

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**DSSAT BİTKİ SİMÜLASYON MODELİ VE UZAKTAN ALGILAMA
VERİLERİNDEN ELDE EDİLEN İNDİSLER KULLANILARAK BUĞDAY
VERİM TAHMİNİ: İSLAHİYE VE NURDAĞI ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

Ömer VANLI

Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı

KASIM 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**DSSAT BİTKİ SİMÜLASYON MODELİ VE UZAKTAN ALGILAMA
VERİLERİNDEN ELDE EDİLEN İNDİSLER KULLANILARAK BUĞDAY
VERİM TAHMİNİ: İSLAHİYE VE NURDAĞI ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

**Ömer VANLI
(706112003)**

Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. B. Berk ÜSTÜNDAĞ

KASIM 2019

İTÜ, Bilişim Enstitüsü'nün 706112003 numaralı Doktora Öğrencisi Ömer VANLI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DSSAT BİTKİ SİMÜLASYON MODELİ VE UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİNDEN ELDE EDİLEN İNDİSLER KULLANILARAK BUĞDAY VERİM TAHMİNİ: İSLAHIYE VE NURDAĞI ÖRNEĞİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. B. Berk ÜSTÜNDAĞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç.Dr. Uğur ALGANCI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Mustafa KAN
Ahi Evran üniversitesi

Prof. Dr. Ömer Lütfi ŞEN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Burak ŞEN
Ömer Halisdemir üniversitesi

Teslim Tarihi : **07 Kasım 2019**
Savunma Tarihi : **29 Kasım 2019**



*Bir anne doğum yaptıktan beş gün sonra 27 Ağustos 1974'de vefat eder,
anneanne de o bebek torununu zorluklarla ama özenle
büyütür, okutur, mühendis yapar ve evlendirir,
tam 30 yıl sonra 27 Ağustos 2004'de
o da kızına kavuşur.*

*Canım Annem ve Anneannem,
köyünüzde geçimini sağladığınız bitki ile ilgili bu bilimsel çalışma,
size ithaftır... İnşallah cennette buluşmak dileğiyle...*



ÖNSÖZ

Ailevi, Mesleki ve Akademik işlerimden, ailevi görevlerimin önemli bir miktarını fedakâr bir şekilde üstlenen değerli eşim Aynur başta olmak üzere kızım Dilek, oğullarım Yusuf ve Talha'ya kocaman teşekkürlerle başlamak istiyorum.

Aynı şekilde İTÜ'deki mesleki görevlerim sırasında büyük bir anlayış içerisinde; Öğrenci işleri memuru görev yerim olan Fen Bilimleri Enstitüsü'ndeki arkadaşlarıma, botanik bahçesi mühendisi görev yerim olan Bilim ve Toplum Uyg-Ar Merkezi'ndeki arkadaşlarıma, çevre düzenleme şube müdürü görev yerim olan Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'ndaki arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca meteorolojik istasyon kontrolü ve zirai uyarı sistemi ziraat mühendisi görev yerim olan TARBİL Uyg-Ar Merkezi'ndeki arkadaşlarıma ve çevre mühendisliği bölümü yüksek lisans mezunu olarak görev yerim olan laboratuvar birimindeki arkadaşlarıma, ofis görevlerimle eşzamanlı yürütmeye çalıştığım lisansüstü çalışmalarım için bana kolaylık sağladıkları için hepsine minnettarlığımı ifade etmek isterim. CBS bölümünde (Ph.D.) başlamama ve ders aşamasında temel bilgilerini almamı sağlayan ilk danışmanım Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU'na, tez aşamasına geçtiğimde beni UA'nın tarımsal alanda kullanımı ve memleketimdeki tarlaları çalışma alanı olarak seçmem konusunda yönlendiren bir sonraki danışmanım Prof. Dr. Elif SERTEL'e teşekkür ederim. Son olarak tez konumu TARBİL çalışmaları ışığında Hollanda'da modelleme ve Konya'da DSSAT kursları, Pakistan'da modellerin ekonomik boyutu çalıştayına katılım konusunda destek olan ve her hafta sunum toplantıları ile çalışmalarımızı kontrol eden danışmanım Doç. Dr. Berk ÜSTÜNDAĞ'a da ayrıca minnettarlığımı sunmak isterim. Ayrıca Gainesville'de bitki modelleri ve DSSAT konusundaki teorik bilgilerimi tecrübelerini aktararak pratiğe dönüştürme fırsatı veren geçici akademik danışmanım Prof. Gerrit HOOGENBOOM'a da ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Grup çalışmaları nedeniyle; Analiz metodu ve makale yazma konusunda Pakistan'dan katılan Y. Doç. Ishfaq AHMAD'a, Analiz görselleştirme konusunda Sinop'tan katılan Bekir TAŞTAN'a, Bölgesel verim (CRAFT) tahmini konusunda Ankara'dan katılan Hüdaverdi GÜRKAN'a değerli katkıları için teşekkür ederim. Buna ek olarak, EXCEL programı veri düzenleme ve hesaplama uygulamaları için Kadir Aytaç ÖZAYDIN'a, ArcGIS programı analiz uygulamaları için Fatih OCAK'a ve ÇKS ile TKGM parsel veri uygulamaları için de Veysel YILDIZ'a teknik katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirim. Ayrıca bölgesel sınıflandırma konusundaki bildiri çalışması için Dr. Z. Damla UCA AVCI ile Dr. Aslı SABUNCU'ya ve farklı makale çalışmalarındaki desteklerinden dolayı Doç. Dr. M. Cüneyd DEMİREL'e teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışma bölgesindeki çiftçiler, sahipleri olduğu tarlalarda şahsıma araştırma izni verdikleri ve bakım verilerini paylaştıkları için teşekkürlerimi sunarım. Bu tarlalar ve sahipleri ise İslahiye İlçesi Akinyolu Köyü'nden Şeyhmus VANLI (TUBİ, TUSE), Çetin VANLI (TUCE) ve Mehmet Ali VANLI (TUMA); Yeliburun Köyü'nden Mustafa KOŞAR (TUKU), Ahmet KOŞAR (TUKO); Nurdağı İlçesi Gözlühöyük Köyü'nden Abdullah YÜKSEL (TUGO); Sakçagözü Köyü'nden Fayat KURT (TUSA).

Toprak tahlilleri için tarladan toprak numuneleri alınması ve KS verilerinin temini konusundaki desteklerinden dolayı İslahiye İlçe Tarım ve Orman Müdürü Mühendis Yüksel ŞAHİN ve aynı kurum personelleri mühendisler Kenan ARSLAN ve Mustafa DURMUŐ'a teşekkür ederim. Ayrıca yine KS verilerinin temini konusunda Nurdağı İlçe Tarım ve Orman Müdürü Bülent ŐERAFETTİNOĐLU ve aynı kurum personeli mühendis Őevket AKAM'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Son olarak, çalıştığım bölgenin istasyon verilerini sağlayan TARBİL'e, Gainesville'de bulunan Florida niversitesi'nde akademik çalışmalarda bulunmak üzere burs (2214-A) sağlayan TÜBİTAK'a ve iklim projeksiyonu verilerini paylaŐarak destek sağlayan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne (MGM) de teşekkürlerimi sunarım.

Ekim 2019

Ömer VANLI
(Yüksek Mühendis)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	4
1.2 Literatür Araştırması	7
1.3 Çalışma Alanı ve Bitki	19
2. BİTKİ SİMÜLASYON MODELLERİ	23
2.1 Kademe Esaslı BSM.....	28
2.1.1 Moleküler seviye.....	30
2.1.2 Bitki organları seviyesi	31
2.1.3 Bitki ve tarla seviyesi.....	33
2.1.4 Bölge seviyesi	34
2.2 Model Süreçleri	35
2.3 DSSAT Modeli.....	38
2.4 Girdi Verileri	41
2.4.1 İklim verileri	41
2.4.2 Toprak verileri.....	42
2.4.3 Çiftçi bakım verileri	46
2.4.4 Gözlemlenen (GÖZ) ve ölçülen (ÖLÇ) tarla verileri.....	47
2.5 Verilerin Yüklenmesi ve Analizler.....	49
2.5.1 CERES-buğday modelinin kalibrasyon ve evaluasyonu	49
2.5.2 CERES-buğday modeli ile iklim değişikliğinin etkisinin belirlenmesi	51
3. UZAKTAN ALGILAMA	57
3.1 Görüntülerin Tarımda Kullanımı	58
3.2 Veriler ve Prosesler	59
3.2.1 ÇKS verileri	59
3.2.2 NDVI verileri	60
3.3 Analiz Prosesleri	62
3.3.1 Çalışma alanı ve yöntemi.....	62
3.3.2 Yer doğrulaması	64
3.3.3 Görüntü ön işleme	64
3.3.4 Makine öğrenmesi ile görüntü sınıflandırması	65
3.3.5 Verim tahmin modelinin geliştirilmesi	65
3.3.6 Bölgesel verim tahmini	65
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67

4.1 DSSAT CERES-Buğday Model Sonuçları	67
4.1.1 Genetik katsayının tespiti	67
4.1.2 CERES-Buğday modülünün kalibrasyonu ve evaluasyonu	68
4.1.3 İklim değişikliği projeksiyonları	69
4.1.4 İklim değişikliğinin buğday tarımına etkisi	71
4.2 Uzaktan Algılama NDVI İndis Sonuçları.....	73
4.2.1 Görüntü sınıflandırma	73
4.2.2 Temel bileşenler analizi	74
4.2.3 Verim tahmin modeli	74
4.2.4 Bölgesel verim tahminleri	76
4.3 Öneriler.....	77
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	95



KISALTMALAR

IBSNAT	: International Benchmark Site Network for Agro technology Transfer
BSM	: Bitki Simülasyon Modeli
DSSAT	: The Decision Support System for Agro technology Transfer
CERES	: Crop Environment Resource Synthesis
E/S	: Estimated / Simulated
M/O	: Measured / Observed
TE/SE	: Tahmin edilen / Simüle edilen
GÖZ/ÖLÇ	: Gözlemlenen / Ölçülen
KM	: Kuru Madde
GLUE	: Generalized Likelihood Uncertainty Estimation
RMSE	: Root Mean Square Error
KOH	: Karesel Ortalama Hata
CRAFT	: The CCAFS Regional Agricultural Forecasting Toolbox
CCAFS	: Climate Change, Agriculture and Food Security
GIS	: Geographic Information System
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
GCM	: General Circulation Model
RCP	: Representative Concentration Pathway
TKR	: Temsili Konsantrasyon Rotaları
RS	: Remote Sensing
UA	: Uzaktan Algılama
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index
PAR	: Photosynthetically Active Radiation
LASSO	: Least Absolute Shrinkage and Selection Operator
WOFOST	: World Food Studies Simulation Model
STICS	: Simulateur mulTIdisciplinaire pour les Cultures Standard
APSIM	: Agricultural Production Systems Simulator
CROPSYST	: Cropping Systems Simulation Model
AgMIP	: The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project
CVF	: Conversion Factor
LAI	: Leaf Area Index
YAI	: Yaprak Alan İndeksi
Hi	: Hasat İndeksi
ATP	: Adenosine Triphosphate
NADPH	: Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate
LANDSAT	: Land Remote-Sensing Satellite
OLI / TIRS	: Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor
USGS	: The United States Geological Survey
TOA	: The Top-of-Atmosphere
TİGEM	: Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü
ÇKS	: Çiftçi Kayıt Sistemi
TKGM	: Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü
QGIS	: Quantum GIS

ArcGIS	: Aeronautical Reconnaissance Coverage Geographic Inform. System
ENVI	: Environment for Visualizing Images
SOC	: Semi-Automatic Classification
MÖ	: Makine Öğrenmesi
ML	: Maximum Likelihood
SVM	: Support Vector Machine
CB	: Condition-based
NN	: Nearest Neighbor
QDA	: Quadratic Discriminant Analysis
LDA	: Linear Discriminant Analysis
KNN	: K Nearest Neighborhood
KIA	: Kappa Index of Agreement
PCA	: Principal Component Analysis
RUE	: Radiation Use Efficiency
WUE	: Water Use Efficiency
MakS	: Maksimum Sıcaklık
MinS	: Minimum Sıcaklık
TUKU	: Türkiye-Kuyu Yeri Yeliburun Köyü Tarla
TUKO	: Türkiye-Köy Önü Yeliburun Köyü Tarla
TUMA	: Türkiye-Mali Akınyolu Köyü Tarla
TUSE	: Türkiye-Selver Köyü Tarla
TUSA	: Türkiye-Sakçagözü Köyü Tarla
TUBI	: Türkiye-Bizim Akınyolu Köyü Tarla
TUCE	: Türkiye-Çetin Akınyolu Köyü Tarla
TUGO	: Türkiye-Gözlühöyük Köyü Tarla
HTU	: Heliothermal Units
PTU	: Photothermal Units
GDD	: Growing Degree Days
ARID	: Agricultural Reference Index for Drought
TARBİL	: Tarımsal İzleme ve Bilgi Sistemi
VTM	: Verim Tahmin Modeli

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Çizelge İslahiye bölgesinden model kalibrasyonu için kullanılan dört tarlanın toprak fizikokimyasal özellikleri.	45
Çizelge 2.2 : Nurdağı bölgesinden model evaluasyonu için kullanılan dört tarlanın toprak fizikokimyasal özellikleri.	45
Çizelge 2.3 : Çiftçilerden alınan ve DSSAT model formatına dönüştürülerek eklenen bakım verileri.	46
Çizelge 2.4 : DSSAT modelinde bulunan A ve T dosyalarındaki birçok parametre kodlarının bir kısmı.	48
Çizelge 2.5 : İklim simülasyon senaryoları için kullanılan küresel iklim modelleri ve kısaltmaları.	52
Çizelge 2.6 : İklim değişikliği senaryoları için kullanılan CO ₂ konsantrasyonları. ..	52
Çizelge 4.1 : Golia çeşidinin CERES-Buğday modülü kapsamında bulunan genetik katsayıları.	68
Çizelge 4.2 : CERES-Buğday modülün kalibrasyonu, buğdayın gelişme, büyüme ve verim değerleri ve karşılaştırma sonuçları.	69
Çizelge 4.3 : CERES-Buğday modülün evaluasyonu, buğdayın gelişme, büyüme ve verim değerleri ve karşılaştırma sonuçları.	69
Çizelge 4.4 : Yüzyıl ortası ve sonundaki İslahiye ve Nurdağı için RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında üç GCM'in buğday verimindeki değişim.	72
Çizelge 4.5 : Makine Öğrenmesi algoritmalarının doğruluk tablosu.	73
Çizelge 4.6 : Verim tahmin modeli'nde (VTM), NDVI indisleri katsayı değerleri ..	75
Çizelge 4.7 : Çalışma bölgelerindeki buğdayda GÖZ gerçek ve model tarafından TE verim sonuçları ve % hataları.	76



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

- Şekil 1.1** : Çalışmalarımızda kullanılacak bileşen ve parametreleri gösteren ana faktörler, Carter, 2013'den uyarlanmıştır..... 7
- Şekil 1.2** : Tarla temelli model çalışmasından bölgesel verime geçiş için agregasyon şeması. Ewert'den (2011) uyarlanmıştır. 14
- Şekil 1.3** : BSM çalışmaları kapsamında kullanılan bölge ve tarlaların lokasyonu .. 20
- Şekil 1.4** : Akınyolu (TUBİ) ve Gözlühöyük (TUGO) tarlaları. 22
- Şekil 2.1** : Gerçek dünya, sistemleştirilmiş ve modellenmiş durumunun temsili gösterimi. The Art of Modelling Course (2015), Wageningen Univ.'den uyarlanmıştır..... 23
- Şekil 2.2** : Sistemdeki iklim, toprak ve bakım bileşenleri ile bitki arasındaki etkileşimi gösteren BSM'nin şematik diyagramı, Wallach (2014)'den uyarlanmıştır..... 28
- Şekil 2.3** : Bitkilerin büyüme tanımlayıcı, büyüme kısıtlayıcı ve büyüme azaltıcı faktörler ile üretim farklılıkları arasındaki ilişkiler, Ittersum (1997)'den uyarlanmıştır..... 29
- Şekil 2.4** : Tarımsal sistemlerde çok faktörlü boyutlara sahip bileşenlerin kademe temelinde tanımlanması, Asseng'den uyarlanmıştır. 29
- Şekil 2.5** : Bitkinin moleküler düzeyde fizyolojik süreç akışı. Wageningen Üniv. (PAME, 2008) kurs notlarından uyarlanmıştır..... 30
- Şekil 2.6** : Bitki biyokütle birikim ilişki diyagramı. 32
- Şekil 2.7** : CRAFT bölgesel verim tahmin model programı arayüzü. 35
- Şekil 2.8** : BSM'de genel süreç akışı, The art of modelling course (2015) Wageningen üniv.'den uyarlanmıştır. 37
- Şekil 2.9** : DSSAT / BSM'nin bileşenlerine ve modüler yapısına genel bakış. Hoogenboom (2003)'den uyarlanmıştır. 39
- Şekil 2.10** : 2016-17 yetiştirme sezonunda çalışma alanındaki buğdayın mevsimsel sıcaklık ve yağış grafiği..... 42
- Şekil 2.11** : 2016-2017 buğday yetiştirme sezonundaki TUBİ tarlasının toprak analiz rapor örneği. 44
- Şekil 2.12** : Verilerin toplanması (tarlada YAI verisi ölçümü (sağda) ve kurutulan verilerin tartılması (solda)). 47
- Şekil 2.13** : Numunenin tarladan alınması ve örnek biyokütle hesabı. 48
- Şekil 2.14** : Bakım verilerinin yüklendiği tüm tarla (.whx) Xfile dosyalarının arayüzü. 49
- Şekil 2.15** : Model içerisinde GLUE (üstte) ve Hassasiyet Analizi (Alta) programları ile parametre tahmin çalışmaları. 50
- Şekil 2.16** : TE (SE) ve GÖZ/ÖLÇ değerlerin karşılaştırılması ve modelin düzeltilmesi. 51
- Şekil 2.17** : İklim projeksiyon verilerinin modele eklenebilmesi için farklı küresel iklim modelleri, senaryolar, ilçeler ve yıllar bazında isimlendirilmeleri. 53

Şekil 2.18 : İklim projeksiyon verilerinin weatherman programına (üstte) ve CO ₂ konsantrasyonlarının da sezonsal analiz uygulamasına eklenmesi (altta).	54
Şekil 2.19 : İklim değişikliğinin meteorolojik parametreler ve buğday verimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılan metodoloji.	54
Şekil 3.1 : TKGM sitesinden ÇKS verilerinin poligon halinde indirilmesi.	59
Şekil 3.2 : Google Earth Pro programında verilerin son kontrolü.	60
Şekil 3.3 : QGIS programında ilçe verilerinin shapefile olarak kaydedilme işlemleri.	60
Şekil 3.4 : İlçelerin tüm NDVI değerlerinden, ilgili tarlaların değerleri QGIS programı ile kliplenme işlemi.	61
Şekil 3.5 : Tarlaların NDVI değerlerinin bulunması için R programının kullanılması.	61
Şekil 3.6 : Nurdağı ilçesindeki tarlalarda NDVI değerlerinin zaman serisindeki gösterimi.	61
Şekil 3.7 : Çalışma bölgesine ait indirilen Landsat-8 görüntü tarihleri.	62
Şekil 3.8 : Uzaktan algılama çalışmaları kapsamında kullanılan bölgenin lokasyonu.	63
Şekil 3.9 : UA görüntü indisleri ile elde edilen bölgesel verim tahmininin metodolojisi.	63
Şekil 3.10 : Çalışma bölgesine ait ÇKS verileri ile yer doğrulaması yapılan tarlalar.	64
Şekil 4.1 : GCM'lerin yüzyıl ortası için RCP 4.5 ve 8.5'teki iklim değişikliği projeksiyonu MakS, MinS ve yağış sonuçları.	70
Şekil 4.2 : GCM'lerin yüzyıl sonu için RCP 4.5 ve 8.5'teki iklim değişikliği projeksiyonu MakS, MinS ve yağış sonuçları.	71
Şekil 4.3 : İslahiye için RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında iklim değişikliğinin buğday verimi üzerine etkileri.	72
Şekil 4.4 : Nurdağı için RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında iklim değişikliğinin buğday verimi üzerine etkileri.	73
Şekil 4.5 : Nurdağı ve İslahiye bölgesi için sınıflandırılmış buğday alanı.	74
Şekil 4.6 : NDVI zaman serilerinin temel bileşen analizi (PCA).	74
Şekil 4.7 : Çalışma bölgesinde GÖZ gerçek değer ile tahmin edilen buğday verim değerleri arasındaki ilişki grafiği.	75

DSSAT BİTKİ SİMÜLASYON MODELİ VE UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİNDEN ELDE EDİLEN İNDİSLER KULLANILARAK BUĞDAY VERİM TAHMİNİ: İSLAHIYE VE NURDAĞI ÖRNEĞİ

ÖZET

Buğday Türkiye’de de hemen her bölgede tarımı yapılan dünyanın önemli besin kaynaklarından biridir. 2017 yılında Türkiye’de ortalama yıllık üretim miktarı 20.6 milyon ton civarındadır. Gelişen teknoloji ile beraber tarımsal üretimlerde bilimsel teknikler de uygulanmaya başlandı. Bitki simülasyon modelleri iklim, toprak, bakım ve bitki genetiği gibi bileşenlerin etkileşimi ile ortaya çıkan verim tahmin bilgileri elde etmek için güvenilir bir araç olarak yaygın olarak kullanılmaktadır.

DSSAT, sistem analizi ve benzetim yaklaşımı ile agro-ekosistem performanslarını iyileştirmek için alternatif çözümler bulmak için modellerin kullanılması gerektiği fikrine dayanan uluslararası düzeyde önemli bir proje olan IBSNAT için geliştirilmiş ve dünyadaki tüm araştırmacılar tarafından halen kullanılan bir modeldir. DSSAT modeli, deneysel çalışmalarla bitki çeşit kalibrasyonu, genetik katsayı tespiti ve performans testi ile birlikte genel olarak homojen toprak ve iklim faktörleri barındıran tarla temelli modelleme çalışmalarında başarıyla uygulanmaktadır. CERES-Buğday modülü ise, DSSAT çatısı altında bulunan ve tüm büyüme aşamaları, radyasyon kullanım etkinliği yaklaşımı üzerine modellenen bir karar destek sistemidir.

Bu arada modellerin etkinliğini arttırmak için bölge tabanlı araştırmalar da başlanmıştır. Fakat toprak ve iklim bileşenlerinin heterojenliği nedeniyle model tahmin başarımının düşük olduğu bu alanda DSSAT bunu konumsal analiz, Coğrafi Bilgi Sistemleri ile uyumlaştırma ve CRAFT bölgesel tahmin modelleri ile beraber kullanmaktadır. İklim projeksiyon verilerini kullanarak ileri zamanlardaki muhtemel tarımsal durum analizleri de yapabilen DSSAT modelinde tarımsal üretimin gelecekteki iklim değişikliğinin etkisine karşı senaryoları değerlendirmek için de kullanılmaktadır.

Çalışma alanı, Gaziantep ili sınırları içerisindeki sof ve Amanos dağları arasındaki verimli bir vadiye bulunan İslahiye ve Nurdağı tarımsal ovalarıdır. Bölge, tarımsal üretim için elverişli iklim ve birinci sınıf tarım toprağı özelliklerine sahip olup planlı tarımsal üretim yapılması ile ekonomik değeri yüksek ve kaliteli ürünler yetişmesine olanak sağlanmaktadır.

2016-2017 yetiştirme sezonundaki toplam on sekiz adet çiftçi buğday tarlaları içerisinde yüksek verimli olan Kuyu yeri Yelliburun köyü tarla, Köy önü Yelliburun köyü tarla, Mali Akınyolu köyü tarla ve Selver köyü tarlası model kalibrasyonu için kullanıldı. Orta verimli olan Sakçagöz köyü tarla, Bizim Akınyolu köyü tarla, Çetin Akınyolu köyü tarla ve Gözlühöyük köyü tarlası ise model performans testi için kullanılmıştır.

Kullanılan veriler arasında, iklim verileri olarak minimum ve maksimum sıcaklık, ortalama yağış, oransal nem ve güneş radyasyon şiddeti gibi gözlemlenen ve ölçülen

parametreler kullanıldı. En önemli bileşenlerden olan toprak verileri ise, genel toprak bilgisi, toprak yüzey bilgisi ve bünye, yapı, pH, organik madde ve azot miktarı gibi toprak katman parametreleri kullanıldı. Bir diğer veri grubu olan bakım verileri ise, ekim tarihi, ekim metodu, ekim derinliği, m² deki bitki sayısı, gübre ve sulama miktarı ile hasat miktarı ve bunların tarihleri gibi bilgiler içerdi. Son olarak model tahmini ile karşılaştırılmasında önem taşıyan yerinde toplanmış gerçek tarla verilerinden olan gözlemlenen ve ölçülen veriler olarak da, toprak üstü bitki ağırlığı, bitkinin dal ve yaprak ağırlığı, kardeş sayısı, verim, biyokütle, çiçeklenme zamanı, fizyolojik olgunlaşma zamanı ve Yaprak Alan İndeksi gibi toplanan değerlerden oluştu.

Bitki bünyesindeki fenoloji ve gelişim (P1V ve P1D), büyüme (P5, PHINT) ve verim (G1, G2, G3) parametreleri kalibre edildi. Modelin performansı, gözlemlenen ve simüle edilen değerler arasında Karesel Ortalama Hata ve % hata kullanılarak değerlendirildi. Bölgedeki iklim değişikliğinin ürün üzerine etkilerinin belirlenmesi için ise, üç küresel iklim modelinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında yüzyıl ortası (2036-2065) ve yüzyıl sonu (2066-2095) için incelendi. Önceki iklim değişikliği tahminlerine göre küresel sıcaklığın 2050'de yaklaşık 2,5 °C artacağını gösterdi. Sıcaklıklardaki artış, özellikle Türkiye gibi yarı kurak bölgelerde gelecekteki tarımsal verimliliği de azaltabileceğini öngörmüştür.

Tüm bunların dışında tarımsal alanda kullanılan bir diğer teknolojik araç ise uzaktan algılama sistemleridir. Tarımsal alanlardan elde edilen görüntülerle farklı mekânsal – zamansal çözünürlüklü bilginin üretilmesinde önemli bir veri kaynağı olarak rol oynamaktadır. Bitkilerin kanopisinden yansıyan radyasyonun kullanımı sonucu arazi sınıflandırma ve NDVI gibi vejetasyon indislerinin hesaplanması yoluyla bölgesel verim değerlerinin de tespit edilebilmektedir. Bu indisler ile verim tahmini çalışmasında da Nurdağı ve İslahiye ovalarındaki aynı tarlaların yanında Çiftçi Kayıt Sistemi'nden temin edilen tarlalar kullanıldı. Ayrıca parsel alanı, ekilen bitki türü, ekim ve hasat tarihleri ile verim değerleri gibi veriler de kullanıldı. Bir diğer kullanılan veri de Landsat-8 görüntüleri olup, 17 Kasım 2016 tarihinden, 29 Haziran 2017 tarihine kadar ki toplam 13 adet görüntü üzerinde çalışıldı.

Buğdayın mekânsal dağılımı için toplam olarak sekiz adet makine öğrenme algoritmaları uygulandı. Tüm sezondaki her tarla için 16 günlük aralıklarla NDVI değerleri hesaplanmış olup, Bootstrapping yöntemi ile verim tahmin modeli geliştirildi. LASSO regresyonu ile de katsayıları bulunan model formülasyonu, bölgesel verim tahminleri için başarı ile kullanıldı.

Tüm yapılan analiz sonuçlarında anlamlı değerler elde edildi. Golia çeşidine yönelik bulunan genetik katsayılar ile ilgili, uygun değer vernalizasyon (P1V) için günler bir miktar yüksek çıkarken foto periyodik gereksinim (PID) ve tane dolularına neden olan termal zaman (P5) da bir miktar yüksek bulundu. G1 ve G2 birbirini dengeleyici bulunurken G3 katsayısı ise biyokütle üretimi ve bitki boyu ile ilgili bir parametre olarak normal çıkmıştır.

