşük sonuçları veren simulasyonu oluşturduğu görülmektedir. Bu simulasyonda öngörülen oransal verim azalışı % 34.4'e ulaşmaktadır. Verim için en büyük artış ise CO₂'nin (% 20) sıcaklıkla (2 °C) birlikte gösterdiği artış senaryosuna ait olmaktadır (% 18.6'lık verim artışı). Böylece güneş radyasyonunun bu çıktı parametresinin artış simulasyonunda ilk defa olarak geri planda kaldığı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.52. CERES-Wheat Modelinin Olası CO₂ Değişimleri için Hesapladığı 97-98 Dönemi Toplam Kuru Madde Miktarı Değişim Oranları.

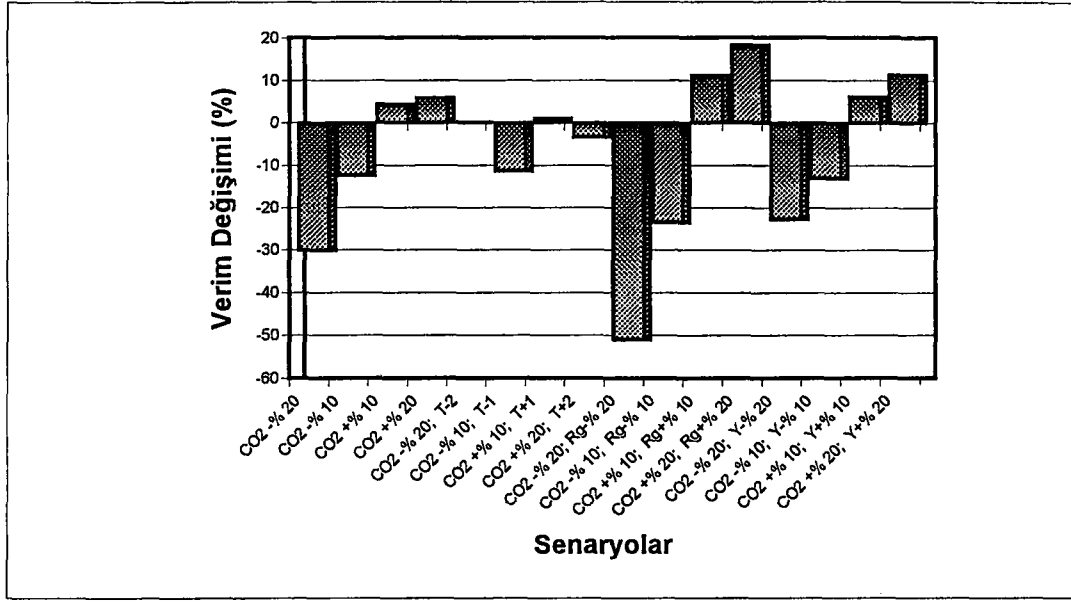
Verim parametresinin gösterdiği tepkiler yaklaşık olarak toplam kuru madde miktarlarına da yansımaktadır. Bu senaryolar arasında da en büyük çıktı artışı sıcaklığın (2 °C) ve CO₂'nin (% 20) birlikte artması durumunda meydana gelmektedir. Söz konusu simülasyonun verdiği sonuç, % 25.8'lik toplam kuru madde miktarı artışıdır. Bu parametrelerin sıcaklık için 1 °C'lik ve radyasyon için % 10'luk değişimlerinin birlikte uygulandığı senaryo da ikinci derecede önem arz eden artış sonucunu vermektedir. En büyük toplam kuru madde miktarı azalması ise, CO₂'nin güneş radyasyonu ile birlikte % 20 azalma gösterdiği simülasyona ait olmuştur. Bu durumda elde edilen toplam kuru madde miktarının normal değerden oransal azalışı % 38 olmaktadır.

98-99 dönemi için elde edilen sonuçların da benzer özelliklere sahip olduğu aşağıdaki 4.53 ve 4.54 numaralı şekillerden anlaşılmaktadır.



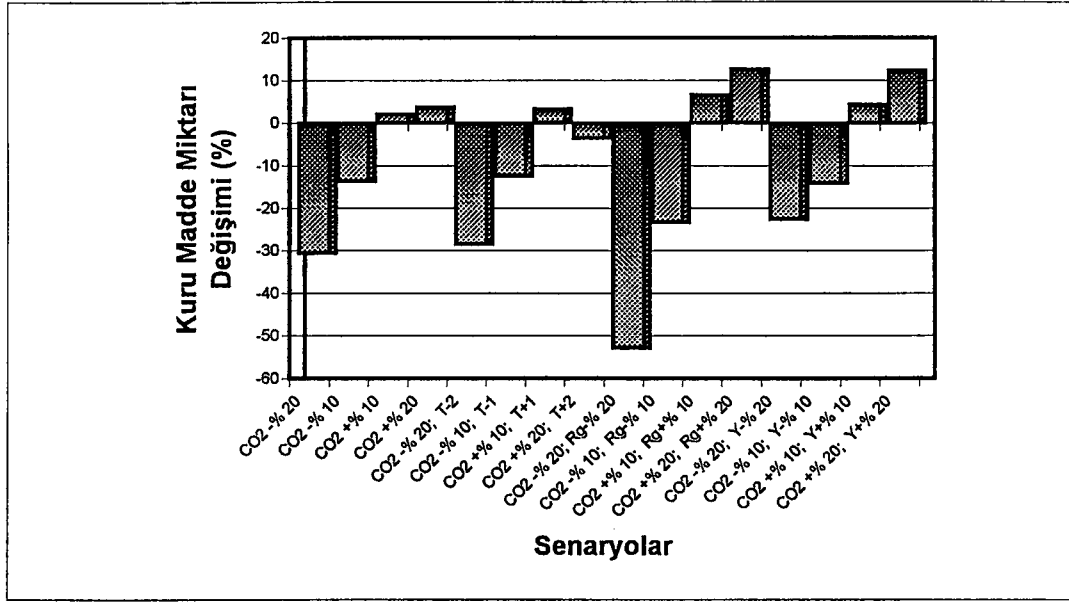
Şekil 4.53. CERES-Wheat Modelinin Olası CO₂ Değişimleri için Hesapladığı 98-99 Dönemi Toplam Evapotranspirasyon Değişim Oranları.

Toplam evapotranspirasyon çıktı parametresine yönelik 98-99 gelişme dönemi için gerçekleştirilen CO₂ değişim simülasyonlarında da CO₂'nin güneş radyasyonu ile birlikte yaptığı etki sonucunun ön plana çıktığı görülmektedir. % 20'lik CO₂ ve radyasyon azalışının ortaya koyduğu toplam evapotranspirasyon azalışı % 34 olurken, aynı orandaki artışlar bu parametrede % 14.1 oranında bir yükselmeyi işaret etmektedir. Görüldüğü gibi buğday bitkisinin azalan CO₂ ve radyasyon parametrelerine gösterdiği hassasiyet, artanlarınkine oranla çok daha büyük orandadır.



Şekil 4.54. CERES-Wheat Modelinin Olası CO₂ Değişimleri için Hesapladığı 98-99 Dönemi Verim Değişim Oranları.

98-99 döneminde verimin CO₂'nin bütünsel simülasyonlarına verdiği tepkilerin genel yapısı, toplam evapotranspirasyon senaryolarının ortaya koyduğu sonuçlara benzemektedir. % 20 oranındaki CO₂ ve radyasyon azalışları verimde % 51.1 gibi küçümsenemeyecek bir azalma meydana geleceğini göstermektedir. Aynı orandaki artışların bu çıktı parametresinde sağlayacağı oransal artış ise % 18.1 seviyesinde kalmaktadır. Bu değer hemen hemen tüm senaryolarda olduğu gibi burada da en büyük artış oranını temsil etmektedir. Böylece buğdayın azalan CO₂ ve radyasyon değerlerine gösterdiği hassasiyetin verim parametresinde iyice belirginleştiği ve bu iki meteorolojik faktörde meydana gelmesi muhtemel % 20 oranındaki azalmanın, verimi yarı yarıya azaltacağı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.55. CERES-Wheat Modelinin Olası CO₂ Değişimleri için Hesapladığı 98-99 Dönemi Toplam Kuru Madde Miktarı Değişim Oranları.

