

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BUĞDAY BİTKİSİNİN GELİŞİMİ VE VERİMİNE
OLASI ETKİLERİNİN BİTKİ-İKLİM SİMULASYON MODELİ İLE
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Osman ÇAYLAK

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Levent ŞAYLAN

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BUĞDAY BİTKİSİNİN GELİŞİMİ VE VERİMİNE
OLASI ETKİLERİNİN BİTKİ-İKLİM SİMULASYON MODELİ İLE
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Osman ÇAYLAK
(511091018)**

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Levent ŞAYLAN

23 OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511091018 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Osman ÇAYLAK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BUĞDAY BİTKİSİNİN GELİŞİMİ VE VERİMİNE OLASI ETKİLERİNİN BİTKİ-İKLİM SİMULASYON MODELİ İLE İNCELENMESİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Levent ŞAYLAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Y. Doç. Dr. Barış ÇALDAĞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Zafer ASLAN
İstanbul Aydın Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **23 Ocak 2015**

*Aramızdan ayrılışının seneyi devriyesini yaşadığımız şu günlerde, manevi desteğini
halen hissettiğim,*

Çok sevdiğim Babanem'e,

ÖNSÖZ

Sanayileşme ile arttığı belirtilen ve insanoğlunun yükselen enerji ve besin maddesi tüketiminin üzerinde etkili olduğu iklimdeki doğal olmayan değişiklikler, birçok şekilde mevcut iklimin değişmesi; daha basit bir ifade ile yaşanan, bilinen veya hatırlanan atmosferik olayların farklılaşması şeklinde değerlendirilmektedir. Ancak bilimsel olarak bakıldığında Dünya’da bu konular ile ilgili ölçüm ve gözlemler ön plana çıkmaktadır.

Burada da, Dünya ve ülkemiz açısından en öne çıkan konular yine insanoğlunun yaşamı için gerekli olan kaynakların (su, hava ve besin kaynakları) “nasıl etkileneceği?” sorusudur. Bu konuda Dünya’da uzun yıllardır çalışmalar yapılmaktadır ve bunlar önemli, sürekli çalışmalar olmalıdır. Ülkemizde yaşayan ve artan nüfusu besleyebilmek için gerekli olan tarımsal potansiyelimizin gelecekte iklimin olası değişikliklerinden nasıl etkilenebileceğini bilmek, hem üreticileri hem de bilhassa karar vericilerin elinde önemli bir bilgidir. Bu bilgilere göre geleceği planlamak ve önlemler almak mümkün olabilir.

Bu çalışmada amaç, olası iklim değişikliği senaryoları dikkate alınarak Kırklareli’nde yetiştirilen buğday bitkisinin gelecekteki verimini araştırmaktır. Böylece, bitki gelişimi model ile benzetilmiş, modelin hata miktarları ve gerçek ile karşılaştırmaları yapılmış, modelin meteorolojik faktörlerdeki değişime hassaslıkları belirlenmiş ve olası iklim değişikliği senaryoları karşısında buğday bitkisinin nasıl etkilenebileceklerini ortaya konmuştur.

Tez çalışmamın yürütüldüğü dönem içerisinde her konuda desteğini, yardımlarını ve sabrını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Levent Şaylan’a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım;

Çalışma süresi boyunca samimi ilgisi ve katkılarından dolayı Y.Doç.Dr. Barış Çaldağ’a teşekkürlerimi sunarım;

Kırklareli Atatürk Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü nezdinde, Dr. Fatih Bakanoğulları ve tüm çalışma arkadaşlarına;

İBB Afert Koordinasyon Merkezi Müdürlüğü nezdinde tüm mesai arkadaşlarıma;

Maddi ve manevi desteğini daima hissettiğim anneme ve babama;

Her zaman yanımda olan eşime ve kendi farkında olmasa da bana olan desteğinden dolayı biricik kızım Ayşe’ye;

Bu tez çalışmasının yapılmasına imkan sağlayan ve bursiyer olarak görev yaptığım, Prof.Dr. Levent ŞAYLAN tarafından yürütülen TÜBİTAK 108O567 nolu projeye verdikleri destekten dolayı TÜBİTAK’a teşekkürü ayrıca bir borç bilirim.

Aralık 2014

Osman ÇAYLAK
(Meteoroloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	2
2. MATERYAL VE METOT	7
2.1 Materyal	7
2.1.1 Deneme alanı.....	7
2.1.2 Tarımsal meteorolojik ölçümler.....	8
2.1.3 Deneme alanı toprak özellikleri	12
2.2 Metot	13
2.2.1 CERES-Wheat modeli	13
3. BİTKİ İLE İLGİLİ ÖLÇÜM VE GÖZLEMLER.....	19
3.1 Buğday Bitkisi (2009-2010 Gelişme Dönemi).....	19
3.2 Meteorolojik Ölçümler	24
3.3 Toprak ile İlgili Ölçümler.....	30
4. CERES-WHEAT MODELİ İLE BİTKİ GELİŞİMİNİN MODELLENMESİ	33
4.1 Modelin Çalıştırılması	33
4.2 Modellenen Gelişim ve Verim	37
5. HASSASİYET ANALİZİ VE İKLİM DEĞİŞİMİ.....	45
5.1 Hassasiyet Analizi	45
5.2 Kırklareli’nde İklim Değişikliği	48
5.3 Kırklareli’nde İklimin Buğday Gelişme Dönemindeki Değişimi	50
5.4 İklim Değişikliğinin Buğday Gelişimi ve Verimine Etkisi	54
6. SONUÇLAR	57
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ.....	67

KISALTMALAR

DSSAT	: Model (Decision Support System for Agrotechnology Transfer)
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
KRK	: Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü, Kırklareli
CERES	: Bitki İklim Modeli
EPIC	: Bitki İklim Modeli (Environmental Policy Integrated Climate)
CROPSYST	: Bitki İklim Modeli
AQUACROP	: Bitki İklim Modeli
AFRCWHEAT2	: Bitki İklim Modeli
SIRIUS	: Bitki İklim Modeli
CO₂	: Karbondioksit
SWAP	: Bitki İklim Modeli (Soil, Water, Atmosphere and Plant)
WOFOST	: Bitki İklim Modeli (World Food Studies)
WUE	: Kuru Dane Ağırlığı ve Toplam Bitki Evapotranspirasyon Oranı
LAI	: Yaprak Alan İndeksi (Leaf Area Index)
TDR	: Zaman Alanlı Yansıma Ölçümü (Time Domain Reflectometer)
IBSNAT	: Int. Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer
CROPGRO	: Bitki İklim Modeli Alt Modül (Crop Growth)
CROPSIM	: Bitki İklim Modeli Alt Modül (Crop Simulation)
SOILRI	: Bitki İklim Modeli Alt Modül (Soil Rain)
WATBAL	: Bitki İklim Modeli Alt Modül (Water Balance)
ETP	: Evapotranspirasyon
CALDAT	: Bitki İklim Modeli Alt Modül (Calendar date)
PHENOL	: Bitki İklim Modeli Alt Modül (Phenologic date)
GROSUB	: Bitki İklim Modeli Alt Modül (Growth subelement)
WRITE	: Bitki İklim Modeli Alt Modül (Write)
RH	: Bağıl Nem (Relative Humidity)
SWC	: Toprak Su İçeriği (Soil Water Content)
PPFD	: Fotosentetik Foton Akı Yoğunluğu
GENCALC	: Bitki İklim Modeli Alt Modül (Genotype Calculator)
RegCM4	: Bölgesel İklim Modeli (Regional Climate Model)
ECHAM5	: Küresel İklim Modeli (European Center Hamburg Model)
WMO	: Dünya Meteoroloji Örgütü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Toprağın özellikleri (Gürbüz, 2009)	12
Çizelge 2.2 : DSSAT modellerinin meteorolojik girdileri (Şaylan ve diğ. 2012)	17
Çizelge 3.1 : Tarımsal faaliyetler.....	19
Çizelge 3.2 : Kışlık buğdayın gelişme dönemindeki fenolojik aşamaları	20
Çizelge 3.3 : Buğday gelişme dönemlerinde yapılan tarımsal faaliyetler.	20
Çizelge 3.4 : Bitki gelişimi göstergeleri (Şaylan ve diğ. 2012).....	23
Çizelge 3.5 : Gelişme döneminde ölçülen değerlerin bazı istatistiki bilgileri.	25
Çizelge 3.6 : Toprağın kimyasal özellikleri.....	32
Çizelge 3.7 : Toprağın fiziksel özellikleri.	32
Çizelge 5.1 : Hassasiyet analizinde kullanılan yaklaşımlar.....	45
Çizelge 5.2 : Biyokütlenin meteorolojik faktörlerdeki değişime duyarlılığı.....	46
Çizelge 5.3 : Verimin meteorolojik faktörlerdeki değişime karşı duyarlılığı.....	47
Çizelge 5.4 : LAI değerinin meteorolojik faktörlerdeki değişime karşı duyarlılığı ..	48
Çizelge 5.5 : Kırklareli ilinde bölgesel iklim modeli sonuçlarına göre meteorolojik değişkenlerin değişimi (Şaylan ve diğ. 2012)	50
Çizelge 5.6 : Kırklareli ilinin ikliminin buğday verimine hassasiyetinin CERES- Wheat modeli ile belirlenmesi(1975-2010 periyodu için).....	54
Çizelge 5.7 : Kırklareli'nde buğday bitkisinin iklim değişikliğinden etkilenme derecesi	56

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : KRK arazisinde tarlanın ve meteoroloji istasyonunun konumları.	7
Şekil 2.2 : Deneme alanına kurulan meteoroloji istasyonu.	8
Şekil 2.3 : Yaprak alan indeksi (LAI) ölçer.....	9
Şekil 2.4 : Tarımsal meteoroloji istasyonundaki sensörler ve aletler	10
Şekil 2.5 : Toprak su içeriği ve sıcaklığı ölçen sensörlerin yerleştirilmesi.	11
Şekil 2.6 : Toprak profili açılması ve örnek alınması.....	13
Şekil 2.7 : DSSAT içindeki hesaplamalar (IBSNAT, 1986; Tsuji ve diğ., 1994).	18
Şekil 3.1 : LAI ölçümleri.	21
Şekil 3.2 : LAI değerlerinin değişimi.	21
Şekil 3.3 : Bitkinin fenolojik aşamalarında çekilen resimler.....	22
Şekil 3.4 : Bitkinin boyu ve LAI değerleri arasındaki ilişki.....	24
Şekil 3.5 : Buğdayın TUBK ve LAI değerleri arasındaki ilişki.	24
Şekil 3.6 : Ölçülen hava sıcaklığı (T2) ve bağıl nem değerleri (RH2).	27
Şekil 3.7 : Ölçülen yağış, toprak sıcaklığı, rüzgar hızı ve toprak su içeriğinin değişimi (Şaylan ve diğ. 2012).	28
Şekil 3.8 : Ölçülen global, net radyasyon ve yüzey sıcaklığı zaman serisi.	29
Şekil 3.9 : Ölçülen net radyasyon (R_n), global radyasyon (R_g) ve PPFD değerleri arasındaki.	30
Şekil 3.10 : Buğday ekili tarladan analiz için toprak örneklerinin alınması.....	31
Şekil 4.1: Modelin tarımsal veri dosyalarının gösterilmesi	34
Şekil 4.2: Modelin meteorolojik girdi verilerinin gösterilmesi	35
Şekil 4.3: Modelin toprak girdi dosyasının oluşturulması.....	36
Şekil 4.4: CERES-Wheat modelinin bitki gelişme dönemi için çalıştırılması	37
Şekil 4.5: Modellenen günlük ve toplam buharlaşma miktarları.....	38
Şekil 4.6: Modellenen toprak sıcaklıkları.....	39
Şekil 4.7: Gözlenen ve modellenen toprak sıcaklıkları arasındaki ilişki.....	40
Şekil 4.8: Modellenmiş ve ölçülmüş toprak su içerikleri	41
Şekil 4.9: Buğday biyokütlesi, yaprak, sap ve verimdeki değişimin gelişme dönemi boyunca seyri (Şaylan ve diğ. 2012)	42
Şekil 4.10: Gerçek, ayarlanmamış ve hesaplanmış bitki katsayılarının verim ve biyokütle sonuçları (Şaylan ve diğ. 2012)	43
Şekil 4.11: Gerçek ve simüle edilen yaprak alan indeksi (LAI) değerleri.....	44
Şekil 5.1: Kırklareli' ndeki deneme arazisi için 150 yıllık model projeksiyonları....	49
Şekil 5.2: Meteorolojik değişkenlerin 1975'ten 2100'e kadar değişimi (Kırklareli- buğday gelişme dönemi) (Şaylan ve diğ. 2012)	51
Şekil 5.3: Kırklareli'nde 2010-2100 periyodunda en kurak buğday gelişme dönemleri (Şaylan ve diğ. 2012).....	52
Şekil 5.4: Kırklareli'nde 2010-2100 periyodunda en sıcak buğday gelişme dönemleri(Şaylan ve diğ. 2012).....	53

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BUĞDAY BİTKİSİNİN GELİŞİMİ VE VERİMİNE OLASI ETKİLERİNİN BİTKİ-İKLİM SİMULASYON MODELİ İLE İNCELENMESİ

ÖZET

İklim değışikliğı günümüzde Dünya genelinde hemen herkesin hem fikir olduğı, ancak olası etkileri hakkında sıkça tartışmaların yaşanadığı ve birçok araştırmmanın ana hedefi olmuş ciddi bir konudur. Hükümetler arası iklim değışimi organizasyonu (IPCC) raporlarına göre, çeşitli kaynaklardan doğaya salının sera gazlarındaki artış, küresel ortalama sıcaklığını etkilemektedir. Bu durum dünya iklimini makro, mezo ve mikro ölçekte değıştirmektedir ve değıştirecektir.

Tarımsal üretimin planlanması ve gelecekteki durumunun belirlenmesi geçmişten günümüze insan hayatında büyük önem arz etmektedir. Toprak, bitki ve atmosfer arasındaki etkileşim, tarımsal üretime yön veren en önemli faktörlerdir. Bu faktörlerin içinde en karmaşık ve belirsiz olanlar, kontrol edilemeyen meteorolojik değışkenlerdir. Bu anlamda meteorolojik faktörlerdeki olası değışiklerin belirlenmesi, tarımsal üretimin gelecekteki durumu hakkında fikir sahibi olmamızı sağlayacaktır.

Dünya’da, olası iklim değışikliğı ve bunun tarıma etkilerini inceleyen çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Teknolojinin hızla geliştiğı günümüz şartlarında bu araştırmalarda bitki-iklim simülasyon modelleri kullanılmaktadır. Bunlar, tarımsal sistemlerin davranışlarını analiz etmek amacıyla geliştirilen matematiksel modellerdir. Ekilen tohum sayısı, gübreleme vb tarımsal yönetim girdileri ile sıcaklık, bağıl nem, yağış, radyasyon vb. meteorolojik değışkenler modellerde girdi olarak kullanılır.

Bu çalışmada amaçlanan, olası iklim değışikliğı senaryolarını dikkate alarak Kırklareli’nde yetiştirilen buğday bitkisinin gelecekteki verimini araştırmaktır. Bu amaca yönelik olarak, DSSAT bitki iklim simülasyon modellerinden CERES-Wheat modeli kullanılmıştır. Modelin girdi ve çıktı verileri olarak Kırklareli Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü arazisinde buğday tarlası üzerine kurulan meteoroloji istasyonunda kaydedilen meteorolojik ve bu arazide ölçülen, gözlenen toprak ve bitki ile ilgili veriler kullanılmıştır. Modelin kalibre edilmesinin ardından hassasiyet analizleri yapılmıştır. Kırklareli için RegCm4, ECHAM5 global iklim modellerinin çıktıları kullanılarak bölgede gelecekte buğday verimindeki değışimler model ile simüle edilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde, buğday veriminin sıcaklık artışına oldukça tepkili olduğu gözlenmiştir (T+5 simülasyonu için -%35.9). R_g ve CO₂ değerlerinin verimi olumlu etkilediğı belirlenmiştir. Ancak, bu durum buğday veriminde sıcaklık artışından kaynaklanan olumsuzluğu dengeleyemediğı gözlenmektedir. Benzer şekilde yağış miktarındaki azalma, buğday veriminin düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca, buğday bitkisinin dane veriminde, 2013-2040 yılı ortalama meteorolojik verilere göre, % 8; bir sonraki 30 yılın ortalama verilerine göre (2041-2070) % 12 ve daha sonraki 30 yıllık periyodun ortalama verilerine göre ise (2071-2100) % 20’ye kadar azalma

modellenmiştir. Buna ilave olarak; geçmiş yıllardaki (1975-2010) verilere göre belirlenen katsayılarla model çalıştırıldığında ise, 2013-2100 yılları arasındaki ortalama meteorolojik verilere göre, verimde % 3 ile 6 arasında bir azalma belirlenmiştir.

EXAMINATION OF POSSIBLE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON WHEAT GROWTH AND YIELD BY A CROP-CLIMATE SIMULATION MODEL

SUMMARY

As a main aim of many studies and discussions, the climate change is a popular phenomenon of overall agreement. According to the reports of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), increases in greenhouse gases released from various sources effect global average temperatures. This situation will change the world's climate in micro, meso and macro scales.

Planning the agricultural production and determining its future are very important issues from the past to the present for human life. Interactions between soil, crop and atmosphere are the most meaningful factors that influence the agricultural production. Among these factors, the most complex and undetermined factors are the uncontrollable meteorological parameters. As such, determining the variations in meteorological parameters can provide us directive ideas about the future aspect of agricultural production.

There are various global researches about climate change as well as its current and possible effects on agriculture. Related to the present technological advances, crop-climate simulation models are widely used during these studies. These models are mathematical softwares developed for the analysis of the activities of agricultural systems. Agricultural management activities like seed quantity, fertilizing, etc. and meteorological parameters like temperature, humidity, solar radiation and precipitation are used as major model inputs.

In this connection, main aim of this research study was to investigate the future yield of winter wheat (*triticum aestivum* L.) sown in the Kırklareli city of Turkey by considering possible climate change scenarios. With a 6650 km² surface area and an agricultural area of 268311 ha, the Kırklareli city (41° 13' N, 26° 54' E, 203 m asl) takes part in northwestern part of Turkey-in the Thrace Region. Concordantly, winter wheat and sunflower are the main agricultural products.

The CERES-Wheat Model, which is a part of the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) crop-climate simulation modelling package was used as the simulation tool. Providing the World Meteorological Organisation's (WMO) requirements, an automatic meteorological station was established on the selected winter wheat parcel in the Kırklareli Atatürk Soil Water and Agricultural Meteorology Research Station Directorate (KRK) Field. Meteorological station data together with the measurements on soil and crop have been used as model inputs and outputs. In this connection; air temperature (average, maximum and minimum), relative humidity, wind speed, wind direction, total solar radiation, photosynthetically active radiation, net radiation, soil heat flux, soil water content, soil temperature, precipitation and surface temperature have been measured directly on cultivated plants. Furthermore; plant height, biomass and leaf area index were

measured at regular intervals. Also, the agricultural activities (number of planted seeds per m², germination percentage, amount and type of fertilizer, amount and time of irrigation, etc.) performed during plant development were recorded. Meteorological measurements were recorded in 10 min, 30 min and daily intervals by a corresponding datalogger. Soil samples were analyzed in the KRK laboratory to determine the physical and chemical properties of soil. For this purpose, soil profiles were opened in the required sections of the wheat experiment field.

After the model calibration process, sensitivity analysis step was taken. This was then followed by the application of the RegCm4 regional climate model outputs as the meteorological inputs of CERES-Wheat for the simulation of future wheat yield change in the aforementioned location.

Analysis of the results showed that the winter wheat is expected to be considerably responsive to temperature variations by means of some major yield indicators (total biomass, grain yield and LAI). An increase of 5 °C in temperature would cause a reduction in yield up to 79 %. Global solar radiation (R_g) and carbondioxyde (CO₂) increases are expected to affect positively on wheat yield. Sensitivity analysis showed that the maximum yield increase could occur for the R_g and CO₂ increase scenarios (35 %). This positive effect, however; cannot compensate the above mentioned reduction caused by the temperature. The wheat biomass showed a similar manner in grain yield, which was influenced negatively by temperature rise (-% 42 for the T + 5 °C scenario).

In addition to the sensitivity analysis, investigation of the future climatic conditions for Kırklareli was conducted in three equal time intervals; namely for the years between 2010-2040, 2041-2070 and 2071-2100, respectively. To reach this aim, additional calibration was applied using historical database to put forth the long term overall plant growth of the mean 1975-2010 season. Accordingly, a series of simulations were done to make comparisons between the long term and future yield components. Moreover, emphasize was given to the determination of future growing seasons, during which extreme meteorological conditions were expected to occur. According to these climate model predictions, the 2010-2040 growing period has been identified as one of the most arid wheat growth periods. The 2069-2070 season was estimated as the driest development period, while the 2052-2053 was determined as the wettest season for the consecutive 30 years interval (2041-2070). Following this, for the average 2071-2100 period it was modeled that the 2090-2091 season would be the driest growing period for wheat. Hottest growth periods during the consecutive 30 years periods were estimated as 2033-2034, 2069-2070 and 2098-2099, respectively.

According to the Kırklareli's long term climate data (1975-2010), any increase in temperature would affect negatively on wheat yield. Indeed, an increase of 5 °C in temperature could cause a 35.9 % yield reduction. Similarly, reductions in precipitation caused decreases in yield, as expected. Model predictions showed that a 40 % decrease in precipitation would affect negatively on wheat yield as 9.7 %. By contrast, with the temperature, global solar radiation (R_g) and carbondioxyde (CO₂) increases affected wheat yield positively. Possible R_g and CO₂ senarios showed increases in grain yield up to 16.1 and 27.6 %.

Model runs due to the 2013-2040 average meteorologic data indicated grain yield increases of wheat up to 8 %. The reduction keeps its trend for the successive 30 years period as 12 and 20 % for the consecutive (30-year) period (2071-2100). Evaluation

of these three different periods for the future showed that there will be reduction in wheat yield between 14 % and 64 % for the driest future growing season. Ratio of the reduction will vary between 35 to 64 % for the hottest season.

In the future; meteorological, plant, soil and agricultural activities data, which are necessary as input and/or output for models, should be recorded regularly in our country. This can enable the related researchers to use the same model or similar models for further analysis. Any model can be calibrated for different crops and different climatic conditions of countries. This will provide more accurate decisions to make investments for the future. This thesis is the first step to overcome the lack of examination of possible effects of climate change on winter wheat yield in northwestern Turkey. This thesis has been carried out under the TUBITAK project conducted by Prof. Levent ŞAYLAN. For this reason, I would like to thank TUBITAK.

1. GİRİŞ

İklim değışikliği hem yerküredeki birçok sektörü, hem de yerdeki birçok sektör de iklimi etkileyebilmektedir. Dolayısıyla, bu karşılıklı etkileşimde hangi sektörün nasıl etkileneceği araştırmanın odak noktalarından biridir. Tarım, iklim değışikliğinin etkileyeceği sektörlerden biridir. Yaşam için gerekli olan gıda üretimini ve kalitesini iklim deki değışiklikler etkileyebilir. İklim değışikliğinin tarım üzerinde küresel ve bölgesel etkileri söz konusudur. Bu etkiler aynı zamanda ülke ve Dünya ekonomisini de yönlendirebildiği gibi, ayrıca sosyal boyutu da bulunmaktadır. Bu sebeple, karar vericiler, planlayıcılar gelecekte ülkelerinde iklimin nerede ve nasıl değışeceğini bilmek ve bunun tarım alanına olası etkilerini analiz ettirme ihtiyacı içindedir. Bugün tarım alanında iklim değışikliği açısından bilinmek istenen, “iklim değışikliğinin tarımsal üretimi nasıl etkileyeceğidir?”. Burada özellikle ülke ekonomisinde ve beslenme açısından en fazla paya sahip bitkiler öncelikli olarak bilinmek istenir.

Bu durum, aynı zamanda tarım sektörünün gelecekte iklim değışikliğine uyum sağlayıp sağlamayacağı, bundan ne kadar yarar veya zarar görebileceği ve bu zararın azaltılması gibi konuların gündeme gelmesi demektir. Üstü açık, yani çatısız bir fabrika niteliğindeki tarımın, meteorolojik faktörlerdeki değışimden etkilenme riski çok yüksektir. Bu sebeple yakın veya uzak bir dönemde hem meteorolojik tahminler, hem de iklimle ilgili öngörüler bu sektörün etkilenme potansiyelini belirler.

Dünya’da iklim değışikliğinin tarım alanlarına etkileri ile ilgili çalışmalar uzun yıllardır yapılmaktadır. Bu çalışmalarda, bitki gelişimini benzeten modeller kullanılmaktadır. Bu modeller genellikle matematiksel modellerdir. Tanımlanmalı veya açıklamalı tipleri vardır. Ancak bu modellerin hepsinde önemli olan girdi ve çıktı verilerinin doğru ölçülmesi ve karşılaştırılıp modellerin kalibre edilmesidir. Günümüzde ülkelerin mevcut modellerin (açıklamalı modellerin) tüm girdi ve çıktı verilerini sağlayacak bir veri tabanı söz konusu değildir. Bu sebeple modellerin kullanılması için öncelikle hatalarının tespiti ve düzeltilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, girdi ve çıktı verilerinin maksimum düzeyde ölçülmesi ve belirlenmesi önem arz eder. Bu çalışmada hedeflenen Dünya’da yaygın olarak kullanılan karar ve

destek sistemlerinden DSSAT modelinin CERES-Wheat modeli ile Kırklareli’nde buğdayın gelecekteki veriminin tahminidir. Bu kapsamda model için gerekli girdiler ve çıktılar arazide yapılan uygulamalı çalışma ile buğday bitkisi üzerinde belirlenmiş ve model düzeltildikten sonra gelecekteki iklim değişikliğinin tarıma etkileri analiz edilmiştir.

Bu araştırma, TÜBİTAK tarafından desteklenen 108O567 nolu proje kapsamında ve Kırklareli Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğünde yürütülmüştür.

1.1 Tezin Amacı

Ülkemizde iklim değişikliğinin tarımsal üretime etkileri ile ilgili yapılan çalışmalar Dünya ile karşılaştırdığımızda oldukça azdır. Yapılan çalışmaların bir çoğunda, deneme alanlarından alınan veriler yerine, genellikle şehirlerde bulunan istasyonlardan alınan verilere ve literatür çalışmalarından alınanlara dayanmaktadır. Girdi ve çıktı verilerinin arazide bitkinin üzerinde doğrudan ölçüldüğü, fenolojik aşamaların sık sık ve düzenli gözlemlendiği, bir çok vejetasyon dinamiğinin (bitki boyu, LAI vb.) ölçüldüğü araştırma sayısı sınırlıdır. Bu çalışmada amaç, bitkinin yetiştiği ortamda ölçülen ve gözlenen toprak, bitki, atmosfer verileri ile tarımsal faaliyet süresince yapılan tüm işlemleri (ekilen tohum sayısı, gübre miktar, sulama miktarı ve zamanı vb.) yerinde ve zamanında takip etmek ve Dünyada yaygın olarak kullanılan bir modeli, Kırklareli şartlarında kalibre edip, iklim değişikliğinin kışlık buğday verimine yapabileceği etkileri belirlemektir. Bu kapsamda, 2009-2010 yılları arasında KRK’da, Trakya bölgesinde yaygın olarak yetiştirilen bir buğday çeşidi (Gelibolu) ekilmiş ve model için gerekli veriler sağlanmıştır. Bu çalışma bu kapsamda Trakya’da yürütülen ilk çalışmadır.