Kalibrasyon sonunda maksimum yaprak alan indisinin ölçülen ve simüle edilen değerleri arasında % -5,26 hata ve 0,21'lik karesel ortalama hata ile birbirine yakın bulunurken, verimde % -11,32 hata ve 586 kg/ha karesel ortalama hata ile ölçülen değerlerin altında bulundu. Toprak üstü bitki ağırlığında ise % -9,56 hata ve 896 kg/ha karesel ortalama hata ile yakın bir uyum gösterdi.

İklim değişikliği kestirim sonucuna göre, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu kesimindeki bu bölgede yüzyıl ortasında (2065) Maksimum sıcaklığın 1,6 °C (RCP

4.5)'den 2,3 °C (RCP 8.5)'ye, Minimum sıcaklığın ise 0,6 °C (RCP 4.5)'den 1,9 °C (RCP 8.5)'ye yükseleceğini gösterdi. Ayrıca yüzyıl sonunda da (2095) Maks 2 °C (RCP 4.5) 'den 4 °C (RCP 8.5)'ye, MinS ise 1 °C (RCP 4.5) 'den 3,4 °C (RCP 8.5)'ye yükseleceğini gösterdi.

Gelecekteki sıcaklık artışının buğday verimi üzerinde ise, İslahiye olarak yüzyıl ortalarında % 16,3, yüzyılın sonunda ise % 16,8 olacağını, Nurdağı'nda ise yüzyıl ortasında % 13 oranında azalacağı beklenirken yüzyıl sonunda % 14,4 oranında azalacağını model gösterdi.

Diğer bölgesel verim analiz çalışması olan uydu görüntülerinden elde edilen NDVI indislerinin hesaplanması sonuçları ise, gözlemlenen ve tahmin edilen verim arasındaki ilişki, her iki bölge için de yakın bir uyum göstermiştir. Nurdağı'nda (2013-2017) 5 yıl süresince 145 kg/ha ile daha yüksek olan karesel ortalama hata değerleri olarak kaydedilirken, İslahiye'de yaklaşık 70 kg/ha karesel ortalama hata ile daha yakın bir değer kaydedildi. Nurdagi bölgesinde, gözlemlenen ve tahmin edilen verim arasındaki % hata, 5 yıl boyunca % 1,96 ile % 10,61 arasında değişmiştir. Ancak, İslahiye bölgesindeki hata, % 0,81 ile % 7,65 arasında değişmiştir.

Sonuç olarak, kalibre edilmiş DSSAT CERES- Buğday modeli ve NDVI indislerin değerlendirilmesinden elde edilen bölgesel verim tahminleri oldukça faydalı metotlarla buldukları, Türkiye'nin diğer bölgeleri ile diğer bitkileri için de kolaylıkla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.



WHEAT YIELD ESTIMATION USING DSSAT CROP SIMULATION MODEL AND INDICES OBTAINED FROM REMOTE SENSING: ISLAHIYE AND NURDAGI CASE

SUMMARY

Wheat is one of the most important nutritional sources of the world, which is cultivated in almost every region in our country. In 2017, the average annual amount of production in Turkey is around 20.6 million tones. With the developing technology, scientific techniques have been applied in agricultural productions. Crop simulation models are widely used as a reliable tool for obtaining yield estimation information resulting from the interaction of components such as climate, soil, management and crop genetics.

DSSAT is a model developed for IBSNAT, an internationally important project based on the idea that systems should be used to find alternative solutions to improve agroecosystem performances through system analysis and simulation approach and is currently used by all researchers in the world. The DSSAT model has been successfully applied in field based modeling studies involving homogenous soil and climatic factors, as well as plant variety calibration, genetic coefficient determination and performance testing. CERES-Wheat module is a decision support system that is under the roof of DSSAT and modeled on all growth stages, radiation use efficiency approach.

In order to increase the efficiency of the models, region based researches have been started. However, in this area where model estimation performance is low due to heterogeneity of soil and climate components, DSSAT uses it with spatial analysis, harmonization with Geographic Information Systems and CRAFT regional forecasting models. With the DSSAT model, which can also perform future agricultural situation analyzes using climate projection data, it is also used to assess different scenarios against the impact of future climate change in agricultural production.

The study area is İslahiye and Nurdagi agricultural plains in a fertile valley between the sof and Amanos mountains within the borders of Gaziantep province. The region has favorable climate and first class agricultural soil for agricultural production and it is possible to grow high quality economic products with planned agricultural production.

Among the eighteen wheat fields in the 2016-2017 growing season, high yielding fields such as Yelliburun well location village field, in front of Yelliburun village field, Mali Akınyolu village field and Selver village field were used for model calibration. Moreover, medium yielding fields such as Sakçagözü village field, Bizim Akınyolu village field, Çetin Akınyolu village field and Gözlühöyük village field were used for model performance testing.

Among the data, minimum and maximum temperature, average rainfall, relative humidity and solar radiation were used as climate data. As soil data that is one of the

most important components, general soil information, soil surface information and soil layer parameters such as structure, texture, pH, organic matter and nitrogen content were used. As maintenance data, another data group, included information such as planting date, planting method, planting depth, number of plants per m², fertilization/irrigation/harvest amounts and dates. Finally, as the observed and measured data in the actual field collected for comparison with the model estimation results, the above ground crop weight, stem and leaf weight, sibling number, yield, biomass, anthesis and physiological maturity time, leaf area index were collected.

The plant phenology and development (P1V and P1D), then growth (P5, PHINT) and finally yield (G1, G2, G3) parameters were calibrated. The performance of the model was evaluated using RMSE and % error between observed and simulated values. In order to determine the effects of climate change in the region, they were examined in the RCP 4.5 and 8.5 scenarios of three global climate models for mid-century (2036-2065) and end-century (2066-2095). According to previous climate change forecasts, global temperature will increase by 2.5 ° C in 2050. The increase in temperatures predicts that it may reduce future agricultural productivity, especially in semi-arid regions in Turkey.

Apart from all these, another technological tool used in agricultural field is remote sensing systems. It plays a role as an important data source in the production of different spatial - temporal resolution information with the images obtained from agricultural fields. By using radiation reflected from the canopy of plants, regional yield values can also be determined by calculating the vegetation indices such as land classification and NDVI. The fields obtained from the Farmer Registration System in the Nurdagi and İslahiye plains were used for yield estimation. In addition, data such as parcel area, crop species, planting and harvest dates and yield values were also used. Moreover, a total of 13 Landsat-8 images from 17 November 2016 to 29 June 2017 were used.

A total of eight machine learning algorithms were used for spatial distribution of wheat. NDVI values were calculated at 16-day intervals for each field throughout the season, and the yield prediction model was developed with the Bootstrapping method. The LASSO regression model was also successfully used for regional yield estimates. Significant values were obtained in all analysis results. Regarding the genetic coefficients for the Golia cultivar, the days for the optimum vernalization (P1V) were slightly higher, while the photoperiodic requirement (PID) and the thermal time (P5) causing the grain filling were slightly higher. While G1 and G2 were found to be balancing each other, G3 coefficient was found to normal value as a parameter related to biomass production and plant height.

At the end of the calibration, the measured and simulated values of the maximum LAI were close to each other with -5.26 % error and 0.21 root mean square error, while yield was below the measured value with -11.32 % error and 586 kg / ha RMSE. It showed a close agreement with -9.56 % error and 896 kg/ha RMSE in above ground plant weight.

According to the results of climate change projection in Turkey's southeast, in the mid-century (2065), maximum temperature will increase from 1.6 °C (RCP 4.5) to 2.3 °C (8.5 RCP); minimum temperature will increase from 0.6 °C (RCP 4.5) to 1.9 °C (RCP 8.5). In the end-century (2095), maximum temperature will increase from 2 °C (RCP 4.5) to 4 °C (RCP 8.5), minimum temperature will increase from 1 °C (RCP 4.5) to 3.4 °C (RCP 8.5). In the future temperature increase, wheat yield will decrease in

İslahiye with 16.3 % by the mid-century and with 16.8 % by the end-century. In Nurdagi, the model showed that it will decrease with 13.4 % in the mid-century and 14.4 % at the end-century.

Another regional yield analysis study, the results of NDVI indices obtained from satellite images showed a close agreement between the observed and predicted yields for both regions. In Nurdagi (2013-2017), it was recorded as the root mean square error value which is higher with 145 kg/ha for 5 years, while in İslahiye it was recorded with a root mean square error of approximately 70 kg/ha. In the Nurdagi region, the error between observed and estimated yield ranged from 1.96 % to 10.61 % for 5 years. However, the error in the İslahiye region ranged from 0.81 % to 7.65 %.

As a result, the calibrated DSSAT model CERES-Wheat module and also NDVI values estimated the regional yield are useful methods. This method can also be used easily for other regions and crops of Turkey.





1. GİRİŞ

Tarım, insanlık tarihi kadar eski olduğu için ve zaman içinde artan dünya nüfusu ile birtakım doğal risklerle karşı karşıya kalan bir alan olduğundan her zaman önemini korumuştur. Kaliteli, sağlıklı ve yüksek verimli gıda üretmek için tarımsal alanların teknolojik ve etkin yönetimi de aynı şekilde önem kazanmıştır.

Gelişen bilgisayar teknolojisiyle beraber Bitki Simülasyon Modelleri (BSM), Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) gibi teknolojik araçların kullanılması da mümkün hale gelmiştir. Bu da, noktasal ve alansal temelde üretimin sağlıklı bir şekilde izlenmesi ve değerlendirilebilmesi için önemli veriler sağlamaktadırlar. Böylece yerel, bölgesel, ulusal ve hatta küresel ölçekte tarımsal alanların yönetimi için güvenilir sonuçlarla daha isabetli kararlar verilmesi de sağlanmış olmaktadır. Ancak tüm bu olanaklara rağmen, maalesef Türkiye’de halen tarım alanlarında üretim aşamalarının izlenmesi ve değerlendirilmesi büyük ölçüde geleneksel yöntemlere dayanmaktadır.

Bitki gelişim, bitki büyüme, bitki benzetim ve bitki iklim gibi isimlerle de anılan Bitki Simülasyon Modelleri, toprak ve iklim özellikleri ile bakım (management) uygulamalarının bir fonksiyonu olarak, bitkinin büyümesi (growth) ve gelişmesi (development) tarla ölçeğinde verim ve risk tahminleri gibi analiz uygulamalarına imkân vermektedir (Shelia vd., 2019). Ayrıca uzaktan algılama ile daha geniş tarımsal alanlardaki bitkiler hakkında bilgileri belirlemek için farklı yansıtım oranlarından indekslerin elde edilmesi ile ilgili bölgenin tarımsal durumu hakkında sağlıklı değerlendirme ve çözüm yolları bulunabilmektedir (Sunar, Özkan, & Osmanoğlu, 2011). Son olarak CBS ise, tüm bu bölgesel konuma dayalı işlemlerle elde edilen tarımsal veri, bilgi ve analiz sonuçlarının grafiksel olan veya olmayanları toplamak, depolamak, analiz yapmak, sorgulamak ve son olarak da haritalandırma ile hizmete sunan bilgi sistemi olarak belirtilir (Yomralıoğlu 2009).

Tarımsal uygulamalarda gübreleme ve sulama gibi bakım girdi bilgileri ile ürün ve biyokütle gibi verim çıktı bilgileri arasındaki ilişkiyi anlamlandırmak için toprak ve yaprak analizleri, elektronik alet ve algılayıcılar aracılığıyla çeşitli yöntemler

kullanılarak yararlanılmaktadır. Bilgisayar ve hesaplama olanaklarının daha da gelişmesiyle birlikte, bitkinin yetiştirme sürecindeki tüm aşamalarında etkileşime girdiği çevre bileşenleri matematiksel alt yapıyla hesaplayarak simüle eden modeller de kullanılmaya başlandı. Aslında birçok bileşen ve parametreye sahip bu doğal işleyişin bitki modelleri hesaplamalarında indirgemecilik de denilen karmaşık sistemlerin daha basit bileşenler içinde analizi ile bütüncülük denilen doğanın bütünlüğü inancı arasında operasyonel diyalektik yani mantıklı yorumlama sistemi dengesinde olmasında yarar bulunmaktadır (Hammer, Kropff, Sinclair, & Porter, 2002). Çünkü evrensel sistemdeki her bileşen ve onun parametreleri ya direkt ya da dolaylı olarak bir etkileşim bütünlüğü içerisinde hareket etmektedir.

BSM, tarımsal üretim sürecinde risk ve verim gibi etkilerin ne olacağını bilimsel hesaplamalarla yaklaşık olarak kullanıcıya değerlendirmesi için sunabilmeyi amaçlamaktadır. Model sonuç çıktılarını sınırlı tarımsal girdi ve çevre koşulları altında muhtemel verimleri en yüksek olasılıkla hesaplayabilme altyapısıyla sunar. Bu arada verim artırma yolu aranırken risk faktörünün de önemli ölçüde azaltmayı öngörerek değerlendirmeye dâhil etmektedir. Risk ile ekonomik kayıp, yetersiz üretim ve çevresel zarar gibi istenmeyen sonuçların olasılığı da belirlenmiş olmaktadır. Bu denli kontrol dışı belirsizliklerin de bulunduğu tarımsal üretim sektörü üstü açık bir fabrikaya da benzetilebilmektedir. Çünkü iklim değişkenliği ve çeşitliliği, istenmeyen çevresel ve ekonomik faktörler, zararlı ve hastalık faktörleri ve olası politika değişiklikleri gibi birçok öngörülmeyen riski barındırmaktadır. Çiftçiler de aynı anda birden fazla riski yönetmeye çalıştığı gibi beklenmedik olaylar çiftçiler üzerinde önemli etkiler yaratmaya devam etmektedir. 1974-2019 yılları arasında yayınlanan tarımdaki beş ana risk türünden (üretim riski, piyasa riski, kurumsal risk, kişisel risk ve finansal risk) birini veya daha fazlasını ele alan ve çözümler öneren 3283 hakemli çalışma yapıldı (Komarek, De Pinto, & Smith, 2020). Model çalışmaları ile bu belirsizliklerin önemli ölçüde azaltılması amaçlanarak yürütülmektedir.

BSM, tüm tarımsal değişken, parametre ve sabit değerleri kullanarak bitkinin fizyolojik ve morfolojik olarak büyüme, gelişme süreçlerini çeşit bazında değerlendirmek de mümkündür. Bunun için modelin daha hassas hesaplama kapasitesini de sağlamak adına ilgili çalışma alanından deneysel veri toplama çalışmaları ile çeşitlerin genetik katsayılarının belirlenmesi ve böylece modellerin daha da geliştirilmesi de mümkün olabilmektedir.

Bitki modeli çalışmalarının bir diğer kullanım alanı da iklim modelleri ile entegre bir şekilde gelecek zamanlardaki kuraklık, yağış ve tarımsal verime etkisinin tespitine yönelik güçlü tahminlerde bulunmasıdır. Küresel bir problem olan iklim değişikliği sonucu değişen sıcaklık ve yağış parametrelerinin tarımsal alanlarda ileride muhtemel olumsuz etkileri de öngörülerek buna uygun adaptasyon çalışmalarına da imkân verilmesidir.

Tarımsal alanda kullanılan bir diğer teknolojik yarar ise yapay uydular aracılığı ile elde edilen uzaktan algılama görüntü verilerinin etkin değerlendirilmesidir. Yeryüzü hakkındaki bilgilerin bu görüntüler aracılığıyla periyodik olarak elde edilmesi ile özellikle geniş tarımsal alanlardaki faaliyetler ile ilgili analiz ve değerlendirmelerde bulunma imkânını da doğurmaktadır.

Genel bir ifade ile uzaktan algılama, güneşin gönderdiği ışınları alan yeryüzündeki hedef cisimlerin yansıttığı ışınım enerjisini ölçen pasif algılayıcılar farklı dalga boylarına göre bilgileri dijital sayılar halinde kaydedip birtakım dönüştürme işlemleri ile görüntü halinde kullanılmaya hazır hale getirilmesi olarak tanımlanabilir ((Sunar et al., 2011).

Uzaktan algılama birçok farklı uygulama alanına hizmet sağlamaktadır. Bunlar coğrafya, ormancılık, hidroloji, ekoloji, meteoroloji, tarımsal faaliyetlerin izlenmesi ve tabii kaynakların yönetimi gibi birçok alan sayılabilir (kalkan, 2019).

Çalışma prensibi olarak yüzeydeki farklı şekil ve içerikteki nesnelere karşı görüntü olarak yansıtımı temel alınmaktadır. Örneğin farklı bitki kanopileri üzerinde spektral yansıtımı dalga boyuna göre ayırt ederek bitkinin fizyolojik yapısı, su içeriği ve pigmentine göre gelen elektromanyetik dalgalar ışına yoluyla yansıtma, yutulma ya da geçirimde bulunabilmekle kendini göstermektedir.

Uzaktan algılama görüntüleri aracılığıyla tarımsal alanlar hakkındaki değerlendirmeler arasında arazi örtüsü belirlenmesi, alanların bitki tür ve dağılımının tespiti ile alansal büyüklük belirlenmesi ve ayrıca verim modelleme çalışmaları sayılabilir. Bu işlenmiş görüntülerin CBS ile analizi ve görselleştirilmesi de sağlanmaktadır. Sayıları ve kapasiteleri artan bu görüntülerin büyük veri hesaplama, derin öğrenme ve makine öğrenmesi gibi yapay zekâ yöntemleriyle analizleri yoluyla da anlamlandırılmaları mümkündür (kalkan, 2019).

Bu sistem ve metotlarla tarımsal hasadın miktarı ve zamanı hakkındaki bilgilerin erken tespit edilebilmesi, ürünlerin tarla ve bölgesel düzeyde değerlendirilmesi çoğunlukla görüntülerden elde edilen NDVI gibi bir takım indisler aracılığıyla sağlanabilmektedir. Çünkü bu bilgilerin erkenden ve kısa zamanda elde edilmesi büyük ekonomik, çevresel ve idari öneme sahiptir. Doğru verim tahmini, ulusal veya küresel ölçekte ürün fiyatlarının ekonomik açıdan belirlenmesinde de önemli bir rol oynamaktadır (Alganci vd., 2014).

1.1 Tezin Amacı

Türkiye coğrafi olarak çok çeşitli iklim, toprak ve bitki örtüsüne sahip ender bir konumda bulunmaktadır. Fakat bu coğrafi uygunluğun getirdiği birçok avantajla önemli tarımsal üretim potansiyeline sahip bir ülke olmasına rağmen, maalesef bu durumu gerektiği gibi değerlendirememektedir. Bunlar artan nüfus ve bunun getirdiği besin ihtiyaçlarına karşılık değerli tarım arazilerindeki erozyon ve yapılaşma ile tarımsal alanlarda önemli miktarda azalma meydana gelmektedir. Ayrıca tüm bunlara ek olarak mevcut ekili alanlarda aşırı sulamanın meydana getirdiği tuzluluk ve çoraklaşma, bilinçsiz kullanılan kimyasal gübre ve ilaçlarla ortaya çıkan kirlilikler çevre ve tarımsal ürünlerde problem olmaktadır.

Model aracılığıyla tarımsal uygulamaların kontrol altında takip edilmesi neticesinde sorunların önlenmesine katkı sağlayacağı gibi toplanan verilerin değerlendirilmesi ile bilimsel altyapılı faaliyetlerle üretim yapılmış olacaktır. Bununla birlikte, çiftçilerin geleneksel yöntemlerle çözülemeyen ekonomik ve işletme sorunlarının da kolaylıkla anlaşılması ve çözülmesi sağlanmış olacaktır. Tarımsal işletmeler için emek, zaman, işgücü ve maliyet gerektiren uygulamalar için model ve uzaktan algılama yaklaşımları ile büyük yararlar elde edilecektir.

Türkiye'nin bu alanda politika yapıcıların da modellerle belirli bir amaca yönelik büyük ölçekli çalışmalar planlaması ve bu planların ilgili bölgelere has problemlerin çözümünü de kapsayacak şekilde yaygınlaştırması da önemli bir kazanım olacaktır.

Dünyada önde gelen bitki modellerinin ortaya çıkışı incelendiğinde, farklı disiplinlerde çalışan araştırmacıların bu modelleri geliştirdiği görülmektedir. Türkiye coğrafi ve tarımsal şartlara özgü disiplinler arası çalışma grupları ile modellerin

özelleştirilmesi veya endemik bitki çeşitlerine yönelik genetik katsayıların tespiti üzerine çalışılması isabetli olacaktır.

Dünyada ürünlerin gerçek ve potansiyel üretim miktarını bilmek ve buna göre gereken ihtiyaçları modellerle tespit edip karşılamak da ayrıca önem taşımaktadır. Verim birçok faktör tarafından belirlenmesine rağmen potansiyel verimi sınırlayan ana faktörler genellikle bitkinin genetik özellikleri, yağış, radyasyon ve bakım uygulamalarıdır. Buğday çoğunlukla Türkiye'de sulanmayan bölgelerde yetiştirilmekte olup son yıllarda verimde istikrarlı bir artış gözlenmesine karşılık yine de yıllık ortalama üretimi 20.6 milyon ton olan gerçek üretim ile 54 milyon ton olan potansiyel üretim arasında yaklaşık 33 milyon ton yıllık toplam üründe bir fark bulunmaktadır (Atar, 2018).

Küresel bir problem olan iklim değişikliği son 25-30 yıldır çevre ile ilgili bilim dünyasında en çok tartışılan konuların başında gelmektedir. Birleşmiş milletlerin gündemine de taşınan insan faaliyetlerinin neden olduğu bu sorunu değerlendirmek üzere 1988 yılında kurulan Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) ilgili birimleri tarafından, bilimsel temel, uyum ve önleme çalışmaları ile ilgili ortalama beş yılda bir Araştırma Raporları (AR) hazırlanmaktadır. Yeryüzünde yansıyan güneş ışınlarının, yine insan etkileri ile atmosfere salınarak biriken sera gazlarınca (su buharı, karbondioksit, metan, diazotmonoksit, ozon vb.) tutularak yerküreyi beklenenden daha fazla ısıtması olayına kısaca küresel ısınma olarak adlandırılır. Fosil ve biokütle yakıtların yakılması, tarım ve katı atık düzenli depolama gibi faaliyet alanları sera gazı emisyonlarının kaynakları arasındadır. Ayrıca karbondioksiti tutan ormanların tahrip edilerek tarım amaçlı kullanım için açılması iklim sistemini önemli ölçüde etkilemektedir (Akçakaya et al., 2015). Tüm bunların etkilerinin hesaplanmasına yönelik mücadele kapsamında, gelecekte görülmesi muhtemel iklimin tahmin edilmesinde kullanılan küresel iklim modelleri artan sera gazları emisyonlarına iklim sisteminin tepkisini hesaplamaktadır. Bunun için oluşturulan emisyon senaryoları arasında önceki (A1, A2, B1 ve B2) sıralı değerlendirme metodu yerine yeni nesil paralel değerlendirme metodu olan RCP3- PD(RCP2.6), RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5 Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP) senaryoları kullanılmaktadır (Akçakaya et al., 2015).

Bir diğeri veri sağlayıcı bir sistem olan uzaktan algılama ile geniş alanlardan sağlık bilgileri elde etmek ve bunların farklı bölgesel ve ulusal alanlardaki çevre sorunlarında çözümler üretmek için kullanılmaktadır.

Ayrıca büyük miktardaki verilerin analizinin ve işlenmesinin manuel olarak yapılamamasından dolayı makine öğrenmesi modellerinin metod ve algoritmaları tasarlanmıştır. Eğitim, görüntü işleme, hesaplamalı biyoloji, doğal dil işleme, meteoroloji ve tarım gibi birçok alanda uygulanan model ile özellikle uydu görüntülerini analiz ederek tarımsal verim veya eksiklikleri tahmin etmek amacıyla da aktif olarak kullanılmaktadır (Ö. Çelik & Altunaydın, 2018).

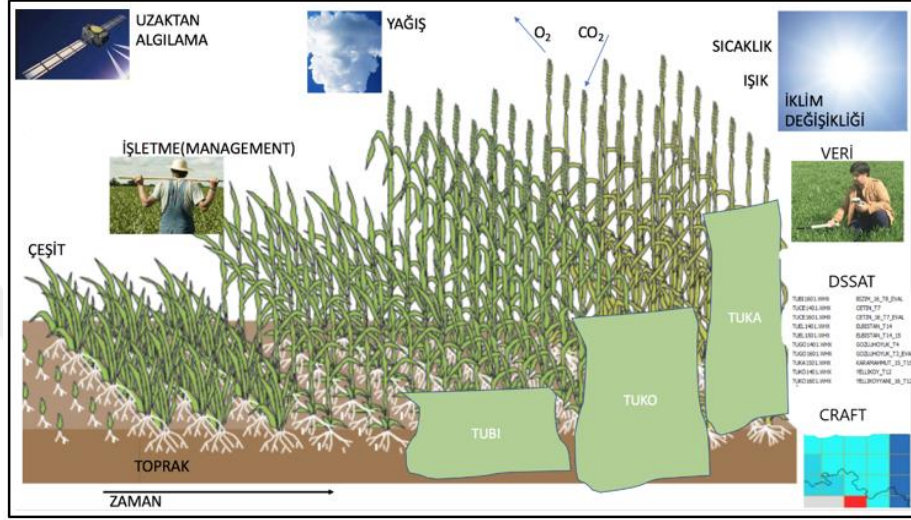
Bu tez kapsamında gerçekleştirdiğimiz çalışma ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan verimli tarımsal üretim alanları olan İslahiye ve Nurdağı bölgelerindeki ovalarda buğday ekim alanı olarak % 90 oranında tercih edilen Golia çeşidine yöneliktir. Kullanılan bitki çeşidi olarak Golia, en büyük tedarikçi olan Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü (TİGEM) tarafından bölgelere göre sertifikalandırılarak üretilen ekmeçlik ve makarnalık buğday tohumlukları arasındadır. Ekmeçlik çeşidi olarak Golia, Güneydoğu Anadolu başta olmak üzere Marmara ve Akdeniz bölgelerinde yetiştirilmektedir. 1991 yılında İtalya menşeli olarak tescillenen Golia kış ile kuru iklim şartlarına oldukça dayanıklı ve orta-erkenci bir çeşit olup verim potansiyeli sulu koşullarda 7-9 ton/ha arasında bulunmaktadır (TİGEM, 2014).

Çalışmanın amaçlarından biri, DSSAT bitki modelindeki CERES-buğday modülünü kullanarak Golia'nın genetik katsayısının belirlenmesi ve akabinde bölgenin tarımsal durumunun iklim değişikliğine karşı uzun dönem etkilerini üç küresel iklim modeli ve RCP 4.5 ve 8.5 senaryosu çerçevesinde değerlendirilmesidir. Bu çalışma ile 2016-2017 sezonundaki 8 adet buğday tarlası bazında toplanan detaylı toprak analiz, iklim ve ekimden hasada kadar tüm bakım verileri elde edildi. Ayrıca model doğrulamasında kullanılan aylık dönemler ve hasat zamanında toplanan çiçeklenme ve olgunlaşma zamanı gibi gözlemlenen (GÖZ) veriler ile YAİ, biyokütle ağırlığı gibi ölçülen (ÖLÇ) veriler sağlanmıştır. Tüm verilerin modele yüklenmesi ile çeşit kalibrasyonu, genetik katsayı tespiti ve ayrıca iklim değişikliğine karşı sıcaklık, yağış ve verimdeki değişimler belirlenmeye çalışıldı (Şekil 1.1).

Tez kapsamında aynı bölge ve aynı bitki ile gerçekleştirilen bir diğeri amaç ise, mekânsal değişkenliğe göre uzaktan algılama Landsat-8 görüntüleriyle elde edilen

bitki indislerinin değerlendirildiği çalışmalar olup, sekiz adet makine öğrenme algoritmaları sonucu en uygun bölgesel verim tahmin denklemi elde edildi.

Bölgesel verim çalışmaları ile ilgili yapılan tüm bu analiz ve değerlendirmelerin sonucunda bölgedeki kamu ve özel paydaşlara sağlanacak faydalı bilgilerin yanında gerekli adaptasyon ve tedbirlerin geliştirilmesi için de bilimsel bir altyapı oluşturulmuştur.