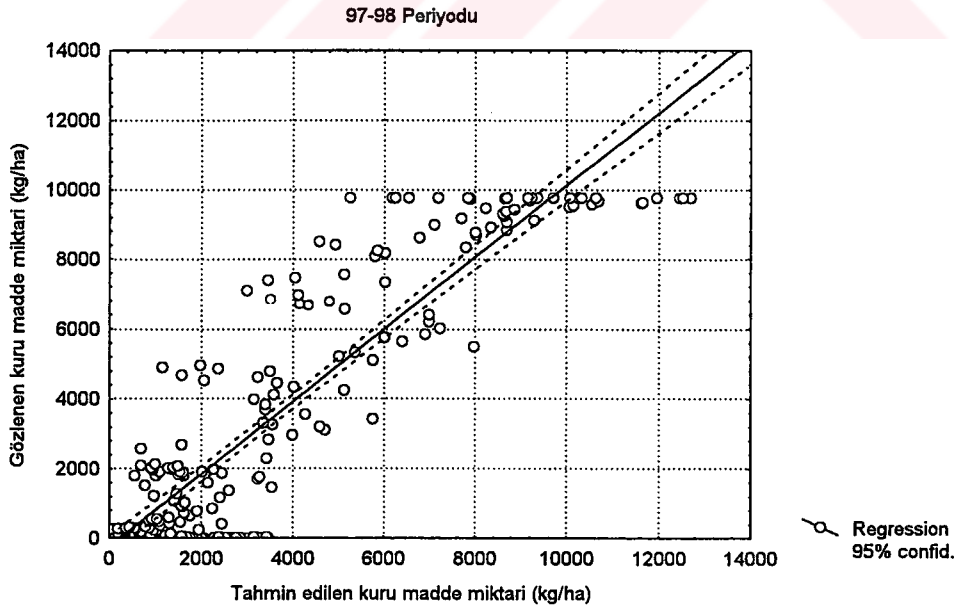
98-99 sezonu için toplam kuru madde miktarlarının CO₂ değişimlerine verdiği tepkiler incelendiğinde ise, verimde CO₂ azalışının güneş radyasyonu ile birlikte yaptığı azaltıcı etkinin toplam kuru madde miktarlarına da yansıdığı görülecektir. İlgili parametrelerde gerçekleşmesi beklenen % 20 oranındaki azalışların toplam kuru madde miktarına yansması % 52.9'u bulmaktadır. Aynı orandaki artışlar ise % 12.6'lık bir toplam kuru madde miktarı artışı göstermektedir. Bu dönemde buğdayın CO₂ ile radyasyonun birlikte azaldığı senaryolara verdiği tepkilerin 97-98 dönemininkine nazaran daha keskin olduğu görülmektedir. Tüm çıktı tipleri için en büyük artışlar yine % 20'lik pozitif CO₂ ve radyasyon değişim oranlarında gerçekleşmektedir. Bu dönem için simule edilen azalışların 97-98 dönemininkinden daha şiddetli, artışların ise daha hafif olduğu dikkat çekmektedir.

4.8. Meteorolojik Faktörler ile Kuru Madde Miktarı Arasındaki İlişki

Bu çalışmada kullanılan modeller açıklayıcı modeller olması nedeniyle bitki gelişiminde rol oynayan tüm işlemlerin tanımlandığı modellerdir. Ancak elde edilen kuru madde miktarı değerleri için basit bir tanımlamalı model oluşturulabilmek amacıyla, bu çalışmada çoklu regresyon yöntemi kullanılmıştır.

Buna göre 97-98 döneminde dikkate alınan verilerden hava sıcaklığı, bağıl nem, global radyasyon, doymuş buhar basıncı, gerçek buhar basıncı, buhar basınç farkı, rüzgar hızı, çiğ noktası sıcaklığı, buharlaşma, yağış, maksimum ve minimum sıcaklıklar ile bitkinin kuru madde miktarı arasında yapılan istatistiksel analiz sonucunda normal dağılıma uyan verilerden maksimum hava sıcaklığı ile kuru madde miktarı arasında oldukça iyi bir ilişki tespit edilmiştir ($r^2=0.69$).

İkinci derecede önemli meteorolojik faktör bu dönem için hava sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Her iki değişken ile kuru madde miktarı arasındaki korelasyon 0.72'dir (Şekil 4.56).

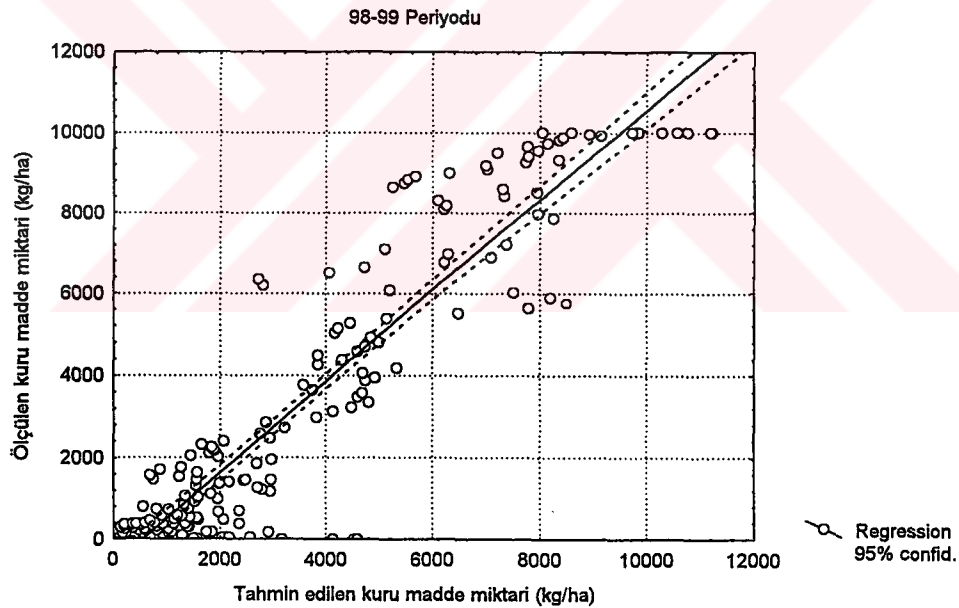


Şekil 4.56. Belirlenen Kuru Madde Miktarları ile Tahmin Edilen Kuru Madde Miktarları Arasındaki İlişki (97-98 periyodu).

Buna göre, kümülativ kuru madde miktarı ile doymuş buhar basıncı, çiğ noktası sıcaklığı, 20 ile 50 cm derinlikte ölçülen toprak sıcaklığı, hava sıcaklığı, maksimum sıcaklık arasında oldukça iyi bir ilişki belirlenmiştir ($r^2=0.84$).

Şekil 4.58, tahmin edilen ve ölçülen kuru madde miktarları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Kuru madde miktarı ile sadece doymuş buhar basıncı ve çiğ noktası sıcaklığı arasındaki korelasyon 0.72'dir.

Buna karşın kümülativ olmayan değerler yani kuru madde miktarındaki artışlar günlük ortalama, minimum hava sıcaklıkları ile 5 cm ve 100 cm toprak sıcaklık değerleri arasında oldukça iyi bir ilişki tespit edilmiştir ($r^2=0.84$). Burada da kuru madde miktarındaki artışların 5 cm'deki toprak sıcaklığı ile minimum hava sıcaklığı tarafından büyük bir kısmının açıklandığı belirlenmiştir ($r^2=0.80$).



Şekil 4.58. 98-99 Döneminde Ölçülen ve Belirlenen Kuru Madde Miktarları Arasındaki İlişki.

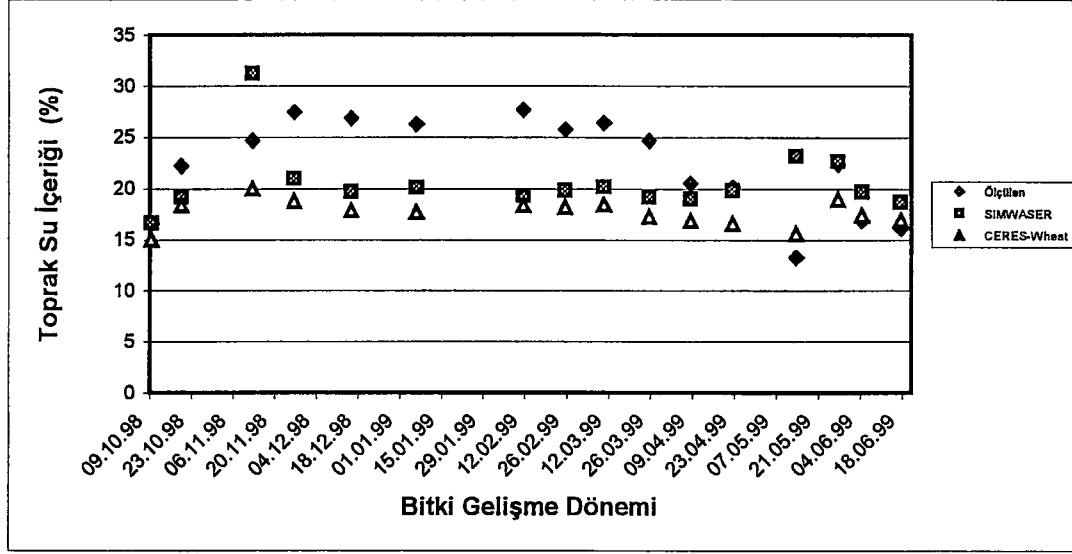
Şekil 4.56 ve Şekil 4.58'deki değerler incelendiğinde, bitki gelişme döneminin başlangıcındaki değerlerin büyük bir kısmının 400 kg/ha'lık kuru madde miktarının altında ve hasad aşamasındada değerlerin 10000 kg/ha civarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bunların arasındaki değerler bitkinin gelişiminin hızlandığı andaki

değerlerdir. Bitkinin gelişiminin oldukça yavaş olduğu her iki dönemdeki verilerinde buradaki ilişkiyi olumsuz etkilediği açıktır.