1.2 Literatür Araştırması

Dünyada bitki gelişimi ve verimini tahmin etmeye yönelik yapılan son çalışmalarda modeller sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca, bu modeller, olası iklim değişikliğinin tarıma yapacağı etkiler hakkında bizlere önemli bilgiler de sunmaktadırlar. Bu konu üzerine özellikle, ülke ve Dünya ölçeğinde çok sayıda araştırma çalışması yapılmıştır. CERES (Jones and Kiniry, 1986), EPIC (Williams ve diğ., 1989),

CropSyst (Stockle ve diğ., 2003), DSSAT (Jones ve diğ., 2003) ve AQUACROP (Steduto ve diğ., 2009; Raes ve diğ., 2009) en yaygın kullanılan bitki gelişimi simülasyon modellerinden bazılarıdır.

Bitki gelişimi simülasyon modelleri ile ilgili çalışmalar 1960'lı yılların sonu ile 1970'li yılların başlarına denk gelmektedir. Bu kapsamda, ilk model 1969 yılında Brouwer de Wit tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra 70'li yıllarda model çalışmaları yoğunlaşmıştır (Franzini, 1993) ve Şaylan ve diğ. (2012). Bireysel çalışmaların daha ön planda olduğu bu dönemde Haun (1974), buğday bitkisinin verimini sadece sıcaklık ve verimin bir fonksiyonu olarak belirtmiştir. Yine aynı dönemde Jensen (1975), verimi hesaplarırken sıcaklık ve yağış değerlerini dikkate alan simülasyonlar gerçekleştirmiştir.

Karmaşık eşitliklerin bilgisayar ortamında ele alınıp, modeller kullanılarak değerlendirilmesi, 80'li yılların ikinci yarısından itibaren yaygınlaşmıştır. Bitkilerin çevresel faktörlerden etkilenmeleri araştırılırken, ilk başlarda farklı verileri girdi olarak kullanan kompleks simülasyon modelleri kullanılıyordu (Weir ve diğ., 1984). Williams ve diğ., 1975 tarafından geliştirilen meteorolojik faktörlerinde dikkate alındığı basit denklemler, ilerde yıllarda bilgisayarlar yardımı ile geliştirilen (Stewart ve Dwyer, 1990) simülasyon modellerine temel teşkil etmiştir.

Modeller kullanarak iklimdeki değişimin bitki gelişimine ve verime etkilerini Wolf (1993); Wolf ve van Diepen (1994, 1995); Parry ve diğ., (2004); Rötter ve diğ., (2011) araştırmıştır. Lobell ve diğ. (2009) ve Eitzinger ve diğ. (2010) farklı çevresel şartların tarımsal üretime etkilerini tahmin ve belirleme yoluna gitmişlerdir. Bununla birlikte; Alexandrov ve diğ., (2002); Eitzinger ve diğ., (2003); Schmit ve diğ., (2004); Çaldağ ve Şaylan (2005); Iqbal ve diğ., (2010, 2011); Kristensen ve diğ. (2011) tarımdaki iklim değişikliği ve adaptasyon konusunda modelleri kullanmışlar ve bu konuda karar verme mekanizmalarına önemli destekler sağlamışlardır. Landau ve diğ. (1998) Birleşik Krallıkta yaptıkları bir araştırmada buğday bitkisinin gelişimini ve verimini CERES-Wheat, AFRCWHEAT2 ve SIRIUS modelleri ile analiz etmişlerdir. Alexandrov ve Hooogenboom (2000), Bulgaristan'da yaptıkları bir araştırmada, buğday ve mısır bitkisinin iklim değişikliği ve değişiminden nasıl etkileneceğini araştırmışlar ve GCM senaryolarını kullanarak her iki bitkide de verimde azalma olacağını tespit etmişlerdir.

Nihayetinde karar verme mekanizmalarına destek verme amacıyla ve olası iklim değişikliği etki senaryoları üretmek amacıyla bitki-iklim simulasyon modelleri geliştirilip kullanılmaya başlanmıştır (Thornton ve diğ., 1991; Tsuji ve diğ., 1994). Öyle ki anlık gıda ihtiyacına ya da arazi kullanımına yönelik stratejik kararlar alınmasında (van Kkeulen ve diğ., 1987; Aggarwal, 1988; van Diepen ve diğ., 1990) yada olası iklim değişikliği senaryoları (Adams ve diğ., 1990; Mearns ve diğ., 1992; Wolf ve diğ., 1995) neticesinde modeller kullanılarak verimin tahmin edilmesine yönelik yeni bir trend oluşmuştur. CERES-Wheat modeli ile dünyada ölçülmüş 283 verim değeri model tahmini ile karşılaştırılmış ve modelin dane verimini % 60 oranında tahmin edebildiği gösterilmiştir (Otter-Nacke ve diğ., 1986). 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 birinci ve en önemli olanı, atmosferdeki CO₂ ve sıcaklıkta meydana gelen değişimler incelenirken, kültür tiplerinin normal gelişmelerindeki davranışlarının da iyi analiz edilmesi gerektiğidir.

İklim değişikliğinin tarımsal üretime olan etkileri lokal, bölgesel, ulusal ve hatta küresel ölçekte önem arz etmektedir (Kauffmann ve Snell, 1997; Gadgil ve diğ., 1999). Bitki verimi; sıcaklık, yağış, kuraklık ve taşkınlar gibi faktörlerdeki değişikliklerden oldukça etkilenir. Bu konuda yapılan çalışmalarda Harrison ve diğ. (1995), iklimin bölgesel ve global ölçekteki değişiminden tarımsal üretimin nasıl etkileneceğine odaklanmıştır. Yine Smith (1997), iklim değişikliği etkileri ve olası adaptasyon değerleri ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Bu konuda küresel ölçekli çalışmaların yanında, ulusal ölçekte de birçok araştırma yapılmıştır (Peiris ve diğ., 1996; Davies ve diğ., 1998 ve Lal ve diğ., 1999).

Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak, modeller de zamanla daha spesifik hale gelmiş ve aynı amaca yönelik farklı yöntemleri dikkate alan modeller ortaya çıkmıştır. Bu durum modellerin avantaj ve dezavantajlarını daha iyi görmemize olanak sağlamıştır. Ayrıca yapılan çalışmalarda aynı şartlar altında, farklı modellerin sonuçlarının karşılaştırılmasına neden olmuştur. Buna örnek olarak Eitzinger ve diğ. (2003) yaptıkları bir çalışmada CERES, WOFOST ve SWAP bitki iklim modellerini kullanarak farklı bitki tipleri ve toprak türleri için hesaplamışlardır. AquaCrop, CropSyst, and WOFOST modelleri WUE (su kullanım etkinliği) değerini hesaplamak için kullanılmışlardır. Sonuç olarak, sulama yapılan koşullar için en

doğru yaklaşımı AquaCrop, sadece yağmur suyu ile yapılan simulasyonda CropSyst, sulama yapılmayan durumda ise, en doğru sonucu WOFOST modelinin verdiği gözlenmiştir (Todorovic ve diğ., 2009). Benzer olarak Eitzinger ve diğ. (2012) mısır ve buğday bitkileri için eksterm hava şartlarında farklı modellerin hassasiyet durumlarını analiz etmişlerdir. Ye ve diğ., (2013) CERES modelini kullanarak 2050 yılı için Çin’ de ki gıda yeterliliğini araştırmışlardır. Yine, Abi Saab ve diğ., (2014) AquaCrop ve CropSyst modellerini kullanarak farklı sulama ve azot durumları için arpa bitkisinin gelişimi ve verimini incelemiş, bitki gelişiminin modellenmesinde kalibrasyon yılının model performansını nasıl etkileyeceği araştırılmıştır. Son olarak Siebert ve diğ. (2014) bitki verimi modellenirken standart 2 metre yükseklikte ölçülen hava sıcaklığı verisine ilave olarak yaprak sıcaklığının da dikkate alınması gerektiğini vurgulamıştır.

Türkiye’de bu konuda yapılan çalışmalar; 1990’lı yıllarda başlamıştır. Benli ve arkadaşları (1990) yılında yaptıkları bir çalışmada Türkiye buğday üretiminin tahmini için çeşitli meteorolojik değişkenler ile verim arasındaki ilişkiyi aşamalı regresyon tekniğini kullanarak ortaya koymuşlardır. Modellerin tarımsal kuraklığın analizinde kullanılma imkanlarını Şaylan ve diğ. (1994) belirlemiştir. Yine Şaylan ve diğ. (1995) küresel ısınmanın etkilerini bitki-iklim modelleri ile tespit etmişlerdir. Eitzinger ve Şaylan (1995) tarafından, modellerde kullanılacak olan verilerin ölçüm noktalarının sonuçlara etkileri araştırılmıştır. Şaylan ve Özen (1997) tarafından yapılan bir çalışmada modeller kullanılarak çevresel koşullardaki değişimin tarımsal meteorolojik etkileri incelenmiştir. Benzer olarak; Şaylan ve diğ. (1998), Dünya’da ve Türkiye’de bitki iklim modelleri ve bu alanda ülkemizde yapılabilecekleri vurgulamıştır.

Özetle, ülkemizde bitki-iklim modelleri kullanılarak yapılan çalışmalar sınırlıdır. Modellere girdi ve çıktı verilerinin uzun süreli kaydı olmaması hatta bir kısım verilerin ölçülüyor olması, bu durumun en önemli sebebi olarak gösterilebilir. Bu eksikliğin giderilmesine yönelik olarak tarımsal meteoroloji istasyon ağlarının kurulması ve düzenli veri arşivi oluşturulması gerekmektedir (Çaldağ, 1997). Bu olumsuz duruma rağmen, ülkemizde modeller kullanılarak bitki, toprak ve atmosfer üçlüsü arasındaki ilişkileri belirleyici çalışmalar hızla yaygınlaşmaktadır (Şaylan ve Çaldağ, 2000; Tatar, 2001; Mor, 2005; Çaldağ ve Saylan, 2005; Şimşek ve diğ., 2007).

Bu alışmada, DSSAT modellerinden CERES-Wheat kullanılarak, iklim değişikliğinin buğday bitkisinin verimine yapacağı etki incelenmiştir. Modele girdi olarak kullanılacak veri bizzat buğday tarlası üzerine kurulmuş olan meteoroloji istasyonunda sağlanmış ve model çıktı verileri ölçülerek kaydedilmiştir. Böylelikle modelin adaptasyonu en iyi şekilde sağlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

Bu çalışma, uygulamalı bir araştırma çalışmasıdır. Bu sebeple, KRK'daki deneme alanında gerekli ölçüm ve gözlemler yürütülmüştür. Aşağıdaki kısımda bu deneme alanı, yapılan ölçümler ve aletler ile ilgili bilgiler verilmiştir.

2.1.1 Deneme alanı

Uygulamalı araştırma, Kırklareli'ndeki Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma İstasyonu Müdürlüğü (KRK) arazisinde yapılmıştır. İlgili Müdürlük, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'na bağlı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü'ne bağlı olarak araştırmalarını yürütmektedir.

Araştırma çalışmasının yapılacağı KRK'da, buğday bitkisinin yetiştirilebileceği arazi için ön inceleme yapılmıştır ve ekilecek yer ile yetiştirilecek çeşit, ilgili uzmanlarla görüşülerek tespit edilmiştir. Bu aşamada Trakya'da yaygın olarak ekilen buğday çeşidinin (Gelibolu) olduğu belirlenerek, araştırmada da bu çeşit kullanılmıştır. KRK'da buğday bitkisinin ekildiği arazi aşağıdaki Şekil 2.1'de kırmızı çizgi ile çevrelenmiştir. Şekildeki; sarı nokta ise, tarlada ki tarımsal meteoroloji istasyonunun kurulduğu yeri göstermektedir. Proje de, Buğday ekili alan yaklaşık 80 da'dır.



Şekil 2.1: KRK arazisinde tarlanın ve meteoroloji istasyonunun konumları.

Deneme alanının toprak özellikleri ve iklimi ile ilgili veriler ayrıca incelenmiştir.

2.1.2 Tarımsal meteorolojik ölçümler

Belirlenen çalışma alanına kurulacak meteoroloji istasyonunun konumu; feç mesafesi ve meteorolojik faktörler dikkate alınarak belirlenmiştir. Meteoroloji istasyonunun kurulumundan sonra aletler test edilmiştir (Şekil 2.2). Meteorolojik ölçümler için kullanılan sensörler Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Bitkinin gelişiminin bir göstergesi olan yaprak alan indeksi ölçer (LAI) aleti de, proje başlangıcında test edilmiştir (Şekil 2.4).

24 Eylül 2009 tarihinde, buğday tarlasına 10 m yüksekliğinde direk üzerine sensörler monte edilmek suretiyle meteoroloji istasyonu kurulmuştur.



Şekil 2.2: Deneme alanına kurulan meteoroloji istasyonu.

Buğday için kurulan 10 metrelik meteoroloji istasyonunda aşağıdaki aletler bulunmaktadır.

- Veri toplayıcı
- Kanal kapasitesi artırıcı
- Hava sıcaklık ve Bağıl Nem sensörü (2 m)
- Hava sıcaklık ve Nem sensörü (3 m)
- Piranometre (2 m)
- Net radyometre (2 m)
- Kızıl ötesi yüzey sıcaklık ölçer (2 m)
- Toprak ısı akısı ölçer (1 çift sensör)
- Toprak su içeriği ölçer (0-30; 30-60 ve 60-90 cm derinliklere)
- Rüzgar şiddeti ölçer (0.5, 1, 2, 5, 10 m)
- Toprak sıcaklığı ölçerler (T Tipi TC) (Farklı seviyelerde)



Şekil 2.3: Yaprak alan indeksi (LAI) ölçer.



Şekil 2.4: Tarımsal meteoroloji istasyonundaki sensörler ve aletler.

Aletlerden ölçülen verilerin doğruluğunu test etmek amacıyla kalibrasyon işlemleri önceden yapılmıştır. Ayrıca Buğday bitkisi üzerinde kurulan Tarımsal Meteoroloji istasyonu şehir elektriğinin kesilmesine karşı, bir kuru pil ve güneş paneli ile enerji ihtiyacını karşılayacak şekilde desteklenmiştir. Veri toplayıcı su geçirmez muhafaza kutusu içerisine yerleştirilmiştir. Aşağıdaki resimde buğday tarlasındaki meteoroloji istasyonunun kurulumu gösterilmektedir.

İstasyon hemen yakınında toprak içine, toprak su içeriği ve toprak sıcaklığı ölçen sensörler yerleştirilmiştir. Şekil 2.5, bu aşamaları göstermektedir.



Şekil 2.5: Toprak su içeriği ve sıcaklığı ölçen sensörlerin yerleştirilmesi.

Yukarıdaki Şekil 2,5'te görüldüğü gibi toprak su içeriği buğday için 0-30, 30-60 ve 60-90 cm derinliklerde hacimsel su içeriği cinsinden, Time Domain Reflectometer (TDR) esasına dayanan sensörler kullanılarak ölçülmüştür. Aynı zamanda buğday ekiminden hemen sonra toprak ısı akısı ölçerler, 8 cm toprak altına konumlandırılmıştır.

10 m yüksekliğindeki istasyon, ayrıca yüksek akıma ve yıldırıma karşı paratoner kurularak topraklanmıştır. İlave olarak, istasyondaki veri toplayıcı toprağa ayrıca çakılan bakır çubukla topraklanmıştır. Sıcaklık ve nem farkı ölçümü yapılacak olan aletlerin kalibrasyonu laboratuarda gerçekleştirilmiştir. Kalibre işleminin yanı sıra araziye konulan aletlerin tümünün çalışabilirliği ve güvenilir sonuçlar verip vermedikleri kontrol edilmiştir. Araştırma alanından elde edilecek verilerle kullanılacak modellerin çalıştırılması için gerekli girdi verileri tespit edilmiş ve bu verilere göre çalışmada işbirliği yapılan KRK müdürlüğü ile görüşülerek yapılması gereken analizler, ölçümler ve gözlemler planlanmıştır.

Çalışmada; hava sıcaklığı (ortalama, maksimum ve minimum), bağıl nem, rüzgar hızı, rüzgar yönü, toplam güneş radyasyonu, fotosentetik aktif radyasyon, net radyasyon, toprak ısı akısı, toprak su içeriği, toprak sıcaklığı, yağış ve yüzey sıcaklığı gibi meteorolojik faktörler yetiştirilen bitkilerin üzerinde doğrudan elektronik olarak ölçülmüştür. Bunun dışında toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri laboratuvar analizleri ile belirlenmiştir. Diğer yandan bitki boyu, biyokütle ve yaprak alan indeksi düzenli aralıklar ile ölçülmüştür. İlave olarak, bitki gelişimi sırasında yapılan tarımsal aktiviteler (m²'ye ekilen tohum sayısı, çimlenme yüzdesi, gübre miktarları ve cinsi, sulama miktarı ve zamanı vb) kaydedilmiştir.

Meteorolojik ölçümler 10 dak., 30 dak. ve günlük olarak veri toplayıcı tarafından kaydedilmiştir. Ölçüm sistemlerinin düzenli bakımı, kontrolü, verilerin veri toplayıcıdan alınması, veri analizi, verilerin modeller için gerekli girdi dosyaları haline dönüştürülmesi hazırlıkları, toprak analizleri, bitki ile ilgili kayıtlar, ölçümler ve gözlemler, kalibrasyonlar, proje süresince düzenli olarak yapılmıştır.

2.1.3 Deneme alanı toprak özellikleri

Çalışma alanında yapılmış olan önceki analiz sonuçları incelenmiş (Gürbüz 2009) ve bu sonuçlara göre toprağın özellikleri aşağıdaki Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla alınan örnekler KRK'nin laboratuvarlarında analiz edilmiştir. Bunun sonuçları, ileriki bölümlerde toprak veri tabanı dosyasında detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Toprağın özellikleri (Gürbüz, 2009).

Derinlik	Birim hacim ağırlığı (g/cm ³)	Dane Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Tarla Kapasitesi (%)	Solma Noktası (%)	Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	Bünye sınıfı	Organik madde	Azot Miktarı (%)
0-20 cm	1.40	2.66	23.16	9.98	21.48	31.06	49.54	Tın	1.74	0.115
20-40 cm	1.60	2.65	23.35	9.88	23.01	27.67	50.14	Kumlu Killi Tın	1.61	0.108
40-60 cm	1.61	2.64	22.26	10.16	21.52	25.64	52.84	Kumlu Killi Tın	1.40	0.095
	Yarayışlı Fosfor (P2O5)	Yarayışlı Potasyum (K2O)	KDK (meq/100 g)	Demir (ppm)	Bakır (ppm)	Çinko (ppm)	Man-gan (ppm)			
0-20 cm	13.70	130.90	15.40	4.19	4.19	1.64	7.09			
20-40 cm	13.90	136.90	15.30	4.24	4.33	1.54	5.95			
40-60cm	13.60	99.90	15.40	4.22	3.93	1.29	6.92			

Gürbüz (2009) tarafından buğday arazisinde yapılan bir çalışmada, toprağın toplam azot durumu 0-20 cm derinliğinde %0.115 olarak ve organik madde miktarı %1.74

olarak tespit edilmiştir. Buğday tarlasındaki toprak analizi için profiller açılmış ve gerekli örnekler toplanmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Toprak profili açılması ve örnek alınması.

2.2 Metot

Araştırmada, bitki gelişimini matematiksel olarak benzetmek ve olası iklim değişimi senaryolarını simüle etmek amacıyla, DSSAT (CERES-Wheat) modeli kullanılmıştır.

2.2.1. CERES-Wheat modeli

Bu model, IBSNAT'ın (International Benchmark Sites for Agrotechnology Transfer) sürekli güncellenen bir alt birimidir (IBSNAT, 1986; Tsuji ve diğ., 1994; Hoogenboom ve diğ., 1994). 1982 yılında ABD'de bulunan Hawaii Üniversitesi merkez olmak üzere kurulan ve zamanla küresel bir araştırma sahasına hitap eden IBSNAT, günümüzde uluslararası tarım teknolojileri transferinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu projenin hedefleri arasında, atmosferik parametrelerin dikkate alınması ile olası risklerin minimuma indirgenmesi ve ticari üretimi yapılan bitkilerin gelişim ve verim eğilimlerinin matematiksel modeller yardımıyla kısa zamanda saptanması bulunmaktadır. 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 adında kurumlar ve disiplinlerarası bir sistemin ürünlerindendir.

Başta iklim değışikliğı olmak üzere, birçok çevresel faktörün tarımsal üretime yönelik verim beklentinde belirsizliğe yol açması, DSSAT'ın ortaya çıkmasında ki ana sebep olarak görülebilir. DSSAT'la amaçlanan, bitkinin türünden, miktarından ekiminden hasadına kadar yapılan tüm müdahalelerden kaynaklı ürün kayıplarının en aza indirgenmesi olarak tanımlanabilir. DSSAT, yapı olarak ise kullanımı kolay bir yazılımlar bütününe karşılık gelmektedir. Bu yazılımlar, birbirleriyle karmaşık bir etkileşim içinde olan toprak-bitki-atmosfer üçgeninin karşılıklı reaksiyonlarını girilen verilerin özelliklerine göre değışen 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 farklı bitkiler içinde (mesela mısır, darı ve arpa ve sorgum vb) simülasyon yapmaktadır (Tsuji ve diğ., 1994; Şaylan ve diğ., 2012).

Esas amacı arazi ve meteorolojik etkenlere bağılı olarak ortaya çıkan biyolojik gereksinimleri benzetmek olan DSSAT, birçok çalışmada yönlendirici rol oynayan karar verme mekanizmaları için tasarlanan bir yazılımlar bütünüdür. Bu işlem, bitki iklim simülasyon modellerince yapılarak bitki türünün gelişim süreçlerinin ve verimlerinin dış etkenler altında tahminini ile sonuçlanmaktadır. Son kısımda ise tarımsal meteorolojik çalışmalarda sık sık sorulan “ne olursa.....ne olur?” tipindeki sorulara gerçeğe yakın yanıtların aranmasının ve güvenilir tarım yapabilmenin başlıca koşullarını sağlama yolları araştırılır (Şaylan ve diğ. (2012).

DSSAT ana menüsünde kullanıcı için 5 adet seçenek bulunmaktadır. Bunlar atmosfer, toprak ve deney verilerine ulaşmasını sağlanan veri seçeneğı, kalibrasyon, değerlendirme ve hassasiyet analizi gibi amaçlara yönelik olarak modeller içeren model seçeneğı, sistemin verilere uyguladığı analizlerin yürütülmesi amacıyla analizler seçeneğı, sistem gereçlerinin ele alınması ile ilgili seçenek ve son olarak sisteme kalıcı müdahalelerin yapılması ya da sistemden çıkılması ile ilgili seçeneklerdir.

DSSAT, çeşitli bitkiler için alt simülasyon modellerine sahiptir. (IBSNAT, 1990; Jones ve diğ., 1994, 2003). Mısır, buğday, darı ve arpa gibi tahıllar CERES ana

modeli içinde yer almıştır. Hububatlar ise, CROPGRO ana modeline dahil edilmiştir. Cassava bitkisi CROPSIM ana modeli altında incelemeye tabi tutulmaktadır. Aynı zamanda grafik programı, genetik katsayı hesaplayıcı ve mevsimsel analiz programları da bu sistemde tam bir uyum içerisinde çalışır (Şaylan ve diğ., 2012).

Modelde gerekli olan meteorolojik değişkenlerin girilmesi, tamamlanması vb. işlemler için, günlük atmosferik verilerin grafiksel gösterimi gibi kullanıcıya kolaylık sağlayan unsurlar bulunmaktadır. Böylelikle, bu menü seçeneğinde tüm günlük meteoroloji dosyalarının belirli bir konumda yer alması sağlanır. Bu konumda dosya ismi, bölge ismi, iklim zonu, 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 dosyaları arasından ihtiyaç duyulan dosyaya da bu liste yardımıyla ulaşılabilir. İklim dosyaları, bölge için genel bilgi ve günlük atmosferik değişkenlerin uzun vadeli aylık ortalamalarını içerir. Bu veriler, bir bölge için eksik kalmış yada ölçülememiş veri olması durumunda gerekli günlük verinin üretilmesi amacıyla kullanılır (Şaylan ve diğ., 2012).

Benzer bir şekilde toprak profili ve cinsi ile ilgili veriler DSSAT içerisinde toprak menüsünde bulunmaktadır. Bu menüden farklı toprak profilleri üretmek, benzer toprak profillerinden yararlanmak ya da değerleri elle girmek kullanıcıya sunulan kolaylıklardandır.

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 diğ., 1989). Burda esas olan tüm alt programlarda, toprak-bitki-atmosfer etkileşiminin ortaya koyduğu karmaşık süreçlerin nispeten basit matematiksel eşitliklerle ifade edilmesidir. Örneğin fotosentetik aktif radyasyonun bitkinin potansiyel kuru madde üretimi ile arasında doğrusal bir ilişki vardır. Fotosentetik aktif radyasyon ise, tamamen yaprak alan indeksine bağlı olarak hesaplanmaktadır.

(PROGRI), CERES-Wheat içerisinde bulunan alt programların ilki olup farklı değişkenlere karşılık gelen verilerin okunması ve bunlara ait başlangıç değerlerinin konumlandırması işlemini gerçekleştirmektedir. Farklı büyüklükteki toprak su içeriği

miktarları için başlangıç değerlerinin hesaplanması ve toprak tabakaları ile yağışı ilgilendiren bilgilerin okunması ikinci alt program (SOILRI) ile yapılmaktadır. Üçüncü alt programda (WATBAL) her bir gün için toprak su içeriği değerlerinin üretilir. Bitki gelişiminde önemli bir parametre olan potansiyel evapotranspirasyonun (ETP) hesaplanması bu kısımda gerçekleşen işlemlerden biri olarak gösterilebilir.