Şekil 1.1 : Çalışmalarımızda kullanılacak bileşen ve parametreleri gösteren ana faktörler, Carter, 2013'den uyarlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Hedeflenen çalışma ile ilgili yapılan ulusal ve uluslararası literatürlerde çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Önemli sayıdaki bilimsel dergilerde, bitki modellerinin işleyişine yönelik değişkenler ve parametrelerin hesaplanması yoluyla sonuçlar üzerinde tahminlerde bulunma çalışmaları yaklaşık 30 yıldır çok yaygın bir şekilde devam etmektedir (Stockle vd., 2003; Jones vd., 2003; Zhao vd., 2019). Bunların da önemli bir kısmı, modeldeki kavramsal anlayışı ve sistematik ilerlemeyi önermektedirler (Sinclair ve Seligman 2000). Ayrıca bir kısmı da modelin uydu görüntüleri ve CBS ile bütünleşmiş bir şekilde bölgesel verim tahminlerine yoğunlaşmıştır (Morell vd., 2016; Ahmad vd., 2018a).

Öncelikle modelin doğrulanması ve gelişmesine yönelik genellikle deneysel çalışmalar şeklinde ele alınmıştır. Çeşit bazında yapılan deneysel çalışmalar arasında ise özellikle buğdayın türleri önemli bir yer kapsamaktadır. 1993'ten itibaren, 70'den fazla buğday verimi üzerine model geliştirilmiş olup farklı bölgelerde yapılan

çalışmalarla modelin geliştirilmesi sağlanmakla birlikte bitki genetiğindeki bu çalışmalarla bitkinin büyümesi ve gelişmesinde genomik ve biyokimyasal süreçler için de önemli fırsatlar sunmaktadır. (White, 2006). Çünkü modeli değerlendirirken türe özgü parametreleri, diğer bir deyişle katsayıları belirlemek çok önemlidir (Mourice vd., 2014). Yeni çıkarılan çeşitler ve melezlerin çoğu model için henüz parametreleri bulunmamış ve bu nedenle, modelin verimli bir şekilde kullanmadan önce zaman içinde kalibre edilmeleri gerekmektedir (Bao vd., 2017).

Kalibrasyon (eğitim) ve validasyon (test), bir modelin istatistiksel metotlarla yüksek doğrulukları onaylanmış şekilde kullanımı en öncelikli ve önemli bir adımdır. Yapılan bir çalışmada, DSSAT-BSM için Brezilya, Çin, Gana ve ABD'den gelen mısır, yer fıstığı, soya fasulyesi, buğday ve patates için 10 deneysel veri kümesi kullanılarak istatistiksel değerlendirmeye ilişkin bir deneme çalışması gerçekleştirildi. Kalibrasyon ve performans testinde ortak istatistiksel yöntemler olan Kare Ortalama Hata (RMSE), ortalama hata (E), ortalama mutlak hata (MAE), uyum endeksi (d) ve modelleme etkinliği (EF) gibi kullanımlarla değerlendirilmiştir. (Yang vd., 2014). Başka bir çalışmanın temel amacı, mısır verim potansiyelini simüle eden doğrulanmış bir modelin, saha-yıl özel kalibrasyonuna ihtiyaç duymadan, gerçek tahıl verimini ve toplam üretim miktarını yeniden üretebileceği hipotezini test etmektir. Bu hipotezle çiftçiler, önerilen bakım uygulamalarını kullanmak için bilgiye, teknolojilere ve gerekli girdilere erişebilir ve yüksek kaliteli hava, toprak ve bakım verilerini elde edebilirler (Morell vd., 2016).

Modelin bölgesel tarla koşullarındaki bazı uygulamaları da başarıyla yapıldı. CERES-buğday modelinin Akdeniz koşulları altında yeterli güvenilirlik ile uygulanabilir olduğunu belirtmiştir (Pecetti & Hollington, 1997). DSSAT'ın Cezayir'in Tiaret bölgesindeki buğday bitkilerinin fenolojisini ve verimini tahmin etme kapasitesini değerlendirme çalışmasında, genetik katsayıların yerel tarla denemelerinde kalibre edilmesi koşuluyla, çeşitli kışlık buğday çeşitlerinin verimini tahmininde modelin eğitim ve test yılları arasında model performansında çok az farkla birlikte model hataları kabul edilebilir bulundu. Model, tarla denemelerinin üç senesinden ikisinde, çeşitlerin tahıl verimi açısından sıralamasını doğru bir şekilde öngörmüştür (Rezzoug et al. 2008; Moriondo vd., 2007).

Fakat yine de model uygulamalarında birtakım zorluklarla da karşılaşmaktadır. Bitki fenolojisinde karşılaşılan genel zorluklar arasında, simülasyonun sağlıklı sonuç

vermesi için gerekli fenolojik detay bilgilerinin elde edilmesinde bir takım güçlükler olduğu, bitkinin geliştiği bölgede farklı çevre koşullarının olduğu, ayrıca modelin yeni bölgelere uygulanmasında da düşük doğrulukta sonuçlar alınması bulunmaktadır. Yine kullanıcılar bitki genetik parametreleri belirlemek için bu modelleri farklı bölgelere uyguladıklarında, genellikle sahaya özgü veri ve bilgi eksiklikleri ile karşılaşmaları da bir diğer zorluklardandır (Žalud vd., 2003).

Modellerin performanslarını karşılaştıran bir takım çalışmalar da yapılmıştır. Bunlardan biri APES, CROPSYST, DAISY, DSSAT, FASSET, HERMES, STICS ve WOFOST gibi önemli modellerin buğday bitkisinde performans karşılaştırmasıdır. Buna göre çiçeklenmenin başlangıç tarihlerini ve fizyolojik olgunluk tarihini öngörmeye DAISY ve DSSAT en doğru sonucu vermiştir (Palosuo vd., 2011). Ayrıca farklı modellerin bitki fenolojisindeki performanslarının karşılaştırılması da yapılmış ve bazı bitkilerin fenolojik durumuna göre diğerlerinden daha iyi dane verimini öngördüğü, dolayısıyla modellerin uygulanması ile bu belirsizliklerin azalacağı anlaşılmıştır (Bao vd., 2017). Bunlarla birlikte bitki modellerinin ana hedeflerinden biri de üretimdeki değişiklikleri iklim ve toprak koşullarının yanı sıra gübreleme, sulama gibi ürün bakım uygulamalarının bir fonksiyonu olarak tahmin etmektir (Nasim vd., 2016a). Model geliştiriciler daha ileri bir aşama olarak, CERES ve CROPGRO gibi DSSAT'ın bitki cinsleri bazındaki modülleri tasarlayarak, aynı cins altındaki farklı tür ve çeşitlerin gelişim aşamaları için daha doğru sonuçlar sağlamak üzere farklı bitkileri simüle eden modelleri kullanıma sunmuşlardır (Bao vd., 2017).

Yine modellerin en uygun koşulu belirlemek için farklı bakım uygulamaları altında da çalışmalar yapılmıştır. CERES ve CropSyst modellerinin uygun değer sulama gereksinimlerini belirlemek amacıyla farklı azot ve su yönetimi koşulları altında buğdayın büyümesini ve verimini öngörmek için Yeni Delhi'deki tarımsal alanda denemeleri yapıldı. Büyüme mevsiminde dört sulama, üç sulama ve iki sulama olmak üzere üç su rejimi ile beş azot işlemi (N0, N60, N90, N120 ve N150) altında yapılan çalışmada her iki model de maksimum azot ve sulama alan işlemlerden elde edilen veriler yani N150 ve dört sulama kalibre için kullanıldı. Modeller daha sonra diğer su ve azot işlemleri ile de testi yapıldı. Hem CERES-Buğday, hem de CropSyst de çimlenme, çiçeklenme ve fizyolojik olgunlaşma tarihleri için oldukça tatmin edici uyumlar sağlandı. (Singh, Tripathy, & Chopra, 2008). Bir başka çalışmada da DSSAT-Buğday modeli ile buğday veriminin simülasyonunda 510 kg/ha KOH ile gayet iyi

sonuçlar elde etmiştir (Rezzoug vd., 2008). Ayrı bir çalışmada ise Kuraklık için Tarımsal Referans Endeksi (ARID) olarak adlandırılan genel bir tarımsal kuraklık indeksi, öncesinde kuraklıktan elde edilen ürün verim kayıp miktarının tahmininde kullanılmak üzere su stresi miktarını (sulama farklılıkları) belirlemek üzere denenmiştir. Bu alışma ABD'nin güneydoğusundaki farklı bölge ve yıl boyunca günlük geçmiş iklim verileri ile pamuk, mısır, yer fıstığı ve soya fasulyesi verimleri elde edilmiştir. Her bir bölge için ARID'in günlük değerleri hesaplanmış ve aylık ortalama değerlere dönüştürülmüştür. rn verimi regresyon analizlerini bitki büyüme mevsimi boyunca aylık ARID değerlerine göre kullanarak, her ürün için ARID-verim ilişkileri geliştirildi. Kuraklıktan verim kaybını tahmin edebilme yeteneği, KOH, Willmott indeksi ve modelleme verimi kullanılarak değerlendirildi. Sonuç olarak, ARID temelli verim modellerinin, bu ilgili bitkiler için kuraklıktan elde edilen verimin makul bir doğrulukla tahmin edilebileceğini göstermiştir (Woli vd., 2014). Bursa'da yapılan başka bir çalışmada DSSAT V4 bitki-iklim modelinin, Gnen, Pehlivan ve Köksal-2000 ekmeklik buğday çeşitlerindeki farklı sulama düzeyleri için verim parametrelerinin tahmininde kullanım olanağı irdelenmiştir. Çalışmanın yapıldığı her iki yılda da, model sonuçları ile gerçek tarla sonuçları, ilk yılda sırasıyla 6613 kg/ha-6240 kg/ha, ikinci yılda ise 3517 kg/ha-3447 kg/ha ortalama ile büyük oranda benzerlik göstermiştir (Mor, 2005).

Gözlemlenen/llen sonuçlarla model sonuçlarının karşılaştırıldığı ayrı bir çalışmada ise, APSIM-Buğday ve CERES-Buğday, 2008-09 tarımı yılı boyunca ölçülen verilerle doğrulanmış genetik katsayıları kullanarak beş buğday çeşidi için kalibre edilmiştir. Her iki model ile de, olgunlaşma günleri, maksimum yaprak alanı indeksi, biyokütle ve tane verimi KOH % 10'dan az, d-indeksi 0.80'den büyük ve model etkinliği % 80'in üzerinde bir doğrulukla simüle edilebilmiştir. Tüm eşitler için maksimum YAI birikimindeki zamansal değişiklikler hem ölçülen hem de simüle edilen değerlerin birbirine uyumlu olduğunu göstermektedir. Gözlemlenen ve ölçülen verilerle yapılan değerlendirme, her iki modelin performansının, bitki fenolojisi, YAI, biyokütle ve tane verimi gibi tahmin edilen sonuçların gözlemlenen sonuçlara göre gerçekçi olduğunu gösterdi (Ahmed vd., 2016). CSM-CERES-Buğday ve CSM-CERES-Mısır modellerini parametreleştirmek için İtalya'da yapılan başka bir çalışmada ise, makarnalık ve ekmeklik buğday ile mısır bitkilerinin fenoloji ve verimini tahmin etmek için kullanıldı. Her türün seçilen eşitleri için genetik parametreleri optimize

etmek ve çeşitli istatistiksel indisleri dikkate alarak modelleri değerlendirmek için 10 yıllık (2001–2010) veri seti ile modellerin çeşitlerine özgü parametreleri optimize etmek için GLUE yöntemi ve deneme yanılma yaklaşımları uygulanmıştır. Sonuçlar, özellikle deneme yanılma ile optimize edilmiş parametrelerle, fenoloji ve verim için iyi model performansı göstermiştir. Model kalibrasyonu ve değerlendirmesinde hem çiçeklenme hem de verim için gözlemlenen ve simüle edilen veriler arasında oldukça anlamlı ($p \leq 0.001$) korelasyon bulundu. KOH değerleri, çiçeklenme için altı ile dokuz gün arasında değişmiş olup, mahsul verimi için 1,1 ile 1,7 ton/ha arasında bulundu. Ayrıca d-indeksi de çiçeklenme zamanı için 0,96 ile 0,98 arasında ve verim için ise 0,8 ile 0,87 arasında değişmiştir (Mereu, Gallo, & Spano, 2019).

Buğdayın gelişimi (development), birincil olarak sıcaklık tarafından yönlendirilir, ancak aynı zamanda vernalizasyon ve fotoperiyod gibi diğer faktörlerden de etkilenir. Bununla birlikte, gelişimin termal süre veya fizyolojik zaman açısından belirlenmesi, fenolojik evrelerin oluşumu için gerekli olan kalorik enerjinin birikimi olduğu için daha doğrudur. Bununla ilgili yapılan bir çalışmada kışlık buğdayın farklı çeşitlerindeki başlıca fenolojik evreler için taban sıcaklığının saptanması ve farklı fenolojik evreler için termal sürenin tahmin edilmesi için taban sıcaklığı kullanılarak bir fenolojik model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Sekiz buğday çeşidindeki üç kritik gelişim evresindeki taban sıcaklıklarını belirlemek için vernalizasyon süresi temel alınarak seçildi. Her çeşidin her kritik dönemi için taban sıcaklığı ve Gürcistan'daki üç lokasyonda 1999'dan 2010'a kadarki termal süre açısından üç temel fenolojik sürecin süresi başarıyla hesaplandı (Salazar-Gutierrez vd., 2013).

Her ne kadar genel olarak gözlemlenen değerlerin tarla gözlemi ile tahmini bir tarih belirlense de İran ve Pakistan'da yapılan çalışmada buğdayın çiçeklenme ve olgunlaşma günlerinin tahmini istatistiksel indisler ile bulunmuştur. Bu günlerin tahmini olan fenoloji, bitkinin büyüme ve verimini de etkilemektedir (Mubeen et al., 2016). Bu nedenle, fenolojik değerlerin doğru bir şekilde tahmin edilmesi genotipik çeşitliliği, yaprak gelişimini, kuru madde üretimini ve tane verimini gösterir (Boken ve Shaykewich 2002; Nasim vd., 2016a).

Bitki büyümesini ve gelişmesini tüm yönleriyle etkilediği için, iklimin tarımdaki en sınırlayıcı faktör olduğu düşünülmektedir (Zapata vd., 2015). Bu nedenle dünyada iklim değişikliğinin etkileri, bitki rotasyonu, beslenmesi, su ve azot yönetimi gibi birçok konuda çalışmalar yürütülmektedir (Toscano vd., 2012). Ayrıca iklim

değişikliğinin tarım uygulamaları üzerindeki etkisini model çalışmalarına dâhil edilmemesi durumunda, modellemelerin tarımsal bilime olan katkı sınırlı kalacaktır. Çünkü iklim değişikliği, tarım ve gıda üretimindeki genel büyüme koşullarını yağış ve sıcaklık dağılımlarını değiştirerek sel, kuraklık gibi çeşitli şekillerde etkileyebilmektedir (Čustović, Ljuša, & Sitaula, 2016).

Buğday bitkisi, iklim değişikliğine karşı oldukça hassastır, özellikle de ekimden sonraki evrelerde yaşanan sıcaklık değişimleri ile kendini göstermektedir. Bu nedenle, iklim değişikliğinin buğday verimini nasıl ve ne ölçüde etkileyeceğini bilmek ve buğday üretimindeki olası olumsuz sonuçlarını azaltmak için uyarlanabilir stratejileri değerlendirmek büyük önem taşımaktadır.

Küresel İklim Modelleri (GCM) ve bunların farklı Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP) senaryoları altında aynı şekilde iklim değişikliğiyle ilgili belirsizlikler hakkında birçok farklı yararlı bilgiler sağlamaktadırlar (Fenech & Comer, 2013). GCM'lerin ölçek küçültme yöntemi ile bölge düzeyinde daha yüksek çözünürlüklü verilerle iklim tahminlerini elde etmek daha hassas sonuçlara götürmektedir (Gaur ve Simonovic 2019).

Eko-fizyolojik modeller, iklim değişikliğinin gelecekteki tarımsal verimlilik üzerindeki potansiyel etkilerini tahmin etmek ve yerel paydaşların ve politika belirleyicilerin adapte etme seçeneklerini incelemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Derleme çalışmalarından birinde, İklim değişikliğinin tarımsal sistemleri nasıl etkileyebileceğinin çeşitli yönlerini incelemek için mahsul simülasyon modellerini kullanan 221 adet hakemli makale incelendi. Makalede incelenen altı konu alanı içerisinde hedef ürünler ve bölgeler olarak yaklaşık 170 makalede buğday, mısır, soya fasulyesi ve pirinç kullanılmıştır. Avrupa 64 makale ile ABD ise 55 makale ile ilk sıralarda üzerinde en çok çalışılan başlıca bölgelerdi. CO₂ etkisini simüle etmek için kullanılan en yaygın yaklaşım, günlük radyasyon kullanım verimliliğini (RUE) ve transpirasyon uyumlaştırmayı içermekteydi. Adaptasyona yönelik çalışılan makaleler ağırlıklı olarak bitki ekim tarihlerinde ve bitki çeşitlerinde meydana gelen değişiklikleri incelemiş olup sadece 20 makale, farklı toprak işleme uygulamaları veya ürün rotasyonlarını test etmeye yönelik çalışmalarda bulunmuştur (White, Hoogenboom, Kimball, & Wall, 2011).

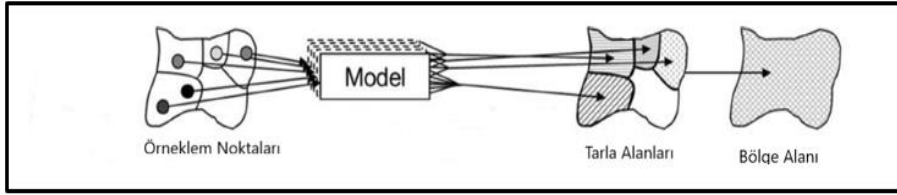
Bu konuda Hindistan'daki 4 farklı bölgede yapılan çalışmalarda, üç iklim modelinde (GFDL-ESM2M, MIROC5 ve NorESM1-M) gelecekteki projeksiyon yıllarında (2025, 2050 ve 2075) DSSAT-Buğday (v4.5) modelinde iklim değişikliğinin buğday verimine etkileri incelenmiştir. Ludhiana'daki pozitif yağış anomalileri (+76 %) ve Raipur'daki negatif anomaliler (-15 %) gelecekteki iklimlerde tahmin edilmiştir. Bu bölgelerdeki iklimsel değişimin verimdeki olumsuz etkilerinin, alana özgü bir veya bir dizi buğday bakım uygulamaları ile en aza indirildiği de görülmüştür (Sandeep et al., 2018).

Son zamanlarda Türkiye'deki iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki etkisi konusunda da çalışmalar yapılmıştır. Örneğin, iklim değişikliğinin Türkiye'deki Trakya bölgesindeki buğday tarımına etkisini değerlendirmek için dinamik süreç dayalı model (AFRC2) ve deneysel veriler kullanılmıştır (Özdoğan, 2011). Çukurova bölgesindeki ayrı bir doktora tez çalışmasında ise bölgesel iklim modeli kullanılarak 2071-2100 yılları arasında iklim değişikliğinin 1. ve 2. ürün mısır verimine etkisine yöneliktir. WOFOST bitki modelinin kullanıldığı bu çalışmada 1. ve 2. ürün mısır dane verimleri sırasıyla % 4.5 ve % -5.0 oranında gözlenenlerden farklılık göstermiştir (Şen, 2009). Bazı çalışmalarda ise RCP öncesi kullanılan B1 senaryoları ile iklim değişikliğinin buğday üzerindeki etkisini değerlendirmek için hesaplanabilir genel denge (CGE) modeli ve deneysel veriler kullanıldı (Dudu ve Çakmak 2018). Diğer bir çalışmada ise iklim değişikliğinin etkisini araştırmak için istatistiksel yaklaşım kullanılmıştır (Dogan ve Karakas 2018). Tüm bunlarla birlikte, bugüne kadar yapılan hiçbir çalışmada, iklim değişikliğinin CERES-Buğday modülü çiftçi tarlaları seviyelerinde kullanılarak yüzyıl ortası ve sonu için RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına değerlendirilmesi yapılmamıştır.

Bu yaklaşımlarla modeller, yerel tarla ölçeğinde gerekli tüm girdilerin mevcut olması ve çevresel koşullar iyi tanımlandığı durumda diğer ifade ile eksiksiz veriler uygulandığında oldukça iyi işlev gördüğünü göstermektedir. Fakat daha geniş alanlarda (örneğin ilçe, il ve bölge) modellerin uygulanması gerektiğinde, bu tür bitki büyüme modellerinin ihtiyaç duyduğu girdi verileri (değişen toprak ve iklim şartları nedeniyle) sağlıklı ve uygun çözüm olamamaktadır. Fakat tarla ölçekli çalışmayı bölgesel ölçeğe genişletmek için halen çalışmalar yürütülmektedir (Şekil 1.2). Bölgesel ölçeğe geçiş için öncelikle homojen toprak ve hidrolojik özelliklere sahip alanlar belirlenmesi gerekir. Fakat incelenen alanlar için, mekânsal heterojenlik

etkileri baskın ise öncelikle toprak-su-bitki ve iklim kombinasyonları için tarla ölçekli bir model çalıştırılarak analiz edilir. Daha sonra ortalama değerlerden bölgesel analiz aşamasına geçilebilir.

Ewert ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, tarımsal sistemlerdeki karmaşık entegre değerlendirme problemlerini ele almak için ölçek değişiklikleri ve model entegrasyon yöntemlerine yönelik kavramsal bir analiz çalışması üzerinde durulmuştur (Ewert vd., 2011).



Şekil 1.2 : Tarla temelli model çalışmasından bölgesel verime geçiş için agregasyon şeması. Ewert'den (2011) uyarlanmıştır.

Tüm bu faktörlerle bitki modellerinin geniş alanlarda uygulanmasında düşük performanslara da neden olabilmektedir. Bu tür problemlerin üstesinden gelmek için uzaktan algılama görüntülerden elde edilen bilgilerinin kullanılması bir diğer seçenektir. Bu da demektir ki modelin doğru sonuca ulaşması için onu etkileyen girdi faktörlerin bilgisini gerektirirken, uzaktan algılama verileri ile de bu faktörlerin gerçek etkisi tahmin edilebilmektedir. Günümüzde uzaktan algılama verilerinden de faydalanarak gerekli bilgilerin elde edilmesi ile tarımsal alanlara yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları sadece indislerden yola çıkarak verim modeline yönelik olurken, bazıları ise meteorolojik verileri de dâhil ederek hatta bitki modeli ile birlikte kullanılarak sonuca ulaşmaya çalışılmıştır. Fakat nihai hedef bitkinin tüm vejetasyon sürecinde hâlihazırda değerlendirmede bulunulabilmeyi amaçlamaktadır. Bu arada uzaktan algılama yaklaşımında farklı zamansal ve mekânsal çözünürlük durumlarında geniş tarımsal alanlarda verimliliği tahmin etmede bir çözüm olarak kullanılabilirdiği farklı araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir (Moriondo vd., 2007). Spektral modellerin tersine çevrilmesi gibi daha karmaşık yaklaşımlar, geniş alanlara uygulanmasında daha büyük zorluklar olduğu anlamına gelir. İl düzeyinde, simüle verim sonucu ile gerçek verim arasındaki ilişki, daha yüksek verimlerde azalan (> 12 ton/ha) bir eğrisel model tarafından daha iyi tanımlanmıştır. Uzun zamanlı gerçek ve simüle edilmiş ortalama verimden elde edilen yıllık verim sapmalarından

tahmin edildiği gibi, gerçek ve simüle edilmiş verim anomalilerinin karşılaştırılması, ilçe düzeyinde doğrusal bir ilişki olduğunu göstermiştir (Doraiswamy vd., 2005).

Öncelikle indisler kullanılarak yapılan birçok çalışma arasındaki bir çalışmada buğday verim tahmini için HTU, PTU ve GDD gibi tarımsal-meteorolojik indisleri; NDVI ve SVI gibi uzaktan algılama indisleri ile tahmini eğilim verimi (TEY) kullanılarak tatmin edici sonuçlara ulaşılmıştır (Bazgeer vd., 2008). Diğer çalışmada ise bitki büyümesi ve gelişmesi, yakalanan radyasyon, fotoperiyodiklik ve sıcaklığa bağlı olarak biyokütlenin birikimine dayalı olarak simüle edilmesi üzerine olumlu değerlendirmelere ulaşıldı (Woli vd., 2016).

Verim tahminleri için kullanılan geleneksel yöntemler yoğun emek ve zaman alıcı olmasının yanında farklı köy ve tarlalardan toplanan yetersiz örneklemeler de bölgeyi temsil etmekten çok uzak kalmaktadır (Hamzacebi ve Es 2014). Bu nedenle, uzaktan algılama görüntülerinden verim tahmini uygulamaları çok yararlı bir araç haline gelmiştir (Prasad vd., 2006; Pveey vd., 2007). Ayrıca buğday verim tahminlerinin miktar bilgisinin doğru ve zamanında alınması da politika yapıcıların ithalat ve ihracat kararlarında oldukça yararlı olmaktadır (Das ve Singh 2013; Dempewolf vd., 2014; Saeed vd., 2017).

Aslında birçok farklı disiplinlerde çalışan uzmanlar çevresel problemlere çözümler ararken büyük oranda uzaktan algılama görüntülerinden yararlanmaktadırlar. Geniş tarımsal alanlardaki bir takım analizlere destek sağlanması yönüyle bu görüntülerin kullanımı büyük önem arz etmektedir. Görüntülerden elde edilen NDVI gibi indisler kullanarak farklı değerlendirmelerde de bulunulabilmektedir (Serrano vd., 2000; Doraiswamy vd., 2003; Ahmad vd., 2018a). Özellikle NDVI, bitki verim tahmini için yaygın olarak kullanılan güçlü bir verim tahmin indisidir (Olsson vd., 2005; Moriondo vd., 2007; Wall vd., 2008; Ahmad vd., 2018a). Örnek olarak NDVI indisi tane doldurma aşaması gibi bitkinin kritik büyüme safhalarında verim ile güçlü bir korelasyona sahiptir (Moriondo vd., 2007).

Ayrıca arazi örtüsü sınıflandırmaları, verim tahmininde bulunmak için kullanılan ekim alanını sınıflandırmada atılan adımlardan biridir. Arazi örtüsü sınıflandırmasında random forest (Saeed vd., 2017), SPIDER yazılımı (Chikushi vd., 1990), olay temelli muhakeme (CBR) sistemi (Burgos-Artizzu vd., 2009), üzüm tanıma sistemi (Reis vd., 2012) ve piksel tabanlı sınıflandırma (Esetlili vd., 2018) gibi farklı yaklaşımlar için de

kullanılmaktadır. Türkiye’de çalışma alanı olarak Türkgeldi Tarım işletmesinin seçildiği doktora tez kapsamında, tarımsal haritalama amaçlı hazırlanan görüntü işleme prosesinde girdi olarak multi-temporal görüntü seti kullanılmıştır. 2007 yılına ait 5 adet SPOT 4 (optik) ve 1997 yılına ait 6 adet JERS (radar) uydu verisinin kullanıldığı iki ayrı proste görüntü analizi olarak nesne-tabanlı sınıflandırma yöntemi tercih edildi. Çalıştırılan proste aşamalı olarak tüm sınıflandırma işlemleri tamamlandıktan sonra sonuç çıktıya ulaşılmıştır. Değerlendirme aşamasında nesne-tabanlı sınıflandırma işlemi doğruluk analizine tabi tutulmuştur. Her iki veri setinin de ayrı ayrı segmentasyon ve sınıflandırma işlemlerindeki sorun ve çözüm yaklaşımları değerlendirilmiş olup otomasyon açısından hazırlanan bu çalışmanın başarısı irdelenmiştir (Uça Avcı, 2011).

Bir başka çalışmanın amacı, bölgesel ürün rotasyonu, verim ve ekim tarihi tahminlerinin doğruluğunu ve kesinliğini uzaktan algılama ile ölçmektir. Buğdayın Yaqui Vadisi'nde baskın ürün olması nedeniyle, diğer ürünler için de tahmin edilen tek alan olan buğday ile verim ve ekim tarihi tahminlerinin başarıyla uyumlu bir sonuçla yapıldığı anlaşılmıştır (Lobell vd., 2003).