Modellerin elde ettiği sonuçlardan bir diğeri de buharlaşma ile ilgili hesaplamalardır. 97-98 ve 98-99 periyotlarında ölçülen buharlaşma ile hesaplanan buharlaşma değerleri arasında bazı dönemler dışında oldukça iyi bir korelasyon bulunmaktadır. Ancak burada unutulmamalıdır ki, bu karşılaştırmayı yaparken SIMWASER Modelinde kullanılan Penman-Monteith Eşitliği modifikasyonunun, CERES-Wheat Modeli tarafından kullanılan Penman Eşitliğine göre, özellikle bitkisel gelişimi dikkate alması bakımından bir üstünlüğü söz konusudur. Bununla birlikte, Penman-Monteith Eşitliği son yıllarda dünyadaki araştırmacıların büyük çoğunluğu tarafından da ET hesaplamalarında kabul gören bir eşitliktir.

Diğer yandan burada her iki yıl için kuru madde miktarı ile meteorolojik faktörler arasındaki ilişkinin her zaman aynı sonuçları vermesi beklenemez. Bu sonuçların genelleştirilmesinde hatalı sonuçlara neden olabilir. Ancak ölçüm yapılan yerde geçmişe yönelik yeterli bitki gelişimi ve meteorolojik değişkenlerle ilgili veri tabanının olması durumunda, bu bölge için bir ilişkinin geliştirilmesi çalışmaları yapılabilir. Çalışmanın yürütüldüğü iki ölçüm dönemindeki verilerden elde edilen bu sonuçlar, sadece ilgili yıllar ve bitki için geçerlidir. Bu meteorolojik faktörlerin gelecek yıllarda kuru madde miktarı üzerindeki etkileri farklı olabilir.

Bitki gelişiminde önemli rol oynayan yağışın bitkiler açısından etkisini belirleyen en önemli faktörde toprak su içeriğidir. Bu değer ülkemizde düzenli olarak ölçülen ve kaydı tutulan bir değer olmadığından modellerin sonuçlarının karşılaştırılmasında güçleşmektedir. Bu çalışmada da toprak su içeriği değerleri düzenli aralıklar ile (15 gün) ölçülmüştür. Modellerin simule ettiği toprak su içeriği değerleri, sadece bu ölçüm günleri için arazide belirlenen toprak su içeriği değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta, ölçülenden SIMWASER modeli tarafından hesaplanan toprak su içeriği değerinin % 8.6 ve CERES-Wheat modeliyle hesaplanana ise % 26 daha düşük değerler verdiği belirlenmiştir. Ancak karşılaştırmanın daha sağlıklı yapılabilmesi için bu değerlerin yağışın ölçüm aralığı ile aynı zamanda yapılması gereklidir (Şekil 4.59).



Şekil 4.59. Her İki Gelişme Dönemi için Ölçülen ve Simule Edilen Toprak Su İçeriği Değerleri.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İki farklı ölçüm döneminde Kırklareli’nde yapılan bu çalışmada buğday bitkisinin sıcaklık, radyasyon, yağış ve CO₂ değişimlerinden nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Söz konusu faktörlerin etkilerinin ayrı ayrı ele alınmasının yanı sıra, bunların mantıklı kombinasyonlarına karşılık gelen senaryoların ortaya koyduğu sonuçlar da ayrıca analiz edilmiştir. Bu amaçla DSSATv3.5 yapısı içinde buğday için geliştirilen CERES-Wheat Modeli ile SIMWASER Modeli kullanılmıştır.

Deneme alanı üzerinde her iki ölçüm dönemi için farklı kültür tipleri yetiştirilmiş ve değişen atmosferik parametrelerin buğday gelişimi ile verimine etkileri belirlenmiştir. İklimde meydana gelebilecek olası değişikliklerin, denemenin yürütüldüğü bölgede ürüne etkileri bu araştırma çalışmasında meteorolojik faktörlerdeki çeşitli değişimleri kapsayan farklı senaryolar altında değerlendirilmiştir. Söz konusu senaryolar, sıcaklığın 1 °C ve 2 °C, yağışın % 10 ile % 20, toplam radyasyonun % 10 ile % 20, bunun yanı sıra hava kirliliğinin bir sonucu olan ve bitki gelişiminde fotosentez işleminde kullanılan CO₂ konsantrasyonundaki % 10 ve % 20 oranındaki artma ve azalmalardır. Bu senaryoların ayrı ayrı ve farklı kombinasyonlarının üretime ve buharlaşmaya etkileri yukarıda değinilen iki farklı model vasıtasıyla belirlenmiştir.

Toplam kuru madde miktarı buğdayın en önemli verim parametrelerinden biri olup, bu değer 97-98 dönemi için 9920 kg/ha, 98-99 dönemi için ise 10920 kg/ha olarak ölçülmüştür. Verim değerleri sırasıyla 4000 kg/ha ve 5240 kg/ha olmuştur. Bu miktarlara, deneme alanına herhangi bir sulama uygulanmaksızın ulaşılmıştır. Böylece bitki gelişiminin doğal atmosferik şartların etkisi altında meydana gelmesi söz konusu

olmuştur. Toplam kuru madde miktarı CERES-Wheat Modeli ile 97-98 döneminde ölçülenin % 1.5 altında ve 98-99 döneminde ölçülenin de % 8.4 altında belirlenmiştir. Buna karşılık model tarafından bitkinin fenolojik aşamalarının oldukça iyi tahmin edildiği tespit edilmiştir. SIMWASER modelinde ise, 97-98 dönemi için hesaplanan toplam kuru madde miktarı gerçek miktarın % 17 üzerinde ve 98-99 döneminde ise % 3.9 üzerinde hesaplanmıştır.

SIMWASER Modeli özellikle 97-98 ölçüm döneminde bitki gelişiminin sıcaklıktaki değişimlerden hemen hemen doğru orantılı olacak şekilde etkileneceğini tahmin ederken, aynı durum söz konusu dönemde CERES-Wheat Modeli tarafından öngörülmemiştir. Özellikle SIMWASER Modeli, hava sıcaklığında meydana gelmesi muhtemel azalışların bitkisel üretime oldukça olumsuz biçimde yansıtacağını tahmin etmektedir. DSSATv3.5 yapısı içinde buğday bitkisi için geliştirilmiş olan CERES-Wheat Modeli ise, sıcaklıkta meydana gelen artış ve azalışları bitkinin üşüme periyodunu kısaltma ve uzatma şeklinde değerlendirmekte; bunun yanı sıra bitki büyüme döneminin belirlenmesinde maksimum ve minimum sıcaklıkların etkisini verime ayrıca yansıtmaktadır. Bu bağlamda, özellikle 98-99 döneminde CERES-Wheat Modeli tarafından buğdayın sıcaklık artışlarına vereceği tepkinin yaklaşık iki katını sıcaklık azalmalarına karşı göstereceği tahmin edilmiştir.

Uygulanan yağış senaryolarına ait simulasyon sonuçları yine CERES-Wheat Modeli ile belirlenen 97-98 yılı verim değerlerinin yağışın azalması durumunda artış göstereceğini ortaya koymuştur. Model, 98-99 dönemi boyunca düşen yağışın yapay olarak % 10 ve % 20 arttırılması durumlarında da verimin azalacağını, yağış miktarının azalması durumunda ise, bu değerlerin artacağını tespit etmiştir. 98-99 döneminde deneme alanı üzerinde kaydedilen ortalama yağış miktarının ortalama değerinin 1.5 katından fazla şekilde gerçekleşmesi, bu durumun bir nedeni olabilir. Başka bir neden ise, yağışın miktar ve dağılım açısından değişimi her iki yıl için de farklı bitki tipleri için optimumun üzerinde gerçekleşmesidir.