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

$$ETP = 1.1 * (Rg * (2.04 * 10^{-4} - 1.83 * 10^{-4} * ALB) * (Tort + 29)) \quad (2.1)$$

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

$$ETP = (Rg * (2.04 * 10^{-4} - 1.83 * 10^{-4} * ALB) * (Tort + 29)) * ((Tmax - 35) * 0.05 + 1.1) \quad (2.2)$$

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

$$ETP = (Rg * (2.04 * 10^{-4} - 1.83 * 10^{-4} * ALB) * (Tort + 29)) * 0.01 * e^{0.18(Tmax + 20)} \quad (2.3)$$

Eşitliklerde ETP, potansiyel evapotranspirasyonu; Rg, güneş radyasyonunu; ALB, yüzey albedosunu; Tort, günlük ortalama hava sıcaklığını ve Tmax, günlük maksimum hava sıcaklığını göstermektedir. Bununla beraber gerçek evaporasyon, tabakalar arası toprak su akışı ve dağılımı gibi parametreler de bu alt programda yapılan hesaplamalara örnek olarak gösterilebilir. Dördüncü alt programda (CALDAT), takvim günü ile ölçümlerin yapıldığı tarihlerin eşleştirmesi yapılır. (PHENOL) beşinci alt modülde gün uzunluğu hesabından bitkinin gelişme sürecinde herhangi bir anda ki durumu belirmemize olanak tanır. CERES-Wheat'in altıncı alt modeli olan GROSUB içinde, bitki gelişme aşamalarının her birinde kaydedilen gelişme miktarları bir araya getirilir ve günlük bitkisel kütle artım değerine ulaşılır. Bu arada fotosentetik aktif radyasyonun ve sıcaklık stresinin belirlenmesinin de bulunduğu ara hesap aşamaları gerçekleştirilir. Yaprakla kaplı alanın günlük hesaplanması, dane ağırlığının toplam kuru maddeye oranı ve dane dolumu gibi parametreler ayrıca hesaplanarak bitki büyümesinin gelişme aşamasına bağlı olarak ayrıntılı bir şekilde ortaya konması amaçlanmıştır. Son bir alt modelde (WRITE) toprak ve bitki kütlesinin su dengesi ile ilgili hesaplar yapılarak değerler kullanıcıya sunulur.

Tarımsal meteorolojideki en önemli faktörlerden biri olan Evapotranspirasyon, buharlaşmanın doğrudan ölçümünün yapılmasında karşılaşılan güçlükler nedeniyle farklı eşitlikler yoluyla hesaplanması yoluna gidilmiştir (Şaylan ve diğ., 2011). CERES-Wheat Modeli de 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. DSSAT ile Karbondioksitin (CO₂), bitkinin fotosentez ve su kullanımına yaptığı etkiler simule edilebilir, atmosferik veriler üzerinde değişiklik yapılabilir. Model, bitkinin tüm gelişme dönemi boyunca maruz kaldığı günlük atmosferik veriler ile çalışır. Bu verilerin ekim ve hasat tarihlerinden önce ve sonrasını da kapsayacak şekilde tedarik edilmesi modelin hassasiyetini arttırması açısından önemlidir. Böylece ekimin yapılacağı tarihe karşılık gelen toprak koşullarının önceden tahmin edilmesi mümkün hale gelecektir. Aşağıdaki Çizelge 2.2, DSSAT yapısı içinde yer alan CERES-Wheat modelinin meteoroloji dosyası girdilerini içermektedir.

Çizelge 2.2: DSSAT modellerinin meteorolojik girdileri (Şaylan ve diğ. 2012).

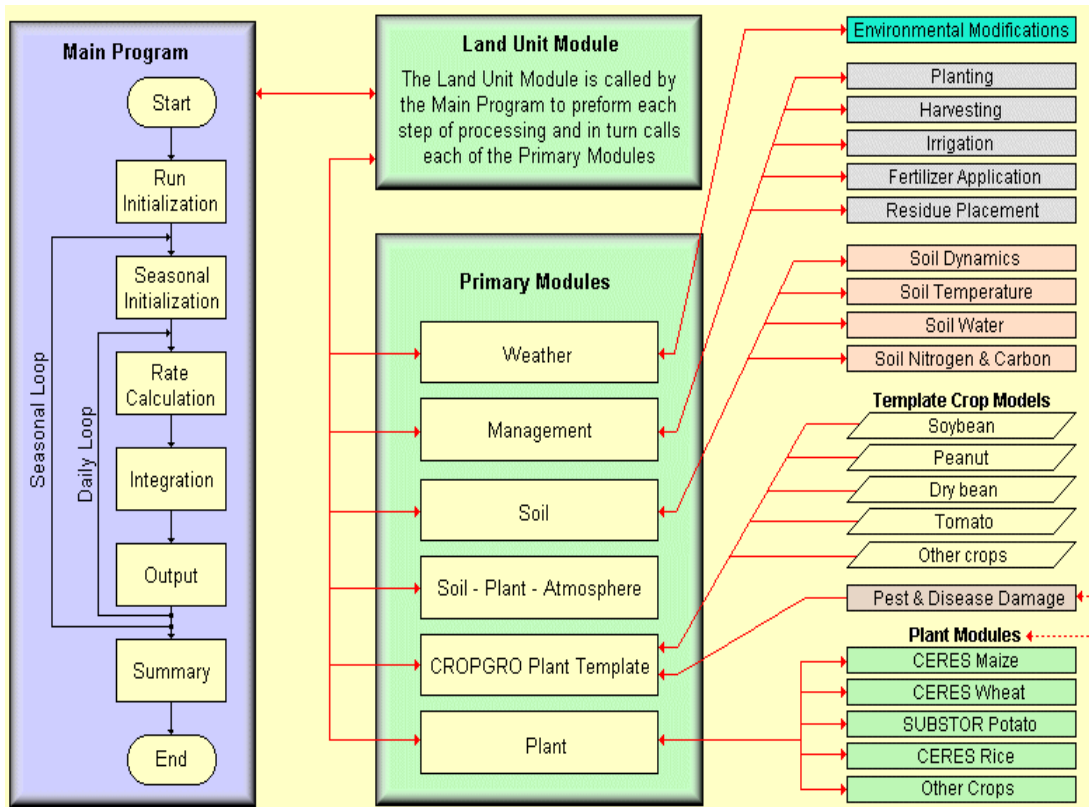
TANIM	PARAMETRE	BİRİM
INSI	Enstitü tanıtıcı kod	-
LAT	Enlem	-
LONG	Boylam	-
ELEV	Araştırma bölgesinin deniz seviyesinden yüksekliği	m
TAV	Bölgenin aylık ortalama sıcaklık değeri	°C
REFHT	Sıcaklık verilerinin ölçüldüğü referans seviyesi	m
WINDHT	Rüzgar verilerinin ölçüldüğü referans seviyesi	m
DATE	Tarih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

*Girilmesi önerilen ancak zorunlu olmayan, simülasyon hassasiyetini arttırabilecek türde veri.

Modelde başlangıç koşulları, sulama, gübreleme, topraktaki artık maddeler, toprağın işlenmesi, kimyasal madde uygulanması, çevresel değişimler ve hasat ayrıntıları gibi toprak ile ilgili birçok bilgi dikkate alınır. Sonuçta, kullanıcının ihtiyaç duyduğu tüm veriler için ayrı ayrı arşiv dosyaları oluşturulabilir. (Çaldağ, 2009).

Yukarıda da değinildiği gibi DSSAT ile arazi uygulamalarından kaynaklı masrafların en az indirgenmesi amaçlanarak ekilecek kültür tipinin belirlenmesi, sulama, ilaçlama, gübreleme, hasad tarihi seçimi gibi müdahalelerin bulunduğu çok sayıda işlem için uzun vadeli deneyler yürütülmüş ve ilgili yazılımlar (modeller) ortaya konmuştur. Böylelikle, iklim değişimi gibi küresel bir olayın tarım arazileri üzerindeki etkilerinin ortaya konması amaçlanmıştır (Çaldağ ve Şaylan, 2005). DSSAT sürümlerinin en günceline karşılık gelen DSSAT v4.0 sürümü, modelin geliştirildiği Hawaii Üniversitesi'nden temin edilmiştir.

Aşağıdaki Şekil 2.7'de DSSAT yapısındaki genel hesap aşamalarını temsil eden akış diyagramı sunulmuştur.



Şekil 2.7: DSSAT içindeki hesaplamalar (IBSNAT, 1986; TSUJI ve ark., 1994).

3. BİTKİ İLE İLGİLİ ÖLÇÜM VE GÖZLEMLER

3.1 Buğday Bitkisi (2009-2010 Gelişme Dönemi)

Yaklaşık 270 gün süren fenolojik döneme sahip buğday bitkisinin “Gelibolu” çeşidi KRK’da ilgili deneme alanına, 9 Ekim 2009 tarihinde ekilmiş ve 6 Temmuz 2010 tarihinde hasat edilmiştir. Bu süreçte, tüm tarımsal faaliyetler kaydedilip, bitkinin durumu periyodik olarak arazide ölçülüp gözlenmiştir. Aşağıdaki Çizelge 3.1; 2009-2010 gelişme döneminde KRK’da ekilen buğday bitkisi ile ilgili tarımsal faaliyetleri özetlemektedir.

Çizelge 3.1: Tarımsal faaliyetler.

BİTKİ	BUĞDAY
Bitki Çeşidi	Gelibolu (Trakya TAE)
Ekim Tarihi	09.10.2009
Ekim Tipi	Mibzerle Sıraya Ekim
Ekim Derinliği	5-6 cm
Çıkış Tarihi	17.10.2009
Hasat Tarihi	06.07.2010
Kg/da başına (ekilen) tohum sayısı	18 kg/da (487540 adet)
Kg/da başına (ekilen) tohum miktarı	18 kg/da
1000 dane ağırlığı (gr)	36.94 gr
Çimlenme Kapasitesi (%)	72.6
m ² 'ye çıkış	354
Bir Önce Ekilen Bitki Çeşidi	Ayçiçeği 400 kg/da

Trakya genelinde olduğu gibi, buğdayın 270 gün süren gelişme dönemi boyunca sulama uygulanmaksızın yetiştirilmesi (kuru tarım) sağlanmıştır. Gelişme dönemi boyunca buğday bitkisinde gözlenen fenolojik aşamalar Çizelge 3.2’de ki gibidir. Ayrıca bu dönem zarfında verilen gübre ile yapılan ilaçlamaların miktarı ve tarihi Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.2: Kışlık buğdayın gelişme dönemindeki fenolojik aşamaları.

FENOLOJİK GÖZLEMLER	TARİH
Ekim Tarihi	09.10.2009
Çimlenme – Çıkış Tarihi	17.10.2009
2.Yaprak	21.10.2009
3.Yaprak	26.10.2009
Kardeşlenme	25.11.2009
Sapa Kalkma	31.03.2010
Başaklanma	26.04.2010
Çiçeklenmeye Başlama	10.05.2010
Dane Dolumu	24.05.2010
Olgunlaşma	04.06.2010
Hasat Tarihi	06.07.2010

Çizelge 3.3: Buğday gelişme dönemlerinde yapılan tarımsal faaliyetler.

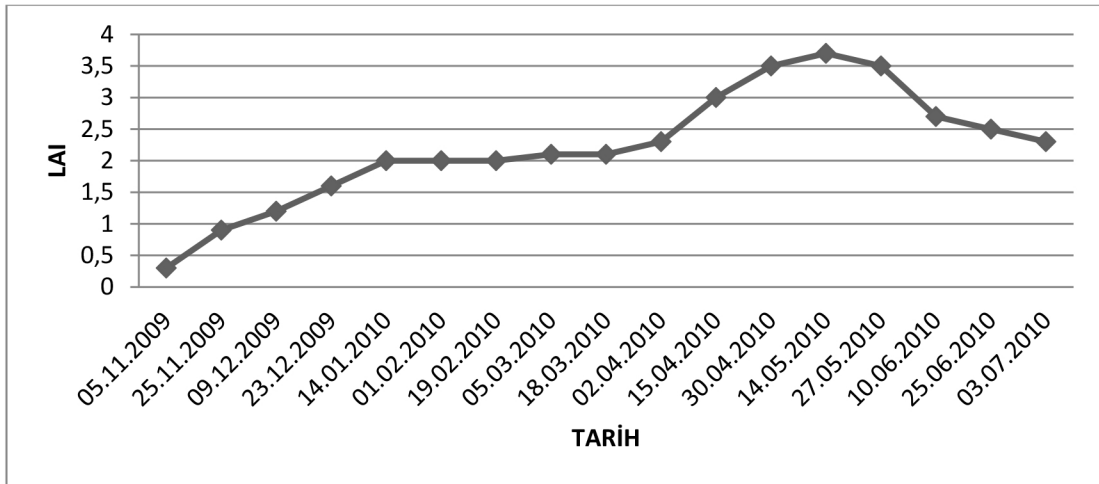
GÜBRE	UYGULAMA TARİHİ	MİKTAR
Üre (Ekimle Birlikte Mibzerle)	9.10.2009	10 kg/da
Üre (Fırfırla Saçılarak)	3.03.2010	15 kg/da
Amonyum Nitrat (%33)	08.04.2010	25 kg/da
İLAÇ	UYGULAMA TARİHİ	MİKTAR
Feramin (Herbisit-1,5lt/depo)	26.11.2009	21 lt/da
Coltacon (Fungusit)	02.03.2010	100 ml/da
Duett Ultra (Fungusit)	05.05.2010	60 g/da

Gelişme dönemi boyunca fenolojik aşamalar düzenli olarak takip edilmiş ve kaydedilmiştir. Aşağıdaki Şekil 3.3, proje süresince bitkide kaydedilen fenolojik aşamaların resimlerini göstermektedir. Buna ilave olarak, bitkinin boy, toplam biyokütle, kök biyokütlesi, toprak üstü biyokütle, kök uzunluğu ve yaprak alan indeksi (LAI) değişkenleri de gelişme dönemi boyunca ölçülerek kayıt altına alınmıştır. 2009-2010 gelişme dönemi boyunca periyodik olarak (en az 3 noktadan) yaprak alan indeksi (LAI) değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.1). LAI değişkeninin zaman serisi aşağıda Şekil 3.2’de ki gibidir. Buna göre, LAI bitki gelişiminin artması ile

artmış; olgunlaşma aşamalarında LAI değerleri azalış eğilimi göstermiştir. 14.1.2010 tarihinden itibaren bitki boyunda dikkate değer bir artış gözlenirken, LAI değerlerindeki artış eğilimi azalmıştır. LAI, bitkinin sapa kalkma evresi itibariyle tekrar artışa geçmiş olup özellikle başaklanma ve çiçeklenme evresinde hızla artmıştır. Maksimum LAI değeri bitkinin çiçeklenme devresinde gözlenmiş olup (3.7) Haziran ayı itibari ile LAI değerleri düşme eğilimi göstermiştir. Buna nazaran bitki boyunda ki artış hasat evresine kadar devam ederek 91 cm' e ulaşmıştır. LAI ve bitki boyu arasında ki ilişki de ayrıca incelenmiş olup Şekil 3.4' te gösterilmiştir.



Şekil 3.1: LAI ölçümleri.



Şekil 3.2: LAI değerlerinin değişimi.

ÇİMLENME	3 YAPRAK	KARDEŞLENME
		
SAPA KALKMA	BAŞAKLANMA	ÇİÇEKLENME
		
DANE DOLUMU	OLGUNLAŞMA	HASAT
		

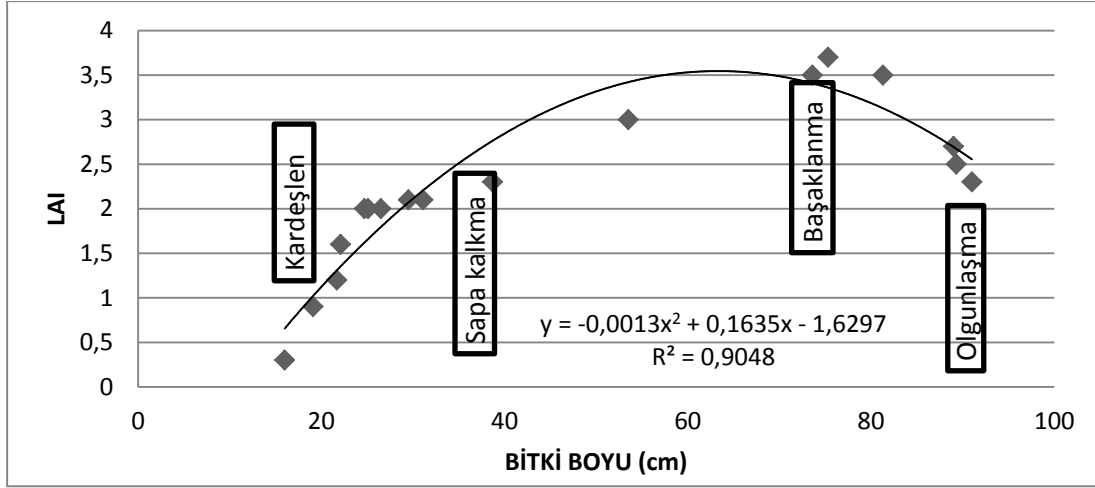
Şekil 3.3: Bitkinin fenolojik aşamalarında çekilen resimler.

Çizelge3.4: Bitki gelişimi göstergeleri (Şaylan ve diğ., 2012).

TARİH	Biyokütle (kg/da)	Top. Üst. Biyokütle Kuru (kg/da)	Top. Alt. Biyo-kütle Kuru (kg/da)	Bitki Boyu (cm)	Kök Boyu (cm)
18.10.2009				3.5	
05.11.2009	10.55	6.84	3.71	16.0	7.3
25.11.2009	49.84	33.94	15.90	19.1	10.1
09.12.2009	65.68	47.25	18.43	21.7	15.4
23.12.2009	131.16	96.68	34.48	22.1	16.5
14.01.2010	190.85	137.27	53.58	24.7	16.9
01.02.2010	206.48	151.98	54.50	25.1	17.0
19.02.2010	245.10	179.44	65.67	26.5	17.1
05.03.2010	384.66	265.50	119.16	29.5	16.9
18.03.2010	476.08	321.34	154.74	31.1	17.9
02.04.2010	607.96	398.27	209.69	38.7	17.8
15.04.2010	1061.56	747.55	314.01	53.5	19.1
30.04.2010	1273.02	933.35	339.67	73.6	20.0
14.05.2010	1443.83	1066.69	377.14	75.3	21.2
27.05.2010	1733.37	1333.36	400.01	81.3	22.0
10.06.2010	2659.92	2266.71	393.21	89.0	21.5
25.06.2010	2659.25	2266.71	392.54	89.3	21.7
06.07.2010	2540.05	2133.38	406.68	91.0	22.0

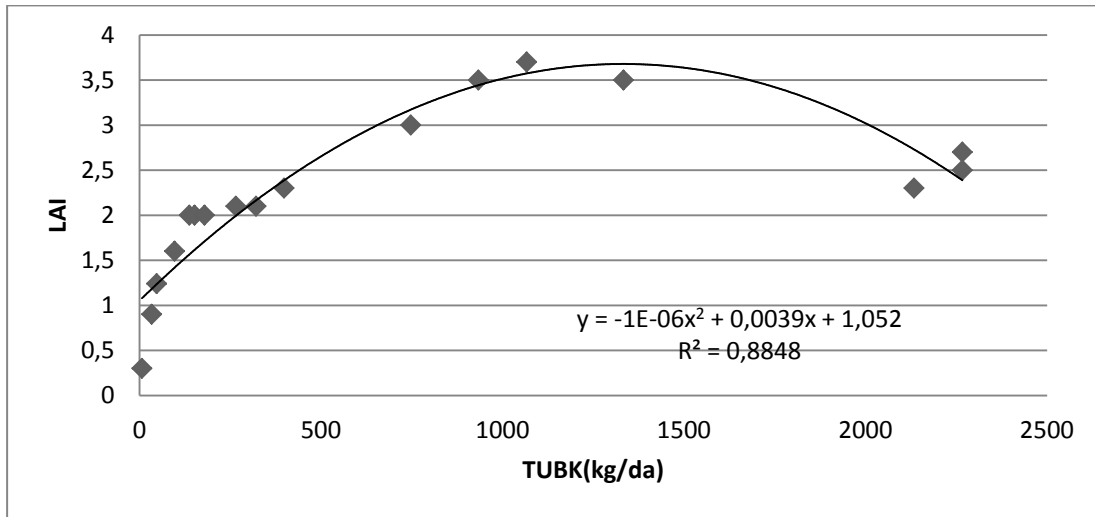
2009-2010 gelişme döneminde buğday bitkisinin ortalama verimi 519 kg/da olarak ölçülmüştür. Buğday bitkisinin toprak üstü biyokütlesinde olgunlaşma aşamasına kadar bir artış söz konusudur. Bu aşamada toprak üstü biyokütle 2266 kg/da'a kadar ulaşmıştır. Hasat tarihinde toprak üstü kısmın biyokütle değeri 2134 kg/da olarak belirlenmiştir.

2009-2010 Buğday gelişme dönemi boyunca ölçülen bitkinin toplam biyokütlesi, bitkinin kök biyokütlesi, bitkinin toprak üstü kısmının biyokütlesi ve LAI değerleri aşağıdaki Çizelge 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4: Bitkinin boyu ve LAI değerleri arasındaki ilişki.

Buna ilave olaraktan gelişme dönemi boyunca ölçülen LAI değerleri bitkinin toprak üstü biyokütlesi arasında doğrusal olmayan bir ilişki tespit edilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Buğdayın TUBK ve LAI değerleri arasındaki ilişki.

3.2 Meteorolojik Ölçümler

Çalışma alanındaki meteorolojik ölçümler 25 Eylül 2009 tarihinde başlamıştır. Gelişme dönemi boyunca ölçülen meteorolojik değişkenlerin ortalama, maksimum, minimum ve standart sapmaları aşağıdaki Çizelge 3.5’de verilmiştir.

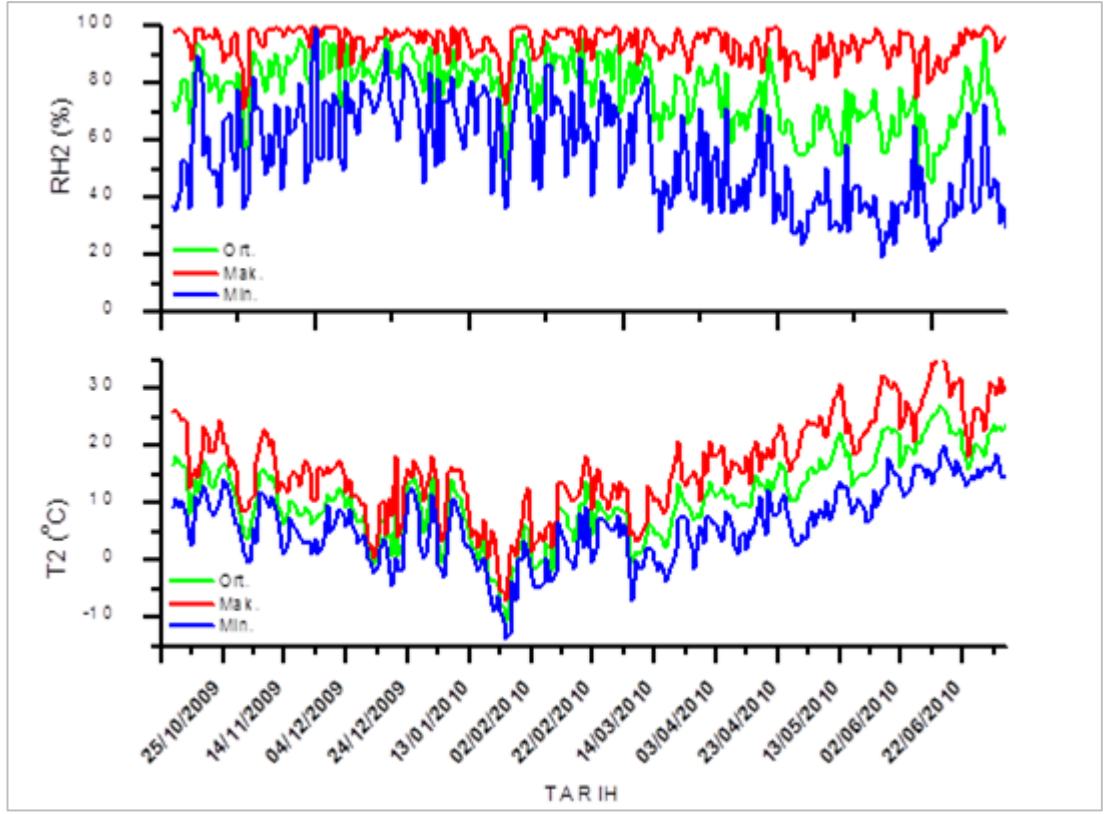
Çizelge 3.5: Gelişme döneminde ölçülen değerlerin bazı istatistiki bilgileri.