Bunların dışında bitkilerin kanopisinden yansıyan radyasyonun kullanılarak vejetasyon indislerinin hesaplanması ve ürünlerdeki azot eksikliğini bile tespit etmek için uzaktan algılama tekniğinin kullanılabildiği de ayrıca diğer çalışmalarda görülmüştür (Karvee vd., 2014). Ayrıca üretimdeki verim boşluklarını ölçmek ve açıklama gerekçelerini uzaktan algılamanın potansiyel değerini özel olarak ele almak olan bir başka çalışmanın dayanağı, verim boşluklarını anlamaya yoğunlaşması, geleneksel tarım uzmanları için yeni yaklaşımların büyük bir potansiyel değere sahip olması ve uzaktan algılamanın böyle bir araç olabileceğini göstermekti (Lobell, 2013).

Uzaktan algılanan verilerin, DSSAT-CERES-Mısır modülü ile birlikte kullanıldığı mısır verim tahmini hakkındaki bir çalışmada, modeli MODIS YAI indisleri ile bütünleştirilerek mısır verimini başarıyla tahmin eden entegre bir bitki simülasyon modeli geliştirildi. Bu çalışma, YAI ve bitki örtüsü indislerinin ilçe düzeyinde bitki veriminin tahminini iyileştirmek için birleştirilmiş bitki büyüme ve ışınım transfer modeline asimile edilmesiyle yapılan önceki çalışmaları genişletmiştir. YAI'yi ayrı ayrı ve aynı zamanda YAI - bitki örtüsü indisinin sinerji olarak özümsemesine etkisi de incelenmiştir (Fang vd., 2011). Araştırmadaki ilk adım, 400-700 nm aralığındaki yansıma spektrumundaki doğal bilgi içeriğini değerlendirmektir. Daha sonra,

vegetasyon fraksiyonunu ölçmek için sadece yeşil ve kırmızı olan görünür spektrumdaki bantlara dayanan spektral indisleri incelendi. Son olarak, gelişmiş indisler buğday ve mısır tarlalarından alınan bağımsız veri setleri ile doğrulanmıştır (Gitelson vd., 2002). Bu çalışmada ayrıca, YAI tahmini için vegetasyon indislerinin çok yıllık ve bölgesel ölçekte kullanımında da değerlendirilmiştir (Liu vd., 2012).

Ürün verim tahmininin doğruluğu ve hızı, ekonomide fiyatı etkilemesi ve fazla veya eksik üretim koşullarına karar vermede yardımcı olur. Hindistan'da sulama kontrolü ile yetiştirilen buğdayın ürün verimi ve su etkinliği tahmininde uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi teknikleri kullanılmıştır. Buğday yetiştirilen tarla şartlarında NDVI ve SAVI indislerini belirlemek için kış mevsiminin farklı aylarına ait bir IRS P6 görüntüsü ve dört geniş alan sensör görüntüsü kullanılmıştır. Buğday bitkisinin ekiminden sonra zamansal ve mekânsal olarak dağılmış spektral büyüme görünüşü ve bu indisler ile buğdayın gerçek verimi arasında tutarlı bir korelasyon sağlandığı anlaşılmıştır. (Gontia ve Tiwari 2011).

Uzaktan algılama görüntü indisleri ile verim tahmin çalışmaları hakkında Türkiye'nin Güneydoğu'sundaki ekili pamuk ve mısır alanlarının parsel seviyesinde rekolte tahmin modeli oluşturma ile ilgili bir diğer çalışmada, çoklu zamansal ve yüksek mekânsal çözünürlükteki uydu görüntüleri, ekili parsellerin günlük dijital fotoğrafları ve günlük meteorolojik veriler kullanılmıştır. Araştırmada dijital fotoğraflardan VCF tahminleri üretmekte ve bu bilgi ile uydu görüntülerinden elde edilen spektral bitki örtüsü indeksi arasındaki ilişkiler tanımlanmıştır. Ayrıca sıcaklık ve buhar basıncı açığı gibi bitkilerin LUE'sini sınırlayan meteorolojik parametreler de hesaplanmış olup verim tahmin modeli sürecine dâhil edildi. Çalışma sonuçlarına göre verim tahmininde CC – fPAR yaklaşımının pamuk ve mısır bitkileri için başarılı değerlendirmeler ürettiğini ortaya koymuştur (Alganci vd., 2014).

Yapılan bir başka çalışmada çok basit olarak önerilen yaklaşım, NDVI indeksinin, absorbe edilmiş fotosentetik olarak aktif radyasyon (FPAR) ve fizyolojik bitki koşulları (hasat indeksi) ile bağlantısından istifade edilmiştir. Bununla birlikte, daha ileri entegrasyon teknikleri veya Terra-MODIS tarafından alınanlar gibi daha yüksek uzaysal çözünürlükte NDVI verilerinin kullanılması ile farklı gelişmeler beklenmektedir (Maselli ve Chiesi 2006).

Bununla birlikte, makine öğrenmesi metotları da, veriler hakkında ayrıntılı bilgi sağlayan yaratıcı ve öngörücü bir diğer yararlı araçlardır. Makine öğrenmesi, teorik model sağlamanın gerekmediği ve veriler hakkında önceden bir varsayımın olmadığı deneysel bir yaklaşımdır (Lary vd., 2018). Bununla ilgili tarımsal alanda yapılan bir çalışmada, verim tahmini için karar ağacı ve rastgele orman tabanlı makine öğrenmesi yaklaşımları denendi. DSSAT simülasyon modeli, 1981'den 2025'e kadar olan dönem için verimi tahmin etmek için kullanıldı. Bu çalışmada ayrıca Hindistan meteoroloji bölümünden 1981-2016 arasındaki iklim verileri ile 2017-2025 arası RCP 4.5 iklim değişkenleri kullanılmıştır. Girdi değişkeninden öğrenebilecek ve bitki büyümesini ve gelişimini gerçek zamanlı olarak tahmin edebilecek bir karar sistemi sağlamak için elde edilen sonuç, rastgele orman ve bitki verim tahmininden tahmin edilen verilerden $R^2 = 0.67$ ve 281 kg/ha KOH olduğunu gösterdi. Çalışma, NASA'dan Terra (EOS AM-1) ve Aqua (EOS PM-1) isimli dünya gözlem sistemi uydularından MODIS verilerini kullanmış olup değerlerini NDVI değerleri ile karşılaştırarak tahmin edilen verimi doğrulamıştır. Burada yüksek NDVI değerlerinin daha fazla bitki örtüsü ve daha fazla verim anlamına geldiğini ve bu nedenle, verimin tahmininde karar ağaçları ve rastgele ormanların kullanılabileceği sonucuna varıldı (Bhatnagar & Gohain, 2005).

Bangladeş'te yetiştirilen dört ana bitki (Boro ve Aus pirinci, Buğday ve Patates) verimini tahmin etmek için uygulanan bu araştırma nem koşulunu niteleyen Gelişmiş Çok Yüksek Çözünürlüklü Radyometre (AVHRR) sensör tabanlı bitki örtüsü sağlık indislerinin uygulanmasını ve hasattan önce mahsul verim tahmini için sıcaklık durum indisleri hakkında olmuştur. Farklı ürün büyüme ve verim parametreleri arasındaki karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri öğrenme yeteneği nedeniyle, verim tahmin uygulamasında yaygın şekilde kullanılan Yapay Sinir Ağları (YSA), güvenilir ve başarılı tahmin modeli geliştirmek için uzaktan algılama uydu verileri ile başarılı bir şekilde uygulandığını göstermiştir (Akhand, 2018).

Bitki modellerine benzer daha farklı bir çalışmaya göre ise, uzaktan algılama ve yersel gözlem verilerine dayanarak bitkinin durumunu izlemek için "uyarlanabilir olay tetiklemeli" bir model yöntemi önerildi. Önerilen modelde, fenolojik aşamanın tahmini, ürünün genel durumunu öngörmenin bir parçası olduğu ve mekânsal olarak dağıtılmış uzaktan algılama parametreleri ile yersel izleme verilerinin birlikte kullanıldığı bir girdi olarak "durum uzay" modelinde kullanıldı. Buradaki zamansal veriler, uzamsal verilerin aşama yönelimli zamanlamasına göre bölünmüştür. Bu

nedenle genelleştirilmiş bir ayrık durum uzay modeli yerine, bir Mealy makinesinde olduğu gibi, analog girdilerle ve uyarlamalı olay tetikleme fonksiyonlarıyla birleştirilmiş mantıksal durumlar kullanılmıştır. Sonuçlar, gözlem parametrelerinin, geleneksel tarımsal veri birleştirme tekniklerine nazaran verim durumunun izlenmesinde oldukça büyük bir öneme sahip olduğunu göstermiştir (Üstündağ, 2017).

Tüm çalışmaların akabinde de çeşitli simülasyon senaryolarının kombinasyonu, hava, arazi kullanımı, toprak, sulama, yeraltı suyu seviyesi ve kalitesi gibi değişkenlerin elde ettiği tematik haritalardan oluşan bir CBS görselleştirme de yapılabilmektedir (Wesseling ve Feddes 2006).

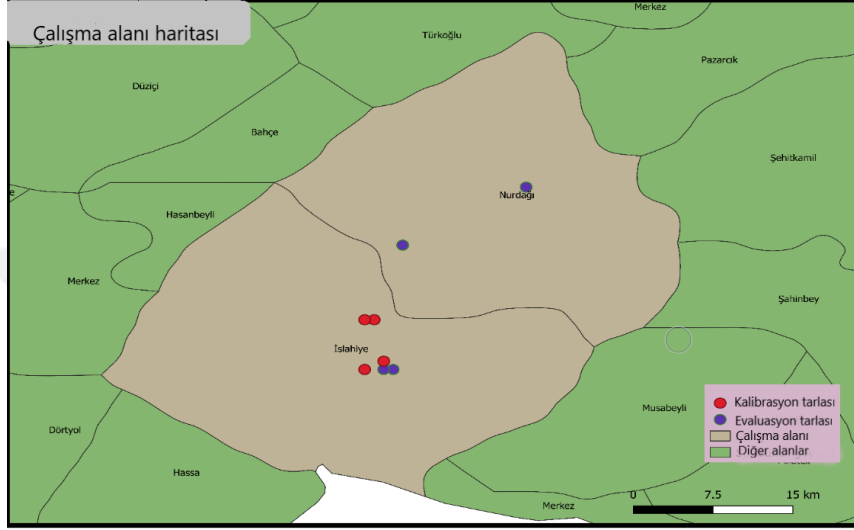
1.3 Çalışma Alanı ve Bitki

Akdeniz ile Güneydoğu Anadolu'nun kesişim noktasında yer alan çalışma bölgesi, batısındaki Amanos dağları ile doğusundaki Sof dağları arasında bulunan güneybatı-kuzeydoğu yönünde uzanan tektonik kökenli verimli bir ovadır (Şekil 1.3). Eğimin olmadığı ya da çok az olduğu sahalarda tarımın yoğunlaştığı alanlar olup eğimin yüksek olduğu sahalarda ise genelde ormanlar ile kaplıdır. Çalışma bölgesinde toprak sınıfı olarak kırmızı Akdeniz (Terra-Rossa), kolüvyal ve kısmen alüvyal topraklardan oluşmaktadır (M. A. Çelik, 2012) .

Nurdağı 36° 40' kuzey; 36° 54' doğu ve İslahiye ise 37° 11' kuzey; 36° 57' doğu lokasyonunda bulunmaktadır (Şekil 2.7). 2017 yılı itibari ile toplam tarımsal ekim alanı, Nurdağı'nda 23 bin hektar ve İslahiye'de ise 25 bin hektar (Türkiye İstatistik Kurumu, 2017) olup aynı yıl için kaydedilen ortalama maksimum sıcaklık 22.23 °C ve minimum sıcaklık 11.05 °C'dir. Yıllık toplam yağış ise Nurdağı'nda 737 mm iken, İslahiye'de 791 mm olarak kaydedilmiştir. Bölgenin deniz seviyesinden yüksekliği > 425 m verimli bir ova olup buğday en çok yetişen en önemli olan bitki durumundadır.

Çalışmamıza konu olan Golia çeşidi, Bitkiler (Plantae) âleminin, tohumlu bitkiler (Spermatophyta) bölümünün, kapalı tohumlu (Angiospermae) alt bölümünün, tek çenekliler (Monocotyledoneae) sınıfından, kavuzlu çiçekliler (Glumiflorae) takımına bağlı, Buğdaygiller (Gramineae) familyasından, buğday (Triticum) cinsinden, ekmeklik buğday (Triticum aestivum) türüne ait bir çeşittir. Bitki, serin iklim tahılları grubunda olup kromozom sayıları (2n)= 42'dir. Dünyada ve Türkiye'de yetiştirilen buğdayların tamamına yakını ekmeklik ve makarnalık buğdaylar grubuna dâhil olup

bunların üretiminin % 80–90'ını ekmeklik buğdaylar oluşturur (Geçit, Çiftçi, İkincikarakaya, & Kaya, 2008). Kromozom sayısına göre hekzaploid grubunda olan ekmeklik buğdaylardaki basakçıklar, başak eksenine üzerine makarnalık buğdaylara göre daha seyrek olarak dizilmişlerdir. Golia dışında ayrıca Gerek 79, Bezostaja 1, Ceyhan 99, Cumhuriyet 75, Pandas, Pehlivan gibi Türkiye’de toplam 47 adet tarımı yapılan ekmeklik buğday çeşidi bulunmaktadır (Sağlam, 2010).



Şekil 1.3 : BSM çalışmaları kapsamında kullanılan bölge ve tarlaların lokasyonu.

Morfolojik özellikleri olarak ise Golia, kılıçlıklı ve kısa olup dane rengi kırmızıdır. Yarı sert daneye sahip bu çeşit, soğuğa ve kurağa da oldukça dayanıklıdır. Verimi oldukça yüksek olup hasat dönemi olarak orta erkencidir. Hastalık durumu olarak ise yaprak hastalıklarına, sarı, kahverengi ve kara pas ile septoria’ya ayrıca tane dökmeye toleranlı, fakat küllenmeye karşı hassastır. Golia’nın dane ağırlığı 36-37 gr/1000 adet ve hektolitre ağırlığı, 76-78 kg/lt’dir. Son olarak protein oranı % 14-16 arasında olup sahil bölgeleri ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi için özellikle önerilen bir çeşittir (TİGEM, 2014).

Bitkilerin fenolojik sınıflandırılması yapılırken genellikle Zadok, Feekes (Feekes, 1941) ve BBCH (Lorenz et al., 1994) tahılların büyüme aşamaları için ondalık tarzı rakamsal kodlarla belirlenirler. Buna göre, tüm diller için ortak bir payda olarak kabul edilebilmesi için öncelikle 0 ile 9 arasındaki sembollerle tanımlanan ana büyüme aşamaları tespit edildi. Daha ayrıntılı çalışma sağlamak için, her bir ana büyüme aşaması, ikincil büyüme aşamalarına ayrıldı. İkincil büyüme aşamaları da aynı şekilde 0 ile 9 arasındaki sayılarla belirlenerek aşamalar açık kodlarla isimlendirildi (Zadoks, 1985).

Bitkilerin gelişme evreleri genel itibari ile toprakların ve tohumun uygun hale getirilmesi ile ilk önce ekim işlemi gerçekleştirilir. Ekim sonrası ortamda yeterli su, sıcaklık ve oksijenin bulunmasıyla tohum içerisindeki embriyonun aktif hale geçtiği çimlenme (germination) evresi ve çimlenen tohumdan kendilerine ait kökleri ile büyümeye başlayan fide büyüme (seedling growth) evresi gelmektedir. Ardından birden fazla sapaın meydana geldiği kardeşlenme (tillering) evresi ile kardeşlenmeyi tamamlamış bitkinin gerekli gün uzunluğuna kavuşması ve başak taslağını oluşturarak boğum araları aracılığıyla boyunu uzatmaya başladığı sapa kalkma (stem elongation) evresi bulunmaktadır. Sapa kalkma evresi ilerledikçe generatif organ olan başağın büyüme ve gelişmesi, son boğum arası olduğu zaman başağın bayrak yaprağı kını içerisinde oluşturduğu şişkinlik daha da belirginleşir. Gelişme evresi ilerledikçe başakçıklardan oluşan başak tamamıyla bayrak yaprağı kınından dışarıya çıkması evresine başaklanma (booting) evresi ile çiçeklerin açmaya başladığı dönem (inflorescence emergence) ve bu dönemin de tamamlandığı çiçeklenme (anthesis) evreleri gelmektedir. Son olarak tozlaşma ve dölllenme olaylarının akabinde tanenin içinin doldurulmaya başladığı süt olum (milk development) evresi ve bu süreç sonrası da hamur olum (dough development) ile devam eden evre en son içinini doldurmayı tamamlayan başakların artık tipik rengini almaya başladığı evre olan olgunlaşma (ripening) evresi ile bitki artık hasada hazır hale gelmiş olmaktadır.

Çalışma, bitkilerin yetişmesine uygun iklimde ve verimli toprakların olduğu Gaziantep'e bağlı İslahiye ve Nurdağı ovalarında buğday bitkisi üzerinde yapılmıştır. Aşağıda Şekil 1.4 de TUBİ, TUÇE ve TUGO'nun bulunduğu örnek tarlalar gösterilmiştir. Verim tahmininde bulunmak amacıyla yapılan çalışmada bitki olarak bölgede en çok tercih edilen Golia çeşidi seçilmiştir. Öncelikle genetik katsayıların belirlenmesi, sahada gerçek verim sonuçları ile DSSAT modeli sonuçlarının yaklaştırılması açısından önem arz etmektedir. Çalışma bölgesinde ekim nöbetine giren diğer bitkiler ise kırmızıbiber, şeker pancarı, mısır ve pamuk olarak sayılabilir.

Bölgede buğday ekimleri, her yıl kasım ayının ikinci haftasında toprak hazırlığı ile başlayıp, sonraki yılın haziran ayının ortalarında yapılan kontrollerin ardından hasat edilmeye karar verilmektedir. Gaziantep'te üç sezon (2014-2015, 2015-2016 ve 2016-2017) süresince toplam 18 adet tarla, aynı zamanda araştırma tarlaları olarak seçildi. Bu tarlalarda buğdaylar biber ve şekerpancarı gibi bitkilerle ekim nöbetine girdikleri için 2014 yılında 9, 2015 yılında 5 ve 2016 yılında ise 10 tarlada buğday ekildi. Bunlar

içerisinde de gübreleme ve sulama gibi bakım uygulamalarının yeterince yapıldığı ve bitkilerin strese girmediği ayrıca toplanan veriler açısından da en uygun olan 8 tarla (2016-2017) kalibrasyon ve evaluasyon için seçildi. İklim verilerinin TARBİL istasyonlarından sağlanan tarlaların, toprak verimlilik analizleri ile çiftçilerden alınmış bakım verileri ve ayrıca çiçeklenme ve olgunlaşma tarihi gibi gözlemlenen (GÖZ) veriler ile YAI ve biyokütle ağırlıkları gibi ölçülen (ÖLÇ) veriler hassasiyetle takip edilerek toplandı. DSSAT bitki modelinde kullanılmak amacıyla toplanan tüm bu verilerle, bölgedeki buğday verim tahminlerinin sağlıklı bir şekilde yapılması amaçlandı.



Şekil 1.4 : Akınyolu (TUBİ, TUÇE) ve Gözlühöyük (TUGO) tarlaları.

Bunun için öncelikle DSSAT modelindeki CERES-Buğday modülüne eklenen veriler kalibrasyon ve ardından tespit edilen parametrelerle evaluasyon yani model performans testleri yapıldı. Daha sonra bölgenin iklim değişikliğine etkisinin değerlendirildiği DSSAT modelinin sezonsal strateji analizi uygulaması ile geçmiş uzun dönem ölçülmüş gerçek verim değerlerinden hareketle gelecek uzun dönem simüle edilmiş tahmini verim sonuçları hesaplandı.

Aynı şekilde uzaktan algılama çalışmaları kapsamında da 2016 Kasım ayından 2017 Haziran ayına kadar olan (13 adet) sezonda tüm bölgenin Landsat-8 görüntülerinden elde edilen NDVI görüntüleri ve Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS)'den temin edilen 600 tanesi Nurdağı ve 530 tanesi de İslahiye ovasındaki tarlalar kullanılarak bölgesel verimleri hesaplandı.

Tüm bu araştırma sonuçlarının Türkiye'nin diğer tarımsal bölgelerdeki araştırmalara destek sağlayacağı öngörülmektedir.

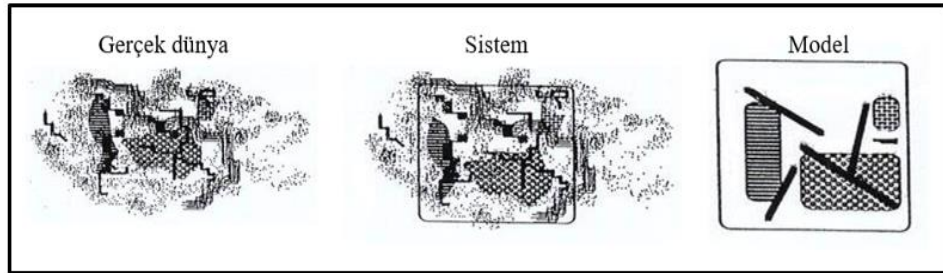
2. BİTKİ SİMÜLASYON MODELLERİ

Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi tarımsal üretimi etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve buradan çıkarılacak bilgi ve deneyim ile bilinçli hassas ölçütlerle tarım uygulamaları yapılması çok önemlidir. Bu, üreticilerin birim alandan yüksek verim elde etmelerine katkı sağlayacaktır.

Farklı çeşitteki bitkilerin ilgili yörenin iklim ve toprak koşullarına uyum gösterip göstermeyeceği ve ayrıca iklim değişkenliğinde yaşanan tarımsal kuraklık gibi olası faktörlerin bitkisel üretime etkilerinin ne olacağı konularında sonuca ulaşmak için bitki gelişimini benzeştiren modeller ile sağlanabilmektedir (Özcan 2014).

Türkiye gerek binlerce endemik bitki türleri gerekse de buğdayın gen merkezi olması nedeniyle çeşit geliştirme ve bunları yararlı formatlarda değerlendirme kapasitesine sahip bir ülkedir. Bu nedenle tüm bitkilerde olduğu gibi tahılların da vejetatif ve generatif dönemleri kapsayan yetiştirme periyodu içerisinde farklı fenolojik dönemler ile her dönemdeki fizyolojik ve morfolojik parametrelerin, bitkinin gelişimini nasıl etkilediğinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir.

Tüm simülasyon modelleri, yazılımsal olarak gelişmiş fonksiyonlardan oluşmuş matematiksel denklemlerin hesaplanması temeline dayanmaktadır. Bu da gerçek dünyanın sınırlı bir parçasını dâhil eden sistemler teşkil edilmesi ve basitleştirilerek kontrol edilebilir bir temsil haline getirilmesi ile kurulan modeller olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Gerçek dünya, sistemleştirilmiş ve modellenmiş durumunun temsili gösterimi. The Art of Modelling Course (2015), Wageningen Univ.'den uyarlanmıştır.

Sistem, tanımsal olarak bir bitkinin yaprağı ya da insan vücudu gibi elementler arası ilişkileri de kapsayan gerçek dünyanın kontrollü bir şekilde sınırlandırılmış bir parçasının her yönüyle tanımlanmasıdır. Model ise ilgili sistemin basitleştirilmiş bir temsilidir. Simülasyon da modeldeki elementler arası ilişkilerin matematiksel altyapısının kurulması ve o yapıları davranış biçimlerine göre tasarlanmasıdır. Kısaca modeller sistemlerin davranışlarını simüle etmek için kullanılan bilimsel çalışmalar bütünü olarak da özetlenebilmektedir (Reidsma, Katrien, & Temme, 2015). Gözlerin bakış açısını genişletmede kullanılan mikroskop ve teleskop örneklerinde olduğu gibi, zihinlerin de algısını genişletmek ve anlamayı kolaylaştırmak için de dinamik bitki simülasyon modellerini çalıştıran bilgisayar programları kullanılmaktadır.

Simülasyona tabi tutulan bu sistemin süreç içerisinde değişimin zamana göre ortaya konulması ise dinamik model olarak tanımlanmaktadır. Dinamik modeller bitki fizyolojisindeki proseslerin zamansal hareketlilik açısından izlenmesi ve doğru simülasyonda bulunabilmesini sağlamaktadır.

BSM genel olarak; iklim, toprak, bakım ve bitki genetik faktörlerin etkileşimini entegre bir şekilde hesaplayabilme; "eğer" senaryoları ile alternatif uygulamalar sağlayabilme ve çiftçiler için alternatif yönetim uygulamaları geliştirebilme esnekliğine sahiplerdir. Dolayısıyla, teorik olarak, bu modeller bitki-toprak-iklim parametreleri ile potansiyel verim etkileri arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için uygun olduğu anlaşılmıştır (Ratjen ve Kage 2015). Farklı bir ifade ile modeller, bakım (yönetim) seçeneklerini belirleme imkânı sunmak ve çok çeşitli yönetim uygulamalarını araştırmak üzere bir sistemin davranışını iklim ve toprak koşullarıyla bütünleşen günlük zaman dilimlerinde taklit etmek amacıyla tasarlanmıştır. Bunlar bir veya daha fazla diferansiyel denklem kümesi kullanarak zaman içinde hem oran hem de durum değişkenleri ile hasada kadar hesaplamaları yapılır. Bu modeller, bazı sistemlerin optimizasyon algoritmasıyla, sistem türetme çözümlerinin pratik işletimi için yönetim girdileri açısından en iyi seçeneğe karar vermek için kullanılmıştır (Berhane, 2018).

Tüm bitki modelleri, araştırmacılar, öğretmenler, bilim adamları, yayım eğitimciler, politika yapıcılar ve planlamacılar için sürdürülebilir ve uzun vadeli alternatif bakım uygulamaları ve değerlendirilmelerini desteklemede yararlı araçlar olabilmektedirler (Nasim vd., 2016a).

Dinamik özelliklere sahip olan bu modeller, diğer disiplin alanlarında olduğu gibi bitkinin büyüme koşullarını da en iyi şekilde yansıtmaya çalışan modellerdir. Dünyada bu alanda birçok model arasında, DSSAT, WOFOST, APSIM, CROPSYST ve STICS en kapsamlı olan ilk beş model arasındadır (Donatelli vd., 2002). Bu modeller özel olarak ya bitki türleri bazında modül olarak (DSSAT-CROPSIM CERES, NWHEAT, IXIM, CROPGRO gibi) yada tüm bitkilere uygulanabilecek genel modeller (CROPSYST) şeklinde de çalıştırılabilmektedir.

Proses ya da fizyolojik temelli olan BSM, çok geniş kullanım olanağına sahip olabilmektedir. Tarımsal arazi koşullarında bitki davranışının bilimsel etkilerini anlamak ve mevcut koşulları iyileştirmek için (Sinclair ve Seligman 2000) kullanılan bu modeller ayrıca iklim değişikliği gibi muhtemel senaryolar nedeniyle, iklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkisini anlamak ve adaptasyon stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olmak için de sıklıkla kullanılmaktadır (Asseng vd., 2009).

Modellerin sınıflandırılması, öncelikle “niceleyici” ya da “niteleyici” olabilmektedir. Niceleyici sınıf modelinde “topraktaki elektrik iletkenliği 0.4 mikro Siemens üzerinde olması durumunda, üretimde % 30 bir kayıp öngörülmektedir” gibi sayısal örneklerle değerlendirilirken, Niteleyici sınıf modelleri “toprağın güçlü derecede tuzlu özellikleri varsa, önemli üretim kaybı bekleyebiliriz” ifadesinde olduğu gibi sözel ifadelerin söz konusu olan model sınıflarıdır. Modeller ayrıca “fonksiyonel” ya da “mekanistik” sınıflara ayrılabilir. Fonksiyonel (deneysel ya da endüktif) modeller, bir sistemin iç mekaniği yani süreçleri bilinmemekle birlikte sadece sonuçların bilinmesidir. Örnek olarak “bitki örtüsü yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak kumlu tepelerin hareket hızının nasıl olduğu” açıklanmadan verilebilir. Mekanistik (dedüktif) modeller ise iç mekaniğindeki prosesleri bilinen ve bu proseslerin kurallara ve denklemlere de çevrilebilen modeller olup örnekteki kum tanelerinin rüzgârla hareketinin hesaplanması, bitki örtüsüyle çarpışması ve belirli hızlarda hareket eden kum tepelikleri ile sonuçlanması şeklinde bir açıklama ile verilebilmektedir. Üçüncü sınıflandırma da, “stokastik” ya da “deterministik” modeller olarak ayrılabilir ki stokastik model, çıktıların olasılık dağılımını veya ondan elde edilen değerleri vermektedir ve “varsayılan yağmur fırtınasının olası sonuçları şunlar çıkmıştır” örneğindeki gibi modelin her çalıştırılışında farklı sonuçlar vermektedir. Deterministik modelde ise model her çalıştırıldığında aynı çıktıyı yani aynı değeri vermekte olup “varsayılan yağmur fırtınası tam olarak şu sonuçları vermektedir” örneği verilebilir.