Toplam radyasyon ve dolayısıyla güneşlenme miktarı da buğdayın verim bileşenlerinin tahmininde modeller tarafından kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tüm modeller güneş radyasyonundaki olası değişimlerden oldukça fazla etkilenmişlerdir. Bu nedenle radyasyondaki değişim sonucunda modelin hesapladığı verim, buharlaşma

ve kuru madde miktarları diğer meteorolojik parametrelerden daha fazla artma ve azalmalar göstermiştir.

Karbondioksit (CO_2) konsantrasyonundaki değişimler bu değişkene ait analiz seçeneğini içinde barındıran CERES-Wheat Modeli vasıtasıyla incelenmiştir. CO_2 konsantrasyonundaki değişimler özellikle fotosentezle doğru orantılı olduğundan, bu değişkendeki artışlar ve azalışlar verime de önemli ölçüde yansımıştır.

Ele alınan parametrelerin birinde meydana gelebilecek değişikliklerin başka parametreleri de etkileyebileceği de çalışmada ayrıca dikkate alınarak sıcaklık, yağış, toplam radyasyon ve CO_2 konsantrasyonu ile ilgili çeşitli senaryo kombinasyonları simüle edilmiştir. Buna göre, CERES-Wheat Modeli; CO_2 parametresi ile ilgili olarak 97-98 dönemi için verimi maksimum arttıracak kombinasyonun, sıcaklığın 2°C arttığı ve CO_2 miktarının % 20 oranında artış gösterdiği senaryo ile gerçekleşeceğini öngörmüştür (% 18.6'lık verim artışı). Aynı dönemde gerçekleşecek maksimum verim azalışı ise radyasyonun ve CO_2 'nin % 20 oranında azalış gösterdiği senaryo simülasyonları tarafından ortaya konmuştur (% 34.4 oranında verim azalışı).

CERES-Wheat ve SIMWASER modellerinin kullanımına yönelik genel bir mukayese yapılması istendiğinde, şu hususlar kullanıcının karşısına çıkmaktadır:

Yapılan araştırmalar sonunda SIMWASER Modelinin buharlaşma hesabında son yıllarda bir çok araştırmacı tarafından kabul gören ve dünyada da yaygın olarak kullanılan Penman-Monteith Eşitliğinin bir modifikasyonunu kullanmış olmasının, bu model vasıtasıyla gerçekleştirilen buharlaşma sonuçlarının gerçeği daha iyi yansıtmasını sağladığı anlaşılmıştır. DSSATv3.5 içinde yer alan buğday simülasyon modeli CERES-Wheat ise, toplam evapotranspirasyonun sıcaklıkla değişimine yönelik hassas sonuçlar vermemektedir. Bu durum modelde daha ziyade radyasyon parametresini evapotranspirasyonla bağdaştıran Penman Eşitliğinin kullanılmasının bir sonucudur. Modellerin buharlaşma sonuçlarında ortaya çıkan farklılıklar bu modellerde evapotranspirasyon hesabında kullanılan eşitliklerin dikkate aldığı parametrelerin çeşitliliğinin bir sonucudur. Kullanılan bir eşitliğin dikkate aldığı faktörlerin dışında kalan bir parametrenin değişimine ait simülasyonlar doğal olarak buharlaşma hesaplarının sonuçlarına beklenen seviyede yansımamıştır. Ayrıca, modellerin ana yapıları da modeli geliştiren uzmanların ilgi alanları doğrultusunda

Aynı durum radyasyon değışkeni için de geçerlidir. Eksikliği hissedilen araştırmaların gerçekleştirilmesi sonucunda birçok költürtipi için gereken katsayıların belirlenmesi mümkün olacaktır. Benzer şekilde yağış değışkeninin topraktaki ölçüsü olan toprak su içeriğı ölçümlerinin de düzenli olarak yapılması, bitki gelişiminde yağış eksikliğinin değerdendirilmesini kolaylaştıracaktır.

Popölaritesini giderek arttıran ve çok sayıda farklı uygulama sahasına hitap eden coğrafi bilgi sistemlerinin (GIS) son yıllarda modellerde kullanılma çalışmaları da artmıştır. Ancak ölkemizde modeller ile ilgili veri tabanlarına yönelik bir GIS alt yapısı henüz tam olarak oluşturulabilmiş değildir. Gelecek yıllarda girdi verilerinin temininde kullanılabilecek bu araçlar vasıtasıyla ölk genelinde model çalışmalarının sonuçlarını belirlemek ve değerdendirmek mümkün olacaktır.

Ölkemizde tarımsal meteoroloji alanında modeller kullanılarak iklim değışikliğinin belirli bir bölgede yapacağı etkiler bu çalışma ile ilk defa uygulamalı olarak belirlenmiştir. Benzer amaca hizmet edecek başka çalışmalar yardımıyla ölk genelini kapsayan araştırmaların yaygınlaştırılabilmesi için yukarıda bahsi geçen konuların tamamlanmış olması ve geliştirilen modellerin ölkemizde kullanılabilirliğinin saptanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Army, T. J., 1959.** Precipitation Yield Relationships in Dryland Wheat Production on Medium and Fine Textured Soils of the Southwestern High Plains. *Agron. J.* 51, 721-724.
- Asana, R. D. and Williams, R. F., 1965.** The effect of temperature stress on grain development in wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 16, No: 1. 1-13.
- Aslying, H. C. and Hansen, S., 1982.** The Water Balance and Crop Production Simulation. Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, 200 pp.
- Baier, W., 1978.** Crop-Weather Models and Their Use in Yield Assessment. WMO Technical Note.
- Baier, W., 1979.** Note On the Terminology of Crop-Weather Models. *Agricultural Meteorology*, 20, 137-145.
- Baier, W. and Robertson, G. W., 1968.** The Performance of Soil Moisture Estimates as Compared with the Direct use of Climatological Data for Estimating Crop Yields. *Agric. Meteorol.* 5:17-31.
- Bakanoğulları, F., 1998.** 1997 Su Yılı Kırklareli Hidrometeorolojik Rasat Verileri. T. C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Kırklareli Atatürk Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, No: 57.
- Barrow, E. M. and Semenov, M. A., 1995.** Climate Change Scenarios with High Spatial and Temporal Resolution for Agricultural Applications. *Forestry*, Vol. 68, No. 4.
- Benli E., A. Balaban, S. Kodal, M. A. Tokgöz, M. Olgun, F. Öztürk, M. F. Selenay, Y. E. Yıldırım ve L. Şaylan, 1990.** Türkiye Buğday Üretiminin Tahmini. *A.Ü. Z.F. Yayınları*, 1191, 654, 1-52.
- Berry, J. A. and Downton, W. J. S., 1982.** Environmental Regulation of Photosynthesis. In: Govindjee (Ed.): *Photosynthesis*, Vol. II. Academic Press, New York, pp. 263-343.
- Bingham, J., 1967.** Investigation on the Physiology of Yield in Winter Wheat by Comparison of Varieties and by Artificial Variation in Grain Number per ear. *J. Agric. Sci.* 68: 411-422.

- Bootsma, A., Boisvert, J. and Dumanski, J., 1993.** Climate-Based Estimates of Potential Forage Yields in Canada Using a Crop Growth Model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 67 (1994) 151-172.
- Böttcher, F., 1993.** Science and Fiction of the Greenhouse Effect and Carbondioxide, Change, Research and Policy Newsletter on Global Change, 13: 3-5.
- Carter, T., Konjin, N. and Watts, R., 1988.** In: The Impact of Climatic Variations on Agriculture. Vol. 1. Assessments in Cool temperate and Cold Regions. Eds. M. L. Parry, T. R. Carter and N. T. Konjin, pp. 97-123.
- Chipanshi, A. C., Ripley, E. A. and Lawford, R. G. 1997.** Early prediction of spring wheat yields in Saskatchewan from current and historical wetaher data using the CERES-Wheat Model. *Agric. Forest Meteor.* 84, 223-232.
- Craigon, J., Atherton, J. G. and Basher, E. A., 1990.** Vernalization and Climate Change: An Application for a Simple Model of Carrot Vernalization. *J. hort. Sci.* 65, 423-429.
- Çakır, R. ve Cangir, C., 1999.** Trakya Bölgesinde Yer Alan Vertisol Toprakların Sulama Mühendisliği Yönünden İrdelenmesi. T. C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Kırklareli Atatürk Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, No: 69
- Diepen, C. A. van., 1987.** Simulated Variability of Wheat and Rice Yields in Current Weather Conditions and in Future weather when Ambient CO₂ has Doubled. Simulation Report CABO/TT nr. 14, 40 pp.
- Dumanski, J. and Stewart, R. B., 1983.** Crop Production Potentials for Land Evaluation in Canada. Agricultural Canada, Research Branch, Land Research Institute Contribution 1983-13E, Ottawa, Ont., 80 pp.
- Durak, M. ve L. Şaylan, 1997.** Ekstrem sıcaklıkların bitkisel üretime etkilerinin CRPSM modeli ile analizi, Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler Semp, Ankara. 390-399.
- Durak, M. ve L. Şaylan, 1998.** İklim değişiminin tarımsal meteorolojik etkilerinin modellerle belirlenmesi, Tarım ve Orman Meteorolojisi'98 Sempozyumu, 21-23 Ekim 1998, İTÜ, 292-295.
- Eitzinger, J., und L. Şaylan, 1995.** Einfluss der Witterungsparameter auf die Simulationsergebnisse eines Agrarmeteorologischen Modells, Bulletin of the Technical University of Istanbul, 48, 481-494.
- El-Shaer, H. M., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Eid, M. H. and Hillel, D., 1997.** Impact of Climate Change on Possible Scenarios for Egyptian Agriculture in the Future. *Mitig. Adapt. Strategies Global Change* 1, 233-250.