Veri	Ortalama	Maksimum	Minimum	Standart Sapma
Ortalama hava sıcaklığı (2m'deki) (°C)	11.0	27.2	-10.8	7.2
Maksimum hava sıcaklığı (2 m'deki) (°C)	16.4	37.1	-7.0	8.5
Minimum hava sıcaklığı (2 m'deki) (°C)	6.0	20.2	-13.7	6.3
Ortalama bağıl nem (2 m'deki) (%)	77.7	99.4	44.9	11.4
Maksimum bağıl nem (2 m'deki) (%)	94.1	99.7	70.9	5.4
Minimum bağıl nem (2 m'deki) (%)	55.2	99.2	19.1	18.0
Toplam güneş radyasyonu (MJ/m ² gün) (R _g >0)	12.8	30.85	0.89	8.75
Net Radyasyon (MJ/m ² gün)	5.29	17.91	-2.76	5.69
Ortalama Yüzey sıcaklığı (°C)	10.4	27.7	-13.4	7.4
Ortalama Toprak Su İçeriği (0-30 cm) (%)	25.2	35.5	13.0	6.3
Ortalama Toprak Su İçeriği (30-60 cm) (%)	26.6	39.6	14.4	6.9
Ortalama Toprak Su İçeriği (60-90 cm) (%)	31.2	42.1	17.7	7.2
Ortalama Rüzgar hızı (2 m'de) (m/s)	1.8	9.7	0.3	1.5
Ortalama Toprak Sıcaklığı (2cm) (°C)	12.0	28.4	-2.4	6.4
Ortalama Toprak Sıcaklığı (5cm) (°C)	11.9	27.9	-1.5	6.5
Ortalama Toprak Sıcaklığı (10cm) (°C)	12.0	27.5	-0.6	6.1
Ortalama Toprak Sıcaklığı (20cm) (°C)	12.0	26.2	0.5	5.9
Toplam Yağış (mm)	560.7			

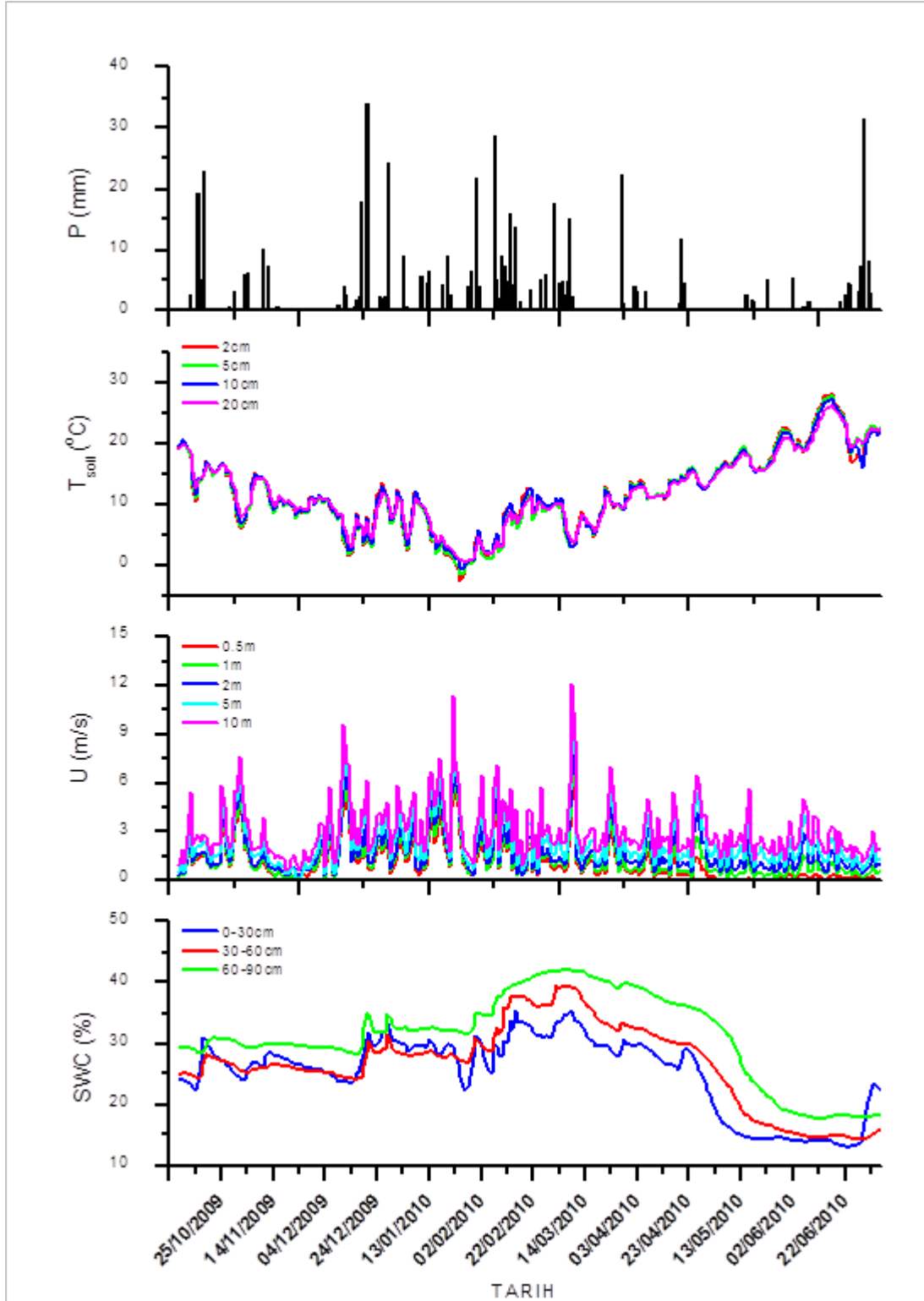
Buğdayın gelişme döneminde; 2 m yükseklikte ölçülen hava sıcaklığının ortalaması 11.0 °C'dir. Ortalama sıcaklık en fazla 27.2 °C ve en az -10.8 °C olarak ölçülmüştür. Bu dönemdeki maksimum sıcaklıkların ortalaması da 16.4 °C'dir. Ayrıca en yüksek sıcaklık 37.1 °C ve en düşük sıcaklıkta -13.72 °C olarak tespit edilmiştir. Ölçüm döneminde ortalama bağıl nem (RH 2 m) oldukça yüksektir (% 77.7). Global solar radyasyon (toplam güneş radyasyonu)'un gün içerisinde ölçülen maksimum ve minimum değerleri 30.85 MJ/m² ve 0.89 MJ/m² olarak kaydedilmiştir. Bu dönemde buğday bitkisi üzerine ortalama 12.8 MJ/m²gün global solar radyasyon gelmiştir. Net radyasyon maksimum 17.91 MJ/m²gün değerlerine kadar çıkmış ve -2.76 MJ/m²gün değerine kadar inmiştir. Ortalama net radyasyon (R_n) 5.29 MJ/m²gün olarak ölçülmüştür. Gündüz ölçülen ortalama toprak ısı akısı 13 W/m² olarak ölçülmüştür. Bu değer aynı zaman dilimindeki net radyasyonun % 10'un da altında bir ortalama

değere sahiptir. Ortalama toprak su içeriği yüzeyden 90 cm derinliğe kadar her 30 cm derinlikte ölçülmüştür. Bu değerler buğdayın gelişme dönemi boyunca en düşük %13 ile en yüksek 42.1 % arasında değişmiştir. 0-30 cm derinlikteki toprak su içeriği ortalaması % 25.2 olmuştur. 30-60 cm derinlikte ölçülen değer de % 26.6'dır. Toprağın daha derinlerinde (60-90 cm tabakasında) ölçülen değer ise % 31.2'dir. Yüzeyin daha fazla enerji transferine maruz olması sebebiyle yüzeye yakın bölgedeki ortalama toprak su içeriği derinlere göre düşük olarak ölçülmüştür. Ortalama rüzgar hızı 0.5 m'de 1.1 m/s iken 10 m'de 3.1 m/s'ye kadar çıkmış ve en yüksek ortalama rüzgar hızı 10 m'de 12.1 m/s olarak ölçülmüştür. Yerden yükseldikçe rüzgar hızında ki artış verilerden açıkça görülmektedir. Toprak sıcaklıkları ortalaması yaklaşık 12 °C'dir. Toprakta en düşük sıcaklık 2 cm derinlikte -2.4 °C olarak ölçülmüştür. Gelişme dönemi boyunca buğday tarlasına düşen yağış miktarı 560.7 mm'dir. Bu değer ilin uzun yıllara ait yıllık toplam yağış ortalamalarının oldukça üzerinde bir yağıştır. Maksimum toplam yağış 33.9mm ile 20.12.2009 tarihinde gerçekleşmiştir.

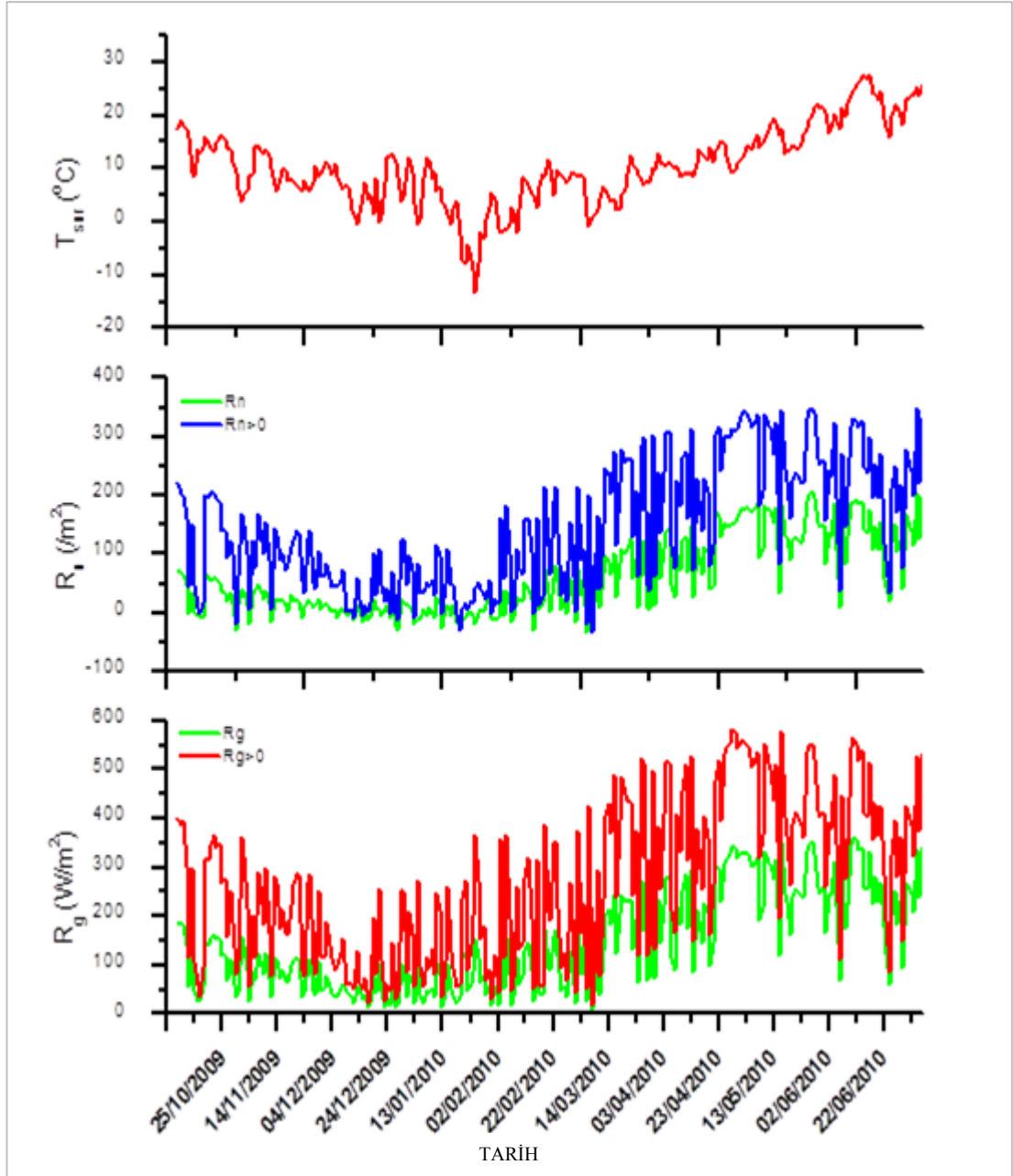
Buğday Bitkisinin 2009-2010 gelişme döneminde yerden 2 m yükseklikte ölçülen ölçülen hava sıcaklığı (T) ve bağıl nem değerleri (RH) zamansal serisi aşağıdaki Şekil 3.6'de; yağışın (P), toprak sıcaklığının (T_{soil}), rüzgar hızının (u) ve toprak su içeriğinin (SWC) değişimi de Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Bunun yanında, buğday bitkisi üzerinde ölçülen global radyasyon (R_g); yüzey sıcaklığı (T_{sr}) ve net radyasyon değerlerinin zaman serisi aşağıdaki Şekil 3.8'da verilmiştir. Bitki gelişimi süresince net radyasyon (R_n), global radyasyon (R_g) ve foton akı yoğunluğu değerleri (PPFD) arasındaki doğrusal bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 3.9) (Şaylan ve diğ., 2012).



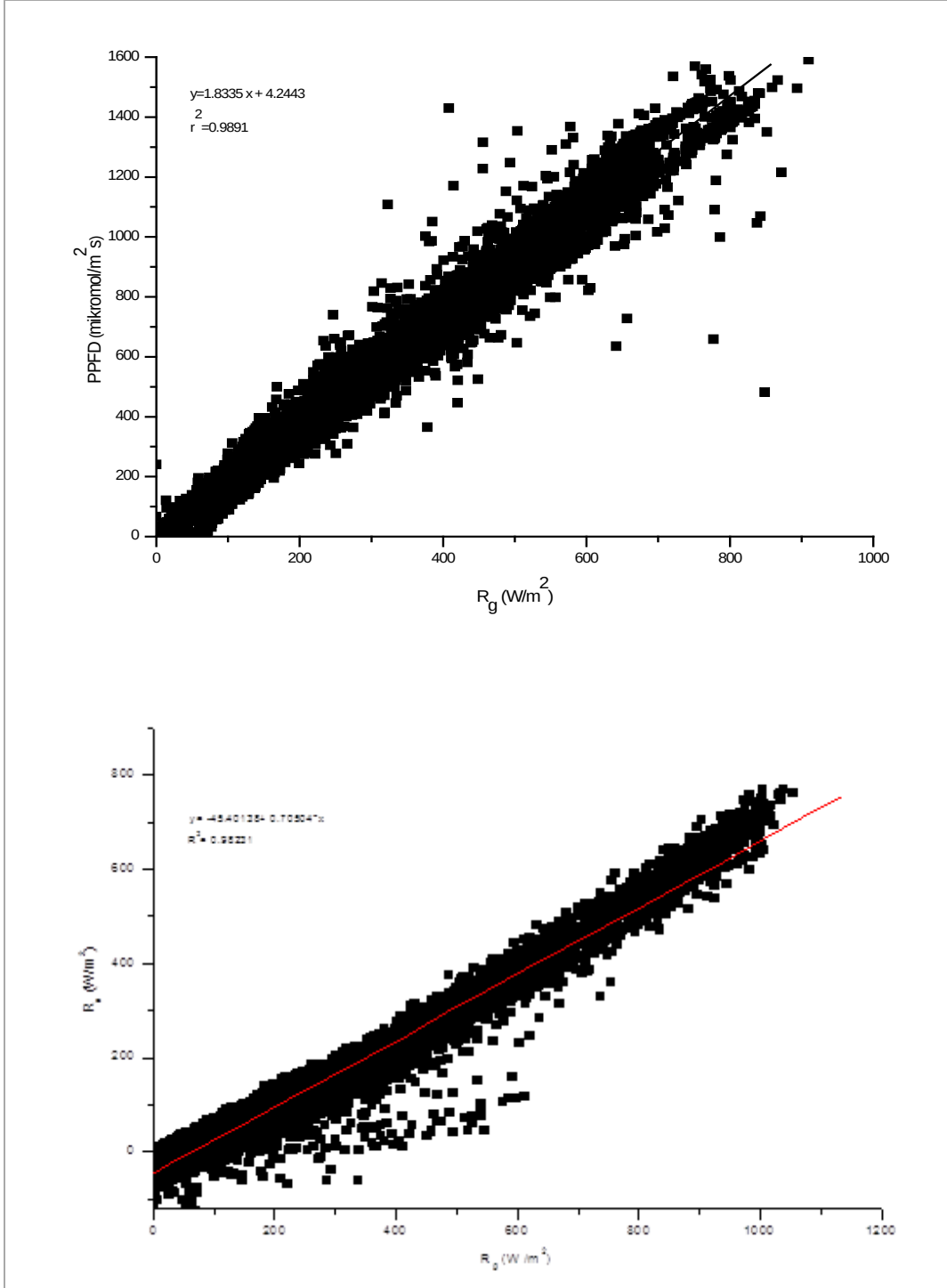
Şekil 3.6: Ölçülen hava sıcaklığı (T2) ve bağıl nem değerleri (RH2).



Şekil 3.7: Ölçülen yağış, toprak sıcaklığı, rüzgar hızı ve toprak su içeriğinin değişimi (Şaylan ve diğ., 2012).



Şekil 3.8: Ölçülen global, net radyasyon ve yüzey sıcaklığı zaman serisi.



Şekil 3.9: Ölçülen net radyasyon (R_n), global radyasyon (R_g) ve PPFD değerleri arasındaki ilişki.

3.3 Toprak ile ilgili ölçümler

Denemenin yapıldığı arazideki toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla ekim öncesinde, topraktan çakma silindirleri ile bozulmamış ve bozulmuş

toprak örnekleri alınmıştır. Aşağıda Şekil 3.10’de gösterilen bu örneklerin analizi, KRK toprak laboratuvarlarında yapılmıştır.



Şekil 3.10: Buğday ekili tarladan analiz için toprak örneklerinin alınması.

Yapılan analiz sonucu toprağın kimyasal ve fiziksel yapısı ile ilgili elde edilen değerler (Çizelge 3.6 ve 3.7) modelde kullanılacak girdi verilerimizi oluşturmaktadır. Ancak bu değerler modelde kullanılırken modelin istediği birimlere ayrıca çevrilmiştir.

Çizelge 3.6: Toprağın kimyasal özellikleri.

BİTKİ	BUĞDAY			
Derinlik (cm)	0-30	30-60	60-90	90-150
Toplam Azot N. (%)	0.093	0.111	0.093	0.102
Toplam Karbon (C. %)	0.846	0.916	0.638	0.487
Değişebilir Fosfor (ppm)	38.54	55.98	60.87	52.92
Ca (cmol/kg)	24.71	24.1	21.72	19.4
K (cmol/kg)	0.22	0.23	0.23	0.31
Mg (cmol/kg)	0.4	0.51	0.51	0.52
Na (cmol/kg)	0.15	0.23	0.2	0.15
kDk (cmol/kg)	25.48	25.07	22.66	20.38
Fe (ppm)	6.57	8.49	-0.04	6.11
Cu (ppm)	7.34	13.35	0.07	6.67
Zn (ppm)	9.41	2.6	-0.01	1.18
Mn (ppm)	12.88	9.48	-0.69	8.3

Çizelge 3.7: Toprağın fiziksel özellikleri.

BİTKİ		BUĞDAY			
Derinlik (cm)		0-30	30-60	60-90	90-150
Su İle Doy. (%)		44	59	57	49
Su İle Doy. pH		7.67	7.63	7.77	7.71
Top. Tuz (%)		0.08	0.07	0.07	0.06
Kireç (%) CaCO3		2.2	1.5	1.5	9
Organik Madde (%)		1.46	1.58	1.1	0.84
Bitkilere Yarayışlı	Fosfor (kg/da)	22.07	32.06	34.86	30.31
	Potas. (kg/da)	84.69	60.69	55.52	64.21
Bünye	Kil (%)	12.5	18.75	16.67	16.67
	Silt (%)	20.83	27.08	27.08	25
	Kum (%)	66.67	54.17	56.25	58.33
Tarla Kapasitesi (Ağırlık %)		16.2	16.85	22.82	22.56
Solma Noktası (Ağırlık %)		6.73	10.32	10.12	9.56
Bünye Sınıfı		Kumlu Tın			

4. CHERES-WHEAT MODELİ İLE BİTKİ GELİŞİMİNİN MODELLENMESİ

Bitki gelişimi simulasyon veya Bitki İklim modeli olarak tanımlanan bu modellerde bitki, toprak, meteorolojik ve tarımsal faaliyetler ile ilgili bilgiler girdileri oluşturmaktadır. Bu kapsamda yukarıda verilen bilgiler kullanılan modelin girdi veri tabanının hazırlanmasında değerlendirilmiştir. Bu sebepten bütün bu bilgiler DSSAT modeli yardımı ile bitki gelişimin benzetilmesinde gerekli olan değerlerdir.

Bu anlamda, oluşturulan girdi dosyaları oluşturulmuştur. Daha sonra model mevcut katsayılar ile çalıştırılarak verdiği sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra, arazide ölçülen ve bitki çeşidi için belirlenen bitki katsayıları modellere girilerek modelin kalibrasyonu sağlanmıştır. Böylelikle model, ölçüm ve gözlemler ile tespit ettiğimiz sonuçları karşılaştırabileceğimiz duruma gelmiştir.

Modelin gerçek ölçüm sonuçları ile olan karşılaştırması ve hata miktarları incelenmiştir. Karşılaştırmalardan sonar, modellerin meteorolojik faktörlerdeki değişimlere (tekli veya çoklu değişimler) hassasiyet (duyarlılık) analizleri yapılmıştır. Bir sonraki aşamada, çalışma alanı için bölgesel iklim modelleri ile elde edilen iklimin günümüzden 2100 yılına kadar nasıl değişebileceği tespit edilmiştir. Son olarak, iklim değişimi ile ilgili sonuçlar CERES-Wheat modelinde buğday bitkisi için verimde olası değişikliklerin incelenmesinde kullanılmıştır.

4.1 Modelin Çalıştırılması

DSSAT 4.0 modeli için önceki bölümlerde de da ayrıntılı olarak bahsedilen gerekli girdi dosyaları oluşturulmuştur. Bu bağlamda tarımsal faaliyetler ile ilgili modelde kullanılacak veri dosyası (Şekil 4.1), meteorolojik verilerin girileceği veri dosyası (Şekil 4.2), toprak ile ilgili bilgilerin girileceği veri dosyası ve bitki veri dosyalarının hazırlanma aşamaları (Şekil 4.3) aşağıda örnek olarak gösterilmiştir. Gelişme dönemi boyunca ölçüm ve gözlemi yapılan bu girdi dosyaları sorunsuz bir şekilde

oluşturulduktan sonra Buğdayın 2009-2010 gelişme dönemi için bitki katsayıları belirlenmiş ve CERES-WHEAT modeli çalıştırılmıştır (Şekil 4.4).

The figure displays four screenshots of the CERES-WHEAT model interface, arranged in a 2x2 grid. Each screenshot shows a different configuration screen for the model.

Cultivar Screen: This screen shows a list of cultivars under the 'Level 1' tab. The 'Cultivar' dropdown menu is open, showing a list of options including 'CERES-WHEAT', 'CERES-WHEAT-2', 'CERES-WHEAT-3', 'CERES-WHEAT-4', 'CERES-WHEAT-5', 'CERES-WHEAT-6', 'CERES-WHEAT-7', 'CERES-WHEAT-8', 'CERES-WHEAT-9', 'CERES-WHEAT-10', 'CERES-WHEAT-11', 'CERES-WHEAT-12', 'CERES-WHEAT-13', 'CERES-WHEAT-14', 'CERES-WHEAT-15', 'CERES-WHEAT-16', 'CERES-WHEAT-17', 'CERES-WHEAT-18', 'CERES-WHEAT-19', 'CERES-WHEAT-20', 'CERES-WHEAT-21', 'CERES-WHEAT-22', 'CERES-WHEAT-23', 'CERES-WHEAT-24', 'CERES-WHEAT-25', 'CERES-WHEAT-26', 'CERES-WHEAT-27', 'CERES-WHEAT-28', 'CERES-WHEAT-29', 'CERES-WHEAT-30', 'CERES-WHEAT-31', 'CERES-WHEAT-32', 'CERES-WHEAT-33', 'CERES-WHEAT-34', 'CERES-WHEAT-35', 'CERES-WHEAT-36', 'CERES-WHEAT-37', 'CERES-WHEAT-38', 'CERES-WHEAT-39', 'CERES-WHEAT-40', 'CERES-WHEAT-41', 'CERES-WHEAT-42', 'CERES-WHEAT-43', 'CERES-WHEAT-44', 'CERES-WHEAT-45', 'CERES-WHEAT-46', 'CERES-WHEAT-47', 'CERES-WHEAT-48', 'CERES-WHEAT-49', 'CERES-WHEAT-50', 'CERES-WHEAT-51', 'CERES-WHEAT-52', 'CERES-WHEAT-53', 'CERES-WHEAT-54', 'CERES-WHEAT-55', 'CERES-WHEAT-56', 'CERES-WHEAT-57', 'CERES-WHEAT-58', 'CERES-WHEAT-59', 'CERES-WHEAT-60', 'CERES-WHEAT-61', 'CERES-WHEAT-62', 'CERES-WHEAT-63', 'CERES-WHEAT-64', 'CERES-WHEAT-65', 'CERES-WHEAT-66', 'CERES-WHEAT-67', 'CERES-WHEAT-68', 'CERES-WHEAT-69', 'CERES-WHEAT-70', 'CERES-WHEAT-71', 'CERES-WHEAT-72', 'CERES-WHEAT-73', 'CERES-WHEAT-74', 'CERES-WHEAT-75', 'CERES-WHEAT-76', 'CERES-WHEAT-77', 'CERES-WHEAT-78', 'CERES-WHEAT-79', 'CERES-WHEAT-80', 'CERES-WHEAT-81', 'CERES-WHEAT-82', 'CERES-WHEAT-83', 'CERES-WHEAT-84', 'CERES-WHEAT-85', 'CERES-WHEAT-86', 'CERES-WHEAT-87', 'CERES-WHEAT-88', 'CERES-WHEAT-89', 'CERES-WHEAT-90', 'CERES-WHEAT-91', 'CERES-WHEAT-92', 'CERES-WHEAT-93', 'CERES-WHEAT-94', 'CERES-WHEAT-95', 'CERES-WHEAT-96', 'CERES-WHEAT-97', 'CERES-WHEAT-98', 'CERES-WHEAT-99', 'CERES-WHEAT-100'. The 'Add' and 'Delete' buttons are visible.

Planting Screen: This screen shows the 'Planting' configuration for 'Level 1'. The 'Year' is set to 2009. The 'Planting Date (MM/DD/yyyy)' is 01/01/2009. The 'Emergence Date (MM/DD/yyyy)' is 01/11/2009. The 'Planting Method' is 'Dry seed'. The 'Planting Distribution' is 'Flows'. The 'Flow Spacing, cm' is 15. The 'Plant Population at Seeding, plants m⁻²' is 417. The 'Flow Direction, degrees from North' is 45. The 'Plant Population at emergence, plants m⁻²' is 354. The 'Planting Depth, cm' is 5.

Fertilizer Screen: This screen shows the 'Fertilizer' configuration for 'Level 1'. The 'Year' is set to 2009. The 'Management' is 'On reported dates'. The 'Fertilizer applications' table is shown below:

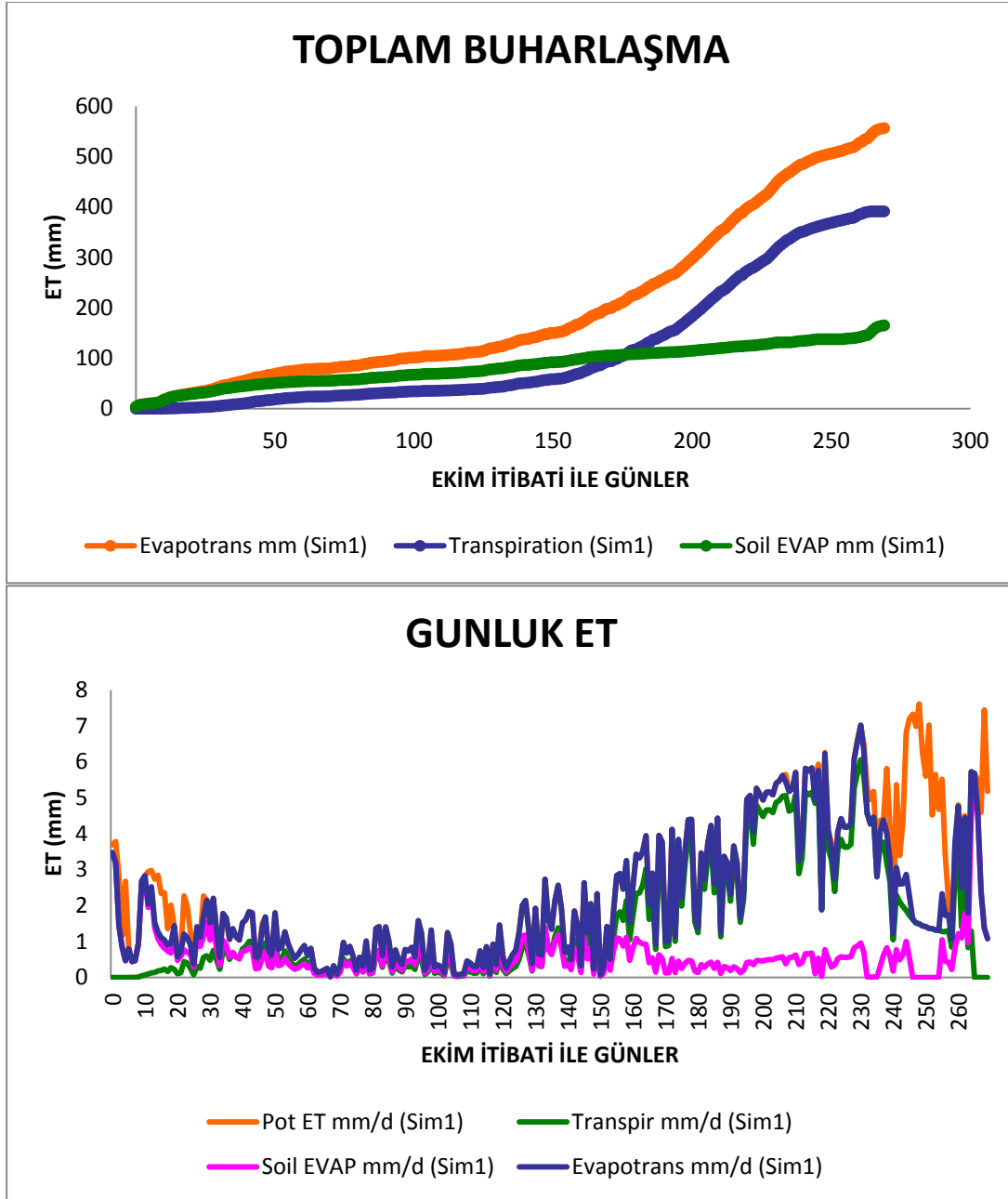
Date (MM/DD/yyyy)	Fertilizer material	Fertilizer applications	Depth, cm	N, kg/ha	P, kg/ha	K, kg/ha	Ca, kg/ha	Other elements, Other element kg/ha (code)
01/01/2009	Urea	Banded on surface	10					
01/01/2009	Urea	Banded on surface	15					
01/01/2009	Urea	Banded on surface	25					

The 'Add Application' and 'Delete Application' buttons are visible.