Son olarak “statik” ya da “dinamik” sınıflandırılan modellerde, Statik model, toprağın rengi, birim ağırlığı gibi değişmeyen tek bir çıktı değeri olan modelleri kastederken dinamik modeller yaprakların günlük kuru madde biriktirme miktarı gibi daha çok zaman içerisindeki değişen sonuç çıktılarına yoğunlaşmaktadır (Reidsma et al., 2015).

Aslında model türünün amaçlarına göre ve model karmaşıklığına dayalı olarak farklı birçok bitki modeli vardır. Genellikle, bitki modelleri tanımlayıcı veya açıklayıcı modeller olabilir. Bununla birlikte, ayırım her zaman açık değildir çünkü çoğu süreç tabanlı modeller de deneysel ilişkiler içerebilirler, ancak regresyon modelleri gibi tamamen deneysel modeller oldukça belirgindir (Berhane, 2018).

Tanımlayıcı modeller: Bir sistemin davranışını basit bir şekilde simüle eder. Tanımlayıcı modellerde, deneysel veriler, bir sistemin davranışını tanımlayabilen bir veya daha fazla matematiksel denklemi bulmak için kullanılır.

Ampirik modeller: Verim tahmininde kullanılan birkaç değişken içeren sistemin basitleştirilmiş bir matematik modelidir. Bununla birlikte inşa edildiklerinden farklı koşullarda uygulama yeteneği olmadığından gerçekçilik ve genellik eksikliği çekerler. Bu tür modeller, gözlenen verilerin doğrudan tanımlarına dayanır ve bir veya birkaç faktörle birlikte regresyon denklemleri olarak ifade edilir ve verim tahmininde kullanılır.

Açıklayıcı modeller: Bu modeller, bir sistemin davranışını yönlendiren mekanizma ve süreçlerin nicel bir tanımından oluşur. Açıklayıcı bitki büyüme modelleri, fotosentez, yaprak alanı genişlemesi gibi oran değişkenlerini hesaplar ve bunu biyokütle, verim gibi durum değişkenleri olarak değerlendirir.

Modeller sadece, modeli neden yaptığınıza cevap verebiliyorsanız bir anlamı olmaktadır. Bunlar da uygulama amaçlarına göre, explorative (hipotezler üreterek sistemin nasıl çalıştığını keşfeden) modeller, ters (hangi koşulların gözlemlere neden olabileceğini bulan) modeller, postdictive (gözlemlediklerimizin doğru bir şekilde simüle edilip edilmediği) modeller ve predictive ise (gelecekteki olay ya da gelişmeleri tahmin etmeye yönelik) modellerdir. Son olarak Complexity modeller de gözlemlere yol açan süreçler hakkındaki mevcut tüm bilgileri özetleyen modellerdir.

Sistem sınırları içerisinde bulunan ve model hesaplamalarına dâhil edilecek toprak, iklim ve bakım bileşenlerine bağlı değişken ve parametre tür ve özelliklerin kısaca açıklanmasında yarar bulunmaktadır (Şekil 2.2). Model simülasyonu kapsamında

giriş, çıkış ve ara değerlere sahip olan bu verilerden değişkenler model içerisinde prosese dâhil olan ve sabit olmayan değerlerden oluşmaktadır. Sistem bileşenlerinin koşullarını herhangi bir zamanda tanımlayan miktarlar olan Durum (State variable) değişkenleri ve bu miktarları günlük tabanda birikimler olarak hesaplayan Oran (Rate variable) değişkenleri bulunmaktadır. Bir sistem sadece bir tane veya birkaç adet durum değişkenine sahip olabilmektedir. Durum değişkenlerinin toplanması, incelenmekte olan sisteme nelerin dâhil olduğunu belirler. Örneğin, sisteme toprak mineral azotunun dâhil edilmesine karar verilirse, toprak mineral azotu bir durum değişkeni olacak ve model, bu değişkenin zaman içindeki evrimini tanımlayan bir denklem içerecektir. Eğer toprak mineral azotu bir durum değişkeni olarak dâhil edilmeyecek ise, yine de açıklayıcı (explanatory ya da exogenous, forcing, driving variables) olarak dışardan bir değişken olarak dâhil edilebilir, yani bitki büyümesi ve gelişmesi üzerindeki etkisi yine de düşünülmesi gerekmektedir.

Sisteme girdi olarak bilinmeyen ve doğrudan ölçülmeyen miktarlar olarak tanımlanan parametreler, sistem davranışları, gözlemler ve ölçümler kullanılarak tahmin edilmelidirler. Örnek olarak, bir bitkinin Fotoperiyodik duyarlılığı sayılabilir. Çünkü bu miktarlar, bir sistemin model bileşeninin parametresidir. Son olarak sabitler ise, model bileşenleri hakkında yapılan şartlar ve varsayımlardan bağımsız olarak aynı kalan miktarlardır. Sabit değerlerinin örnekleri arasında glikozun moleküler ağırlığı verilebilmektedir. Parametreler ve sabitler, durum değişkenlerinin nasıl değiştiğini ölçerek sistem modelinin matematiksel ilişkilerinde (denklem 2.1) kullanılır (Wallach, Makowski, Jones, & Brun, 2014) .

Wallach (2014)'a göre dinamik bir sistem modelinin genel formu ise:

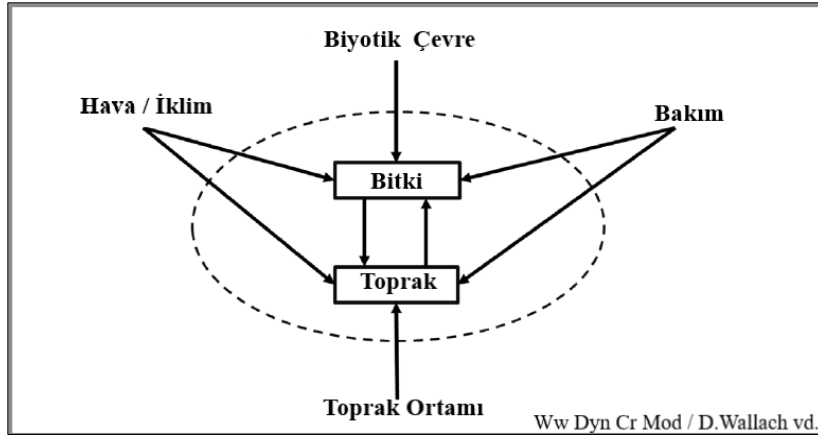
$$\frac{d(U(t))}{dt} = U(t), X(t), (\theta) \quad (2.1)$$

t = zaman (gün)

$U(t)$ = t zamanındaki durum değişkeni

$X(t)$ = t zamanındaki çevre değişkeni

θ = sistem bileşeninin parametresi

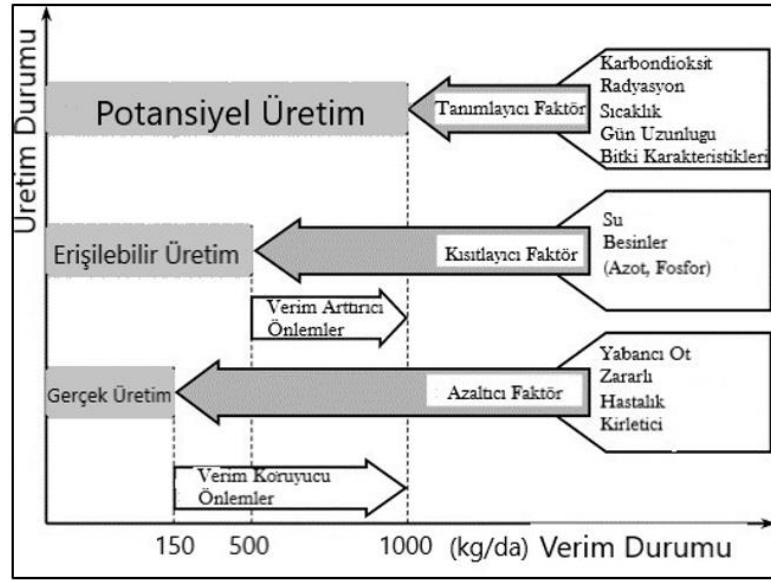


Şekil 2.2 : Sistemdeki iklim, toprak ve bakım bileşenleri ile bitki arasındaki etkileşimi gösteren BSM'nin şematik diyagramı, Wallach (2014)'den uyarlanmıştır.

2.1 Kademe Esaslı BSM

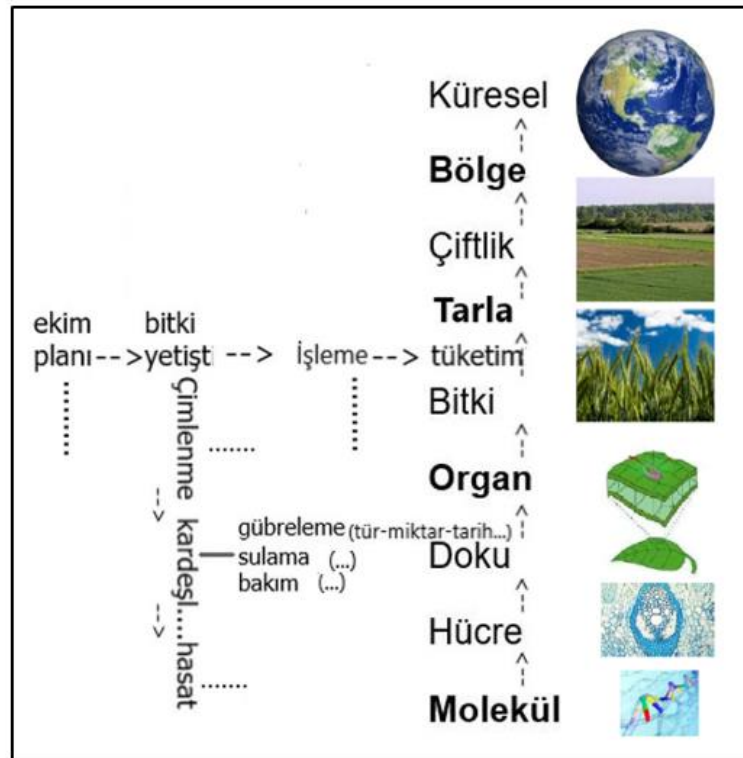
Bitkiler içerik, bölge veya yetiştirme şekli gibi farklılıklara göre sınıflandırılabilir. Tropik yada ılıman kuşakta yetişen bitkiler gibi tarımsal ekolojik bölgeye göre bitkiler, yağ ya da lif bitkileri gibi ürün kaynağına göre bitkiler, C3 veya C4-bitkileri gibi fizyolojik özelliklere göre bitkiler ve son olarak, tek yıllık, iki yıllık veya çok yıllık bitkiler gibi yaşam döngüsü süresine göre farklı şekilde sınıflandırılırlar. Çeşitli kombinasyonlar halinde interaksiyona giren bu bitki bileşenleri, insanların gıda, lif ve enerji gereksinimlerinin en temelinin üretmek için manipüle edilen etkileşimli biyolojik, fiziksel ve kimyasal süreçler içerir (Wallach et al., 2014)

Bu nedenle bitki simülasyon modelleri üç farklı kategoriye göre değerlendirilmektedir. “Potansiyel üretim” olarak adlandırılan ilk kategoride hiçbir sınır olmadan havadaki CO₂ konsantrasyonu, radyasyon ve sıcaklık gibi dış faktörlere ve ayrıca fizyoloji ve fenoloji gibi bitki özelliklerine göre tanımlanır. Fakat potansiyel üretim her zaman mümkün olmadığını dolayı bitkiler genellikle su veya besin yetersizliği gibi bitkinin büyüme oranını kısıtlayan “Erişilebilir üretim” olarak adlandırılan ikinci kategoriye göre işlev görmektedir. Hatta gerçek üretimde bu şartlardan da kötü durumda olabilmektedir. Bu ise, yabancı otların, zararlı böceklerin ve hastalıkların etkisiyle su veya besin sınırlı üretim şartlarının daha da sınırlayan ortam olan “Gerçek üretim” kategorisinde üretim yapılmaktadır (Van Ittersum & Rabbinge, 1997). Ayrıca bitki modellerinin çok karmaşık olan proseslerini farklı kademelerde ele alınması ile daha kolay anlaşılması sağlanabilmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Bitkilerin büyüme tanımlayıcı, büyüme kısıtlayıcı ve büyüme azaltıcı faktörler ile üretim farklılıkları arasındaki ilişkiler, Ittersum (1997)'den uyarlanmıştır.

Tarımsal sistemler çok faktörlü yani farklı boyutlarda uygulama, zaman ve mekâna sahip ve birbiri ile ilişkili bileşenlerin oluşturduğu karmaşık bir yapıdan oluşmaktadır (Şekil 2.4). Bu nedenle birçok modeldeki işleyişi daha kolay anlamak adına tüm kademeler içinden birkaç tanesine değinilecektir.



Şekil 2.4 : Tarımsal sistemlerde çok faktörlü boyutlara sahip bileşenlerin kademe temelinde tanımlanması, Asseng'den uyarlanmıştır.

biyokimyasal yoldan bitki türlerine özgü olan C3 ve C4 bitki türlerine göre gerçekleştirilir. Buğday bitkisinin de dâhil olduğu C3 bitkilerinde rubisco enzimi biyokimyasal işleme dâhil edilmektedir. Ayrıca asimilasyonda ışık yoğunluğu da çok önemli bir etken olup, tek bir yaprağın (C3 bitkileri için yaklaşık 40 kg CO₂ / hektar yaprak, saat) brüt asimilasyon oranı, ışık yoğunluğu ile doğrusal olarak artar (Bessembinder et al., 2008).

Bakım ve büyüme yani asimilasyon solunumu olarak ayrılan solunumun prosesinde bakım solunumu, mevcut organların çalışması için gereken enerjiyi sağlarken asimilasyonda ise karbonhidrat, lignin, protein, organik asit ve yağlar gibi yapısal bitki materyallerine dönüştürülmesi, besinlerin ve minerallerin alınması, taşınması ve son ürünlerin sentezi için enerji sağlanması işlemleri yapılmaktadır. Bitki büyümede bu asimilatların, kuru maddeyi (KM) oluşturan nihai ürünlere biyokimyasal dönüşümü olarak tanımlanır. Organik bileşiklerin oluşumunun biyokimyasal yolları iyi bilinmesi nedeniyle, dönüştürme faktörleri (karbonhidratlar için yaklaşık 0,78 gr ürün/gr glikoz) büyük bir doğrulukla hesaplanabilmektedir. Ayrıca dönüşüm faktörlerinde ilgili kimyasal bileşimler dikkate alınarak bitki organları arasındaki dağılım oranları ayrı ayrı ifade edilebilmektedir (Bessembinder et al., 2008) .

2.1.2 Bitki organları seviyesi

Tüm bitkiler farklı organlara sahip olmakla birlikte kök, gövde, sap, yaprak, çiçek ve meyve gibi ortak organları bulunmaktadır. Yeşil yapraklar asimilasyonun gerçekleştiği organlardır. Gövde ve sapsar ise içinde su ve çözülmüş maddelerin taşındığı organlar olup, kökler bitkileri toprağa bağlayan ve topraktan su ile besin maddelerini çeken organ olarak görev yaparlar. Depolama organları ise yumru kökler (kalınlaşmış kökler veya kök parçaları), soğanlar ve tohumlar gibi genellikle bitki cinsine göre değişen ve bitkinin farklı yerlerinde bulunan organlardır. Çoğu bitki, genellikle bitkinin en yüksek ekonomik değere sahip kısmı olan bir ana ürün için yetiştirilir.

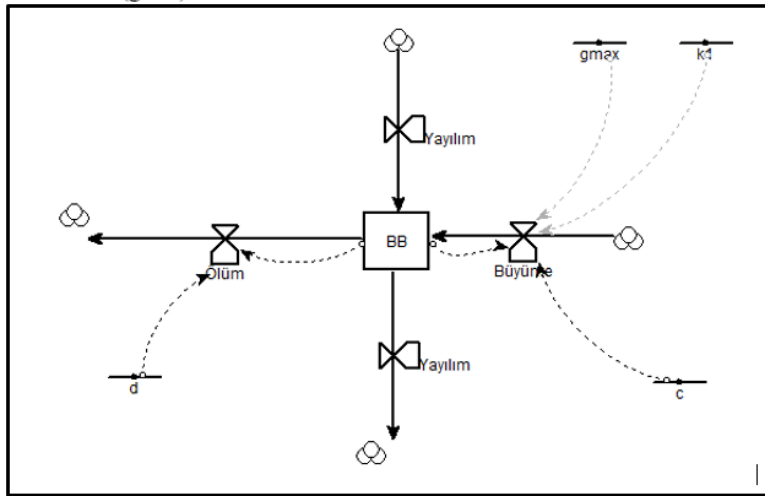
PAR, gelen toplam küresel radyasyonun yaklaşık yarısı kadardır. Bununla birlikte, PAR'ın tamamı ürün tarafından emilmez. Ortalama olarak, PAR'ın % 10'u tekrar yansıtılırken % 10'u da yapraklardan iletilen diğer tabakalara geçmektedir. PAR'ın geri kalan kısmı ise bitki yaprağı tarafından emilmektedir (Reidsma et al., 2015).

Yaprak alan indeksi (YAI), bitki tarafından ışığın yakalanmasında önemli bir parametre olup, m² yaprak alanı/m² yüzey alanı olarak tanımlanır. Bitkilerin

çimlenmesi esnasında önce çok az ve küçük yapraklar şeklinde görülür ve doğal olarak da YAI değeri düşük olmaktadır. Bu aşamada toprak yüzeyi yapraklarla pek örtülmediği için radyasyonun büyük bir kısmı doğrudan toprağa ulaşır. Daha sonraki büyüme sırasında daha fazla ve daha büyük yaprakların gelişmesi nedeniyle yapraklar birbirini gölgelendirmeye başlar ve kapalı bir kanopi oluştuğunda ise, hemen hemen tüm gelen ışık bitkiler tarafından yakalanır. Aslında kanopi, yatay olarak uzatılmış yaprak katmanlarından değil, yüzeyleri çeşitli açılarda eğimli olan yapraklardan oluşmaktadır. Bu, ışığın yapraklar üzerinde daha düzgün dağılmasına ve bitkinin daha da derinlerine nüfuz etmesine yol açar. Bitkinin alt tabakalarındaki PAR yoğunluğundan ve toplam YAI'den asimilasyon oranı hesaplanabilmektedir. Ortaya çıkan değerler, ışık yoğunluğu, maksimum asimilasyon oranı, bitki tipi ve ilk ışık kullanım verimliliğine bağlı olarak değişmektedir. Bitki Toplam biyokütlesi ise belirli alandaki birim gram miktarı olarak, bitki büyümesine, bitki kayıp oranına, geniş alandaki yayılım oranına bağlı olarak Reidsma (2015)'dan alınan aşağıdaki eşitliğe (denklem 2.2) göre hesaplanmaktadır.

$$\frac{dBB(x,y,t)}{dt} = [büyüme/zaman (t)] - [ölüm/zaman (t)] \pm [yayılım] \quad (2.2)$$

Bitki büyüme oranı (gr/gün) hesapları su sınırlı olduğu kabulü ile başlar ve ayrıca bitki büyümesinin lineer bir şekilde ilerlemesi, toprak su alımının yükselmesi ile ve bitkinin maksimum turgor durumunda olduğu kabulü ile yapılmaktadır (Reidsma et al., 2015). Şekil 2.6 da diyagramda gösterilen oran (büyüme, ölüm ve yayılım), durum (BB) değişkenleri ve parametreler (c, d, gmax ve k) olarak toplam birikim parametreler bazında günlük hesaplamalardan oluşmaktadır.



Şekil 2.6 : Bitki biyokütle (BB) birikim ilişki diyagramı.

Sayısal hesaplamada durum değişkeninin değişim oranı kısa bir süre için (Δt) sabit olduğu varsayılır. Ardından t zamanındaki durumu bilinen ve değişim oranı ile belirli bir zaman sonraki sistemin durumu diferansiyel denklemlerle hesaplandıktan sonra ($t+\Delta t$) zamanındaki durum değişkeni mevcut güne kadar olan toplam durum ile ilgili gündeki değişim oranının toplamı olarak hesaplanır. Bu şekilde Euler hesaplama metodu ile günlük bazda hesaplarla biriken toplam bitki biyokütle birikimleri hesaplanabilmektedir.

2.1.3 Bitki ve tarla seviyesi

Bitki büyümesi (growth) ile biyokütle birikimi gibi bitkilerin yetiştirme sezonundaki toplam ürün birikimi olan verim de model tarafından hesaplanabilmektedir. Ayrıca bitkinin toplam biyokütle ve ürünündeki ağırlık artışı gibi bitki gelişmesi (development) olarak adlandırılan bitki organlarının dış görünümü ve yaşlanma aşamaları da model tarafından dikkate alınmaktadır. Bir diğer ifade ile gelişme, uygun büyüme döneminin uzunluğunu belirleyen ve aynı zamanda ardışık fenolojik aşamalardan geçmesi olarak da tanımlanan önemli bir faktördür. Buğdaylar gibi bütün tek yıllık bitkiler tohumların çimlenmesi ile başlayarak kök, gövde ve yaprakların oluştuğu vejetatif evrede devam etmektedir. Gelişme döneminin generatif evresinde ise başaklanma, çiçeklenme, dölleme, tohum doldurma ve olgunlaşma ile sona ermektedir.

Bitki gelişmesi fenolojiyi etkileyen gün uzunluğu ve sıcaklık gibi çevresel koşullara da bağlı bulunmaktadır. Kışlık buğdaylar vernalizasyon denilen çiçeklenmeyi başlatmak için düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyulması ve uzun gün bitkisi olmasından dolayı gün ışığına ihtiyaç duyulması koşuluyla gelişme gösterebilmektedir. Gün içindeki direk, difüzyonla ve yansıtılarak gelen toplam güneş ışığı olan gün uzunluğu ile sadece direk gelen güneş ışığı süresi miktarını tanımlayan güneşlenme süresi birbirinden farklılık göstermektedir. Ayrıca sıcaklık tarafından da belirlenen gün bazındaki gelişme oranında daha yüksek sıcaklıklar fenolojik fazın uzunluğunu kısaltır. Yüksek sıcaklıklarda, çiçeklenme için gereken gün sayısı doğal olarak daha az olduğu için gelişme oranı artmaktadır.

Kuru maddenin bitki organlarında dağılımı da bitkinin gelişimi ile yakından ilgilidir. Bitkinin yaşam döngüsündeki çeşitli gelişim aşamalarında farklı organlar olduğundan bitki gelişimini kontrol eden çevresel faktörler kuru madde dağılımını önemli ölçüde etkilemektedir. Bir bitkinin kuru maddesi, ekonomik değerdeki ürüne

ve ürün artıklarına ayrılabilir. Aşağıdaki denklem 2.3'te de belirtilen tanelerin toplam kuru madde içindeki oranı (verim) , Hasat İndeksi (Hİ) olarak ifade edilir.

$$Hİ = \frac{\text{Tane kuru madde ağırlığı (kg/ha)}}{\text{Biyokütle kuru madde ağırlığı (kg/ha)}} \quad (2.3)$$

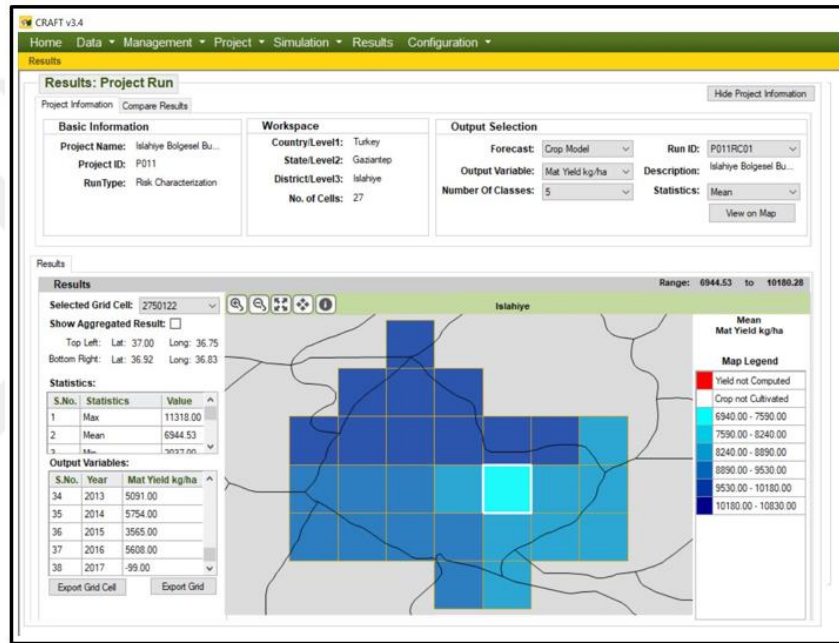
Buğday verimleri kuru madde ağırlığı ile ifade edildiği gibi taze ağırlık olarak da ifade edilebilir. Çünkü hasat edilen tanenin nem içeriği önemli ölçüde değişmektedir. Örneğin buğday tohumlarında yaklaşık % 13 oranında nem bulunmaktadır.

2.1.4 Bölge seviyesi

Bitki simülasyon modelleri noktasal sayılabilecek düşey profil toprak ve yerel bakım verileri kullanması nedeniyle nokta tabanlı uygulamalar olarak bilinir. Fakat bu modellerin bölgesel ölçekte verim tahminleri gibi uygulamalarla kullanılabilmesi için, çevresel koşulların mekânsal heterojenlik etkisini de değerlendirebilen faktörler hesaba katılması gerekmektedir. Tarla bazlı simülasyon modelleri hassas çözünürlük verileri ile kullanıldığından, bitki simülasyon modellerini "uzamsallaştırmak" için önce çözünürlük verilerini her bir grid hücresinde beslemek gerekir (Priya ve Shibasaki 2001). İyi bir çözünürlük daha fazla mekânsal ayrıntıyı yakalayabilir, ancak veri depolama, hesaplama maliyetleri ve sonuç analizlerinde zorluklara neden olur. Kaba bir çözünürlük ise daha az bilgi işlem kaynağı gerektirir ancak bu defa da mekânsal değişkenlikteki bilgisini kaybeder (Zhao vd., 2015).

BSM genel anlamda homojen toprak ve iklim faktörleri barındıran tarla bazlı risk ve verim çalışmalarında başarıyla uygulanmaktadır. Fakat duruma göre bazen ilçe, bölge ya da havza bazlı araştırmalara da ihtiyaç duyulmaktadır. Modeller bu gereksinimi genellikle konumsal analiz veya CBS ile entegre bir şekilde genişletmeye çalışmaktadırlar. DSSAT ve APSIM bitki modelleri bölgesel verim tahminlerinde kullandığı Bölgesel Tarım Tahmini Aracı (CRAFT), bitkisel üretimin sezon tahmini için tasarlanan esnek ve uyarlanabilir bir yazılım platform olup bölgesel verim tahminlerine ek olarak risk analizi ve iklim değişikliğine etki uygulamalarını da gerçekleştiren bir programdır (Vakhtang et al., 2015). Bu program aynı zamanda, bünyesinde çalışan DSSAT ve APSIM modellerini de kullanarak konumsal bitki simülasyonlarına dayalı çoklu simülasyon senaryoları, haritalamalar ve etkileşimli görselleştirmeler üretmek için kullanıcı dostu bir ara yüz olarak tasarlanmıştır (Şekil 2.7). Geçmiş yıllardaki verim istatistiklerini kullanılarak modelin kalibrasyonu da

sağlanan CRAFT, 5 ve 30 arc dakikalık çözünürlükte önceden tanımlanmış iki referans grid kullanarak konumsal değişkenlikler için grid veri şemaları da oluşturma kapasitesine sahiptir. Ayrıca iklim koşullarının geçmiş ve gerçek zamanlı verileri ArcGIS programı ile entegre çalıştıran CRAFT'ın entegre ve modüler yapısı, sistemin bölgesel alanlara kolayca uyarlanabilmesini sağlamaktadır. Özet istatistiklerle etkileşimli simülasyon sonuç haritaları da oluşturulabildiği gibi bitkisel üretimin konumsal ve zamansal değişkenliği hakkında bilgileri paydaşlara sağlayarak artan iklim değişkenliği ve ekstrem olaylarla ilgili tarımsal risklerin daha iyi yönetilmesini sağladığını göstermiştir (Shelia vd., 2019).