- Jensen, R. E., 1975.** A Summary of Estimated Impacts of Climatic Change on crop Productivity. Pages 87-96. In: Th. M. hard and A. J. Broderick (Editors), proceedings of the Fourth Conference on the Climatic Impact Assessment Program. National Technical Information Station service, Springfield, Va., pp. 87-96.
- Jones, J. W., Hunt, L. A., Hoogenboom, G., Godwin, D. C., Singh, U., Tsuji, G. Y., Pickering, N., Thornton, P. K., Bowen, W.T., Boote, K. J. and Ritchie, J. T., 1994.** Input and Output Files. In: Tsuji, G. Y., Uehara, G. and Balas, S. (eds). DSSATv3. Vol. 2-2. Uni. of Hawaii, Honolulu, Hawaii, USA.
- Kadioğlu, M., 1997.** Trends in Surface Air temperature Data Over Turkey. International Journal of Climatology, 17, 511-520.
- Kadioğlu M. and Şaylan, L., 2000:** Trends of Growing Degree Days in Turkey, J. of Water, Air, & Soil Pollution (in press).
- Kamburoğlu, İ., 1994.** Meriç Havzası Kuru Tarım Koşullarındaki Buğday Tarımında Değişik Toprak İşleme Aletlerinin Toprağın Rutubet Değişimine ve Ürün Verimine Etkileri. T. C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Kırklareli Atatürk Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, No: 45.
- Kamburoğlu, İ., 1999.** Kırklareli Kuru Tarım Koşullarında Buğday Tarımında Toprak İşlemesiz, Azaltılmış Toprak İşlemeli ve Geleneksel Toprak İşlemeli Sistemlerin Toprağın Rutubet Değişimine ve Ürün Verimine Etkisinin Saptanması. Kırklareli Atatürk Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü 1999 Yılı Sonuç Raporu.
- Kane, S., Reilly, J. and Tobey, J., 1992:** An emprical study of the economic effects of climate change on world agriculture, Climatic Change, 21, 17-35.
- Kapetanaki, G. and Rosenzweig, C., 1997.** Impact of Climate Change on Maize Yield in Central and northern Greece: A Simulation Study with CERES-Maize. Mitig. Adapt. Strategies Global Change 1, 251-271.
- Karvonen, T. and Peltonen-Sainio, P., 1990.** The Influence of CO2 and Air Temperature on Agricultural Productivity in Northern Latitudes. Proceedings of the International Workshop on Primary Productivity of European Agriculture and the Greenhouse Effect, Wageningen, The Netherlands, 5-10 April 1990.
- Keulen, H. van, Benjamin, R. W., Seligman, N. G. ve Noy-Meir, I., 1983.** Actual and Potential Production From Semi-Arid Grasslands, Phase II. Final Tecnical Report and Annotated Bibliography, Report Center for Agrobiological Research, Wageningen, Volcani Institute, Bet Dagan and Hebrew University, Jerusalem. 61 pp.

- Mitchell, R.**, 1990. Uncertainty in Prediction of Effects of Environmental Change on Wheat Yields. Proceedings of the International Workshop on Primary Productivity of European Agriculture and the Greenhouse Effect, Wageningen, The Netherlands, 5-10 April 1990.
- Morison, J. I. L., and Butterfield, R. E.**, 1990. Climatic Variability and Crop Development, Proceedings of the International Workshop on Primary Productivity of European Agriculture and the Greenhouse Effect, Wageningen, The Netherlands, 5-10 April 1990.
- Newman, J. E.**, 1974. Applying Meteorology to Agriculture-Editorial. Agric. Meteorol., 13, 1-3.
- Nonhebel, S.**, 1990. The Impact of Changes in weather and CO₂ concentration on Spring Wheat Yields in Western Europe. Proceedings of the International Workshop on Primary Productivity of European Agriculture and the Greenhouse Effect, Wageningen, The Netherlands, 5-10 April 1990, 48-50.
- Nonhebel, S.**, 1993. Effects of Changes in temperature and CO₂ Concentration on Simulated Spring Wheat Yields in the Netherlands. Climatic Change, 24, 311-329.
- Nuttonson, M. Y.**, 1948. Some preliminary observations of phenological data as a tool in the study of photoperiodic and thermal requirements of various plant material. Vernalization and Photoperiodism-A Symposium Chron. Bot.-Waltham, M. A.
- Olesen, J. E.**, 1989. In: RisR International Conference on Environmental Models; Emissions and Consequences. Eds J. Fenhan et al., RisR International Laboratory, Denmark, 22-25 May 1989. Development in Environmental Modelling 15, pp. 139-147.
- Olesen, J. E.**, 1990. Evaluating the effect of climatic change on productivity of agricultural crops in Denmark. Proceedings of the International Workshop on Primary Productivity of European Agriculture and the Greenhouse Effect, Wageningen, The Netherlands, 5-10 April 1990, 53-56.
- Özen, U.**, 1997. Bitki-İklim Simulasyon Modeli Olan SOYGRO Modelinin Tarımsal Meteorolojide Kullanılması, Bitirme Çalışması, İ. T. Ü. Uçak ve Uzay Bil. Fak. Meteoroloji Müh. Böl., 1-97.
- Panofsky, H.**, 1976. Man's Impact on Climate, Urban Costs of Climate Modification, Ed: T. A. Ferrar, John Wiley & Sons Inc, 27-42.
- Parry, M.**, 1990. Climate Change and World Agriculture, London, Earthscan Publications Limited.

- Parry, M., Carter, T. ve Konijn, N., 1988.** The Impact of Climatic Variations on Agriculture, Vol 1: Assessments in Cool Temperate and Cold Regions, IIASA/UNEP, Vol. 2: Assessments in Semi-Arid Regions, IIASA/UNEP, Kluwer Academic Pub., Boston.
- Peart, R., Jones, J. and Curry, R., 1990.** Impact of Climate Change on Crop Yield in the Southeastern U.S.A., in The Potential Effects of Global Climate Change on the United States, Report to Congress, Vol. 3, Washington, D.C.
- Pengra, R. F., 1952.** Estimating significance of dryland farming in the norther Negev of Israel. Agric. Meteorol., 10, 383-392.
- 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.
- Penning de Vries, F. W. T. Laaar, H. H. van. and Kropf, M. J., 1991.** Simulation and systems analysis for rice production (SARP). Selected papers presented at worksops on crop simulation of a network of National and International Agricultural Reserach Centres of several Asian Countries and the Netrherland, 1990-1991. Pudoc, Wageningen.
- Plantureux, S., Girardin, P., Fouquet, D. and Chapot, J. Y., 1991.** Evaluation and Sensitivity Analysis of the CERES-Maize Model. Agron. 11, 1-8.
- 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.
- Rabbinge, R., 1990.** Climate Change and Agricultural Policy Making. Proceedings of the International Workshop on Primary Productivity of European Agriculture and the Greenhouse Effect, Wageningen, The Netherlands, 5-10 April 1990.
- Rana, G., Katerji, N., Mastrorilli, M. and El Moujabber, M., 1997.** A Model for Predicting Actual Evapotranspiration under Soil Water Stress in a Mediterranean Region. Theor. Appl. Climatol. 56, 45-55.
- Ritchie, J. T. and Otter, S., 1984.** CERES-Wheat: A User-oriented Wheat Yield Model, Preliminary Documentation, AGRISTARS Publication No. YM-U3-04442-JSC-18892.
- Ritchie, J., Gaer, B. and Chou, T., 1990.** Effect of Global Climate Change on Agriculture: Great Lakes Region, in The Potential Effects of Global Climate Change on the United States, Report to Congress, Vol. 3, Washington, D.C.