Simulation Options Screen: This screen shows the 'Simulation Options' configuration for 'Level 1'. The 'Year' is set to 2009. The 'Frequency of output (days)' is 1. The 'Overview' is 'Yes'. The 'Output files' are 'Experiment' and 'Summary'. The 'Details' section shows the following options: Growth (Yes), Nitrogen (Yes), Chemical (Yes), Carbon (Yes), Phosphorus (Yes), Operations output file (Yes), Water (Yes), Diseases (Yes), Wide (Yes).

Şekil 4.1: Modelin tarımsal veri dosyalarının gösterilmesi.

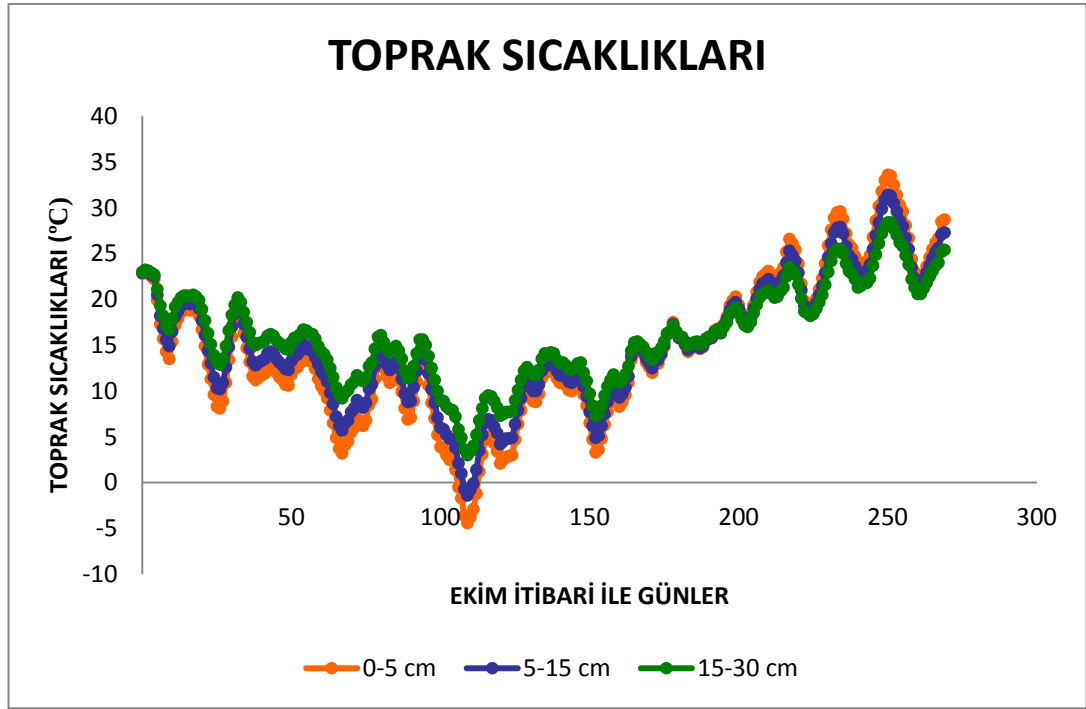
evaporasyon, transpirasyon ve evapotranspirasyon miktarları sırasıyla 165.3, 391.4 ve 556.7 mm olarak hesaplamıştır. Ayrıca toprak yüzeyinden evaporasyonun gelişim dönemi boyunca miktar ve salınım bakımından transpirasyonun gerisinde kaldığı görülebilir.



Şekil 4.5: Modellenen günlük ve toplam buharlaşma miktarları.

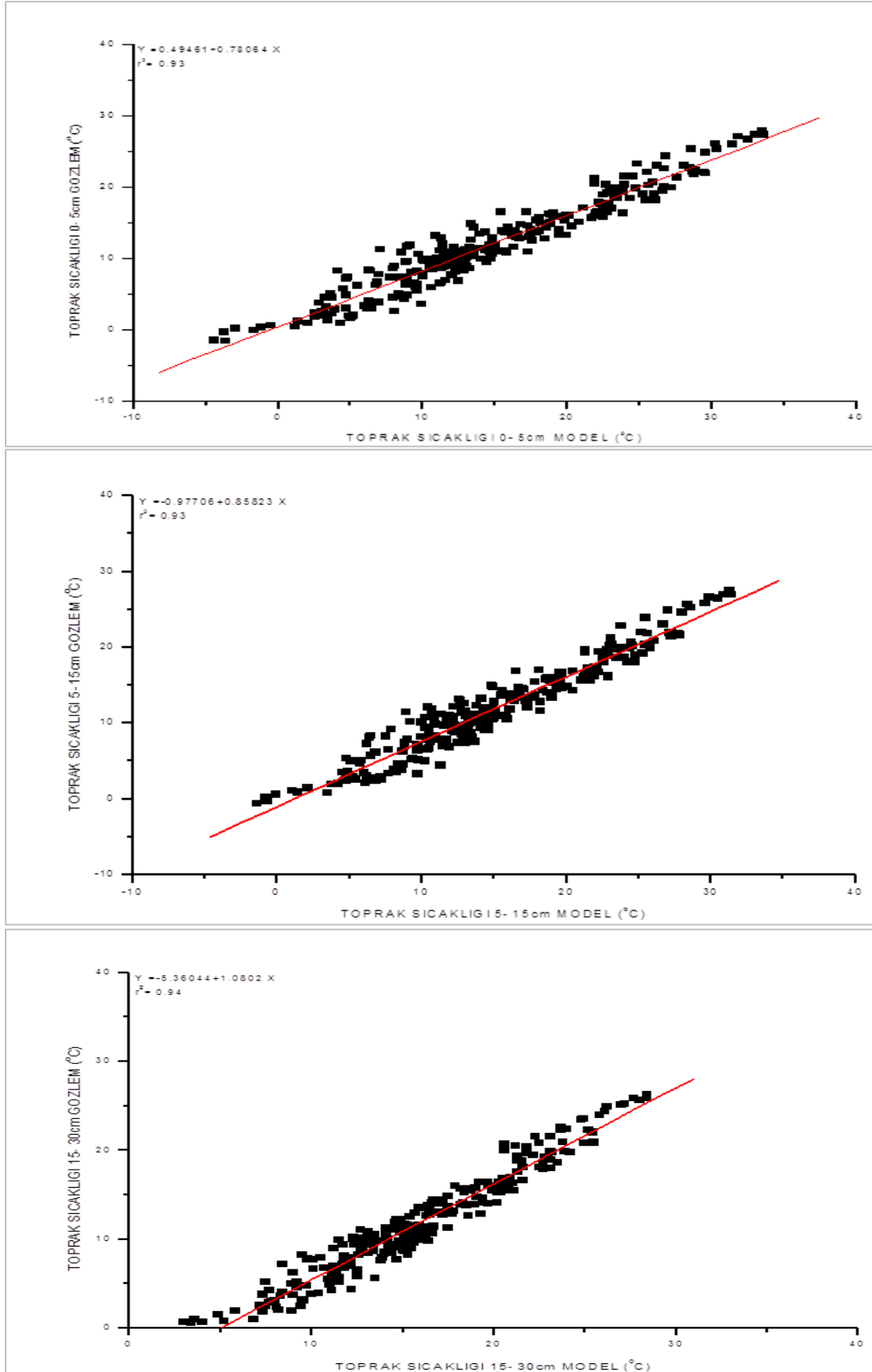
Modelde simule edilen farklı derinliklerdeki toprak sıcaklıkları değerleri yukarıda Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Bu değerler incelendiğinde 0-5cm (en üst seviye) toprak derinliği için simule edilen değerlerin, 15-30cm (en alt seviye) toprak derinliğindeki değerlere nazaran sıcaklık değişimlerine daha hassas olduğu gözlenmiştir. Öyleki

kışın en soğuk değerler ile yazın en sıcak değerler en üst katmandaki (0-5 cm) toprak sıcaklık değerlerinde simule edilmiştir.

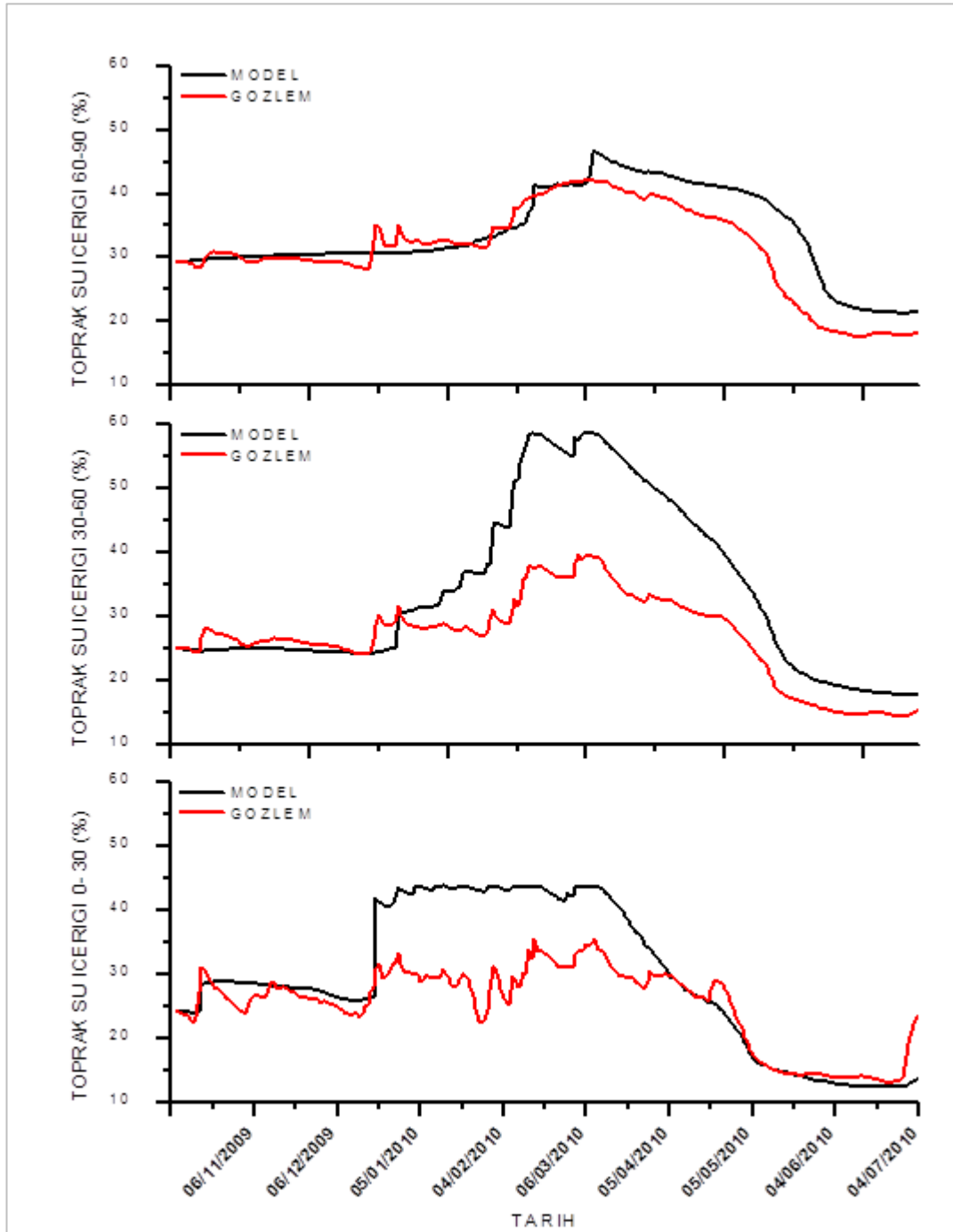


Şekil 4.6: Modellenen toprak sıcaklıkları.

Modellenen değerlerin gözlemlerle olan ilişkisi ayrıca incelenip, aralarında % 93 oranında yüksek bir ilişki tespit edilmiştir. Farklı toprak derinlikleri için ölçülen ve simule edilen sıcaklık değerlerinin korelasyon ilişkileri aşağıda Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Benzer bir biçimde 0-30, 30-60 ve 60-90cm toprak tabakaları için toprak su içeriği değişimleri simule edilmiş ve ölçülen değerlerle ilişkisi incelenmiştir. Aşağıda Şekil 4.8’de bitki gelişiminin ivmelendiği filizlenme ve başak oluşumu aşamalarında modelin temsil kabiliyetinin düşüşe geçtiği, erken ve geç gelişme dönemlerinde ise bu ilişkin oldukça başarılı bir şekilde simule edildiği anlaşılmaktadır.

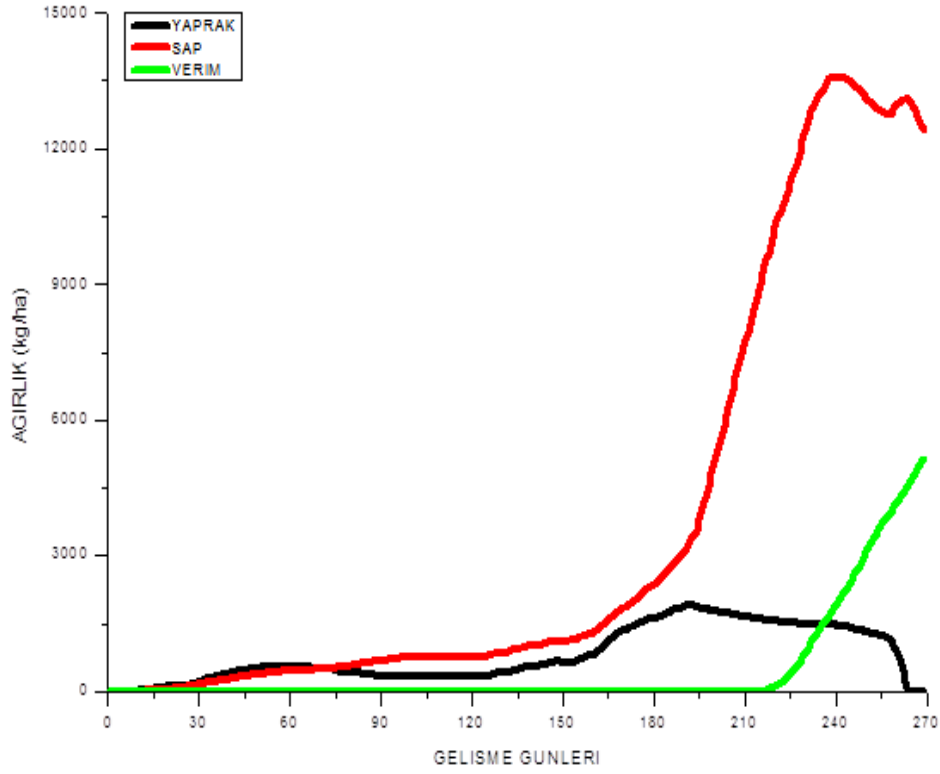
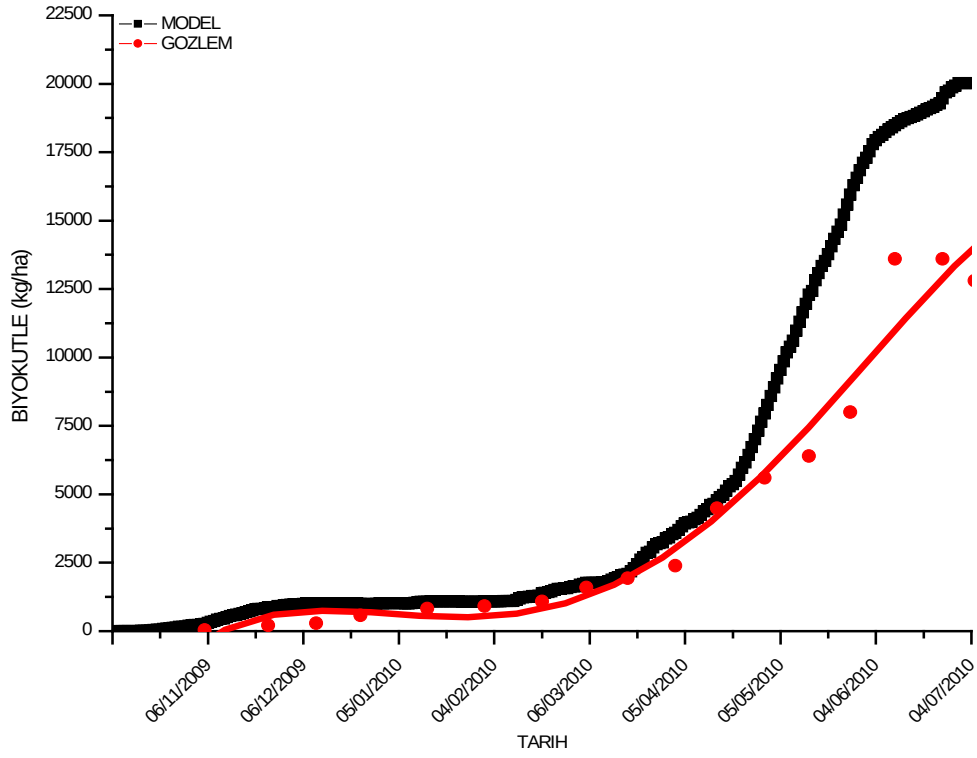


Şekil 4.7: Gözlenen ve modellenen toprak sıcaklıkları arasındaki ilişki.



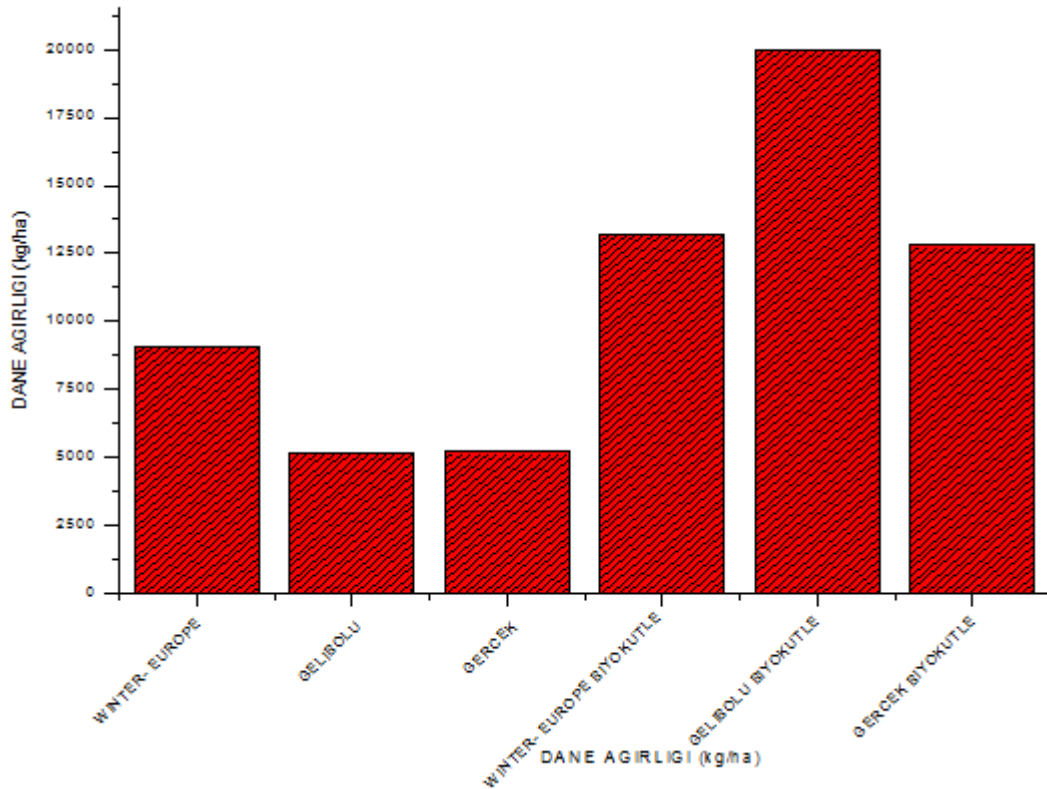
Şekil 4.8: Modellenmiş ve ölçülmüş toprak su içerikleri.

Çalışmanın en önemli parametrelerinden olan bitki biyokütlesi ve verim bitki gelişme dönemi boyunca simüle edilmiş ve gözlemlerle olan ilişkisi incelenmiştir. Bu anlamda Aşağıdaki Şekil 4.9’da buğday bitkisinin biyokütlesinde ki değişimin gerçekleşen ve modellenen değerleri ile yaprak, sap ve verimin gelişme dönemi boyunca değişimi gösterilmiştir.



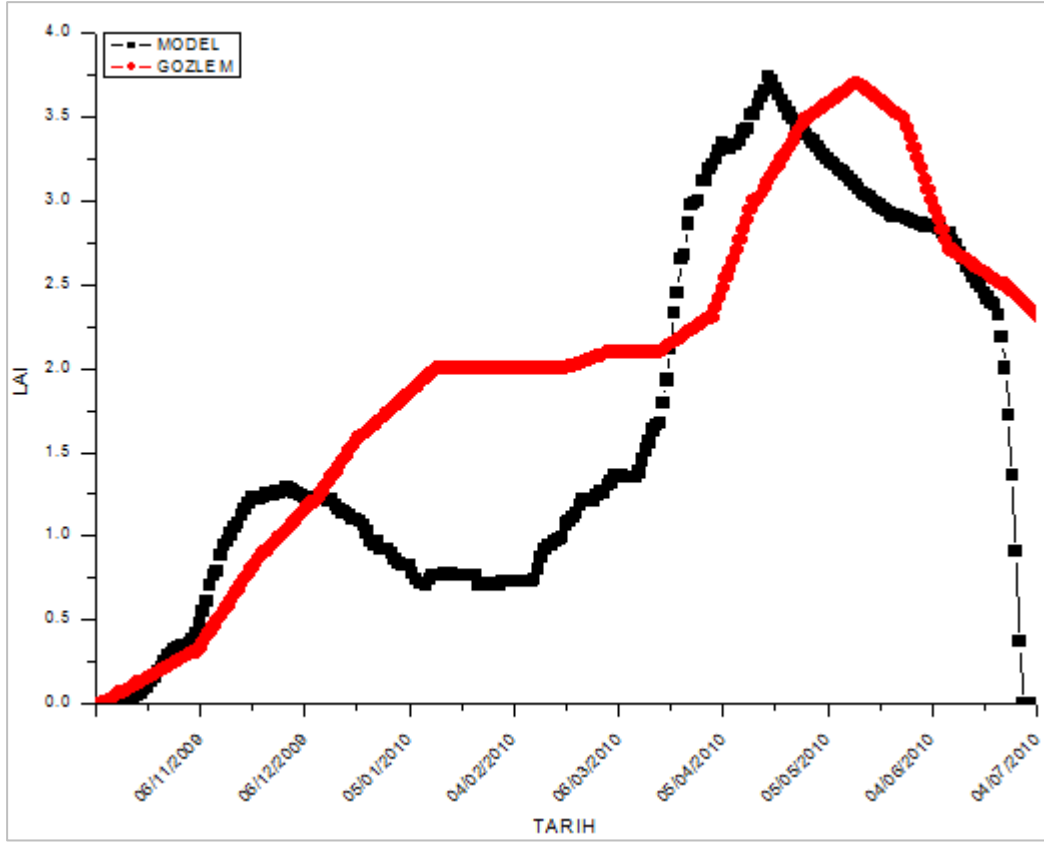
Şekil 4.9: Buğday biyokütlesi, yaprak, sap ve verimdeki değişimin gelişme dönemi boyunca seyri (Şaylan ve diğ., 2012).

Simulasyon sürecinde öncelikli olarak Kırklareli buğdayını en iyi şekilde temsil eden (Gelibolu) kültür tipinin DSSAT altyapısında bulunup bulunmadığı incelenmiştir. Bölge kültür tipine benzer katsayıları olan türün DSSAT veritabanında bulunmadığı anlaşılmış ve en yakın özellikteki buğday türleri irdelenmiştir. Son olarak modelin bitki katsayı hesaplayıcı modülü (GENCALC, GENotypeCALCulator) içinde buğdayının spesifik özelliklerini içeren bilgiler girilerek CERES-wheat'in gerektirdiği model katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçta, gerçek verime en iyi yaklaşımın GENCALC kullanımıyla hesaplanan katsayılar vasıtasıyla elde edilmiştir.



Şekil 4.10: Gerçek, ayarlanmamış ve hesaplanmış bitki katsayılarının verim ve biyokütle sonuçları (Şaylan ve diğ., 2012).

Yukarıdaki Şekil 4.10' de açıkça görüldüğü üzere bitki biyo kütlesi için Hesaplanmış (Gelibolu) yerli kültür tipi % 60' larda bir tutarlılıkla gerçeği yansıtmıştır. Ancak yerli kültür tipi için bitki katsayılarını hesaplamamanın önemi dane veriminde açıkça ortaya çıkmıştır. Öyle ki, yabancı kültürtipi (Winter-Europe) için dane verimi gerçeğin yaklaşık % 25 üzerinde sonuç verirken, bu çalışmada kullanılan yerli kültürtipi gerçek verime (5190 kg/ha) % 99'un üzerinde yaklaşım (5151 kg/ha) göstermiştir. Bunlara ilave olarak, aşağıda Şekil 4.11'de gerçek ve modellenen LAI değerlerinin zamansal değişimini göstermektedir.