Şekil 2.7 : CRAFT bölgesel verim tahmin model programı arayüzü.

Bölgesel model ile verimin dışında birçok farklı parametre analiz sonuçları da elde edilmektedir. Model sonuç parametreleri arasında hasat indeksi, maksimum yaprak alan indeksi, verim, başakçık ağırlığı, yağış, drenaj, toplam evapotranspirasyon, yüzey akışı ve toplam biyokütle ağırlığı gibi sonuçlar verilebilmektedir. Model sonuç istatistikleri olarak ise, ortalama, medyan, standart sapma, varyans, maksimum ve minimum değerler, yüzdelik dilim gibi değerler elde edilebilmektedir.

2.2 Model Süreçleri

Genel bitki simülasyon modelleri uygulama alanı olarak birçok farklı amacı kapsamaktadır. Bunlar;

1. Model geliştirme gibi sistemi harekete geçiren ve bilginin yetersiz olduğu alanları vurgulayan araştırmalar
2. Disiplinler arası entegrasyonu sağlayıcı çalışmalar
3. Yerel kalibrasyonlarla bitki çeşit tarla uygulamaları
4. Hava koşullarındaki değişkenliğe bağlı olarak bitkisel üretimde küresel iklimdeki değişikliğin verim üzerindeki etkilerine karşılık mevcut ve gelecekteki iklim değişikliğine uyum stratejileri
5. Verimi artırmak için çevre dostu ve uygun bir şekilde yönetilen bakım uygulamalarını belirlemek (Özellikle düzensiz ve yetersiz yağışın hüküm sürdüğü kurak ve yarı kurak bölgelerde ekim tarihi, en uygun gübre oranları, sulama yöntemleri ve toprak işleme metotları gibi toprak yönetimi uygulamaları)
6. Araştırmacılar ve çiftçiler için büyük önem taşıyan hasat öncesi verim tahminlerinin model tarafından hesaplanarak belirlenmesi
7. Alternatif ekim nöbeti ve diğer bölgelere ekstrapolasyonu destekleme yeteneği ile zamansal ve mekânsal değişkenliğin nicelendirilmesine izin vermesi olarak sıralanabilmektedir (Oteng-Darko, Yeboah, Addy, Amponsah, & Danquah, 2013).

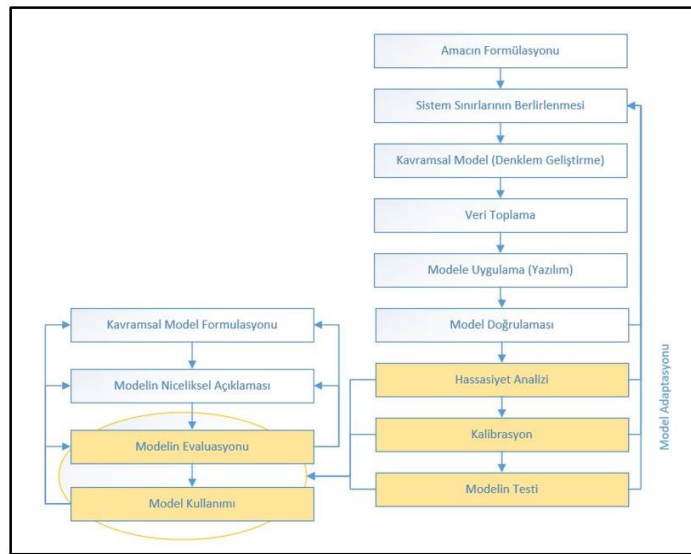
Tarımsal sistemin davranışını adım adım modelleyerek kullanılması süreci olan simülasyon modeli, aritmetik ve mantıksal işlemler serilerinden oluşmaktadır. Çevredeki sistemin ilk ve sonraki adımı arasındaki değişim farkının doğru hesaplanabilmesi modellemenin temelini oluşturmaktadır. Sistemi iyi tanımlayabilen uygun veri setleri seçilmesi ve değişkenler arasındaki matematiksel hesaplama ilişkileri de yerinde uygulanabilmesi durumunda elde etmek istenilen çıktı verilerinin zamanla değişimi izlenebilir ve doğru sonuca ulaşılır.

Modellerde genellikle sistemlerden mükemmel bir sadeleştirme yapılamaması diğer bir deyişle girdi verileri ve parametre değerlerinde hatalı yaklaşımlarla karşılaşılması olasıdır. Bu yüzden sistemin, model çıktıları ile ilişkili tutarsızlık ve belirsizlik derecesi her zaman mümkündür. Model tahminindeki güven derecesini sağlamak adına, belirsizliğin ölçülerek model giriş verileri ve parametre değerlerinin belirsizliğe ne derece duyarlı olduğu anlaşılabilir.

Model işlem adımlarına geçilmeden önce, yapılması planlanan araştırmanın amaçlarına ve sınırlarına yönelik çalışmaların belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra algısal (perceptual) model adımı olan, kurulması düşünülen modelin ne tür model kavramına girdiğinin belirlenmesi ve proseslerin hangileri olacağına karar verilmesi ile başlanmalıdır (Şekil 2.8).

Bu adımın belirlenmesinden sonra kavramsal (conceptual) model olarak bilinen gerçek dünya sisteminde sınırlanan alanın hangi bileşenleri ve değişkenleri içereceğinin ve bu bileşenlerin ilişkilerinin nasıl olması gerektiği konusundaki somut kararların alındığı adım izlenir. Ardından prosedürel (procedural) model yani model ilişki programları yardımı ile ilişki diyagramları kurulması ve bu ilişkilere göre matematiksel eşitlik formülasyonlarının tanımlanması adımı gelmektedir. Bu belirlenen eşitliklerle birlikte modeller bilgisayar programları aracılığıyla prensipte çalıştırılmasına hazır hale gelmiş olmaktadır (Reidsma et al., 2015).

Verilerin toplanması, modele uyarlanması ve modelin çalıştırılması ile birlikte sonuçlar alınmaya başlanır. Fakat modelin genetik parametrelerinin belirlenmesi için kalibrasyon aşaması ve modelin yarar derecesinin değerlendirildiği model performans testi adımlarının da tamamlanması gerekmektedir. Gözlemlenen gerçek değerler ile model ile tahmin edilen değerlerin güvenilirliğinin değerlendirildiği bu adım bir kısım alt adımlardan da oluşabilmektedir. Eğer kalibrasyonu yapılmış çeşitlerle çalışılacak ise sezonsal, konumsal ya da stratejik analizler yapılarak değerlendirilme aşamasına öylece geçilebilmektedir.



Şekil 2.8 : BSM’de genel süreç akışı, The art of modelling course (2015) Wageningen üniv.’den uyarlanmıştır.

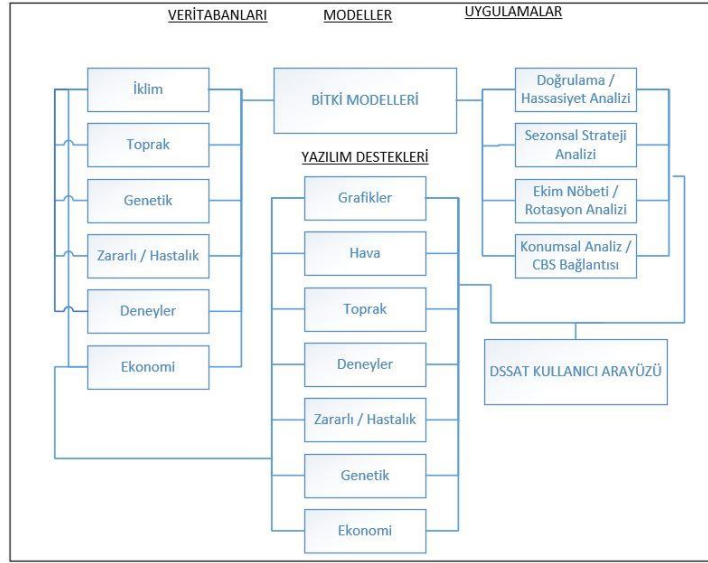
2.3 DSSAT Modeli

DSSAT, uluslararası düzeyde önemli bir proje olan IBSNAT için geliştirilmiş ve dünyadaki tüm araştırmacılar tarafından halen kullanılan aktif bir modeldir. Bu sistem, farklı amaçlar için 16'dan fazla (şu anda 25+) bitki türünün yetiştirilmesini kolaylaştırmak için modüller içeren bir yazılım paketidir (Jones vd., 2003). Ayrıca bitki verimlerinin simülasyonunda toprak, bitki genetiği ve çevre arasındaki etkileşimi göz önüne alarak aynı zamanda iklim değişikliğinin ürün verimi üzerindeki etkisini incelemek için de güvenilir araçlar olarak kullanılmıştır (Jones vd., 2003; Olsson vd., 2005; Challinor vd., 2010; White vd., 2011; Asseng vd., 2013; Ewert vd., 2015; Ahmed vd., 2018; Rahman vd., 2018). Dünyada ilk bitki modeli çalışmalarına 1970'lerin başında SUCROSE modeli ile başlanmıştır.

DSSAT BSM, tek veya çok yıllık bitkilerde üç ana bileşene (iklim, toprak, bitki genetiği) ek olarak en az minimum girdilerin gerektiği bakım uygulamalarıyla büyüme, gelişme ve verimi simüle eden tüm dünyada kullanılan önemli bir model konumundadır. Minimum girdilerle modelin çalışmasını sağlamak için, toprak profil bilgileri (pH, hacim ağırlığı, organik madde miktarı ve bünye), günlük hava durumu verileri (minimum ve maksimum sıcaklık, yağış ve güneş radyasyonu) ve bakım (bitki yoğunluğu, sıra aralığı, sulama ve gübre uygulamaları) gibi bileşenlerin değişken ve parametrelerin sağlanması gerekmektedir.

DSSAT bitki modelinde bulunan bitki genetik katsayı parametreleri, çeşit (CULTivar), ekotip (ECOtype) ve tür (SPECies) alt dosyalarında bulunmaktadır ve ekotip ve tür parametrelerinden farklı olarak cultivar parametrelerinin değerlerini elde etmek için hassas ölçümlerle bitkinin vejetatif ve generatif büyüme süreçlerinden toplanan verilerin analizleri sonucu sağlanan parametrelerden sağlanmalıdır.

Ayrıca tarımsal sistemleri daha kolay modellemek açısından model içerisinde tanımlanması gereken ana ve alt modüller bulunmaktadır. Hava, toprak, bakım, bitki ve toprak-bitki-atmosfer ana modüllerinin dışında ayrıca ekim, toprak sürümü, sulama, gübreleme ve hasat gibi alt modül grupları bulunmaktadır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 : DSSAT / BSM'nin bileşenlerine ve modüler yapısına genel bakış. Hoogenboom (2003)'den uyarlanmıştır.

Diğer modellerden farklı olarak belirsizlikleri en aza indirecek alt modeller geliştiren DSSAT modeli, bitki familyaları bazında ayrılan CROPGRO (Baklagiller), CERES (Tahıllar) gibi alt modülleri ile bitki çeşitlerine göre daha hassas hesaplama yapılabilmektedir (Jones et al., 2003). Fakat aşağıda formülü bulunan CERES modülü, radyasyon kullanım etkinliği yaklaşımı ve solunum faktörünün hesaba katılmadığı günlük bitki bazlı kuru madde birikimi hesabı (denklem 2.4) ile CROPGRO modülünden ayrılmaktadır.

$$PBO = \frac{RUE * PAR}{BS} (1 - e^{-k * YAI}) * CO_2 \quad (2.4)$$

PBO: Potansiyel Büyüme Oranı (gr/bitki)

RUE: Radyasyon Kullanım Etkinliği (gr kuru madde/Mega Joule (MJ) PAR

PAR: Fotosentetik Aktif Radyasyon (MJ/m²/gün)

BS: Bitki sayısı (bitki/m²)

k: radyasyon azalımı faktörü

YAI: Yaprak Alan İndeksi

CO₂: karbondioksit değişimlik faktörü

Günlük, mevsimsel ve ekstrem hava durumu değişkenliği, öngörülemeyen piyasa fiyatları, hastalık ve zararlı salgınları ile değişen politikalar nedeniyle tarım, “riskli” bir işletmedir. DSSAT ile özellikle Türkiye’deki tarımsal üretim yapılan bölgelerdeki

bu risk azaltmayı önemli oranda sağlayabilecek bir araçtır. Bu nedenlerden dolayı model tahminleri belirsizliği ve riski azaltmaya yardımcı olabilir. Çünkü “eğer” senaryolarını kullanan BSM, hava, toprak, bakım ve bitki genetik faktörlerin etkileşimlerini bütünleştirerek, çiftçiye fayda sağlayacak alternatif yönetim uygulamaları geliştirilebilir.

DSSAT modelinin kapasitesi açısından, birçok işlevinin bulunduğu özelliklere sahiptir. Bunları sıralayacak olursak öncelikle Coğrafi bilgi sistemleri ile de entegre edilerek konumsal değişkenlik analizlerinin yapılabilmesi gelmektedir. DSSAT'ın bir diğer önemli özelliği de farklı zamanlardaki iklim parametrelerine duyarlılığıdır. İklim değişikliğinin tarımsal üretimdeki küresel etkisini değerlendirmek üzere DSSAT de dâhil olmak üzere çeşitli modeller kullanılmıştır (Nelson vd., 2014).

Bununla birlikte dünyada farklı bölgeler için uygulanmak üzere modellerin geliştirilmesi ile modellerin bir arada performanslarının ölçülmesini sağlayan Multi-model çalışmaları da sürdürülmektedir. Bunlara örnek olarak AgMIP (Cynthia Rosenzweig et al., 2018) ve MACSUR modeller arası çalışmalar hız kazanmıştır (Ruane vd., 2016). Örnek olarak, AgMIP model geliştirme projesi çerçevesinde buğday bitkisinde 28 adet modelin performans karşılaştırması yapılmıştır (Martre vd., 2015). Ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitleri de dâhil buğdaygil familyasındaki tüm bitki cinslerinin simülasyonunun yapıldığı CERES-Buğday modeli, DSSAT çatısı altında işlev gören bir karar destek sistemidir (Jones vd., 2003; Xiong vd., 2007; Boote vd., 2011). Diğer bir tanıma göre ise DSSAT modeli içerisinde bulunan CERES-buğday modeli, fenoloji, büyüme ve verimi simüle eden kapsamlı bir bilgisayar yazılımıdır (Chisanga vd., 2014). Modelin büyüme aşamaları, radyasyon kullanım etkinliği (RUE) yaklaşımı ile modellenmiştir. Gelişme aşamaları ise, hem sıcaklıktan hem de gün uzunluğundan potansiyel olarak etkilenmektedir. Ritchie ve arkadaşları ayrıca, büyüme, gelişme ve verimin nasıl simüle edildiğine dair yaptığı araştırmalarla literatürlerde önemli oranda ek bilgi sağlamışlardır (Ritchie, Singh, Godwin, & Bowen, 1998). Tüm modeller, düzgün çalışabilmesi için bir dizi minimum veri giriş seti gerektirir. Tarla koşullarında nispeten kolayca toplanabilir ve bununla model mantıklı kaba çözümler sunabilir. DSSAT modeli hizmet amacına göre üç farklı performans seviyesinde veri gereksinimi duymaktadır (Jones, Hoogenboom, Boote, & Porter, 2004a). 1. seviyeye göre belirli bir deney veya uygulama için asgari veriler hava, toprak ve bitki bakım olup 2. seviye model testi veya değerlendirmesi için

gerekli asgari veriler (1. seviye verilerine ek olarak) GÖZ/ÖLÇ verileridir. 3. seviye olarak da (1. ve 2. seviye verilerine ek olarak) model geliştirme için gerekli asgari veriler ise araştırma raporları / yayınlar, detaylı deneyler (sıcaklık, su, azot ve diğer faktörlere tepki) ve bilgi arttırıcı özel deneyler olarak yapılmaktadır (Hunt & Boote, 1998).

2.4 Girdi Verileri

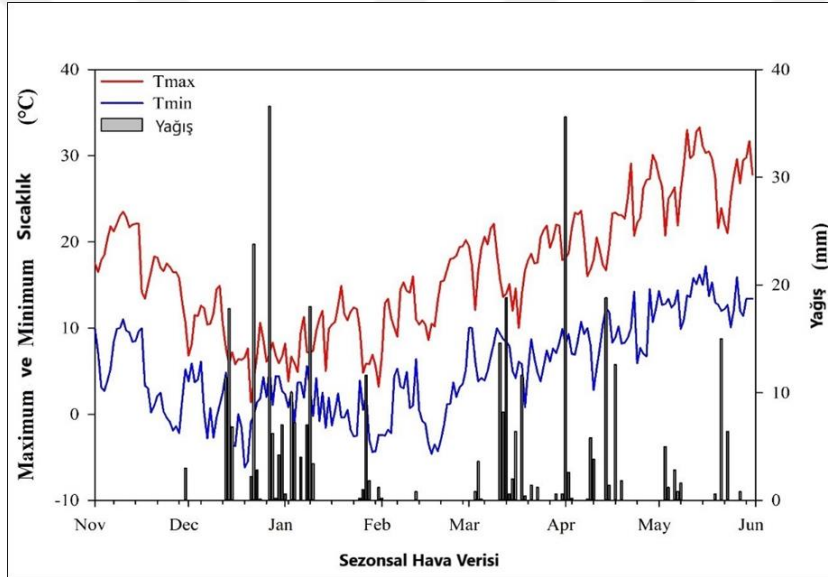
Mevcut bitki modelleri, yerel iklim koşulları, toprak özellikleri ve bitki bakımı yani yetiştirme uygulamalarına cevap veren bilgisayar tabanlı araçlar olarak, güvenilir sonuçlar elde etmek için birtakım girdilere ihtiyaç duymaktadır (Hoogenboom vd., 2012). Genel itibariyle model için toplanan girdiler, ekim, çimlenme, sulama, gübreleme, çiçeklenme ve olgunlaşma tarihleri gibi zamansal veriler, her bir birim metrekaresindeki bitki sayısı, bitkideki kardeşlenme sayısı ve başaktaki tohum sayısı gibi miktar verileri ile kök, sap, yaprak, tohum, biyokütle gibi ağırlık verileri şeklinde olmaktadır. Ayrıca bitkinin birim ürün miktarının biyokütleyle oranı olan hasat indeksi gibi iki çıktı arasındaki oran ile su kullanım (WUE) ve radyasyon kullanım (RUE) verimliliği gibi girdi ile çıktı arasındaki oran değerleri de elde edilebilmektedir. Bu bölümde, çalışma alanındaki tarlalardan toplanan girdi verilerine yer verilecektir.

2.4.1 İklim verileri

İklimin temel elemanları sıcaklık, yağış, oransal nem, güneşlenme süresi ve şiddeti, basınç, rüzgâr hızı ve yönü, buharlaşma gibi parametrelerdir. Bunlar gözlemlenebilen veya ölçülebilen parametrelerdir. Türkiye üç tarafının denizlerle çevrili olması, dağların uzanışı ve yeryüzü şekillerinin farklılık göstermesi gibi coğrafi nedenlere bağlı olarak bölgeler arasında farklı iklim tiplerine sahiptir (Arıcı, Gündoğdu, Aslan, Yaslıoğlu, & Kirmikil, 2011). Çalışma bölgesi daha çok Akdeniz iklimi özelliklerini göstermektedir. Bu, iklim yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Tarımsal İzleme ve Bilgi Sistemi (TARBİL) projesi kapsamında, İslahiye ve Nurdağı'ndaki çalışma alanımızda kurulan 4 adet (27.04 / 27.05 / 27.06 / 27.14) meteorolojik gözlem istasyonları aracılığıyla toprak ve hava meteorolojik verilerinden yararlanılmıştır. Ayrıca özellikle uzun dönem iklim projeksiyon verileri olarak da Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilmiştir.

İklim parametre verilerinden farklı bilgi ve indisler de türetilmiştir. En önemlileri arasında Fototermal (PTU) ve Heliotermal (HTU) indislerini de kapsayan Termal zaman (P5) dışında ayrıca kısa, normal ve uzun günlere göre değişim gösteren Fotoperiyodizm (P1D) hesaplamalarıdır.

2016-17 yıllarını kapsayan bitki büyüme sezonu boyunca toplanan iklim verileri, DSSAT modelinde bulunan “Weatherman” programındaki ilgili dosyaya uygun birim formata dönüştürülerek eklendi. Hava değişkenleri arasında MakS (°C/gün), MinS (°C/gün), Yağış (mm/gün), Rüzgâr hızı (ortalama km/gün), Bağıl nem (ortalama %/gün), Güneşlenme saati (toplam saat/gün) ve Radyasyon (MJ/m²/gün) bulunmaktadır. Mevsimsel ortalama MakS 16,67 °C ve MinS 5,16 °C olarak, en yüksek yağış oranı Ocak ve Nisan aylarında gösterilmiştir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 : 2016-17 yetiştirme sezonunda çalışma alanındaki buğdayın mevsimsel sıcaklık ve yağış grafiği.

2.4.2 Toprak verileri

Kayaların ve organik materyallerin türlü çaptaki ayrışma ile parçalanmış ürünlerinden meydana gelen aynı zamanda içerisinde geniş canlılar âlemini de barındıran ve bitkilere durak ve besin kaynağı görevi yapan toprak, Materyal, İklim, Topografya, Organizma ve Zaman (MİTOZ) faktörlerin etkisi ile oluşmaktadır. Toprakların yüzeyden dikine kesiti olan profillerinde, çeşitli fiziksel, kimyasal, biyolojik özellikleri bakımından birbirinden farklılık gösteren üç ana horizon (A, B, C) barındırmaktadır (Oguz, 2008).

Bu bölümde, mevcut toprak verilerinin tanıtımı, toplanması ile bu verilerin DSSAT model formatına uygun hale getirilmesi, eklenmesi ve bunların analiz ve değerlendirmelerinin metot ve prosedürlerini kapsamaktadır.

Öncelikle analizi yapılacak olan topraklar, her tarla için 0-120 cm derinlikte ve 30 cm aralıklarla beş örnek halinde toplanarak kompozit örnekler oluşturmak için birleştirildi. Bu kompozit toprak numuneleri, Yeditepe Üniversitesi, Araştırma ve Geliştirme Analiz Laboratuvarı'nda (YÜ-AGAM) ayrı ayrı analizleri yapılmıştır (Şekil 2.11). Analizler, Bünye (tekstür) sınıfı olarak kum, silt ve kil (%), hacim ağırlığı (gr/cm^3) gibi toprağın fiziksel özellikleri ile potasyum (K), fosfor (P) (ppm), azot (N) (%), kation değişim kapasitesi (KDK) (cmol/kg), Kireç (CaCO_3) (%), tuz içeriği, pH ve organik karbon (OC) (%) gibi kimyasal özelliklerden oluşan parametreler için yapıldı. Organik karbonu hesaplanmamış eksik analizlerde ise organik madde (OM) miktarlarının 1,72'ye bölünmesi ile bulunmuştur (Bowman, 1997). Her bir tarla toprağının analizi model içindeki SBUILD (DSSAT V 4.7.5.0) programında her tarladan alınan numune adedi kadar toprak dosyası oluşturulmuştur. Drenaj üst ve alt sınırı, doyumluk, kütle yoğunluğu (g/cm^3), doymuş hidrolik iletkenlik (cm/sa) ve kök büyüme faktörü gibi eksik parametreler modeldeki istatistiksel yazılımla otomatik olarak hesaplandı (Rawls vd., 1982; Baumer ve Rice 1988).

Analiz sonucu bazı kimyasal parametreler DSSAT uygunluğu için dönüştürülme hesapları yapıldı. Bunlar Kalsiyum (40 g/mol), Fosfor (31 g/mol) ve Potasyum (39 g/mol) birim mol değerleri kullanılarak bir kısmı mg/kg, diğerleri ise cmol/kg birimlerine dönüştürüldü. Bu da göstermektedir ki P_2O_5 ve K_2O makro bitki besin maddelerinin miktarlarının elementel P ve K değerlerinin karşılıkları ($\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 0.44$) ve ($\text{K}_2\text{O} \cdot 0.83$) bulundu. Ayrıca analiz sonuçlarında milyonda bir (ppm) cinsinden verilen değerler kg/ha birimine çevrilmiş olup Kalsiyum gibi kation (meq) değerleri de gr element/100 gr toprak birimleri cinsinden ifade edildi. Ayrıca toprakta bitkinin uygun yetişme ortamının sağlanması için pH değeri çok önemli bir faktör olup düşük çıkan pH değerini yükseltmek için toprağa kireç ilave edilmesi gerekmektedir. Normal şartlarda doğada bol miktarda bulunan kireçtaşının (CaCO_3) 1100 °C ısıda yakılması sonucu oluşan karbondioksitin (CO_2) uzaklaşması ile sönmemiş kireç (CAO) elde edilir. Sönmemiş bu kirecin su ile söndürülmesi işlemi ile de toprağa atılacak olan hazır sönmüş kireç (Ca(OH)_2) elde edilmiş olur. Eğer toprakta pH değeri yüksek ise yani bazik bir toprakta değeri düşürerek denge haline getirmek için ise FeSO_4 , AlSO_4

ya da jips denen alçıtaşı (CaSO₄) uygulamaları gibi kükürt ilavesi yapmak gerekmektedir.



T.C. YEDİTEPE ÜNİVERSİTESİ
AR-GE VE ANALİZ MERKEZ LABORATUVARLARI
YÜ-AGAM



TÜRKAKK
T.C. ENERJİ VE KÖMÜR BAKANLIĞI
AB-0754-T
TL167000632
01-17

TOPRAK-TOPRAK DÜZENLEYİCİLER BİTKİ VE SU ANALİZ LABORATUVARLARI

Rapor No: TL167000632 16/01/2017

Numaneyi Gönderen: OMER VANLI-İTÜ TARİML ARŞ. MERK.

Analizin Başlama ve Bitiş tarihi: 06/01/2017 13/01/2017

Numune Kabul Tarihi: 06/01/2017

Numune Getiri Şekli / Sıcaklığı: Kargo

Numune Türü: Toprak (Profil)

Ahndığı Adres: Gaziantep/İslahiye/Akınyolu Köyü – Ahndığı Tarih: 23/11/2016

Ahndığı Arazi/Parşel: 48,2 dekar / 4 çukur / Alanın eğimi düz / Alan suyu / Drenaj durumu iyi

Ahndığı Derinlik: 0-30 cm

Ekilmi Planlanan Bitki: Buğday / Geçen Yıl Ekilen Bİtki: Biber (1000 kg/da)

Şahit Numune Var mı?: Hayır

Sıra No	Analiz	Analiz Metodu	Geri Kazanım	Ölçüm Limiti	Sonuç	Değerlendirme
1	Katyon Değişim Kapasitesi (**)	Bowen C.A., Reitemier R.F. and Fireman M.	-	-	35,77 me /100g	
2	Bünye (Tekatir) Tayini (**)	Bouyoucos, G.J. 1951	-	-	Kil: 30,2 %	KUMLU KILLI TİNLİ
			-	-	Kum: 46,1 %	KUMLU KILLI TİNLİ
			-	-	Silt: 23,6 %	KUMLU KILLI TİNLİ
3	DTPA ile Mangan, Demir, Bakır, Çinko Tayini (*)	TS ISO 14870	0,913	-	DTPA Cu: 2,132 mg/kg	YETERLİ
			0,977	-	DTPA Fe: 1,331 mg/kg	ORTA
			0,84	-	DTPA Mn: 0,5031 mg/kg	ÇOK AZ
			0,978	-	DTPA Zn: 0,1674 mg/kg	ÇOK AZ
4	EC Tayini (TS 11265) (***)	TS ISO 11265	-	-	219 µS/cm	
5	Hacim Ağırlığı Tayini (**)	-	-	-	1,2015 g/l	
6	Toprakta K, Ca, Mg, Na tayini	TS 8341	-	-	Ca (Toprak): 2.289 mg/kg	YETERLİ
			-	-	K(Toprak): 471,9 mg/kg	FAZLA
			-	-	Mg (Toprak): 4.076 mg/kg	ÇOK FAZLA
			-	-	Na (Toprak): 364,2 mg/kg	
7	Kireç Analizi (**)	TS 8335/ISO 10693	-	-	0,9 %	AZ KİREÇLİ
8	Organik Madde Miktarı Tayini	TS 8336	-	-	2,439 %	ORTA
9	pH Tayini (TS 8332 ISO 10390) (***)	TS ISO 10390	-	-	8,66	KUVVETLİ ALKALİ
10	Toplam Azot (N) Tayini	TS EN 8337 ISO 11261	-	-	0,096 %	YETERLİ
11	Toplam Organik Karbon	IN HOUSE	-	-	1,785 %	
12	Fosfor Miktarı Tayini	TS 8340	-	-	31,16 mg/kg	FAZLA



Acıbadem Mahallesi Bağ Sokak No: 8 İSTEK Vakıf Binası - Kadıköy / İstanbul
T. 0216 428 31 66 yuagam.yeditepe.edu.tr F. 0216 428 31 67
16. Yayıncı Tarihi: 12/07/2013 Sayfa 1/2 Rev. No: 01 Rev

Şekil 2.11 : 2016-2017 buğday yetiştirme sezonundaki TUBİ tarlasının toprak analiz rapor örneği.