- Rosenzweig, C.**, 1989. Climate Change and CO₂ Effects on Wheat and Corn in the Great Plains. 19th Conference on Agricultural Forest Meteorology and the Ninth Conference on Biometeorology and Aerobiology, March 7-10, Charleston, South Carolina, USA, J26-29.
- Rosenzweig, C.**, 1990. Potential Effects of Climate Change on Agricultural Production in the Great Plains: A Simulation Study, in The Potential Effects of Global Climate Change on the United States, Report to Congress, Vol. 3, Washington, D.C.
- Rosenzweig, C. and Hillel, D.**, 1998. Climate Change and the Global Harvest; Potential Impacts of the Greenhouse Effect on Agriculture, Oxford University Press, 1998, ISBN 0-19-508889-1.
- Rosenzweig, C. and Tubiello, F. N.**, 1997. Impacts of Global Climate Change on Mediterranean Agriculture: Current Methodologies and Future Directions. Mitig. Adapt. Strategies Global Change 1, 219-232.
- Santer, B.**, 1985: The Use of General Circulation Models in Climate Impact Analyses-A Preliminary Study of the Impacts of a CO₂ Induced Climate Change on West European Agriculture. Climatic Change 7, 71-93.
- Seinfeld, J. H.**, 1975: Air Pollution: Physical and Chemical Fundamentals California Institute of Technology, USA, 523.
- 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-Wheatv3 Bitki Büyüme Modelinin Çukurova Koşullarında Değerlendirilmesi, Tarım ve Orman Meteorolojisi'98 Sempozyumu, 21-23 Ekim 1998, İ.T.Ü., İstanbul, 301-309.
- Slatyer, R. O.**, 1973. The effect of internal water status on plant growth, development and yield. In: Plant Responses to Climatic Factors. Proceedings of the Uppsala Symp. 177-188, Paris, UNESCO.
- Spitters, C. J. T., van Kraalingen, D. W. G. and van Keulen, H.**, 1989. In: Simulation and Systems Management in Crop Protection. Eds R. Rabbinge, S. A. Ward and H. H. van Laar, Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen, pp. 147-181.
- Squire, G. R. and Unsworth, 1988.** Effects of CO₂ and Climatic Change on Agriculture. Contract report to the UK Department of the Environment, 31 pp.

- Staple, W. F. ve Lehane, J. J., 1954.** Wheat Yield and Use of Moisture on Substations in Southern Saskatchewan. *Can. J. Agric. Sci.* 34: 460-468.
- Stapper, M., 1984.** SIMTAG: A Simulation Model of Wheat Genotypes. Model Documentation, Farming Systems Programme, ICARDA.
- Stenitzer, E., 1988.** SIMWASER: Ein Numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenenertrages Eines Standortes. *Mitteilungen aus der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt*, No. 31, Petzenkirchen.
- Stewart, D. W., 1975.** Modelling Plant Atmosphere System. In: *Impacts of Climatic Change on the Biosphere*. CIAP Monograph 5, Part 2, Climatic Effects. Department of Transportation. Climatic Impact Assessment Program, Office the Secretary of Transportation, Washington, D. C.
- Stewart, D. W. and Dwyer, L. M., 1990.** A Model of Spring Wheat (*Triticum Aestivum*) for Large Area Yield Estimations on the Canadian Prairies, *Can. J. Plant Sci.* 70: 19-32.
- Stewart, R. B., 1983.** Modelling Methodology for Assessing Crop Production Potentials in Canada. Agricultural Canada, Research Branch, Publ. No. 1983-12E, Ottawa, Ont., 29 pp.
- Stewart, R. B., Dumanski, J. and Acton, D. F., 1984.** Production Potential for Spring Wheat in the Canadian Prairie Provinces-an Estimate. *Agric. Ecosystems Environ.*, 11, 1-14.
- Strain, B. R. and Cure, J. D., 1985.** Direct Effects of Increasing Carbon Dioxide on Vegetation. United States Department of Energy, DOE/ER-0238, Washington DC, 286 pp.
- Summerfield, R. J. ve Roberts, E. H., 1987.** Effects of Illuminance on Flowering in Long and Short Day Grain Legumes: A Reappraisal and Unifying Model. In: J. G. Atherton (Eds.): *Manipulation of Flowering*. Butterworth, London, pp. 203-223.
- Suzuki, M., 1964.** Studies on the thermoperidicity of crops: 1. Growth of early stage of wheat and beet in lower temperatures. *Tech. Bull. Fac. Hort. Chiba Univ.* 12: 11-14.
- Şaylan, L., 1993.** Toprak su içeriğinin ve bitkisel üretimin simulasyonunda SIMWASER modelinin kullanımı, *Topraksu dergisi*, 2, 26-31.
- Şaylan, L., 1994a.** Bitki gelişimi modelleri, *Hasad dergisi*, 106, 18-20.
- Şaylan, L., 1994b.** CRPSM Bitki ürün modeli, *Hasad dergisi*, 108 , 28-30.

- 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., 1995a.** İklim Değişikliğinin Dünya Tarımına Etkileri, Hasad Dergisi, 127: 29-32.
- Şaylan, L., 1995b.** Bitki gelişimi simulasyon modellerinin toprak, bitki ve su ilişkisinin analizinde kullanılması, 5. Ulusal Kültürteknik Kongresi Bildirileri, Kültürteknik derneği, Kemer-Antalya, 311-317.
- Şaylan, L., Şen, O. ve S. İncecik, 1995.** Küresel Isınmanın Bitki Gelişimine Etkisinin Bitki İklim Modeli ile Analizi, II. Hava Kirliliği ve Modellemesi Sempozyumu, Mart 1995, İstanbul Teknik Üniversitesi, 269-279.
- Şaylan, L., 1996a.** SIMWASER bitki gelişimi simulasyon modeli ile soya bitkisinin gelişiminin belirlenmesi, TOPRAKSU dergisi, ISSN 1300-4409, 2, 8-13.
- Şaylan, L. 1996b.** Soya veriminin CRPSM modeli ile belirlenmesi, TOPRAKSU dergisi, ISSN 1300-4409, 1, 12-17.
- Şaylan, L. 1996c.** Su-Verim ilişkisinin belirlenmesinde simulasyon modellerinin kullanılması, Hasad Dergisi, 134, 28-29.
- Şaylan, L. ve U. Özen, 1997.** Çevresel değişimin tarımsal meteorolojik etkilerinin tahmini, Trakya'da Sanayileşme ve Çevre Semp. II, Kırklareli, 6-8 Kasım 1997, 365-373.
- Şaylan, L., Eitzinger, J. ve Durak, M., 1998.** Influence of climatic change on maize growth in Austria, Trabzon Int. Energy and Environment Symposium, July 27-29, 1998, TIEES-98.
- Şaylan, L., Durak, M. ve Çaldağ, B., 1998.** Dünya'da ve Türkiye'de Bitki-İklim (Bitki Gelişimi Simulasyon) modelleri, Tarım ve Orman Meteorolojisi'98 Sempozyumu, 21-23 Ekim 1998, İTÜ, 275-283.
- Tsuji, G. Y., Uehara, G., and Balas, S., 1994.** DSAT Version 3, IBSNAT Uni. of Hawaii, Honolulu, Hawaii, USA.
- Unsworth, M. H., 1990.** Hazards to Productivity-the Changing Risks of Crop Losses. Proceedings of the International Workshop on Primary Productivity of European Agriculture and the Greenhouse Effect, Wageningen, The Netherlands, 5-10 April 1990.
- USDA, 1989.** World Agricultural Trends and Indicators 1970-1988, ERS Statistical Bulletin Number 781, U.S. Department of Agriculture, Washington.
- USDA, 1996.** Economic Research Service, Agricultural Adaptation to Climate Change: Issues of Longrun Sustainability, Agricultural Economic Report No. 740.