Şekil 4.11: Gerçek ve simule edilen yaprak alan indeksi (LAI) değerleri.

5. HASSASİYET ANALİZİ VE İKLİM DEĞİŞİMİ

5.1 Hassasiyet Analizi

Çalışmanın amaçlarından biri olan, iklim değişiminin buğday bitkisi üzerindeki olası etkilerinin incelenmesine başlanmadan önce modelin bazı meteorolojik faktörlerdeki olası değişimlere karşı hassasiyeti incelenmiştir. Bu anlamda günlük sıcaklık, yağış, güneş radyasyonu ve CO₂ gibi modelin ihtiyaç duyduğu meteorolojik parametrelere, iklimin gelecekteki olası seyri dikkate alınarak senaryolar hazırlanmış ve buğday bitkisinin biyokütlesi, verimi ve LAI' de değişimler incelenmiştir. Hassasiyet analizi yapılırken aşağıdaki Çizelge 5.1 de verilen meteorolojik faktörler tek ve matris formunda bütünleşik olarak modelde çalıştırılmış ve sonuçları incelenmiştir (Şaylan ve diğ., 2012).

Çizelge 5.1: Hassasiyet analizinde kullanılan yaklaşımlar.

Sembol	Tanım
T	Hava sıcaklığı
T+1	Hava sıcaklığında 1 °C artma
T+2	Hava sıcaklığında 2 °C artma
T+3	Hava sıcaklığında 3 °C artma
T+4	Hava sıcaklığında 4 °C artma
T+5	Hava sıcaklığında 5 °C artma
T-1	Hava sıcaklığında 1 °C azalma
P	Yağış
P-% 10	Yağış miktarında % 10 azalma
P-% 20	Yağış miktarında % 20 azalma
P-% 30	Yağış miktarında % 30 azalma
P-% 40	Yağış miktarında % 40 azalma
R _g	Toplam Güneş Radyasyonu
R _g +% 10	Toplam Güneş Radyasyonunda % 10 artma
R _g +% 20	Toplam Güneş Radyasyonunda % 20 artma
R _g +% 30	Toplam Güneş Radyasyonunda % 30 artma
CO ₂	Karbondiyoksit konsantrasyonu (atmosferik)
CO ₂ x1.5	Karbondiyoksit konsantrasyonunun 1.5 katına çıkması
CO ₂ x2	Karbondiyoksit konsantrasyonunun 2 katına çıkması
CO ₂ x3	Karbondiyoksit konsantrasyonunun 3 katına çıkması

Yukarıdaki çizelgede belirtilen senaryoların modelde çalıştırılması ve modelin buğday bitkisine olan hassasiyeti incelenirken ilk olarak meteorolojik faktörlerdeki değişimin buğdayın toplam biyokütlesine olan etkisi incelenmiştir (Çizelge 5.2). Çizelgede açıkça görüldüğü üzere sıcaklık ile ilgili yapılan bütün senaryolarda buğdayın toplam biyokütlesi azalma eğilimi göstermiştir. Öyle ki bu azalama sıcaklığın her bir derece artışında daha da fazlalaşmış ve model T+5 senaryosunda buğday biyokütlesinde ki en büyük azalma (% 42) değerini göstermiştir.

Çizelge 5.2: Biyokütlenin meteorolojik faktörlerdeki değişime duyarlılığı.

Değişim (%)		Hassaslık Analizi ve Senaryolar																			
	T	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T-1	P	P-%10	P-%20	P-%30	P-%40	Rg	Rg+%10	Rg+%20	Rg+%30	CO2	CO2x1.5	CO2x2	CO2x3	
T	0.0	-3.9	-12.8	-16.1	-29.1	-42.0	-2.2	0.0	-1.6	-4.8	-9.6	-15.4	0.0	0.8	-0.5	-2.6	0.0	12.3	20.0	24.9	
T+1	-3.9	-3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.9	-4.8	-6.9	-11.1	-16.2	-3.9	-1.7	-1.9	-2.9	-3.9	5.0	12.0	17.8	
T+2	-12.8	0.0	-12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	-12.8	-12.0	-11.9	-14.6	-18.5	-12.8	-8.4	-7.5	-7.5	-12.8	-6.3	-0.5	4.2	
T+3	-16.1	0.0	0.0	-16.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-16.1	-15.5	-15.0	-16.2	-19.4	-16.1	-12.3	-9.7	-9.4	-16.1	-10.3	-4.8	0.0
T+4	-29.1	0.0	0.0	0.0	-29.1	0.0	0.0	-29.1	-28.4	-27.8	-27.2	-26.6	-29.1	-25.8	-22.9	-19.5	-29.1	-24.7	-20.6	-17.0	
T+5	-42.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-42.0	0.0	-42.0	-41.4	-40.9	-40.3	-39.8	-42.0	-39.7	-37.5	-35.0	-42.0	-38.9	-36.0	-33.4	
T-1	-2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.2	-2.2	-4.2	-8.3	-13.3	-19.5	-2.2	-3.8	-5.9	-10.5	-2.2	9.8	19.1	26.1	
P	0.0	-3.9	-12.8	-16.1	-29.1	-42.0	-2.2	0.0	-1.6	-4.8	-9.6	-15.4	0.0	0.8	-0.5	-2.6	0.0	12.3	20.0	24.9	
P-%10	-1.6	-4.8	-12.0	-15.5	-28.4	-41.4	-4.2	-1.6	-1.6	0.0	0.0	0.0	-1.6	-2.2	-4.6	-6.6	-1.6	11.8	21.0	26.0	
P-%20	-4.8	-6.9	-11.9	-15.0	-27.8	-40.9	-8.3	-4.8	0.0	-4.8	0.0	0.0	-4.8	-6.4	-9.0	-12.9	-4.8	9.1	20.5	27.4	
P-%30	-9.6	-11.1	-14.6	-16.2	-27.2	-40.3	-13.3	-9.6	0.0	0.0	-9.6	0.0	-9.6	-11.6	-15.5	-18.3	-9.6	6.2	18.0	27.5	
P-%40	-15.4	-16.2	-18.5	-19.4	-26.6	-39.8	-19.5	-15.4	0.0	0.0	0.0	-15.4	-15.4	-18.6	-21.3	-24.9	-15.4	0.1	14.0	24.3	
Rg	0.0	-3.9	-12.8	-16.1	-29.1	-42.0	-2.2	0.0	-1.6	-4.8	-9.6	-15.4	0.0	0.8	-0.5	-2.6	0.0	12.3	20.0	24.9	
Rg+%10	0.8	-1.7	-8.4	-12.3	-25.8	-39.7	-3.8	0.8	-2.2	-6.4	-11.6	-18.6	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8	13.8	23.8	30.8	
Rg+%20	-0.5	-1.9	-7.5	-9.7	-22.9	-37.5	-5.9	-0.5	-4.6	-9.0	-15.5	-21.3	-0.5	0.0	-0.5	0.0	-0.5	14.8	25.8	34.3	
Rg+%30	-2.6	-2.9	-7.5	-9.4	-19.5	-35.0	-10.5	-2.6	-6.6	-12.9	-18.3	-24.9	-2.6	0.0	0.0	-2.6	-2.6	13.8	27.1	36.6	
CO2	0.0	-3.9	-12.8	-16.1	-29.1	-42.0	-2.2	0.0	-1.6	-4.8	-9.6	-15.4	0.0	0.8	-0.5	-2.6	0.0	12.3	20.0	24.9	
CO2x1.5	12.3	5.0	-6.3	-10.3	-24.7	-38.9	9.8	12.3	11.8	9.1	6.2	0.1	12.3	13.8	14.8	13.8	12.3	12.3	0.0	0.0	
CO2x2	20.0	12.0	-0.5	-4.8	-20.6	-36.0	19.1	20.0	21.0	20.5	18.0	14.0	20.0	23.8	25.8	27.1	20.0	0.0	20.0	0.0	
CO2x3	24.9	17.8	4.2	0.0	-17.0	-33.4	26.1	24.9	26.0	27.4	27.5	24.3	24.9	30.8	34.3	36.6	24.9	0.0	0.0	24.9	

Benzer şekilde yağış ile ilgili yapılan senaryolarda da bitki biyokütlesinde azalma görülmüştür. Ancak bu azalama sıcaklık senaryolarındaki kadar fazla olmamıştır. Öyle ki, yağışta % 10'luk bir azalamda biyokütleyi % 1.6 azaltırken, yağışın % 40 azalması ile biyoküttelede % 15.4 oranında bir azalama gözlenmiştir. Güneş radyasyonu ile ilgili yapılan senaryolarda ise % 0.8 ila -% 2.6 aralığında değişen hassasiyetler elde edilmiştir. Son olarak buğday biyokütlesi CO₂ ile ilgili tüm senaryolara olumlu tepki göstermiştir. CO₂x3 senaryosu için yaklaşık % 25 artış kaydedilmiştir. Bu değer tekli simülasyonlar içerisinde biyoküttelede gözlenen en olumlu tepkidir. İki parametrenin birlikte değiştiği senaryolar ise, çoğu durumda tekli uygulama sonuçlarının ekstremliğini artırmaktadır (Çizelge 5.2). Ancak CO₂x3 artışı ile sıcaklık artışının 3 °C olduğu senaryoda diğer simülasyonlardan farklı olarak, sıcaklık artışı CO₂'den kaynaklanan artışı nötr hale getirmiştir. Bitki biyokütlesindeki maksimum artış ise R_g+% 30 ve CO₂x3 birlikte etkisi incelendiği senaryoda kaydedilmiştir (% 36.6).

Aşağıda Çizelge 5.3’de aynı senaryoların buğday bitkisinin dane verimine olan etkileri gösterilmiştir. Çizelgede de açıkça görüldüğü üzere dane verimi, bitki biyokütlesine nazaran senaryolara daha hassas tepkiler vermiştir.

Çizelge 5.3: Verimin meteorolojik faktörlerdeki değişime karşı duyarlılığı.

Değişim (%)	Hassaslık Analizi ve Senaryolar																			
	T	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T-1	P	P-%10	P-%20	P-%30	P-%40	Rg	Rg+%10	Rg+%20	Rg+%30	CO2	CO2x1.5	CO2x2	CO2x3
T	0.0	-11.2	-21.8	-33.2	-61.0	-79.3	5.5	0.0	1.0	1.7	2.5	3.2	0.0	6.0	11.1	15.5	0.0	8.2	14.2	18.7
T+1	-11.2	-11.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-11.2	-10.2	-9.5	-8.7	-8.0	-11.2	-6.4	-2.1	2.0	-11.2	-4.6	0.6	5.0
T+2	-21.8	0.0	-21.8	0.0	0.0	0.0	0.0	-21.8	-20.8	-20.1	-19.3	-18.6	-21.8	-18.7	-15.9	-12.8	-21.8	-17.6	-14.1	-11.1
T+3	-33.2	0.0	0.0	-33.2	0.0	0.0	0.0	-33.2	-32.4	-31.7	-31.0	-30.5	-33.2	-31.3	-29.3	-27.5	-33.2	-30.9	-28.3	-26.1
T+4	-61.0	0.0	0.0	0.0	-61.0	0.0	0.0	-61.0	-60.5	-60.1	-59.7	-59.3	-61.0	-60.0	-59.3	-58.3	-61.0	-59.9	-58.8	-57.7
T+5	-79.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-79.3	0.0	-79.3	-79.1	-78.9	-78.6	-78.4	-79.3	-79.0	-78.7	-78.3	-79.3	-79.0	-78.5	-78.2
T-1	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	5.5	6.2	7.0	7.4	8.4	5.5	10.0	13.9	17.0	5.5	11.5	16.2	19.4
P	0.0	-11.2	-21.8	-33.2	-61.0	-79.3	5.5	0.0	1.0	1.7	2.5	3.2	0.0	6.0	11.1	15.5	0.0	8.2	14.2	18.7
P-%10	1.0	-10.2	-20.8	-32.4	-60.5	-79.1	5.5	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	7.0	11.9	16.3	1.0	9.2	15.2	19.7
P-%20	1.7	-9.5	-20.1	-31.7	-60.1	-78.9	7.0	1.7	0.0	1.7	0.0	0.0	1.7	7.7	12.8	17.5	1.7	10.0	16.9	20.8
P-%30	2.5	-8.7	-19.3	-31.0	-59.7	-78.6	7.4	2.5	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	8.6	14.2	18.4	2.5	11.1	17.4	22.4
P-%40	3.2	-8.0	-18.6	-30.5	-59.3	-78.4	8.4	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	9.4	14.0	8.5	3.2	11.9	18.3	23.3
Rg	0.0	-11.2	-21.8	-33.2	-61.0	-79.3	5.5	0.0	1.0	1.7	2.5	3.2	0.0	6.0	11.1	15.5	0.0	8.2	14.2	18.7
Rg+%10	6.0	-6.4	-18.7	-31.3	-60.0	-79.0	10.0	6.0	7.0	7.7	8.6	9.4	6.0	6.0	0.0	0.0	6.0	13.7	19.7	24.5
Rg+%20	11.1	-2.1	-15.9	-29.3	-59.3	-78.7	13.9	11.1	11.9	12.8	14.2	14.0	11.1	0.0	11.1	0.0	11.1	18.8	25.1	30.0
Rg+%30	15.5	2.0	-12.8	-27.5	-58.3	-78.3	17.0	15.5	16.3	17.5	18.4	8.5	15.5	0.0	0.0	15.5	15.5	23.5	30.3	35.0
CO2	0.0	-11.2	-21.8	-33.2	-61.0	-79.3	5.5	0.0	1.0	1.7	2.5	3.2	0.0	6.0	11.1	15.5	0.0	8.2	14.2	18.7
CO2x1.5	8.2	-4.6	-17.6	-30.9	-59.9	-79.0	11.5	8.2	9.2	10.0	11.1	11.9	8.2	13.7	18.8	23.5	8.2	8.2	0.0	0.0
CO2x2	14.2	0.6	-14.1	-28.3	-58.8	-78.5	16.2	14.2	15.2	16.9	17.4	18.3	14.2	19.7	25.1	30.3	14.2	0.0	14.2	0.0
CO2x3	18.7	5.0	-11.1	-26.1	-57.7	-78.2	19.4	18.7	19.7	20.8	22.4	23.3	18.7	24.5	30.0	35.0	18.7	0.0	0.0	18.7

Yapılan sıcaklık senaryolarının her birinde dane verimi olumsuz yönde etkilenmiştir. Özellikle T+3 senaryosundan itibaren dane verimindeki düşüş daha da artmış, T+5 senaryosunda ise % 79’a kadar azalarak tüm senaryolar içindeki en düşük değer gözlenmiştir. Dane veriminin yağış ile ilgili yapılan tekli senaryolara reaksiyonu zayıftır. Benzer şekilde R_g ve CO₂ senaryolarında da dane verimi %18’ lere kadar olumlu tepkiler göstermiştir. En büyük verim artışı (% 35) ise R_g+% 30 ve CO₂x3 kombine senaryosunda tespit edilmiştir (Şaylan ve diğ., 2012).

Bitki gelişimi ve veriminin önemli bir göstergesi olan LAI değerinin, Çizelge 5.1’ deki senaryolardan etkilenme durumu ise aşağıdaki Çizelge 5.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4: LAI değerinin meteorolojik faktörlerdeki değişime karşı duyarlılığı.

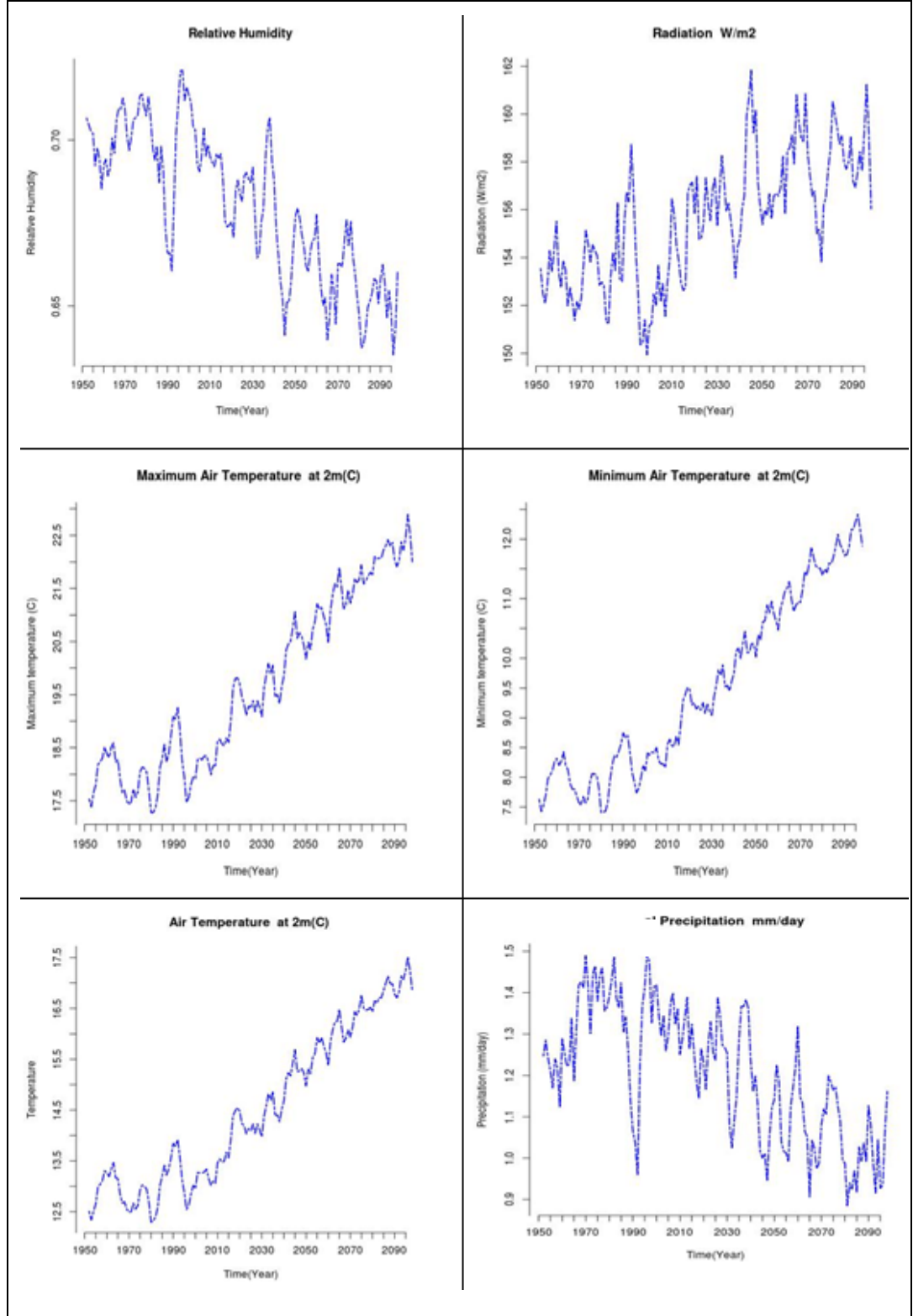
	T	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T-1	P	P-%10	P-%20	P-%30	P-%40	Rg	Rg+%10	Rg+%20	Rg+%30	CO2	CO2x1.5	CO2x2	CO2x3
T	0.0	-8.6	-17.1	-20.0	-25.7	-31.4	17.1	0.0	2.9	5.7	5.7	8.6	0.0	0.0	-2.9	-5.7	0.0	-2.9	-5.7	-5.7
T+1	-8.6	-8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-8.6	-8.6	-5.7	-2.9	-2.9	-8.6	-11.4	-14.3	-17.1	-8.6	-14.3	-17.1	-17.1
T+2	-17.1	0.0	-17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-17.1	-14.3	-14.3	-11.4	-11.4	-17.1	-20.0	-22.9	-22.9	-17.1	-20.0	-22.9	-25.7
T+3	-20.0	0.0	0.0	-20.0	0.0	0.0	0.0	-20.0	-20.0	-17.1	-17.1	-14.3	-20.0	-25.7	-25.7	-28.6	-20.0	-25.7	-28.6	-28.6
T+4	-25.7	0.0	0.0	0.0	-25.7	0.0	0.0	-25.7	-25.7	-22.9	-22.9	-22.9	-25.7	-28.6	-31.4	-34.3	-25.7	-31.4	-34.3	-34.3
T+5	-31.4	0.0	0.0	0.0	0.0	-31.4	0.0	-31.4	-31.4	-28.6	-28.6	-28.6	-31.4	-34.3	-37.1	-40.0	-31.4	-37.1	-40.0	-40.0
T-1	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.1	17.1	20.0	20.0	22.9	25.7	17.1	17.1	14.3	14.3	17.1	14.3	14.3	11.4
P	0.0	-8.6	-17.1	-20.0	-25.7	-31.4	17.1	0.0	2.9	5.7	5.7	8.6	0.0	0.0	-2.9	-5.7	0.0	-2.9	-5.7	-5.7
P-%10	2.9	-8.6	-14.3	-20.0	-25.7	-31.4	20.0	2.9	2.9	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	-2.9	-2.9	2.9	0.0	-2.9	-5.7
P-%20	5.7	-5.7	-14.3	-17.1	-22.9	-28.6	20.0	5.7	0.0	5.7	0.0	0.0	5.7	2.9	0.0	-2.9	5.7	0.0	-2.9	-2.9
P-%30	5.7	-2.9	-11.4	-17.1	-22.9	-28.6	22.9	5.7	0.0	0.0	5.7	0.0	5.7	2.9	0.0	0.0	5.7	2.9	0.0	-2.9
P-%40	8.6	-2.9	-11.4	-14.3	-22.9	-28.6	25.7	8.6	0.0	0.0	0.0	8.6	8.6	5.7	2.9	0.0	8.6	2.9	0.0	0.0
Rg	0.0	-8.6	-17.1	-20.0	-25.7	-31.4	17.1	0.0	2.9	5.7	5.7	8.6	0.0	0.0	-2.9	-5.7	0.0	-2.9	-5.7	-5.7
Rg+%10	0.0	-11.4	-20.0	-25.7	-28.6	-34.3	17.1	0.0	0.0	2.9	2.9	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.7	-5.7	-8.6
Rg+%20	-2.9	-14.3	-22.9	-25.7	-31.4	-37.1	14.3	-2.9	-2.9	0.0	0.0	2.9	-2.9	0.0	-2.9	0.0	-2.9	-5.7	-8.6	-8.6
Rg+%30	-5.7	-17.1	-22.9	-28.6	-34.3	-40.0	14.3	-5.7	-2.9	-2.9	0.0	0.0	-5.7	0.0	0.0	-5.7	-5.7	-5.7	-8.6	-8.6
CO2	0.0	-8.6	-17.1	-20.0	-25.7	-31.4	17.1	0.0	2.9	5.7	5.7	8.6	0.0	0.0	-2.9	-5.7	0.0	-2.9	-5.7	-5.7
CO2x1.5	-2.9	-14.3	-20.0	-25.7	-31.4	-37.1	14.3	-2.9	0.0	0.0	2.9	2.9	-2.9	-5.7	-5.7	-5.7	-2.9	-2.9	0.0	0.0
CO2x2	-5.7	-17.1	-22.9	-28.6	-34.3	-40.0	14.3	-5.7	-2.9	-2.9	0.0	0.0	-5.7	-5.7	-8.6	-8.6	-5.7	0.0	-5.7	0.0
CO2x3	-5.7	-17.1	-25.7	-28.6	-34.3	-40.0	11.4	-5.7	-5.7	-2.9	-2.9	0.0	-5.7	-8.6	-8.6	-8.6	-5.7	0.0	0.0	-5.7

Çizelge 5.4 incelendiğinde Tekli senaryolarada LAI değeri en belirgin tepkiyi sıcaklık ile ilgili senaryolara vermiştir. Tüm sıcaklık senaryoları için biyokütle ve dane verimine benzer olarak LAI değerinde de % 30'ları aşan düşme eğilimleri gözlenmiştir. R_g ve CO₂ senaryoları için hiçbir senaryoda artış gözlenmezken, LAI değeri bu senaryolara genel olarak notr yada % 5.7 gibi az bir azalama ile tepki göstermiştir. Maksimum hassasiyet oranlı çoklu ssenaryolarda gözlenmiş olup T-1 ve P-% 40 kombine senaryosunda % 26'lara varan bir artış ile T+5 kombine senaryoları için % 40'lara varan azalmalar gözlenmiştir.

5.2 Kırklareli'nde İklim Değişikliği

İklim değişikliğinin Kırklareli'nde yetiştirilen buğday bitkisine yapacağı olası etkileri incelemek çalışmanın esas amacıdır. Bu amaca yönelik olarak bölgesel iklim modellerinden yararlanılmıştır. Bu çalışmada RegCm4, ECHAM5 global iklim modeli sonuçları kullanılmıştır. Kırklareli çalışma arazisi için üretilen iklim modeli sonuçlarından sıcaklık, bağıl nem, toplam güneş radyasyonu ve yağış gibi önemli meteorolojik parametrelerin 150 yıllık zamansal değişimi aşağıda Şekil 5.1' de gösterilmiştir (Şaylan ve ark., 2012). Şekilde de açıkça görüldüğü üzere , 150 yıllık bu zaman zarfında hem ortalama hemde extrem sıcaklıklarda 5 °C' ye varan artışlar beklenmektedir. Buna karşın, bağıl nem yüzdeleri ile günlük toplam yağış miktarlarında belirgin bir şekilde azalma beklenmektedir. Bunlara ilave olarak, Kırklareli iline ait geçmiş ve gelecek yıllar dikkate alınarak, 30'ar yıllık dönemler için sıcaklık, bağıl nem, toplam güneş radyasyonu ve yağış verilerindeki muhtemel

değişimler, hem yıllık, hem de buğday bitkisinin gelişme dönemi için hesaplanmıştır. Çizelge 5.5’de bu bilgiler gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Kırklareli’ndeki deneme arazisi için 150 yıllık projeksiyonları.

Çizelge 5.5: Kırklareli ilinde bölgesel iklim modeli sonuçlarına göre meteorolojik değişkenlerin değişimi (Şaylan ve diğ., 2012).