Analiz sonuçlarına göre çalışma alanındaki topraklarda genel itibariyle alt katmanlarına inildikçe kil yüzdesinin azaldığı ve silt'in arttığını göstermiştir. Genel itibarı ile İslahiye'de kumlu toprak hâkim iken Nurdağı'nda killi toprak daha baskın olduğu anlaşılmıştır. Toprak pH değerleri tüm profillerde birbirine yakın kalırken İslahiye'de 8,0 - 8,3, Nurdağı Ovası'nda 7,7 - 8,0 arasında çıkmıştır. Ortalama % 1 değerleri ile toprağın üst tabakalarında daha çok, alt tabakalarında ise daha az organik karbon (OC) bulunmuştur. İçinde boşluk bulunmayan 1cm³ toprağın gram olarak ağırlığı olan kütle (özgül) yoğunluğundan farklı ve model için gerekli olan hacim

yoğunluğu (bulk density), içinde boşluklu olduğu haldeki ağırlık olup 1,20 - 1,35 (gr/cm³) arasında çıkmıştır. Türkiye’de hemen hemen tüm bölgelerde olduğu gibi burada da topraklar bir miktar kireçli çıkmıştır. KDK değerlerinin ise killi topraklarda yüksek iken kumlu topraklarda düşük miktarlarda çıktığı görüldü. Analizi yapılan toplam sekiz adet tarlanın toprak parametrelerinin bir kısmı Çizelge 2.1 ve 2.2’de verilmiştir.

DSSAT modelinde oluşturulan toprak dosyasında, Genel toprak bilgisi (yer adı, ülke, enlem, boylam, toprak serisi adı, toprak aile adı), Toprak yüzey bilgisi (albedo (renk), akış eğrisi sayısı, toprak verimliliği faktörü, drenaj katsayısı), Toprak profil parametreleri (toprak tabakasının derinliği veya kalınlığı, % kil ve % silt, hacim yoğunluğu, organik karbon, pH, toprak azotu, katyon değişim kapasitesi) ve kök büyüme dağılımı gibi veriler eksiksiz olarak sağlanmıştır.

Çizelge 2.1 : Çizelge İslahiye bölgesinden model kalibrasyonu için kullanılan dört tarlanın toprak fizikokimyasal özellikleri.

Tarla	TUKU				TUKO				TUMA				TUSE			
	Kil %	Silt %	OC %	pH	Kil %	Silt %	OC %	pH	Kil %	Silt %	OC %	pH	Kil %	Silt %	OC %	pH
0-30	40,3	14,3	1,0	8,5	39,5	13,3	0,9	8,1	30,6	23,1	0,9	8,3	26,8	24,7	1,0	8,3
30-60	38,6	16	0,9	8,3	37,0	14,1	0,9	8,0	28,9	19,8	0,8	8,2	25,9	25,8	1,0	8,1
60-90	37,8	16,5	0,9	8,1	35,1	14,8	0,9	8,0	26,0	19,6	0,8	8,0	24,0	26,9	1,0	8,0
90-120	36,2	18,9	0,8	7,7	33,9	16,0	0,8	7,5	25,1	18,0	0,8	7,9	22,9	27,0	0,8	7,8

Çizelge 2.2 : Nurdağı bölgesinden model evaluasyonu için kullanılan dört tarlanın toprak fizikokimyasal özellikleri.

Tarla	TUSA				TUBI				TUCE				TUGO			
	Kil %	Silt %	OC %	pH	Kil %	Silt %	OC %	pH	Kil %	Silt %	OC %	pH	Kil %	Silt %	OC %	pH
0-30	56,0	15,4	0,9	8,4	22,0	21,5	1,5	8,0	30,9	23,6	0,9	8,3	46,0	14,1	1,0	8,0
30-60	54,0	14,9	0,8	8,3	20,0	20,7	1,3	8,3	22,0	19,8	0,7	8,3	43,4	17,9	1,0	7,9
60-90	51,0	18,0	0,7	8,1	19,5	18,7	0,8	8,2	20,0	19,8	0,8	8,0	42,9	18,0	1,0	7,4
90-120	48,7	19,8	0,6	8,0	17,0	17,3	0,7	8,0	18,0	16,7	0,6	7,8	40,1	20,6	0,9	7,3

2.4.3 Çiftçi bakım verileri

Tarlalarda yapılan toprak işleme, ekim, sulama, gübreleme ve ilaçlama gibi uygulamalara bakım veya işletme (management) denmektedir. Bu bakım verileri, ekim tarihi, ekim metodu, ekim derinliği, m² bitki sayısı ayrıca gübreleme, sulama ve hasat uygulamalarının miktar, çeşit ve tarihlerini içermektedir (Çizelge 2.3). Ayrıca aynı tarlada önceki ekilen bitkinin türü, kök ve toprak üstü biyokütle ağırlığı gibi ekim başlangıç öncesi verileri de sağlandı.

Çizelge 2.3 : Çiftçilerden alınan ve DSSAT model formatına dönüştürülerek eklenen bakım verileri.

Tarla	Ekim	Sulama		Gübreleme		Hasat
	Tarih (YLGÜN)	Tarih (YLGÜN)	Miktar (mm)	Tarih (YLGÜN)	Miktar (Azot) (kg/ha)	Tarih (YLGÜN)
TUBI	16320	17110	144	16320	36	17161
		17132	144	17025	115	
				17084	92	
TUCE	16330	17079	200	17038	250	17163
		17115	200	17066	250	
TUKO	16315	17100	160	16315	30	17162
		17130	160	17038	115	
				17091	60	
TUKU	16319	17113	154	16319	30	17163
		17130	144	17038	138	
				17066	138	
TUMA	16320	17110	150	16320	31	17156
		17133	155	17069	140	
				17089	116	
TUSE	16320	17116	150	16320	36	17161
		17134	155	17025	115	
				17084	92	
TUSA	16315	17121	150	16315	50	17174
		17140	150	17046	115	
				17089	66	
TUGO	16319	17104	190	16319	44	17167
		17134	190	17041	115	

Yukarıda ifade edilen kimyasal birim dönüşüm işlemleri aynı şekilde tohum, sulama ve gübreleme miktarlarının hesaplanmasında da kullanıldı. Tohum miktarı hesabında çiftçilerden alınan birim dekara uygulanan kg tohum miktarı (tohum oranı) uygulama bilgisi ve 1000 tane ağırlığı (Golia için, 36 gr) standart bilgisinden hareketle modelin istediği tohum sayısı (27 tohum/gr) ve ekim yoğunluğu (tohum/m²) değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca tarlalarda Nisan ve Mayıs aylarında uygulanan buğday toplam sulama periyodunda, sulama aralığında (30 gün) uygulanan sulama dozu (mm) miktarı hesaplanırken sulama süresi (debi, 90 ton/sa) salma sulama ile toplam kullanılan su miktarının tüm sulanan tarlanın alanına (da) bölünmesi ile (ton/dekar, mm) tüketilen

değerleri bulunarak modele eklendi. Son olarak gübreleme hesabı ise, çiftçilerden alınan miktar (kg/da) bilgisinden hareketle gübre çeşidine göre içerisindeki besin elementleri oranından (örnek üre % 46) saf etkin madde miktarları hesaplandı.

2.4.4 Gözlemlenen (GÖZ) ve ölçülen (ÖLÇ) tarla verileri

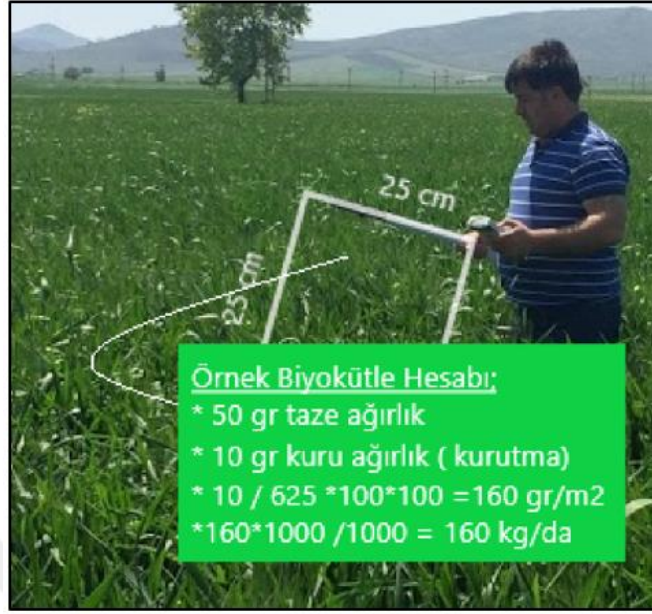
Hem gözlemlenen hem de ölçülen veriler, 2016-17 yetiştirme sezonundaki buğday tarlalarından toplanmıştır. İslahiye ovasından TUKU, TUKO, TUMA, TUSE, TUBİ, TUÇE tarlaları seçilirken, diğer TUSA, TUGO tarlalar ise Nurdağı ovasından seçilmiştir. Veriler, YAİ ölçümleri (LAI-2200C, LI-COR), biyokütle ağırlıkları ve çiçeklenme ile olgunlaşma tarihleri her ay düzenli bir şekilde gözlem ve ölçümlerle kayıt altına alındı (Şekil 2.12). Bu veriler arasından yüksek verimli (TUKU, TUKO, TUMA, TUSE) olan tarlalar model kalibrasyonu için, orta verimli (TUSA, TUBİ, TUÇE, TUGO) olan tarlalar ise model performans testi için kullanılmıştır.



Şekil 2.12 : Verilerin toplanması (tarlada YAİ verisi ölçümü (sağda) ve kurutulanan verilerin tartılması (solda)).

Model sonuçları ile karşılaştırılması amacı ile ihtiyaç duyulan tarladaki gerçek GÖZ/ÖLÇ verilerin tüm tarlayı temsil eden 25 cm & 25 cm alan seçilerek numunelerin hassas bir şekilde alınması sağlandı. Bu veriler her ay (Mart ayından Haziran ayına kadar) düzenli olarak alınan değerleri modelde bulunan T dosyasına yüklenmesi, hasat olgunluğuna erişmiş zamandaki (Haziran ayında) toplanan veriler de A dosyasına yüklenmesi amacıyla gerekli işleme ve hesaplama adımları uygulandı (Çizelge 2.4). Çiçeklenme ve fizyolojik olgunluk tarihlerinin tespiti, tarlada gözlem sonucu % 50 oranı geçtiği zamandaki gün olarak kaydedildi. Biyokütle hesabı, 25 cm & 25 cm alandan alınan taze bitki, tüm organlarına (kök, sap, yaprak ve tohum) ayrıldı. Her bitkinin kök filiz yani kardeş sayısı hesaplanıp kurutuldu. İçerisindeki nem oranı

giderilen numune, tartılarak önce birim alandaki (cm^2) miktara ardından da m^2 'deki (gr) ve dekadaki miktara (kg) dönüştürülerek bulundu (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 : Numunenin tarladan alınması ve örnek biyokütle hesabı.

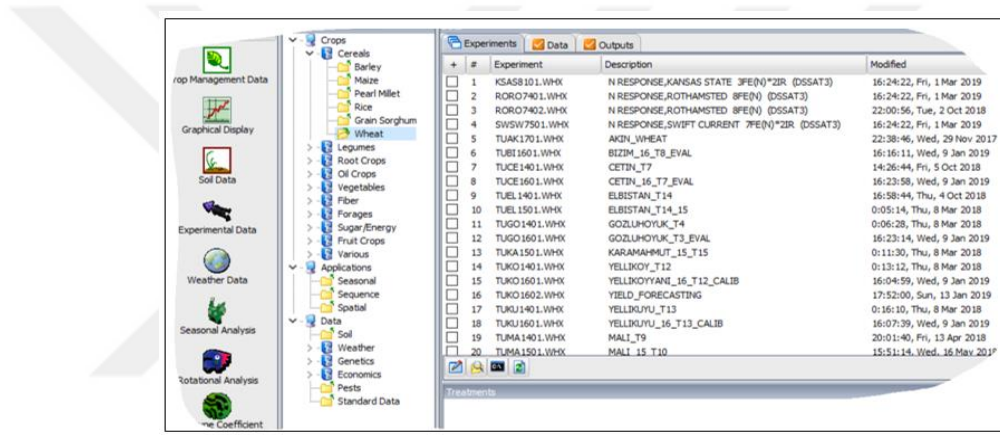
YAI metre bulunmadığı zaman toplanan numuneler henüz kurutulmamışken taze yapraklar halinde YAI hesabı için birim gr yaprak ağırlığının kaç cm^2 geldiği bulunduktan sonra toplanan birim alandaki toplam yaprak ağırlığı ile çarpılarak toplam yaprak alanı hesaplanır. Son olarak da elde edilen bu yaprak alanının, toplam ilgili yüzey alana bölünmesi ile YAI değerleri hesaplanmış olur.

Çizelge 2.4 : DSSAT modelinde bulunan A ve T dosyalarındaki birçok parametre kodlarının bir kısmı.

T Dosyası		A Dosyası	
Parametreler	Kodlar	Parametreler	Kodlar
Yaprak alan indeksi	LAID	Hasat verimi (kg/ha)	HWAM
Biyokütle ağırlığı (kg/ha)	CWAD	Hasat biyokütle ağırlığı (kg/ha)	CWAM
Sap ağırlığı (kg/ha)	SWAD	Maksimum YAI	LAIX
Tohum ağırlığı (kg/ha)	GWAD	Çiçeklenme zamanı (YDOY)	ADAT
Kök filiz sayısı (# m^2)	T#AD	Fizyolojik olg. Zamanı (YDOY)	MDAT

2.5 Verilerin Yüklmesi ve Analizler

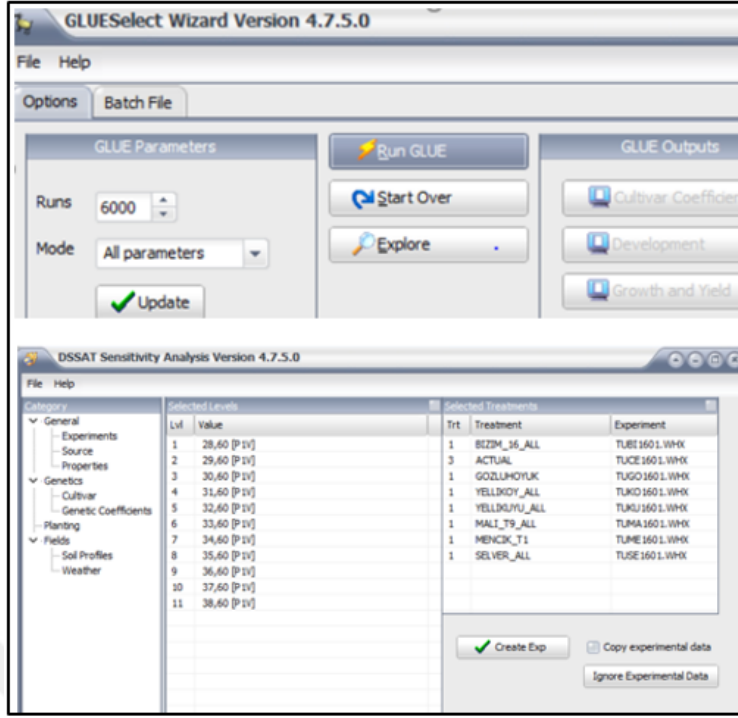
Bu çalışmada DSSATV4.7.2.0 versiyonundaki CERES-buğday modülü kullanılmıştır (Ahmed vd., 2016). 2014-2017 yılları arasındaki üç yetiştirme sezonu boyunca 18 tarlanın ilgili yılda buğday yetiştirilen tarlalarından toplanan veriler, yıllara ve farklı buğday tarlalarının sayısına göre dosyalar oluşturularak yüklendi. Fakat yıllar arasında model için uygun iklim, bakım şartları ve verilerin eksiksiz toplanabildiği en sağlıklı sezon olan 2016-2017 dönemi seçildi. Toplanan tüm bakım (XBuild), toprak (SBuild), iklim (Weatherman) ve GÖZ/ÖLÇ (büyüme periyodu verileri olarak T File ve Hasat zamanı verileri olarak A File) veriler (Jones et al., 2004a) her dosyaya ayrı ayrı yüklenmiştir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 : Bakım verilerinin yüklendiği tüm tarla (.whx) Xfile dosyalarının arayüzü.

2.5.1 CERES-buğday modelinin kalibrasyon ve evaluasyonu

Genetik katsayıları bulmak için tarlalar arasından en güvenilir olan TUKO, TUKU, TUMA ve TUSE dosyaları kalibrasyon için, TUSA, TUBİ, TUÇE, TUGO dosyaları ise evaluasyon için kullanıldı. Buğday bitkisi çeşitleri için tespit edilmesi gereken toplam yedi adet farklı parametre değeri genotip klasöründeki WHCER047 (.CUL) dosyasında bulunmaktadır. Parametrelerin tahmini için, yine aynı şekilde modelde mevcut olan Bayesian parametre tahmin prosedürü GLUE (Genelleştirilmiş Olabilirlik Belirsizlik Tahmini) yazılım paketi (Jones et al., 2011) ile hem gelişme hem de büyüme için toplam 6000 tekrarlı çalıştırıldı (Jones, Hoogenboom, Boote, & Porter, 2004b). Tüm verilerin ve yöntemlerin tekrar kontrol edilmesinden sonra, bu parametre değerleri yine DSSAT içerisinde bulunan “hassasiyet Analizi” yazılımı ile test edildi (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 : Model içerisinde GLUE (üstte) ve Hassasiyet Analizi (Altta) programları ile parametre tahmin çalışmaları.

GLUE sonuç parametre değerlerinin hassasiyet test analizlerinde, sistematik ve mantıksal sıralamalara dikkat edildi. Buna göre kontrol aşamalarında öncelikle, bitki ekim tarihleri ile çiçeklenme ve olgunlaşma tarihleri test edildikten sonra P1V ve P1D katsayılarının sırasıyla çiçeklenme ve fizyolojik olgunluk açısından kontrolleri yapıldı. Ardından vejetatif büyüme parametreleri olan PHINT, G3, P5 ve verim bileşenlerinin parametreleri olan G2, G1 katsayıları, son olarak ise verimin kendisi kontrol edildikten sonra parametre değerleri gerektiğinde güncellenerek analiz sonlandırıldı. Bu arada yukarıdaki her adımda regresyon, KOH, d-index gibi istatistiksel kontroller de sağlanarak en uygun parametreler tespit edilene kadar işlemler tekrarlandı. Uygulamada her değişen parametre değerine göre model sonuçlarının gerçek tarla değerlerine yaklaşıp uzaklaştıkları da görülebilmektedir. Örnek olarak G1, G2 ve G3 parametreleri, tohum ağırlığı ve hasat indeksi ile doğru orantılı olup biyokütle ağırlığı ile ters orantılı olarak değiştiği görüldü.

Katsayıların netleştiği kalibrasyon aşamasından sonra en önemli adımlardan biri de evaluasyon yani model performans testi aşamasıdır. Çünkü modelin elde edilmiş katsayıların başka tarlalarda ya da aynı tarlanın başka yetiştirme sezonunda GÖZ/ÖLÇ verileriyle istatistiksel olarak doğruluğunun test edilerek tasdik edilmesi önemlidir. Çalışmada yine aynı şekilde bu aşamada da su ve besin açısından strese girmemiş

tarlalardan toplanan güvenilir veriler ile (kalibrasyon için kullanılanlar hariç) değerlendirildi.

Yine DSSAT bünyesinde grafiksel ve istatistiksel analiz ve görselleri sağlamak üzere geliştirilen Easy Grapher (J. Y. Yang & Huffman, 2004) yazılımından da yararlanılmıştır (Jones et al., 2004b). Aşağıdaki denklem 2.5 ve 2.6 da gösterilen KOH ve Hata gibi istatistiksel değerler, simüle edilmiş sonuçların hataları içerebileceği ve GÖZ/ÖLÇ gerçek sonuçların ise hata içermediği varsayımına dayanarak test gerçekleştirilir. Ortalama hata E, GÖZ/ÖLÇ sonuçların negatif yani düşük çıkmasının veya pozitif yani yüksek tahmin olup olmadığının iyi bir göstergesidir (Şekil 2.16). Son olarak, boyutsuz değerlendirme olan d, d1, EF, EF1 gibi sapma temelli istatistikler de modelin performans testinde yine benzer şekilde yaygın olarak kullanılmıştır.

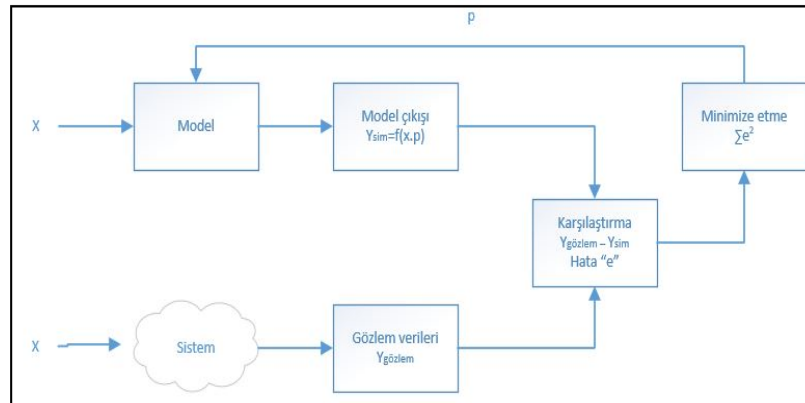
$$KOH = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{Pi} - Y_{Oi})^2\right)} \quad (2.5)$$

$$Hata (\%) = \left[\frac{(Pi-Oi)}{Oi}\right] \times 100 \quad (2.6)$$

Pi = Tahmin edilen (simüle edilen) değer TE (SE)

Oi = Gözlemlenen ve ölçülen değer (GÖZ/ÖLÇ)

n = Toplam gözlem sayısı



Şekil 2.16 : TE (SE) ve GÖZ/ÖLÇ değerlerin karşılaştırılması ve modelin düzeltilme diyagramı.

2.5.2 CERES-buğday modeli ile iklim değişikliğinin etkisinin belirlenmesi

CERES-buğday modelinin, iklim değişikliği çalışmaları için de geniş kapsamlı bir bilgisayar modeli olduğu (Iglesias 2006; Lobell ve Ortiz-Monasterio 2006)

belirtilmiştir. DSSAT modelindeki genetik katsayı belirlenmesi çalışmalarının akabinde bölgenin önümüzdeki projeksiyonlarda iklim değişikliğine etkisi ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır. Üç küresel iklim modeli (GCM) olan HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M'de, girdi verileri olarak bölgesel iklim modeli RegCM4 kullanılmıştır (Çizelge 2.5). Bölgesel iklim modeli (RegCM4.3.4) kullanılarak, yüzyıl ortası (2036-2065) ve yüzyıl sonu (2066-2095) için RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına dayalı dinamik ölçek indirgeme yöntemiyle bölgesel iklim projeksiyonları üretildi. (Demircan, Gürkan, Eskioğlu, Arabacı, & Coşkun, 2017), tanımladığı yöntem bilim kullanılarak, çalışma alanı için GCM'ler 20 km'ye düşürülmüştü. HadGEM2-ES'nin, 20 km'ye kadar doğrudan bir küçültmeye izin verdiği ama öte yandan, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M'nin çözünürlüğü doğrudan küçültmeye izin vermemektedir. Bu nedenle MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M, ilk önce 50 km'ye, 50 km'lik çıktılardan da 20 km'ye düşürüldü (Akçakaya, 2015).

Çizelge 2.5 : İklim simülasyon senaryoları için kullanılan küresel iklim modelleri ve kısaltmaları.

Küresel iklim modelleri	Model kısaltmaları
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory-Earth System Model	GFDL-ESM2M
Hadley Centre Global Environment Earth System Model	HadGEM2-ES
MPI Earth System Model Running on Medium Resolution Grid	MPI-ESM-MR

Projeksiyon çalışmasında Emanuel'in karada ve Grell'in de denizde kümülüs konveksiyon parametreleri konvektif yağış parametresi düzeni olarak kullanılmıştır. CO₂ konsantrasyonu, Çizelge 2.6'da verilen iklim değişikliği senaryoları IPCC 5. değerlendirme raporuna göre (IPCC, 2013) kullanılmıştır.

Çizelge 2.6 : İklim değişikliği senaryoları için kullanılan CO₂ konsantrasyonları.

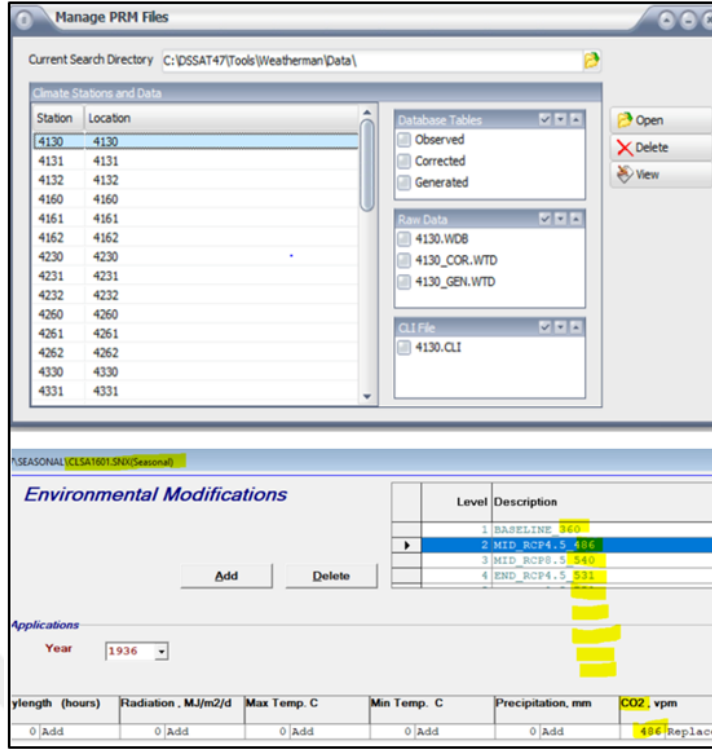
Senaryolar	CO ₂ (ppm)
Temel iklim verisi (1981-2010)	360
RCP 4.5 yüzyıl ortası (2036-2065)	486
RCP 8.5 yüzyıl ortası (2036-2065)	540
RCP 4.5 yüzyıl sonu (2066-2095)	531
RCP 8.5 yüzyıl sonu (2066-2095)	758

Bundan sonra öncelikle iklim projeksiyon verilerinin referans düzeltmeleri yapıldı. 1981-2000 yıllarını kapsayan temel iklim periyodu, iklim projeksiyonları referans dönem gözlem verileri ile karşılaştırılarak gereken ortalama +/- değerler projeksiyon verileri üzerinde düzeltmeleri yapıldı. Daha sonra iklim verilerinin modele uygun olarak düzenlenmesi adına dört haneden (ABCD) oluşan isimlendirme için algoritma uygulandı (Şekil 2.17). Buna göre A hanesinde (RCP 4.5 için 4; RCP 8.5 için 8), B hanesinde (GFDL için 1; HADGEM için 2; MPI için 3), C hanesinde (2036-2065 için 3; 2066-2095 için 6) ve D hanesinde (Nurdağı için 0; İslahiye için 1) olarak kod isimlendirmeleri yapıldı. Bu modeldeki çevresel değişiklikler bölümü sekmesindeki yapılan düzenlemeler, gelecek yüz yılın iklim projeksiyon verilerinin eklenmesi ve sezonsal analiz modülünde açılan dosyada ilgili verilerin eklenmesi ile oluşturuldu (Şekil 2.18).