- USEPA**, 1990. The Potential Effects of Global Climate Change on the United States, Vol. 1-3, Report to Congress, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Veeneklaas, F. R.**, 1990. Dovetailing Technical and Economic Analysis. Erasmus Drukkerij, Rotterdam, 159 pp.
- Warrington, I. J. and Kanemasu, E. T.**, 1983. Corn Growth Response to Temperature and Photoperiod. I. Seedling Emergence, Tassel Initiation and Anthesis. *Agronomy Journal* 75:749-754.
- Whisler, F. D., Acock, B., Baker, D. N., Fye, R. E., Hodges, H. F., Lambert, J. R., Lemmon, H. E., McKinion, J. M. and Reddy, V. R.**, 1986. Crop Simulation Models in Agronomic Systems. *Academic Press, Advanced in Agronomy*, 40, 140-207.
- Williams, G. D. V.**, 1973. Estimates of Provincial Wheat Yields Based on Precipitation and Potential Evapotranspiration. *Can. J. Plant Sci.* 53: 17-30.
- Williams, G. D. V. and Robertson, G. W.**, 1965. Estimating Most Probable Prairie Wheat Production from Precipitation Data. *Agric. Meteorol.* 9: 265-283.
- Williams, G. D. V., Joynt, M. I. and McCormick, P. A.**, 1975. Regression Analyses of Canadian Prairie Crop-District Cereal Yields, 1961-1972, in Relation to Weather, Soil and Trend. *Can. J. Sol Sci.* 55: 43-53.
- WMO**, 1990. Agricultural Meteorology Programme. "Simulation of Primary Prediction". CAGM Report No. 33A, Geneva.
- WMO and UNEP**, 1990: Climate Change, The IPCC Impacts Assessment, Ed: W.J. McG. Tegart, G.W. Sheldon ve D.C. Griffiths, Australian Government Pub. Service, Canberra.
- Yarranton, G. A.**, 1971. Mathematical Representation and Models in Plant Ecology: Response to a Note by R. Mead. *J. Ecol.*, 59, 221-224.
- Zaban, H.**, 1981. A Study to determine the Optimal Rainfed Land-Use Systems in A Semi-Arid Region of Israel. Ph. D. Thesis, University of Reading. 197.
- Zeng, W. and Heilman, J. L.**, 1997. Sensitivity of Evapotranspiration of Cotton and Sorghum in West Texas to Changes in Climate and CO₂.
- Zohary, D., Harlan, J. R. and Vardi, A.**, 1969. The Wild Diploid Progenitors of Wheat and Their Breeding Value. *Euphytica* 18: 58-65.

EK A:
ÖRNEK DOSYA DÖKÜMLERİ

```

*99KR980001 SCS SALO 90 UNKNOWN
@SITE COUNTRY LAT LONG SCS FAMILY
KR KIRKLARELI 41.100 27.100 SANDY LOAM
@ SCOM SALB SLU1 SLDR SLRO SLNF SLPF SMHB SMPX SMKE
BN 0.13 10.0 0.40 76 1.00 1.00 IB001 IB001 IB001
@ SLB SLMH SLLL SDUL SSAT SRGF SSKS SBDM SLOC SLCL SLSI
SLCF SLNI SLHW SLHB SCEC
5 0.147 0.266 0.349 0.50 -99.0 1.40 0.00 25.0 23.0
0.1 -99 7.9 -99.0 -99.0
15 0.147 0.266 0.349 0.50 -99.0 1.40 0.00 25.0 23.0
0.1 -99 7.9 -99.0 -99.0
30 0.147 0.266 0.349 0.50 -99.0 1.40 0.00 25.0 23.0
0.1 -99 7.9 -99.0 -99.0
60 0.147 0.266 0.349 0.50 -99.0 1.40 0.00 25.0 23.0
0.1 -99 7.9 -99.0 -99.0
90 0.147 0.266 0.349 0.50 -99.0 1.40 0.00 25.0 23.0
0.1 -99 7.9 -99.0 -99.0

```

Şekil A.1. CERES-Wheat Modelinin Toprakla İlgili Girdi Dosyası (SOIL.SOL).

```

*EXP.DETAILS: 99KR9801WH KIRKLARELI
*GENERAL
@PEOPLE
B. CALDAG
@ PAREA PRNO PLEN PLDR PLSP PLAY HAREA HRNO HLEN HARM.....
300.0 -99 20.0 -99 -99 300.0 20 -99.0
*TREATMENTS
-----FACTOR LEVELS-----
@N R O C TNAME..... CU FL SA IC MP MI MF MR MC MT ME MH SM
1 1 0 0 DRY CONDITION 1 1 1 1 1 0 0 0 1 0 0 1 1
*CULTIVARS
@C CR INGENO CNAME
1 WH 990002 PEHLI
*FIELDS
@L ID FIELD WSTA.... FLSA FLOB FLDT FLDD FLDS FLST SLTX SLDP ID SOIL
1 99KR0001 99KR9801 -99 0 DR000 0 0 00000 SALO 90 99KR980001
*SOIL ANALYSIS
@A SADAT SMHB SMPX SMKE
1 -99 SA001 SA001 SA001
*INITIAL CONDITIONS
@C PCR ICDAT ICRT ICND ICRN ICRE
1 98282 0 0 1.00 1.00
*PLANTING DETAILS
@P PDATE EDATE PPOP PPOE PLME PLDS PLRS PLRD PLDP PLWT PAGE PENV PLPH
1 98282 98290 110.0 55.0 S H 15 0 5.5 220 -99 -99.0 -99.0
*CHEMICAL APPLICATIONS
@C CDATE CHCOD CHAMT CHME CHDEP CHT1 CHT2 CHT3
1 -99 -99 -99
*HARVEST DETAILS
@H HDATE HSTG HCOM HSIZE HPC
1 99172 -99
*SIMULATION CONTROLS
@N GENERAL NYERS NREPS START SDATE RSEED SNAME.....
1 GE 1 1 S 98282 2150 99KR980001
@N OPTIONS WATER NITRO SYMBI PHOSP POTAS DISES
1 OP Y N Y N N
@N METHODS WTHET INCON LIGHT EVAPO INFIL PHOTO
1 ME M M E R S R
@N MANAGEMENT PLANT IRRIG FERTI RESID HARVS
1 MA R R R N R
@N OUTPUTS FNAME OVVEW SUMRY FROPT GROUT CAOUT WAOUT NIOUT MIOUT DIOUT LONG
1 OU N Y Y 1 Y N Y N N N Y
@ AUTOMATIC MANAGEMENT
@N PLANTING PFRST PLAST PH2OL PH2OU PH2OD PSTMX PSTMN
1 PL 155 200 40 100 30 40 10
@N IRRIGATION IMDEP ITHRL ITHRU IROFF IMETH IRAMT IREFF
1 IR 30 50 100 GS000 IR001 10 1.00
@N HARVEST HFRST HLAST HPCNP HPCNR
1 HA 0 365 100 0

```

Şekil A.2. CERES-Wheat Modeli'nde Kullanılan Ana Deney Dosyası.

```

WEATHER: KIRKLARELI, TURKEY
@ INSI  LAT  LONG  ELEV  TAV  AMP  REFHT  WNDHT
99KR  41.41  27.14  233  15  -99  -99  -99
@DATE  SRAD  TMAX  TMIN  RAIN
98281  7.4  23.7  9.5  0.0
98282  7.4  23.7  9.5  0.0
98283  7.4  29.0  9.8  0.0
98284  6.4  28.8  12.5  0.0
98285  5.9  25.7  13.2  0.0
98286  4.0  23.9  13.0  15.6
98287  1.5  14.9  11.2  32.0
98288  1.1  12.6  9.4  26.6
98289  6.5  17.6  7.2  5.6
98290  7.3  20.8  5.6  0.0
.....
.....

```

Şekil A.3. CERES-Wheat Modelinde Kullanılan Atmosfer Veri Dosyası.

```

STANDORT :kirklar.tie
FRUCHTFOLGE:WEIZEN 1998
ANFANGSWERTE DER BODENFEUCHTE (VOL%):
SCHICHTANZAHL :5
TIEFE(CM)  W(I)
0- 10      16.6
10- 20     16.6
20- 40     16.8
40- 80     16.2
80-120     16.0
.....FRUCHTFOLGE.....
ELEMENT    KENNUNG BEGINN  ENDE
WEIZEN     1  981009  990621

```

Şekil A.4. SIMWASER'in Toprak Su İçeriği ve Bitki Gelişimi İle İlgili Girdi Dosyası.

```

STANDORT:grosenzs.tie
GELAENDEHOEHE : 233.0 M U.A.
WETTERSTATIONSNR. : GRS
GRUNDWASSERSONDE : 1730
GELAENDEHOEHE : 151.0 M U.A.
DELTAGW. : 20.0 M
BODENPROFIL
TIEFE (DM)  BODENART  PV%  CODE
.0- 1.0    ut403     44    1
1.0- 2.0    ut403     44    1
2.0- 4.0    su303     46    2
4.0- 8.0    su303     48    3
8.0-12.0    su303     48    3

```

Şekil A.5. SIMWASER'de Deneme Yeri ve Toprak Özellikleri İle İlgili Dosya.

WT1999.GRS	20										
1999	1	1	149	82	8	26	71	33	93	71	83
87	43	223	104	123	18	0	196				
1999	1	2	138	51	-23	-15	23	9	100	97	98
97	1	16	12	9	4	0	139				
1999	1	3	112	79	8	21	78	66	98	86	88
93	9	111	88	69	8	10	140				
1999	1	4	92	133	50	72	120	65	90	78	93
91	80	233	52	122	19	24	156				
1999	1	5	100	69	36	41	55	42	90	75	74
81	63	174	170	136	27	0	166				
1999	1	6	125	88	-8	22	81	22	95	71	99
87	30	241	5	92	5	0	368				
.....											
.....											
.....											