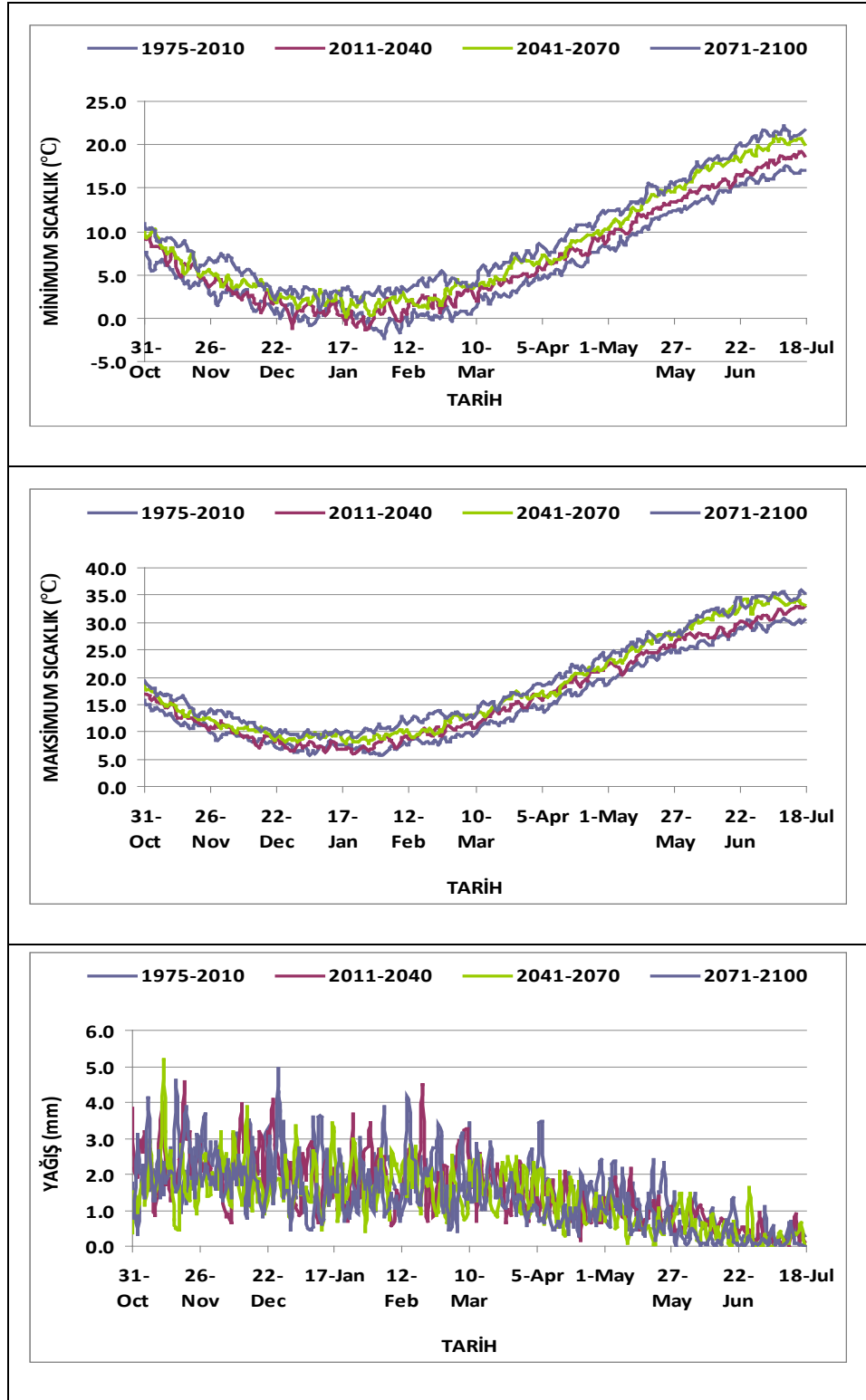
MİN. SICAKLIK (°C)	1975-2010		2011-2040		2041-2070		2071-2100	
	TÜM YIL	BUĞDAY	TÜM YIL	BUĞDAY	TÜM YIL	BUĞDAY	TÜM YIL	BUĞDAY
MİNİUMUM	-2.34	-2.34	-1.28	-1.28	0.17	0.17	1.02	1.02
ORTALAMA	8.20	5.76	9.30	6.87	10.65	8.10	11.79	9.23
MAKSİMUM	18.89	17.60	20.13	19.20	22.04	20.95	22.17	22.17
STD. SAPMA	6.38	5.64	6.53	5.85	6.88	6.19	6.79	6.08
MAK. SICAKLIK (°C)	1975-2010		2011-2040		2041-2070		2071-2100	
	TÜM YIL	BUĞDAY	TÜM YIL	BUĞDAY	TÜM YIL	BUĞDAY	TÜM YIL	BUĞDAY
MİNİUMUM	5.65	5.65	6.01	6.01	7.96	7.96	8.75	8.75
ORTALAMA	18.20	15.20	19.43	16.43	20.99	17.87	22.07	18.99
MAKSİMUM	32.38	30.78	33.96	33.00	36.50	35.01	35.95	35.92
STD. SAPMA	8.67	7.99	8.89	8.28	9.32	8.71	9.15	8.52
RADYASYON (MJ/m ²)	1975-2010		2011-2040		2041-2070		2071-2100	
	TÜM YIL	BUĞDAY	TÜM YIL	BUĞDAY	TÜM YIL	BUĞDAY	TÜM YIL	BUĞDAY
MİNİUMUM	3.283	3.283	3.104	3.104	3.147	3.147	3.186	3.186
ORTALAMA	13.267	12.121	13.467	12.317	13.691	12.566	13.641	12.519
MAKSİMUM	24.714	24.714	24.404	24.404	25.645	25.645	24.794	24.794
STD. SAPMA	7.175	7.508	7.276	7.632	7.435	7.846	7.377	7.766
YAĞIŞ (mm)	1975-2010		2011-2040		2041-2070		2071-2100	
	TÜM YIL	BUĞDAY	TÜM YIL	BUĞDAY	TÜM YIL	BUĞDAY	TÜM YIL	BUĞDAY
MİNİUMUM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ORTALAMA	1.30	1.60	1.30	1.50	1.10	1.30	1.10	1.10
MAKSİMUM	4.90	4.90	4.60	4.60	5.20	5.20	4.30	4.30
STD. SAPMA	0.90	0.90	1.00	1.00	0.90	0.80	0.90	0.90
TOPLAM	486.90	413.10	461.60	397.50	389.90	340.40	383.50	331.30

Yukarıda ki Çizelge 5.5 incelendiğinde, Kırklareli ili için geçmiş 30 yıllık periyotta ortalama minimum ve maksimum hava sıcaklıkları yaklaşık 8 °C ve 18 °C iken, 30’ar yıllık periyotlarda kademe kademe artarak yaklaşık 11.8 °C ve 22. °C’lere kadar çıkmıştır. Maksimum ve minimum hava sıcaklıklarında da 2 ile 4 °C civarında bir artış beklenmektedir. Modellenen ortalama global radyasyon değerleri incelendiğinde, 1975-2010 yılları ortalama değerine kıyasla, 2071-2100 yılları arasında yaklaşık % 2.8 oranında global radyasyonun artacağı tahmin edilmektedir. Gelişme dönemindeki toplam yağış miktarlarında belirgin bir azalma dikkate çarpmaktadır. 1975-2010 periyodu için bitki gelişme döneminde ortalama toplam yağış miktarı 413.1 mm iken, yüzyıllık periyot zarfında bu değer 331.3 mm’ye kadar düşeceği modeller ile hesaplanmıştır.

5.3 Kırklareli’nde İklimin Buğday Gelişme Dönemindeki Değişimi

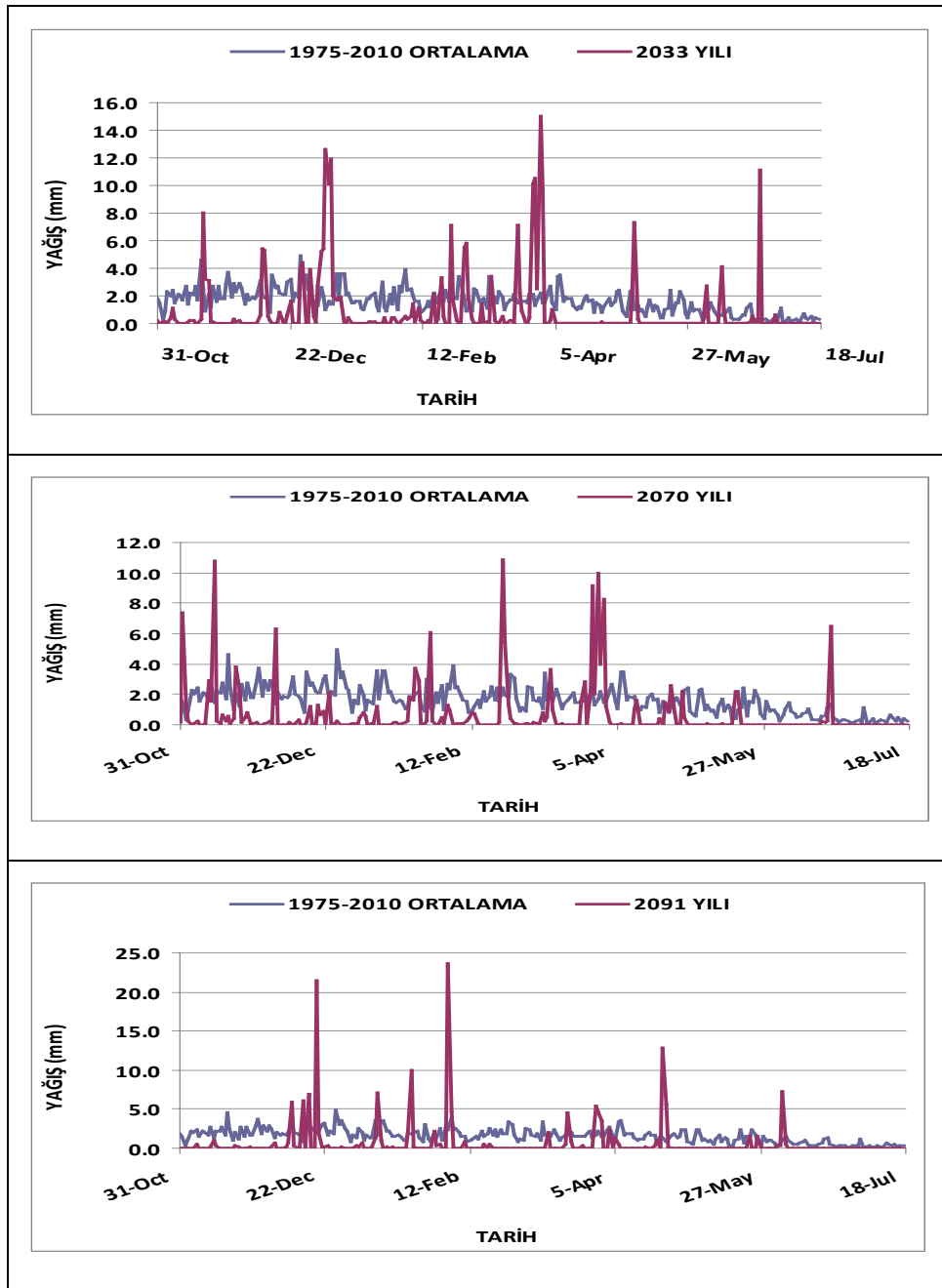
Bu çalışmada bölgesel iklim modeli çıktıları Kırklareli bölgesinde buğday gelişme dönemi için ayrıca değerlendirilmiştir. Aşağıda Şekil 5.2’de buğday gelişme dönemi boyunca modellenen minimum, maksimum hava sıcaklığı ve yağış değerleri

gösterilmiş olup her sıcaklık değerlerinde yaklaşık 5 °C'lere varan artışlar tahmin edilmektedir.

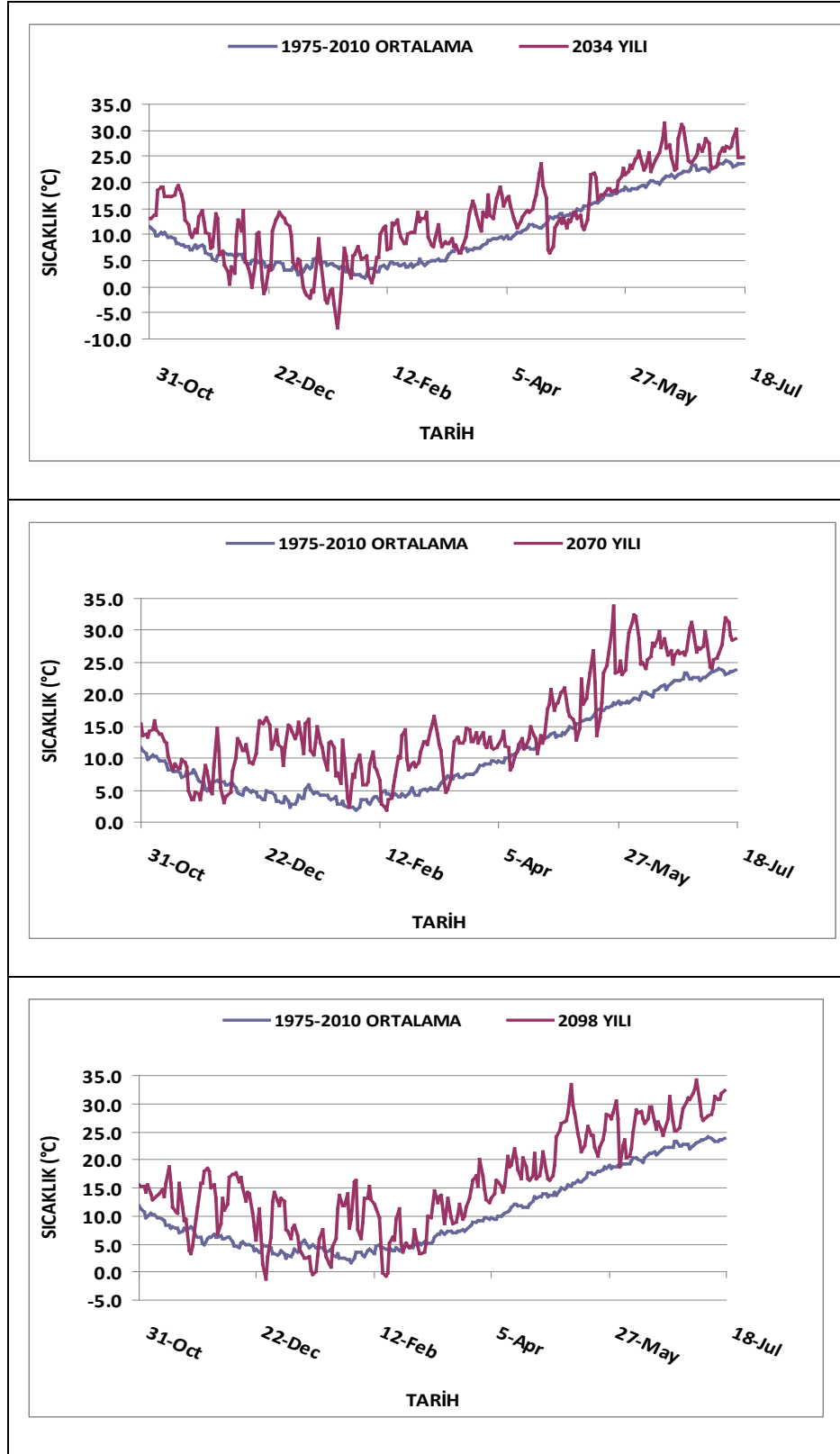


Şekil 5.2: Meteorolojik değişkenlerin 1975'ten 2100'e kadar değişimi (Kırklareli-buğday gelişme dönemi) (Şaylan ve diğ., 2012).

Şekil 5.3’ de görüldüğü üzere, 2013-2040 zaman aralığı için yapılan model tahminlerine göre, 2032-2033 dönemi, en en kurak buğday gelişme dönemi olarak belirlenmiştir. Buna karşın, 2041-2070 döneminde ise, en kurak gelişme dönemi 2069-2070 ve en ıslak sezon ise 2052-2053 gelişme dönemleri olarak tahmin edilmiştir. 2071-2100 periyodunda ise en kurak gelişme döneminin 2090-2091 buğday gelişme dönemi olacağı modellenmiştir. Benzer olarak, Şekil 5.4’te; bu 3 farklı 30’ar yıllık dönemlerde en sıcak gelişme dönemleri sırasıyla; 2033-2034; 2069-2070 ve 2098-2099 gelişme dönemleridir.



Şekil 5.3: Kırklareli’nde 2010-2100 periyodunda en kurak buğday gelişme dönemleri (Şaylan ve diğ., 2012).



Şekil 5.4: Kırklareli’nde 2010-2100 periyodunda en sıcak buğday gelişme dönemleri (Şaylan ve diğ., 2012).

5.4 İklim Değişikliğinin Buğday Gelişimi ve Verimine Etkisi

Yukarıda hassasiyet analizi bölümündeki her bir senaryo DSSAT modeli ile 1975-2010 periyodu meteorolojik değerleri kullanılarak, belirlenen katsayılarla tekrardan çalıştırılmıştır. Buna göre yapılan simülasyonlarda, sıcaklık artışlarının verimi olumsuz etkileyeceği öngörülmüştür. Sıcaklığın 1 ile 5 °C arasında artması durumunda, verimde % 7.1 ile % 35.9 oranında bir azalma hesaplanmaktadır. Yağışdaki % 10'luk bir azalma verimi az da olsa olumlu etkilerken, azalmanın devam ettiği senaryolarda (% 20'den itibaren) verimde düşme tahmin edilmektedir. Global solar radyasyon ve CO₂ artışı durumunda, verimin yükseleceği modellenmektedir. Öyleki, bu iki parametrenin maksimum artış göstermesi durumunda verimde de % 46'lara varan bir artış göze çarpmaktadır. Yağışta azalmanın ve sıcaklıkta artmanın verime olumsuz etkisi ancak CO₂ konsantrasyonunda artışla beraber dengelenmektedir. İklim verilerine göre yağışın azalması, sıcaklığın artması Kırklareli ilinde buğday verimini genel anlamda olumsuz etkileyecektir (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6: Kırklareli ilinin ikliminin buğday verimine hassasiyetinin CERES-Wheat modeli ile belirlenmesi (1975-2010 periyodu için).

Değişim (%)	Duyarlılık Analizi ve Senaryolar																			
	T	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T-1	P	P-%10	P-%20	P-%30	P-%40	Rg	Rg+%10	Rg+%20	Rg+%30	CO2	CO2x1.5	CO2x2	CO2x3
T	0,0	-7,1	-10,7	-19,2	-28,8	-35,9	6,9	0,0	1,2	-0,6	0,8	-9,7	0,0	7,2	9,8	16,1	0,0	9,3	17,8	27,6
T+1	-7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-7,1	-6,7	-5,9	-4,7	-4,2	-7,1	-3,0	1,1	4,6	-7,1	-0,6	5,0	11,6
T+2	-10,7	0,0	-10,7	0,0	0,0	0,0	0,0	-10,7	-8,9	-8,3	-7,3	-6,9	-10,7	-4,4	-0,3	2,8	-10,7	-5,3	-1,3	2,9
T+3	-19,2	0,0	0,0	-19,2	0,0	0,0	0,0	-19,2	-18,6	-18,0	-17,2	-16,8	-19,2	-13,5	-8,3	-3,9	-19,2	-11,8	-5,7	0,2
T+4	-28,8	0,0	0,0	0,0	-28,8	0,0	0,0	-28,8	-28,2	-27,5	-26,8	-26,5	-28,8	-25,2	-21,8	-19,3	-28,8	-23,9	-20,2	-16,7
T+5	-35,9	0,0	0,0	0,0	0,0	-35,9	0,0	-35,9	-35,4	-34,7	-34,0	-33,8	-35,9	-33,1	-31,5	-30,4	-35,9	-32,7	-30,6	-29,0
T-1	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	6,9	8,1	8,3	6,9	-16,4	6,9	13,1	20,3	21,3	6,9	15,4	23,1	31,0
P	0,0	-7,1	-10,7	-19,2	-28,8	-35,9	6,9	0,0	1,2	-0,6	0,8	-9,7	0,0	7,2	9,8	16,1	0,0	9,3	17,8	27,6
P-%10	1,2	-6,7	-8,9	-18,6	-28,2	-35,4	8,1	1,2	1,2	0,0	0,0	0,0	1,2	4,7	10,6	16,7	1,2	10,4	18,9	28,6
P-%20	-0,6	-5,9	-8,3	-18,0	-27,5	-34,7	8,3	-0,6	0,0	-0,6	0,0	0,0	-0,6	5,6	8,6	-1,5	-0,6	7,4	14,7	23,3
P-%30	0,8	-4,7	-7,3	-17,2	-26,8	-34,0	6,9	0,8	0,0	0,0	0,8	0,0	0,8	-0,5	-12,0	-25,0	0,8	8,4	15,6	24,1
P-%40	-9,7	-4,2	-6,9	-16,8	-26,5	-33,8	-16,4	-9,7	0,0	0,0	0,0	-9,7	-9,7	-21,9	-34,6	-40,7	-9,7	7,0	16,7	25,2
Rg	0,0	-7,1	-10,7	-19,2	-28,8	-35,9	6,9	0,0	1,2	-0,6	0,8	-9,7	0,0	7,2	9,8	16,1	0,0	9,3	17,8	27,6
Rg+%10	7,2	-3,0	-4,4	-13,5	-25,2	-33,1	13,1	7,2	4,7	5,6	-0,5	-21,9	7,2	7,2	0,0	0,0	7,2	17,3	26,7	36,8
Rg+%20	9,8	1,1	-0,3	-8,3	-21,8	-31,5	20,3	9,8	10,6	8,6	-12,0	-34,6	9,8	0,0	9,8	0,0	9,8	19,3	27,9	37,5
Rg+%30	16,1	4,6	2,8	-3,9	-19,3	-30,4	21,3	16,1	16,7	-1,5	-25,0	-40,7	16,1	0,0	0,0	0,0	16,1	16,1	26,3	35,5
CO2	0,0	-7,1	-10,7	-19,2	-28,8	-35,9	6,9	0,0	1,2	-0,6	0,8	-9,7	0,0	7,2	9,8	16,1	0,0	9,3	17,8	27,6
CO2x1.5	9,3	-0,6	-5,3	-11,8	-23,9	-32,7	15,4	9,3	10,4	7,4	8,4	7,0	9,3	17,3	19,3	26,3	9,3	9,3	0,0	0,0
CO2x2	17,8	5,0	-1,3	-5,7	-20,2	-30,6	23,1	17,8	18,9	14,7	15,6	16,7	17,8	26,7	27,9	35,5	17,8	0,0	17,8	0,0
CO2x3	27,6	11,6	2,9	0,2	-16,7	-29,0	31,0	27,6	28,6	23,3	24,1	25,2	27,6	36,8	37,5	45,8	27,6	0,0	0,0	27,6

Aşağıdaki Çizelge 5.7'de Kırklareli ilinde yetiştirilen Gelibolu çeşidi buğdayın 2010-2011 yılında belirlenen bitki özelliklerine göre, 2013 yılından 2100 yılına kadar 30'ar yıllık dönemlerde (2013-2040, 2041-2070 ve 2071-2100) meydana gelen ortalamalar ile olası en kurak, en yağışlı, en sıcak ve en soğuk gelişme dönemlerinde ne gibi değişimlerine maruz kalabileceği CERES-Wheat modeli ile incelenmiştir.

Önceki bölümlerde Trakya’da iklim değışikliğı kısmında açıklanan ve Bölgesel İklim Modelinin bir senaryosu dikkate alınarak elde edilen sonuçlara göre tespit edilen gelecekteki meteorolojik verilerin günlük değeri, modellerde girdi olarak kullanılmıştır. Buna göre, Kırklareli’nde 2009-2010 gelişme döneminde yapılan ölçümler (gerçek veriler) ile modellenen veriler arasında en yakın ilişkiyi veren katsayılar kullanılarak gelecekteki bitki gelişimi ve verimi tahmin edilmiştir. Bu kapsamda, aşağıdaki Çizelge 5.7’de görüldüğü üzere, buğday bitkisinin dane verimi 2013-2040 yılı ortalama verilere göre verimde % 8 kadar azalma beklenmektedir. Bu azalma bir sonraki 30 yılda % 12’ye ve daha sonraki 30 periyota (2071-2100) % 20’lere çıkmaktadır. Buna ilave olarak; geçmiş yıllardaki (1975-2010) verilere göre belirlenen katsayılarla model çalıştırıldığında ise, 2013-2100 yılları arasındaki ortalama meteorolojik verilere göre, verimde % 3 ile 6 arasında bir azalma modellenmiştir.

Gelişme döneminde yapılan ölçümlere göre belirlenen katsayılarla elde edilen model sonuçları gelecek için dikkate alınan bu 3 farklı dönemin en kurak gelişme dönemlerinde % 14 ile % 64 arasında buğday verimin azalacağını göstermektedir. Uzun yıllara ait (1975-2010) ortalama meteorolojik veriler ve kayıtlara göre belirlenen katsayılar ile gelecekteki verimin modellenmesi durumunda, en kurak dönemlerde verimin % 17 ile % 30 arasında azalacağı hesaplanmıştır.

Verime ilave olara, bitki gelişimin önemli bir göstergesi olan LAI değeri iklim değışikliğınden nasıl etileceğı de analiz edilmiştir. Buna göre 2013-2100 aralığında LAI değeri % 7 ile % 19 arasında azalacaktır. En kurak dönemde bu azalmaların 9 ile % 56 ve en sıcak dönemde ise % 40 ile % 56 arasında değışeceği öngörülmektedir.

Çizelge 5.7: Kırklareli’nde buğday bitkisinin iklim değişikliğinden etkilenme derecesi.

DANE VERİMİ	2013-2040	2041-2070	2071-2100
ORTALAMA	-8%	-12%	-20%
EN KURAK	-23%	-64%	-14%
EN SICAK	-35%	-64%	-45%
BİYOKÜTLE	2013-2040	2041-2070	2071-2100
ORTALAMA	14%	15%	9%
EN KURAK	-20%	-28%	-14%
EN SICAK	-18%	-28%	-22%
LAI	2013-2040	2041-2070	2071-2100
ORTALAMA	-7%	-9%	-19%
EN KURAK	-16%	-56%	-9%
EN SICAK	-40%	-56%	-51%

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından desteklenen ve Kırklareli’nde 2009-2012 yılları arasında yürütülen, 108O567 nolu proje kapsamında yapılmıştır. Bu projede dikkate alınan bitkilerden buğday bitkisi üzerinde bitki gelişiminin ve veriminin meteorolojik faktörlerdeki değişime hassasiyeti ve iklim değişikliğinden olası etkilenme derecesi belirlenmeye çalışılmıştır.

İklim değişikliğinin buğday bitkisinin gelişimi ve verimine olası etkilerinin bitki-iklim simulasyon modeli ile incelenmesi çalışması, tarımda kontrol edilemeyen etkenleri temsil eden iklim parametrelerinin gelecekteki seyrinin ve bitki gelişimi ile verimine olası etkilerinin incelenmesi açığının kapatılmasına yönelik bir ilk adım olma değerine de sahiptir. Bu anlamda tarımsal potansiyeli oldukça yüksek olan Kırklareli ili, çalışma alanı olarak uygun görülmüş olup bölgenin ekonomik açıdan önemli kültür bitkilerinden olan buğday bitkisi (Gelibolu çeşidi) araştırma konusu olarak seçilmiştir. Belirlenen buğday tarlası üzerine kurulan tarımsal meteorolojik ölçüm istasyonunda Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)’nün belirlemiş olduğu standartlara uygun aletler ölçümler yapılmıştır. Çalışma süresi boyunca alet arızası ve enerji kesintisi gibi aksaklıklara karşı gerekli önlemler alınmış olup, veri arşivlemesi sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, çeşitli meteorolojik ve zirai faktörler dikkate alınarak kışlık buğday bitkisinin gelişme dönemi CERES-Wheat modeli kullanılarak simule edilmiştir. Ayrıca çalışma süresince ölçülen veriler yardımı ile modelin kalibrasyonu yapılmış ve Kırklareli için modellenen iklim değişikliği senaryoları dikkate alınarak buğday bitkisinin hassasiyet analizleri yapılmıştır. Buna ilaveten 1975-2010 yılı arasındaki meteorolojik ve bitki verileri kullanılarak yapılan model simulasyonları, yukarıda bahsi geçen üç dönem için (2013’ten 2100’e kadar olan aralıkta) belirlenen ortalama değerlere göre çalıştırılarak, gelecekte bu üç ilde olası verim değişimleri incelenmiştir. Sonuçta genel olarak Kırklareli’nde kışlık buğday veriminin her üç dönemde de azalacağı CERES-Wheat Modeli ile belirlenmiştir.

Modelin kalibrasyon işlemi tamamlandıktan sonra, yapılan hassasiyet analizlerinde açıkça görüldüğü üzere, sıcaklık artışı buğday bitkisinin verim değerini olumsuz etkilemektedir. Öyle ki, sıcaklıkta 5°C'lik bir artış, verim de % 79'lara varan bir azalmaya neden olmaktadır. Sıcaklığın aksine R_g ve CO_2 değerleri verimi olumlu etkileyen değişkenleridir. Hassasiyet analizlerinde maksimum verim artışı R_g ve CO_2 ikili senaryolarında kaydedilmiştir (% 35). Çalışmanın yapıldığı dönem (9 ay) bölgenin uzun yıllık toplam yağış ortalamasına yakındır (Uzun yıllara ait ortalama toplam yağış=562 mm). Bu sebeple, yağış azalması ile ilgili simülasyonlarda verim değerinde dikkate değer bir değişme kaydedilmemiştir. Buğday'ın biyokütlesi , verime benzer şekilde sıcaklık artışından olumsuz etkilenmiş (T+5 senaryosu için -% 42), R_g ve CO_2 değişimlerine olumlu tepkiler vermiştir.

Çalışmanın esas amacına yönelik olarak Kırklareli bölgesi için geçmiş değerler ile gelecekteki olası iklim değişikliği senaryoları dikkate alınarak yapılan simülasyonlarda buğday bitkisinin verimindeki değişiklikler incelenmiştir. 1975-2010 yılı arasındaki meteorolojik ve bitki verileri modele girdi olarak kullanılarak yapılan olası iklim değişikli simülasyonlarında buğday veriminin sıcaklık artışına oldukça tepkili olduğu gözlenmiştir (T+5 simülasyonu için -% 35.9). R_g ve CO_2 değerlerinin verimi olumlu etkilediği gözlenmiş ancak, bu durumun buğday veriminde sıcaklık artışından kaynaklanan olumsuzluğu dengeleyemediği gözlenmiştir. Benzer şekilde yağış miktarındaki azalma, buğday veriminin düşmesine neden olmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken bir önemli konuda yağış miktarının yanında yağışın bitkinin hangi fenolojik evresinde düşeceği. Bu sebepten yağışın gelecekteki değişimi ile ilgili yapılan çalışmalarda bu konuya ayrıca dikkat edilmelidir.

Şaylan ve diğ. (2012) tarafından belirtildiği gibi, aynı şartlar altında farklı modellerin aynı sonuçlar vermediği bilinmektedir. Bunun en büyük sebeplerinden biri modellerin geliştirilmesinde farklı denklemleri yada parametreleri dikkate almasıdır. Buna ilaveten çoğu modelin kapalı kod ile yazılması üzerine yapılabilecek değişiklikleri kısıtlamaktadır. Açık kod ile yazılan modellerde ise girdi ve çıktı parametrelerinin ölçülmesi ve sağlanmasında eksiklikler yaşanabilmektedir. Nihayetinde, modellerin kompleksliği arttıkça özellikle girdi verilerinin temini ve katsayıların belirlenmesi bakımından zorluklar çıkarmakta ve kullanım imkanı

düşmektedir. Bütün bu sebeplerden kullanılacak modelin avantaj ve dezavantajlarını bilmek modelin en etkin kullanımına olanak sağlayacaktır.

CERES-Wheat modeli iklim değişikliği ve olası etkileri incelenirken dünyada en yaygın kullanılan modellerden biridir. Bu modeli kullanılarak yapılan çalışmaların çokluğu, kullanıcıya ciddi kolaylık sağlayan arayüzü, farklı formattaki verilerin modele girmesini sağlayan alt programları, farklı bitkiler ile ilgili simulasyonların yapılabilmesi gibi özellikler DSSAT modelini diğer modellere karşı avantajlı kılan özelliklerdir. Ancak modelin kapalı kodlu olması dolayısı ile bir çok parametreye müdahale etmek olanaksızdır. Ayrıca modelin her bölge için kalibre edilmemiş olması modele dezavantaj sağlamaktadır.

Sonuç olarak, Şaylan ve diğ (2012) tarafından belirtildiği gibi, ülkemizde bu veya benzeri modelleri kullanabilmek için, gerekli meteoroloji, bitki, toprak ve tarımsal faaliyetlerin düzenli bir şekilde kaydedilmesi gerekmektedir. Böylece, modellerin ülkemizdeki farklı iklim koşulları ve farklı bitkiler için kalibrasyonu yapılabilir ve karar vericilerin gelecek ile ilgili daha isabetli yatırımlar yapması sağlanabilir.

İklim değişikliğinin buğday bitkisinin gelişimi ve verimine olası etkilerinin bitki-iklim simulasyon modeli ile incelenmesi ile ilgili bu tez çalışması, tarımda kontrol edilemeyen faktörleri temsil eden iklim değişkenlerinin gelecekteki seyrinin, bitki gelişimi ile verimine olası etkilerinin incelenmesi açığının kapatılmasına yönelik bir ilk adım olma değerine de sahiptir.

KAYNAKLAR

- Abi Saab, M. T., Todorovic, M., Albrizio, R.** (2014). Comparing AquaCrop and CropSyst models in simulating barley growth and yield under different water and nitrogen regimes. Does calibration year influence the performance of crop growth models? *Agricultural Water Management* **147**, 21–33.
- Adams, R. M., Rosenzweig, C., Peart, R. M., Ritchie, J. T., McCarl, B. A., Glyer, J. D., Curry, R. B., Jones, J. W., Boote, K. J., Allen, L. H. Jr.** (1990). Global climate change and US agriculture. *Nature* **345**, 219-224.
- Aggarwal, P. K.** (1988). Wheat production in Southeast Asia-potential and constraints. *Outlook Agric.* **17**, 49-53.
- Alexandrov, V. A. & Hoogenboom, G.** (2000) The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agricultural and Forest Meteorology*, **104**, 315–327
- Alexandrov, V. A., Eitzinger, J., Cajic, V. & Oberforster, M.** (2002). Potential impact of climate change on selected agricultural crops in north-eastern Austria. *Global Change Biology* **8**, 372–389.
- Benli, E., Balaban A., Kodal S., Tokgöz M. A., Olgun M., Öztürk F., Selenay M. F., Yıldırım Y. E., Şaylan L.,** (1990). Türkiye Buğday Üretiminin Tahmini. A.Ü. Z.F.
- Çaldağ, B. & Şaylan, L.** (2005). Sensitivity analysis of the CERES-Wheat model for variations in CO₂ and meteorological factors in northwest of Turkey. *International Journal of Environment and Pollution* **23**, 300–313.
- Çaldağ, B.** (1997). SIMWASER Bitki-iklim simulasyon modeli ile ilgili bitirme çalışması, 1-5. s.
- Çaldağ B.** (2009). Trakya Bölgesi'nin Tarımsal Meteorolojik Özelliklerinin Belirlenmesi, (Doktora Tezi), İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Davies, A., Jenkins, T., Pike, A., Shao, J., Carson, I., Pollock, C., Pary, M. L.** (1998). Modeling the predicted geographic and economic response of UK cropping systems to climate change scenarios: the case study of sugar beet. *Ann. Appl. Biol.* **1**, 135–148.
- Eitzinger J., Şaylan L.** (1995). Einfluss der Witterungsparameter auf die Simulationsergebnisse eines Agrarmeteorologischen Modells, *Bulletin of the Technical University of Istanbul*, **48**, 481-494.
- Eitzinger J., Trnka, M., Hösch, J., Zalud, Z. and Dubrovsky, M.** (1995). Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating

soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecological Modelling*, **171**, 223-246.

Eitzinger, J., Orlandini, S., Stefanski, R. & Naylor, R. E. L. (2010). Climate change and agriculture: introductory editorial. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge **148**, 499–500.

Eitzinger, J., Stastna, M., Zalud, Z. & Dubrovsky, M. (2003). A simulation study of the effect of soil water balance and water stress on winter wheat production under different climate change scenarios. *Agricultural Water Management* **61**, 195–217.

Eitzinger, J., Thaler, S., Schmid, E., Strauss, F., Ferrise, R., Moriondo, M., Bindi, M., Palosuo, T., Rötter, R., Kersebaum, C., Olesen, J. E., Patil, R. H., Şaylan, L., Çaldağ, B., Çaylak, O. (2012). Sensitivities of crop models to extreme weather events demonstrated for maize and winter wheat at two locations in Austria, *J. Of Agricultural Sciences*, October, 2012, 1-23.

Eitzinger, J., Trnka, M., Hösch, J., Zalud, Z. & Dubrovsky, M. (2003). Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecological Modelling*, **171**, 223-246.

Franzini E. (1993). Agrarmeteorologische Untersuchungen an Pferdebohne (*Vicia faba* L.) und Sojabohne (*Glycine max* (L.) Merr.) Anhand Zweier Pflanzen-Wachstumssimulationsmodelle. *Diss., Inst. f. Meteorologie und Physik Universitaet für Bodenkultur*. Wien, Oesterreich.

Gadgil, S., Rao, P. R. S., Sridhar, S. (1999). Modeling impact of climate variability on rainfed groundnut. *Curr. Sci.* **4**, 557–569.

Gürbüz, M. A. (2009). Baklagillerin Buğday-Ayçiçeği münavebesinde dahil edilmesinin toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine ve verimine etkileri, Proje No: KHGM-01320L01, Atatürk Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Kırklareli, *TAGEM Yayın* **69**, 1-50.

Harrison, P., Butterfield, R., Downing, T. (1995). Climate change and agriculture in Europe- assessment of impacts and adaptation. *University of Oxford*, UK, 411.

Haun J. R. (1974). Prediction of Spring Wheat Yields From Temperature and Precipitation Data, *Agron. J.* **66**, 405-409.

Hoogenboom, G., Jones J. W., Wilkens P. W., Batchelor W. D., Bowen W. T., Hunt L. A., Pickering N. B., Singh U., Godwin D. C., Baer B., Boote K. J., Ritchie J. T., White J. W. (1994). Crop Models. In: Tsuji, G. Y., Uehara, G. and Balas, S. (eds). DSSATv3. Vol. 2-2. *Uni. of Hawaii*, Honolulu, Hawaii, USA.

IBSNAT, (1990). Documentation for IBSNAT Crop Model and Input and Output Files, DSSATv2.1, Technical Report 5, *Dept. of Agronomy and Soil Sci.*, College of Tropical Agriculture and Human Res. Uni. of Hawaii, Honolulu, Hawaii, USA.

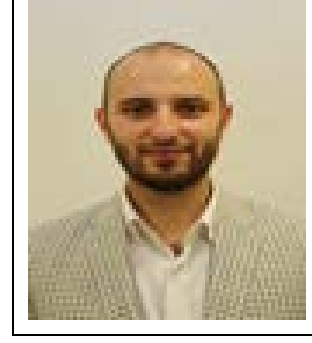
- Iqbal, M. A., Bodner, G., Heng, L. K., Eitzinger, J. & Hassan, A.** (2010). Assessing yield optimization and water reduction potential for summer-sown and spring-sown maize in Pakistan. *Agricultural Water Management* **97**, 731–737.
- Iqbal, M. A., Eitzinger, J., Formayer, H., Hassan, A. & Heng, L. K.** (2011). A simulation study for assessing yield optimization and potential for water reduction for summer-sown maize under different climate change scenarios. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **149**, 129–143.
- 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., 87-96.
- Jones, J. W., and Kiniry, J. R.** (1986). CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A&M Univ. Press, College Station.
- 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., 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,
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., Wilkens, P. W., Singh, U., Gijsman, A. J., and Ritchie, J. T.** (2003). The DSSAT cropping system model. *Eur. J. Agron.* **18**, 235–265.
- Kanber R., Kapur B., Ünlü M.** (2008). İklim değişiminin tarımsal üretim sistemleri üzerine etkisinin değerlendirilmesine yönelik yeni bir yaklaşım, ICCAP projesi, *TMMOB 2 Su politikaları Kongresi*, 83-94.
- Kaufmann, R. K., Snell, S. E.** (1997). A biophysical model of corn yield: integrating climatic and social determinants. *Am. J. Agron. Econ.* **79**, 178–190.
- Kristensen, K., Schelde, K. & Olesen, J. E.** (2011). Winter wheat yield response to climate variability in Denmark. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **149**, 33–47.
- Lal, M., Singh, K. K., Srinivasan, G., Rathore, L. S., Naidu, D., Tripathi, C. N.** (1999). Growth and yield responses of soybean in Madhya Pradesh, India to climate variability and change. *Agric. For. Meteorol.* **1**, 53-70.
- Landau, S., Mitchell, R. A. C., Barnett, V., Colls, J. J., Craigon, J., Moore, K.L. & Payne, R.W.** (1998). Testing winter wheat simulation models' predictions against observed UK grain yields. *Agricultural and Forest Meteorology* **89**, 85–99.

- Lobell, D. B., Cassman, K.G. & Field, C. B.** (2009). Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources* **34**, 179–204.
- M. Todorovic, Albrizio, R., Zivotic, L., Abi Saab, M. T., Stöckle, C., Steduto, P.** (2009). Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST Models in the Simulation of Sunflower Growth under Different Water Regimes. *Agronomy Journal* **101**, 509-521.
- Mearns, L. O., Rosenzweig, C., Goldberg, R.** (1992). The effect of changes in interannual climatic variability on CERES-wheat yields: sensitivity and $2 \times \text{CO}_2$ studies. *Agric. For. Meteorol.* **62**, 159-189.
- Mor A.,** (2005). *Bitki İklim Modeli (DSSAT) kullanılarak Bursa’ da Farklı Su Uygulama Düzeylerinin Analizi*, (Doktora Tezi), Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi.
- Otter-Nacke, S., Godwin, D. C., Ritchie, J. T.** (1986). Testing and validating the CERES-wheat model in diverse environments. *AGRISTARS Technical Report*, YM-15-00407, JSC-20244, Johnson Space Center Houston, TX, USA.
- Parry, M. L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M. & Fischer, G.** (2004). Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socioeconomic scenarios. *Global Environmental Change* **14**, 53–67.
- Peiris, D. R., Crawford, J. W., Grashoff, C., Jefferies, R. A., Porter, J. R., Marshall, B.** (1996). A simulation study of crop growth and development under climate change. *Agric. For. Meteorol.* **79**, 271–287.
- 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.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C. and Fereres, E.** (2009). AquaCrop—The FAO crop model for predicting yield response to water: II. Main algorithms and soft ware description. *Agron. J.* **101**, 438–447.
- Ritchie J. T., Otter S.** (1984). CERES-Wheat: A User-oriented Wheat Yield Model. *Preliminary Documentation*, *AGRISTARS Publication* No. YM-U3-04442-JSC-18892.
- Rötter, R. P., Carter, T. R., Olesen, J. E. & Porter, J. R.** (2011). Crop-climate models need an overhaul. *Nature Climate Change* **1**, 175–177.
- Şaylan L., Şen O., İncecik S.** (1995). Küresel Isınmanın Bitki Gelişimine Etkisinin Bitki İklim Modeli ile Analizi, *II. Hava Kirliliği ve Modellemesi Sempozyumu*, Mart 1995, İstanbul Teknik Üniversitesi, 269-279.
- Şaylan L., Eitzinger J., Durak M.,** (1998). Influence of climatic change on maize growth in Austria, *Trabzon Int. Energy and Environment Symposium*, July 27-29, 1998, Sf. 98.

- Şaylan L., Özen U.,** (1997). Çevresel değişimin tarımsal meteorolojik etkilerinin tahmini, *Trakya'da Sanayileşme ve Çevre Semp. II*, Kırklareli, Kasım 6-8, 1997, 365-373.
- Şaylan L., Sönmez K., 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. ve Çaldağ, B.** (2000). Potential Impacts of Climate Change on Agriculture. 2nd International Symposium on New Technologies For Environmental Monitoring and Agro-Applications, *AGROENVIRON-2000*, 18-20 October 2000, Tekirdağ.
- Şaylan, L., Çaldağ, B., Bakanoğulları, F.,** (2012). İklim değişiminin bitki gelişimin eolasi etkilerinin bitki gelişimi modelleri ile incelenmesi, TÜBİTAK 1001 prokesi (108O567), İstanbul, 0-258.
- Schmid, E., Sinabell, F. & Liebhard, P.** (2004). Effects of reduced tillage systems and cover crops on sugar beet yield and quality, ground water recharge and nitrogen leaching in the Pannonic Region Marchfeld, Austria. *Pflanzenbauwissenschaften* **8**, 1-9.
- Siebert, S., Ewert, F., Rezaei, E. E., Kage, H. and Graß, R.** (2014). Impact of heat stress on crop yield on the importance of considering canopy temperature. *Environmental Research Letters* **9**, 8pp.
- Şimşek, O., Mermer A., Yıldız A., Özaydın K. A., Çakmak B.,** (2007). AgroMetShell modeli kullanılarak Türkiye’de Buğdayın Verim Tahmini, *Tarım Bilimleri Dergisi*, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, **13 (3)**, 299-307.
- Smith, J. B.** (1997). Setting priorities for adapting to climate change. *Global Environ. Change- Hum. Policy Dimensions*, **3**, 251–264.
- Squire, G.R., Unsworth, M.H.** (1988). Effects of CO₂ and climatic change on agriculture, Contract Report to the Department of the Environment. Sutton Bonnington, UK, Department of Physiology and Environmental Science, University of Nottingham.
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D. and Fereres, E.** (2009). AquaCrop—The FAO crop model for predicting yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agron. J.* **101**, 426–437.
- 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.
- Stockle, C. O., Donatelli, M. and Nelson, R.** (2003). CropSyst, a cropping systems simulation model. *Eur. J. Agron.* **18**, 289–307.
- Tatar D.,** (2001). *Uludağ Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezinde Bitki-İklim Modellemesi Üzerine Bir Araştırma*, (Yüksek Lisans Tezi), Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi.
- Thornton, P. K., Dent, J. B., Basci, Z.** (1991). A framework for crop growth simulation model applications. *Agric. Sys.* **37**, 327-340.

- Tsuji, G.Y., Uehara, G., Balas, S.** (1994). DSSAT version 3, IBSNAT, University of Hawaii, Honolulu, HI, USA.
- Van Diepen, C. A., de Koning, G. H. J., Reinds, G. J., Bulens, J. D., Van Lanen, H. A. J.** (1990). Regional analysis of physical potential of crop production in the European Community. In: Goudriaan, J., van Keulen, H., van Laar, H. H. (Eds.), *The Greenhouse Effect and Primary Productivity in European Agro-ecosystems*. Pudoc, Wageningen, The Netherlands, 74-79.
- Van Keulen, H., Berkhout, J. A. A., Van Diepen, C. A., Van Heemst, H. D. J., Janssen, B. H., Rappoldt, C., Wolf, J.** 1987. Quantitative land evaluation for agro-ecological characterization. In: Bunting, A.H. (Ed.), *Agricultural Environments. Characterization, Classification and Mapping*, CAB International, 185-197.
- Weir, A.H., Bragg, P. L., Porter, J. R., Rayner, J. H.** (1984). A winter wheat crop sirtmlation model without water or nutrient limitations. *J. Agric. Sci., Camb.* **102**, 371-382.
- Williams G. D. V., Joynt M. I., 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.
- Williams, J. R., Jones,, C. A. and Dyke, P. T.** (1989). EPIC—Erosion/productivity impact calculator. 1. *Th e EPIC model*. USDA-ARS, Temple, TX.
- Wolf, J. & Van Diepen, C. A.** (1994). Effects of climate change on silage maize production potential in the European Community. *Agricultural and Forest Meteorology* **71**, 33–60.
- Wolf, J. & Van Diepen, C. A.** (1995). Effects of climate change on grain maize yield potential in the European Community. *Climatic Change* **29**, 299–331.
- Wolf, J.** (1993). Effects of Climate change on wheat prduction potential in the European Community. *Eur. J. Agron*, **2**, 281-292.
- Wolf, J., Semenov, M. A., Eckerstein, H., Evans, L. G., Iglesias, A., Porter, J. R.** (1995). Effects on winter wheat: a comparison of five models. In: **Harrison, P. A., Butterfield, R. E., Downing, T. E. (Eds.)**, *Climate Change and Agriculture in Europe. Research Report Environmental Change Unit 9*, Oxford, UK, 231-280.
- Abrahart, R. J. ve See, L.** (2000). Comparing neural network and autoregressive moving average techniques for the provision of continuous river flow forecasts in two contrasting catchments, *Hydrolog. Process.*, **14**, 2157–2172.
- Ye, L., Zhengguo, W., Peng, L., Wu, Y. W., Yang, G., Fu, Y., Zou, J., Chen, Z., Van Ranst, E., Tang, H.** (2013). Climate change impact on China food security in 2050. *Agronomy for Sustainable Development* **33**, 363-374.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Osman Çaylak

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 05.05.1984

Adres: Kirazlıtepe Mah. Pala Sk. No:23 Üsküdar/İstanbul

E-Posta: osman.caylak@ibb.gov.tr; osmancylk@hotmail.com

Lisans: Meteoroloji Mühendisi

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

27-30 Kasım 2012, AKOM İstanbul Genelinde Taşkın Erken Uyarı Sistemi (TEUS), CHPS/FEWS modelleri kullanılarak taşkın erken uyarı sisteminin operasyonel kullanım kursu, AKOM/ ELİTE/ RİVERSİDE/ Afet Koordinasyon Merkezi.

23-25 Mayıs 2012, Integrated 1D- 2D River Flood Modelling, 1 ve 2 boyutlu (MIKE11- MIKE21- MIKE FLOOD) dere taşkın modellerinin uygulamalı eğitim kursu, DHI/ MIKE Courses/ İstanbul Teknik ÜNİVERSİTESİ.

24-25 Kasım 2011, MSG View Kısa Kursu, Meteorolojik Uydu Görüntüleri Yorumlama ve Yazılımı kullanma kursu, Su Vakfı.

7-10 Haziran 2011, 2. Radar Operatörlüğü ve Uygulamaları Eğitimi, meteorolojik radarların çalışma prensiplerini, genel teoremleri ve uygulamalı eğitimleri kapsayan bir toplantıdır. Toplantı süresince çeşitli sunulardan, kitapçıklardan ve radarın uygulamalı kullanımından faydalanılmıştır, MGM İstanbul Bölge Müdürlüğü.

Yayın ve Patent Listesi:

ULUSLARARASI MAKALELER

Eitzinger, J., S. Thaler, E. Schmid, F. Strauss, R. Ferrise, M. Moriondo, M. Bindi, T. Palosuo, R. Rötter, C. Kersebaum, J. E. Olesen, R.H. Patil, **L. Şaylan, B. Çaldağ, O. Çaylak**, (2012). Sensitivities of crop models to extreme weather events demonstrated for maize and winter wheat at two locations in Austria, J. Of Agricultural Sciences.

ULUSAL BİLDİRİLER

Şaylan, L., Bakanoğulları, F., Çaldağ, B., **Çaylak, O.**, Özkoca, Y., Semizoğlu, E. ve Karayusufoğlu, S. (2010). “İklim Değişiminin Bitki Gelişimine Olası Etkilerinin Bitki Gelişim Modelleri ile İncelenmesi” projesi. I. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, 1-4 Haziran, Eskişehir, 238-241.

Semizoğlu, E., **Şaylan, L.**, Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., Özkoca, Y. ve **Çaylak, O.** (2011). Mikrometeorolojik Bir Yöntemle Buğday Bitkisinin Karbondioksit Akılarının Ölçülmesi. V. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 27-29 Nisan, İstanbul, 387-394.

Şaylan, L., Kaymaz, Z., Bakanoğulları, F., Çaldağ, B., Özkoca, Y., Semizoğlu, E., **Çaylak, O.**, Yurtseven, E. ve Karayusufoğlu, S. (2011). “Buğday Bitkisinin CO₂, H₂O ve Enerji Akılarının Belirlenmesi” Projesi. V. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 27-29 Nisan, İstanbul, 379-386.

Karayusufoğlu, S., **Şaylan, L.**, Çaldağ, B., **Çaylak, O.**, Semizoğlu, E., Özkoca, Y. ve Bakanoğulları, F. (2011). Uzaktan Algılamanın Tarımsal Meteorolojide Kullanılması: Kırklareli Örneği. V. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 27-29 Nisan, İstanbul, 415-421.

Şaylan, L., Özgür, E., Semizoğlu, E., **Çaylak, O.**, Özkoca, Y., Karayusufoğlu, S. ve Çaldağ, B. (2011). Evapotranspirasyonun Farklı Yöntemlerle Hesaplanması ve Karşılaştırılması. V. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 27-29 Nisan, İstanbul, 359-367.

Semizoğlu, E., **Şaylan, L.**, Çaldağ, B., Bakanoğulları, F., Özkoca, Y. ve **Çaylak, O.** (2011). Karbon Değişiminin Buğday Bitkisi için Belirlenmesi. GAP VI. Tarım Kongresi, 9-12 Mayıs, Şanlıurfa, 280-285.

Karayusufoğlu, S., **Şaylan, L.**, Semizoğlu, E., Özkoca, Y., **Çaylak, O.**, Çaldağ, B. ve Bakanoğulları, F. (2011). Bitkilerin Gelişimleri ile Spektral Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Analizi: Ayçiçeği ve Mısır Örneği. GAP VI. Tarım Kongresi, 9-12 Mayıs, Şanlıurfa, 274-279.

Koç, E.M., **Çaylak, O.**, Çaldağ, B., Özgür, E., Özkoca, Y., **Şaylan, L.** ve Semizoğlu, E. (2011). Bitki Gelişimi Simülasyon Modellerinin Buğdayın Gelişimini Tahmin Performanslarının Karşılaştırılması. GAP VI. Tarım Kongresi, 9-12 Mayıs, Şanlıurfa, 268-273.

Sönmez, İ., Kalkancı, Ç., Gökdemir, T., Köse, A., **Çaylak, O.** (2013). Kış Çalışmalarında Kullanılan Tuzun Yoldaki Etki Süresi ve Buzlanma Erken Uyarı Sistemi İstanbul Uygulamaları. VI. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 24-26 Nisan, İstanbul, 415-421.