Şekil A.6. SIMWASER’de Atmosferik Parametreleri İçeren Meteoroloji Dosyası Kesiti.

kirkklar.tie	WEIZEN	1998									
JAH	MO	TG	S.TAG	NS	AK.ETP	S.ETP	LAI	AK.TRP	S.TRP	KAP.GW	
BODWAS	GW	TF	F.WURZ	F.lm	TR.MAS	WURZ.L	PT.ETP	PT.TRP	AK.EP		
ENTW.S	STRESSF										
1998	10	9	1.	.0	.8	.8	.0	.0	.0	.0	
292.7		.0	-.1	.3	0.	1.0	.0	.0	.8	.8	
.0	1.00										
1998	10	10	2.	.0	.9	1.7	.0	.0	.0	.0	
291.5		.0	-.3	.3	0.	1.0	.0	.0	.9	.9	
.2	1.00										
1998	10	11	3.	.0	.8	2.5	.0	.0	.0	.0	
290.4		.0	-.4	.3	0.	1.0	.0	.0	.8	.8	
.3	1.00										
1998	10	12	4.	.0	.7	3.3	.0	.0	.0	.0	
289.4		.0	-.4	.3	0.	1.0	.0	.0	.7	.7	
.4	1.00										
1998	10	13	5.	15.6	.5	3.7	.0	.0	.0	.0	
304.3		.0	4.0	.3	0.	1.0	.0	.0	.5	.5	
.4	1.00										
1998	10	14	6.	32.0	.0	3.8	.0	.0	.0	.0	
335.9		.0	28.4	.3	0.	1.0	.0	.0	.0	.0	
.5	1.00										
1998	10	15	7.	26.6	.0	3.8	.0	.0	.0	.0	
362.1		.0	27.5	.3	2.	1.2	.1	.0	.0	.0	
.5	1.00										
1998	10	16	8.	5.6	.8	4.6	.0	.0	.0	.0	
366.3		.0	11.2	.7	0.	1.4	.8	.0	.7	.7	
.6	1.00										
1998	10	17	9.	.0	.8	5.3	.0	.0	.0	.0	
364.2		.0	3.4	1.4	0.	1.6	.7	.0	.7	.7	
.6	1.00										

Şekil A.7. SIMWASER Modelinin Çalıştırılması Sonucunda Elde Edilen Çıktı Dosyası (Kesit).

EK B:
TABLÖLAR

Tablo B.1: Ölçüm Dönemleri Boyunca Elde Edilen Gerçek Değerlerin CERES-Wheat Modelinin Sonuçları ile Karşılaştırılması.

SEZON	TOPLAM ET (mm)	VERİM (kg/ha)	TOPLAM KURU MAD. MİK. (kg/ha)
97-98 (ölçülen)	290.5	4000	9920
97-98 (model)	283.8	3766	9768
98-99 (ölçülen)	336	5240	10920
98-99 (model)	191	4742	10008

Tablo B.2: CERES-Wheat Modelinde 97-98 Sezonu İçin Gerçekleştirilen CO₂ Miktarı Değişim Simulasyonları.

SENARYO	TOPLAM ET DEĞİŞİMİ (%)	VERİM DEĞİŞİMİ (%)	TOPLAM KURU MAD. MİK. DEĞİŞİMİ (%)
CO ₂ +% 10	-1.3	0.7	1.2
CO ₂ -% 10	1.1	-8.2	-9.3
CO ₂ +% 20	-2.7	2.4	3.3
CO ₂ -% 20	1.5	-18.9	-21.2
CO ₂ +% 10; T+1	-1	11.4	18.2
CO ₂ -% 10; T-1	1.1	-6.3	-9
CO ₂ +% 20; T+2	-2.7	18.6	25.8
CO ₂ -% 20; T-2	-0.6	-23.5	-31.7
CO ₂ +% 10; Rg+% 10	7.1	5.8	6.8
CO ₂ -% 10; Rg-% 10	-8	-15.2	-17
CO ₂ +% 20; Rg+% 20	14.2	12.6	14
CO ₂ -% 20; Rg-% 20	-16.8	-34.4	-38
CO ₂ +% 10; Y-% 10	-1.7	3.8	4
CO ₂ -% 10; Y+% 10	1.1	-8.9	-10
CO ₂ +% 20; Y-% 20	-3.5	-11.6	-9.3
CO ₂ -% 20; Y+% 20	1.8	-20.3	-22.4

Tablo B.3: CERES-Wheat Modelinde 98-99 Sezonu İçin Gerçekleştirilen CO₂ Miktarı Değişim Simulasyonları.

SENARYO	TOPLAM ET DEĞİŞİMİ (%)	VERİM DEĞİŞİMİ (%)	TOPLAM KURU MAD. MİK. DEĞİŞİMİ (%)
CO ₂ +% 10	-1.6	4.3	2
CO ₂ -% 10	-5.3	-12.5	-13.7
CO ₂ +% 20	-3.2	5.8	3.6
CO ₂ -% 20	-11.5	-30.1	-30.6
CO ₂ +% 10; T+1	-1.6	1	3.2
CO ₂ -% 10; T-1	-6.8	-11.4	-12.5
CO ₂ +% 20; T+2	0	-3.5	-3.6
CO ₂ -% 20; T-2	-14.1	-	-28.4
CO ₂ +% 10; Rg+% 10	6.3	11	6.5
CO ₂ -% 10; Rg-% 10	-15.7	-23.5	-23.3
CO ₂ +% 20; Rg+% 20	14.1	18.1	12.6
CO ₂ -% 20; Rg-% 20	-34	-51.1	-52.9
CO ₂ +% 10; Y+% 10	0	6.1	4.3
CO ₂ -% 10; Y-% 10	-4.2	-13	-14.1
CO ₂ +% 20; Y+% 20	3.1	11.2	12.3
CO ₂ -% 20; Y-% 20	-6.8	-22.7	-22.5

Tablo B.4: CERES-Wheat Modelinin Çok Sayıda Meteorolojik Parametrenin Aynı Anda Değiştiği Senaryolar için Hesapladığı 97-98 Dönemi Değişim Oranları.

SENARYO	TOPLAM ET DEĞİŞİMİ (%)	VERİM DEĞİŞİMİ (%)	TOPLAM KURU MAD. MİK. DEĞİŞİMİ (%)
T-2; Rg-% 20	-19	-18.4	-26
T-1; Rg-% 10	-9.1	-3.1	-5.9
T+1; Rg+% 10	9.2	16	23.3
T+2; Rg+% 20	17	26.9	35.4
T-1; Y+% 10	0	3.7	1
T+1; Y-% 10	0	9.2	15.6
T-2; Y+% 20	-0.6	-5.8	-12.1
T+2; Y-% 20	-0.6	11.9	19.6
Rg-% 10; Y+% 10	-8.7	-8.1	-8.3
Rg+% 10; Y-% 10	8.5	5.4	6.2
Rg-% 20; Y+% 20	-17.5	-15	-16.2
Rg+% 20; Y-% 20	16.3	-8.3	-5.7

Tablo B.5. CERES-Wheat Modelinin Çok Sayıda Meteorolojik Parametrenin Aynı Anda Değiştiği Senaryolar için Hesapladığı 98-99 Dönemi Değişim Oranları.

SENARYO	TOPLAM ET DEĞİŞİMİ (%)	VERİM DEĞİŞİMİ (%)	TOPLAM KURU MAD. MİK. DEĞİŞİMİ (%)
T-2; Rg-% 20	-26.5	0	-20
T-1; Rg-% 10	-12.9	-7.3	-8.1
T+1; Rg+% 10	8.1	7	6.9
T+2; Rg+% 20	22.8	18.4	22.3
T-1; Y+% 10	-0.3	0.4	-0.8
T+1; Y-% 10	-0.8	0.5	1.8
T-2; Y+% 20	-7.1	0	-13.8
T+2; Y-% 20	1.3	-2.9	0.1
Rg-% 10; Y+% 10	-10.2	-19.7	-22.8
Rg+% 10; Y-% 10	10.2	6.8	5.3
Rg-% 20; Y+% 20	-17.6	-19.2	-19.8
Rg+% 20; Y-% 20	17.6	18.7	16.8

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini bu şehirde tamamladı. 1993'te İstanbul Erkek Lisesi'nden mezun olduktan sonra, İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü'nde yüksek öğrenimine başladı. 1997 yılında lisans eğitimini tamamlayarak, aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans programına dahil oldu. Halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

1999 yılından bu yana İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