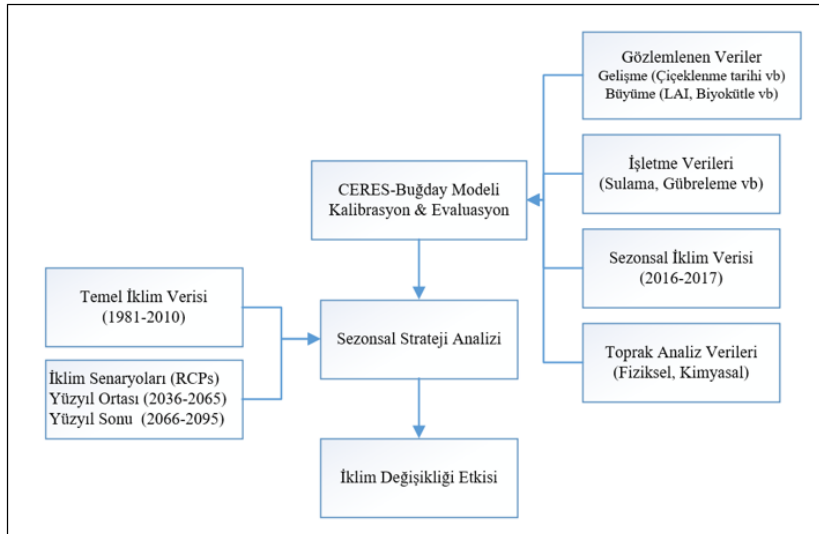
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> GFDL 4 RCP </div> <div style="text-align: center;"> 1 3 YEAR </div> <div style="text-align: center;"> LOCATION 0 </div> </div>		NURDAGI		ISLAHIYE	
		2036-2065	2066-2095	2036-2065	2066-2095
GFDL	RCP 4.5	4130	4160	4131	4161
	RCP 8.5	8130	8160	8131	8161
HADGEM	RCP 4.5	4230	4260	4231	4261
	RCP 8.5	8230	8260	8231	8261
MPI	RCP 4.5	4330	4360	4331	4361
	RCP 8.5	8330	8360	8331	8361
TEMEL	1981-2010	ISBL			

Şekil 2.17 : İklim projeksiyon verilerinin modele eklenebilmesi için farklı küresel iklim modelleri, senaryolar, ilçeler ve yıllar bazında isimlendirilmeleri.

İklim değişikliğinin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan İslahiye ve Nurdağı ovasındaki buğday tarımı üzerindeki etkisini değerlendirmek için önce CERES-buğday modülü ile takibi yapılan sekiz adet araştırma tarlalarından elde edilen verilerle bitkinin genetik katsayıları bulunmuştu (Vanlı, Ustundag, Ahmad, Hernandez-Ochoa, & Hoogenboom, 2019). İklim değişikliği senaryoları ile de aynı bölge için RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları yüzyıl ortası (2036-2065) ve yüzyıl sonu (2066-2095) için sıcaklık, yağış ve bitki verim değerleri incelenerek Şekilde 2.19 da ayrıntılı metodolojisi verilen model çalışmaları sürdürüldü.



Şekil 2.18 : İklim projeksiyon verilerinin weatherman programına (üstte) ve CO₂ konsantrasyonlarının da sezonsal analiz uygulamasına eklenmesi (altta).



Şekil 2.19 : İklim değişikliğinin meteorolojik parametreler ve buğday verimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılan metodoloji.

1981-2010 yıllarını kapsayan temel iklim periyodu, (Rosenzweig vd., 2018)'in kullandığı benzer temel iklim periyotları gibi gelecekteki simüle edilen verim sonuçlarını karşılaştırmak için de gözlemlenen iklim olarak alınmıştır. DSSAT'deki sezonsal strateji analiz uygulaması, farklı iklim senaryoları ile birlikte çalıştırılmış ve iklim değişikliğinin etkilerini, gözlemlenen ve 30 yıllık gelecekteki simüle edilen verim ortalamaları için denklem 2.7 'ye göre hesaplanmıştır.

$$Y_c = \frac{Y_f - Y_b}{Y_b} \times 100 \quad (2.7)$$

Y_c = verimdeki yüzde değişim

Y_f = 30 yıllık gelecekteki Tahmin edilen (Simüle edilen) verim, TE (SE)

Y_b = 30 yıllık temel verim

Yapılan geçmiş çalışmalara göre, tüm dünyada aşırı sıcaklıkların ve iklim değişikliğine bağlı olarak mevsim normali dışındaki yağış dağılımının tarımsal üretkenliği ve gıda güvenliğini önemli ölçüde etkileyeceği öngörülmektedir (Rosenzweig vd., 2014, 2015; Ahmed vd., 2018). Küresel sıcaklıkların son geçmiş yıllarda artmış olduğu ve bu sıcak günlerin sıklığı ile birlikte gelecekte de artacağı tahmin edilmektedir (Alexveer vd., 2006; Asseng vd., 2017; Ahmad vd., 2019). İklim değişikliği tahminleri, gelecekteki küresel sıcaklığın 2050'de 2.5 °C artacağını göstermektedir (IPCC, 2013). Sıcaklıklardaki artış, özellikle Türkiye gibi yarı kurak bölgelerde gelecekteki tarımsal verimliliği de azaltabileceğini göstermektedir (Nasim vd., 2016b; Ben-Asher vd., 2019; Ullah vd., 2019).

Gelecek projeksiyonda, Türkiye'de sıcaklığın 2016'dan 2040'a kadar 2-3 °C artması beklenmektedir (Nasim vd., 2016b;) (Demircan et al., 2017). Sıcaklıkta öngörülen artış, doğal olarak Türkiye'de özellikle buğday alanlarında olmak üzere tarımsal ürünlerde ciddi risk oluşmasına yol açacaktır (Lal vd., 1998; Olesen vd., 2011; Doğan ve Kendal 2012; Dogan ve Karakas 2018). Buğday, özellikle Türkiye'de önemli bir gıda kaynağı olduğundan (Doğan ve Kendal 2012) genellikle yağışlı koşullarda yetiştirilmektedir (Dudu ve Çakmak 2018). Sıcaklık ve yağışlardaki düzensizlikler de, kurak ve yarı kurak koşullarda buğday veriminde düşüşe neden olur (Shah vd., 2011; Valizadeh vd., 2014). (Cline, 2007), gelecekteki ortalama sıcaklığın 1,1 °C'den 1,6 °C'ye artacağını ve Türkiye'de de 2070-2099 arasında yağış oranının % 30 azalacağını ve bunun da tarımsal verimliliği % 11,8 oranında azaltacağını bildirmiştir. Aslında artan sıcaklıklar genellikle fenolojik olayları hızlandırır ve büyüme süresini kısaltır (Lobell ve Ortiz-Monasterio 2006; Hennessy vd., 2008). Yüksek sıcaklıkların, büyüme mevsimi uzunluğunu kısaltması, ışık girişimini, tane sayısını ve boyutunu azaltarak buğday verimini düşürmektedir (Wheeler vd., 1996; Asseng vd., 2015; Kheir vd., 2019). Trakya bölgesinde yapılan bir çalışmada 2040-2060 döneminde buğdayda veriminin % 12 ile % 20 arasında azalacağını, sıcaklıkta ise 2 °C'lik bir artışa ve yağışların da % 35 azaldığını bildirilmiştir (Özdoğan, 2011).



3. UZAKTAN ALGILAMA

Uzaktan Algılama sistemlerinde pasif algılayıcı sistemler spektral bant sayısına göre (pankromatik, multispektral ve hiperspektral) ve spektrum bölgesine göre (optik ve ısı) gruplandırılmaktadır. Ayrıca algılayıcıdan alınan verilerin formatı ve kalitesi de çözünürlük adı verilen farklılıklara sahiptir. Mekânsal çözünürlük, görüntüdeki detay seviyesini ayırt etmekte kullanılan bir özellik iken spektral çözünürlük, elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinde algılama yapma özelliği göstermektedir. Bunun dışında radyometrik çözünürlük ise gelen ışınım enerjisindeki tüm farklılıkları ayırt edebilmekte iken zamansal çözünürlük aynı bölgedeki görüntüyü hangi sıklıkla algıladığını belirten özellikler olarak özetlenebilir ((Sunar et al. 2011). Alçak (kutupsal) yörüngede konumlanmış, bölgesel ölçekte ve pasif algılayıcı durumunda bulunan Landsat uydusu çevresel izleme uydusu olarak hizmet vermektedir (Sunar et al. 2011).

Bölgesel buğday veriminin doğru ve zamanında izlenmesi ve değerlendirilmesi tarımsal ithalat ve ihracat planlarının bilimsel formülasyonu, buğday üretimi ve ekim planlarının düzenlenmesi için hayati önem taşımaktadır (Wang et al., 2019). Bu çerçevede verim tahmini için çeşitli çalışmalarda bulunulmuştur. Bazı çalışmalarda lineer karışık model kullanılırken (Saengseedam ve Kantanantha 2017), bazılarında ise enterpolasyon teknikleri (Apaydin vd., 2004) veya nesneye dayalı sınıflandırma (Satir ve Yeler 2016) kullanılmıştır. Saeed (Saeed vd., 2017), buğday verimini tahmin etmek için iklim göstergesini NDVI ile birlikte ilkeleştirmiş olup Koorani (Koorani vd., 2014) ise çoklu regresyon yoluyla bu tahmin üzerinde yoğunlaşmıştır.

Birçok çalışmada uydu tabanlı tahminler ve gerçek tarla durumu arasında yüksek korelasyonlar göstermesinden dolayı bitki büyümesini izlemek için de bir araç olarak umut verici olmuşlardır. Dünyanın birçok bölgesinde büyük ölçekli tarımsal alanlarda biyokütle ve verim durumlarını izlemek için en önemli veri kaynağı haline gelmiş durumdadır (Seo, Lee, Lee, Hong, & Kang, 2019).

Bitkinin büyüme zamanlaması olan bitki fenolojisi, fizyolojik bitki büyüme aşamalarını ve bu aşamalardaki önemli bilgileri temsil eder. Uzaktan algılama

uygulamalarında, genellikle bitkinin yeşillikteki mevsimsel değişiklikler ile tahminler yapılır (Seo et al., 2019). Örnek olarak, Normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI), KIRMIZI ve NIR'den gelen yeşil biyokütleyi (bitki örtüsü) zemin yüzeyinden yansıyan radyasyonu tespit etmek için kullanılır (Karande et al., 2014).

Bir diğer teknolojik gelişim olan Makine Öğrenmesi (MÖ) de, birçok alanda olduğu gibi tarımsal alan için de yararlanılan bir teknoloji olmaya başladı. Makine öğrenmesinin temel amacı, önceki verileri kullanarak kendilerini geliştirmek, karmaşık modelleri algılamak ve yeni sorunlara çözüm bulmak için eğitim alabilecek modeller oluşturmaktır (Ö. Çelik & Altunaydın, 2018). Birçok araştırmacı bu alanda ürün veriminin daha iyi ve daha doğru bir şekilde tahmin edilmesi için MÖ tabanlı yöntemler bulmak için çalışmaktadır. Makine öğrenmesi ile tarımsal büyük veriler ve zaman serisi verileri üzerine analitikler uygulayarak daha iyi bitki bakım alternatifleri ile daha fazla verim elde etmek için kullanımı üzerine yoğunlaşmaktadır. Bitki büyüme stresi tespiti, uydu görüntü sınıflandırması kullanılarak MÖ yoluyla yapılabildiği gibi bu yöntem ile verim tahmini için tahmin yeteneği, kurallar tanımlanarak ve büyük veri kümelerinde örüntüler aranarak geliştirilebilir ve kullanılabilir durumdadır (Bhatnagar & Gohain, 2005).

Önceki birtakım yaklaşımlardan farklı olarak bu çalışmada, buğday üretiminin bölgesel verim tahmininde uzaktan algılamadan elde edilen indisler kullanılarak bulunmaya çalışıldı. İndislerle ilgili de benzer çalışmalar olmasına rağmen çalışmanın hiçbirinde, özellikle de Türkiye’de buğdayın verim tahmininde makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmamıştır. Bu amaçla, bu çalışmada buğday verimini makine öğrenme algoritmaları kullanarak tahmin edilmesi ve Türkiye’nin diğer bölgeleri ve farklı bitkileri için de kullanılabilecek bir çerçeve geliştirilmesi planlandı.

3.1 Görüntülerin Tarımda Kullanımı

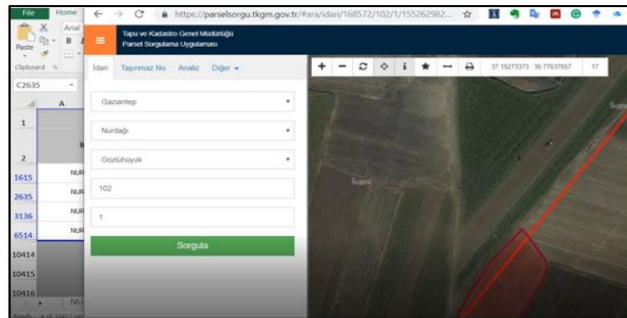
Uzaktan algılama teknikleri tarımda yaygın olarak kullanılmaktadır. Her şeyden önce, tarımsal üretim, ürünlerin biyolojik yaşam döngüsü ile ilgili güçlü mevsimsel kalıpları izler. Üretim, ikincil olarak toprak tipi gibi fiziksel manzaraya ve ayrıca iklimsel sürüş değişkenlerine ve tarımsal yönetim uygulamalarına bağlıdır. Ayrıca, üretkenlik kısa sürede, olumsuz gelişme koşullarından dolayı değişebildiği için, tarımsal izleme sistemlerinin zamanında olması gerekir. Bu, birçok öge bozulabilir olduğu için daha da önemlidir.

3.2 Veriler ve Prosesler

Tarımsal üretim sistemleri, başlarda diğer endüstriler için geliştirilen teknolojik ürünlerden yararlanmasına rağmen bilgi çağı ilerledikçe, bu teknolojik gelişmeler hassas tarıma entegre etme potansiyelini de getirmişti. Bu potansiyel ile de bir alandaki toprak, iklim ve bitki faktörlerinin mekânsal ve zamansal değişkenliğine göre detaylı araştırmalara olanak vermektedir. İlk zamanlarda çok küçük tarlalarda çiftçilerin kendi tarımsal uygulamalarını manuel olarak düzenlemeye imkân verirken alanların genişlemesi ve farklı faktörlerin ve etkileşimlerin da devreye girmesi ile teknolojik veri ve proseslerin kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bu nedenle düşük girdili, yüksek verimli, sürdürülebilir bir tarım sistemi için coğrafi bilgi sistemi (CBS), otomatik saha içi kontrolü, uzaktan algılama ile gözlem, gelişmiş bilgi işleme araçları ile analiz gibi çeşitli teknolojilerin veri ve uygulamalarından yararlanmaya başlanmıştır (Zhang, Wang, & Wang, 2002). Bundan dolayı hem mekânda hem de zamanda üretim değişkenliği hakkında artık daha kapsamlı veriler toplanabilmektedir. İslahiye ve Nurdağı bölgesindeki çalışmada bitki modeli için kullanılan bir kısım verilerle beraber diğer kolaylaştırıcı tüm teknolojik veriler açıklanmıştır.

3.2.1 ÇKS verileri

İslahiye ve Nurdağı ilçe tarım ve orman müdürlüklerinden temin edilen ve özellikle yer doğrulamaları için gereken çiftçi kayıt sistemi (ÇKS) verileri kullanıldı. Köy bazında alınan bu veriler arasında ada ve parsel numaraları, parsel alanı, ekilen bitki türü, yapılan tarımın sulu veya kuru olduğu, verim değerleri, ekim ve hasat tarihleri bulunmaktadır. Excel formatında temin edilen veriler gerekli ön düzenlenmeleri yapıldıktan sonra öncelikle buğday tarlaları köy, ada ve parsel numarası üzerinden Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) sitesinden de tespit edilerek poligon halinde kml formatında indirilerek analizlere hazır hale getirildi. (Şekil 3.1).



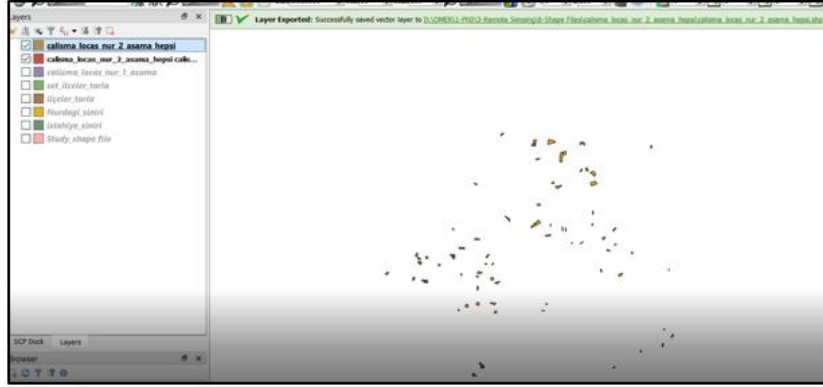
Şekil 3.1 : TKGM sitesinden ÇKS verilerinin poligon halinde indirilmesi.

Ardından ilgili veriler, diğer aşama olan Google Earth Pro (v 7.3.2.5776) (<https://www.google.com.tr/intl/tr/earth/>) program uygulaması ile yapılan koordinat kontrollerinde, yanlış beyan, eksik çizim gibi uygun olmayan tarlaların ayıklanması ve tek dosya halinde farklı kaydedilmesi işlemlerine tabi tutuldu (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Google Earth Pro programında verilerin son kontrolü.

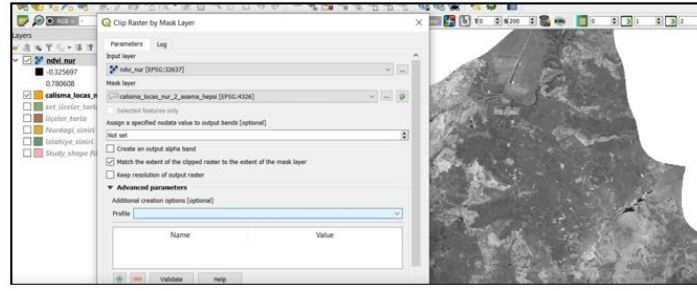
Kontrol işleminden sonra, İslahiye sınırları içerisinde 600 adet, Nurdağı sınırları içerisinde ise 530 adet buğday tarlası problemsiz olarak tespit edildi. Ardından kml formatındaki veriler Quantum GIS (QGIS) programında (<https://qgis.org/tr/site/>) shapefile olarak kaydedilerek ilk aşama tamamlanmış oldu (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : QGIS programında ilçe verilerinin shapefile olarak kaydedilme işlemleri.

3.2.2 NDVI verileri

2016 Kasım ayından 2017 Haziran ayına kadar olan tüm sezonda bölgenin Landsat-8 görüntüleri (13 adet) indirilerek ilçe sınırları ile üst üste çakıştırıldı. Diğer taraftan NDVI değeri bulma formülasyonu uygulanarak NDVI görüntüleri elde edildi. (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : İlçelerin tüm NDVI değerlerinden, ilgili tarlaların değerleri QGIS programı ile kliplenme işlemi.

Diğer taraftan hazırlanmış olan ilçe tarlalarının shapefile'ları aracılığı ile NDVI değerleri ile R programındaki (<https://www.r-project.org/>) kodlardan yararlanarak zaman serileri oluşturuldu (Şekil 3.5).

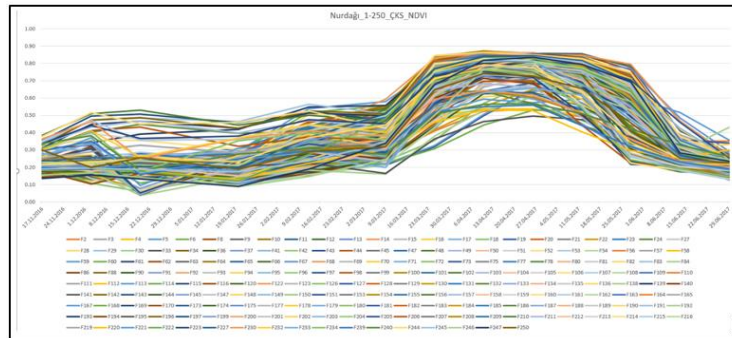
```

80 0 217453192280654
81 0 246260764343398
82 0 189060536714701
83 0 215329919010401
84 0 192217654983283
85 0 127646456920184
86 0 2- #####
87 0 3 #NDVI value averaging within a polygon
88 0 4- #####
89 0 5 # Load the library
90 0 6 library(sp)
91 0 7 library(raster)
92 0 8 library(rgdal)
93 0 9 library(sf)
94 0 10 # brother enter the link of shape file here
95 0 11
96 0 12 Shape = shapefile(file.choose())
97 0 13 # Brother! Put link the raster NDVI after clipping each farm
98 0 14
99 0 15 Raster = raster(file.choose())
100 0 16
101 0 17 # Extract the each values of pixel within polygons or farm
102 0 18
103 0 19 Extracted_Values = extract(Raster,Shape)
104 0 20
105 0 21 # averaging the each value of pixel within polygons
106 0 22 average = runif(529, min=0, max=0)
107 0 23 for(n in 1:529){
108 0 24   average[n] = mean(Extracted_Values[[n]])
109 0 25 }
110 0 26 # Brother! put here the link where you want to save value
111 0 27 write.table(average, file = "C:/Users/ITU/Desktop/ndvi529.txt", row.names = T, quote = F)
112 0 28
113 0 29

```

Şekil 3.5 : Tarlaların NDVI değerlerinin bulunması için R programının kullanılması.

Son olarak, ilçe bazında ÇKS buğday tarlalarından oluşturulan zaman serisi grafiği olan Şekil 3.6'da görüleceği gibi yapılan açıklamalardan sonra ÇKS ile elde edilen verilerde yüksek tutarlılıkla buğday ekim ve hasat zamanına da uygun gelen tarlalar olduğu anlaşıldı. Tarlaların yüksek doğrulukta çıkmasında çiftçilerin önemli bir kısmının doğru beyanlarının da etkisi bulunmaktadır.

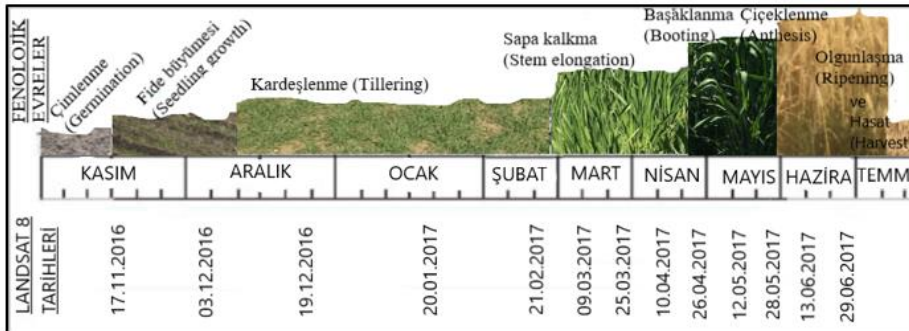


Şekil 3.6 : Nurdağı ilçesindeki tarlalarda NDVI değerlerinin zaman serisindeki gösterimi.

3.3 Analiz Prosesleri

40 yılı aşkın süredir Landsat programı, dünyadaki en uzun ve en bilgilendirici uydu kaydını sağlamaktadır. İlk zamanlarda ücretli kullanım modeliyle çalıştıktan sonra 2008'de ücretsiz kullanıma sunuldu ve bu veriden sağlanan araştırma yöntemleri de hızla arttı. Landsat-8 ise zaman serisi araştırmaları için hayati önem taşıyan çok daha yüksek kalitede ve miktarda gözlemler sağlayarak Landsat programının mirasını sürdürmektedir. Analizlerde kullanılan Landsat-8 uydusu, görünür, yakın-kızılötesi, orta dalga kızılötesi ve termal kızılötesi aralıklarında görüntüleri sağlamaktadır. OLI /TIRS bantları arasından mekânsal çözünürlükler ile ilgili olarak pankromatik (B8) bandı 15 metre, diğer kullanılan multispektral (B2-B7) bantları ise 30 metre çözünürlüklere sahiptir (Holden & Woodcock, 2016).

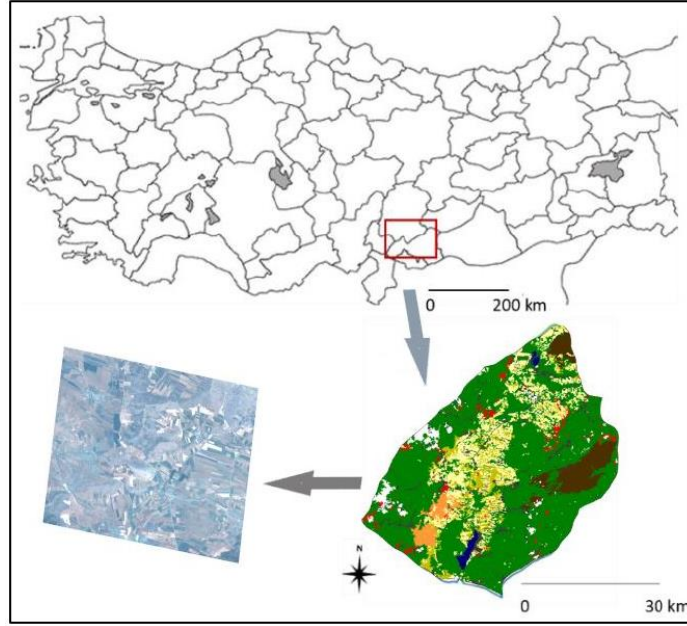
Çalışmamızda kullanılan Landsat-8 görüntüleri, çalışma bölgesini kapsayan ve bulutsuz olarak indirilen 17 Kasım 2016 ile 29 Haziran 2017 tarihleri arasındaki 13 adet görüntüden oluşmaktadır (Şekil 3.7).



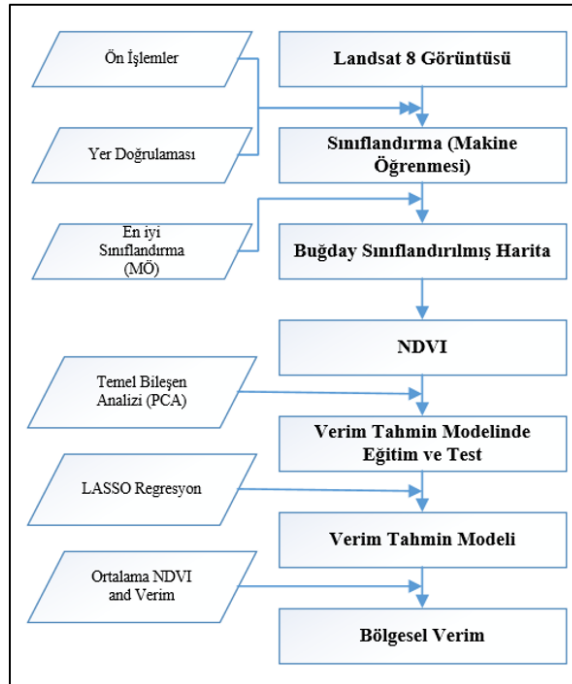
Şekil 3.7 : Çalışma bölgesine ait indirilen Landsat-8 görüntü tarihleri.

3.3.1 Çalışma alanı ve yöntemi

Çalışma alanı, Tez'in "1.3 Çalışma alanı ve bitki" bölümünde detaylı olarak belirtildiği gibi dağların arasında uzanan kısmen az eğimli düz, kırmızı akdeniz ve kolüvyal toprak ağırlıklı, uygun iklimi barındıran verimli bir ovada bulunmaktadır. Aşağıdaki şekil 3.8'de koşul tabanlı (level 2) sınıflandırma metodu ile renklendirilmiş (sağda) ve bölgenin İTÜ UHUZAM'dan temin edilen 01 Haziran 2016 tarihli Plaides 1A görüntüsü (solda) ile belirtilen çalışma alanı görülmektedir.



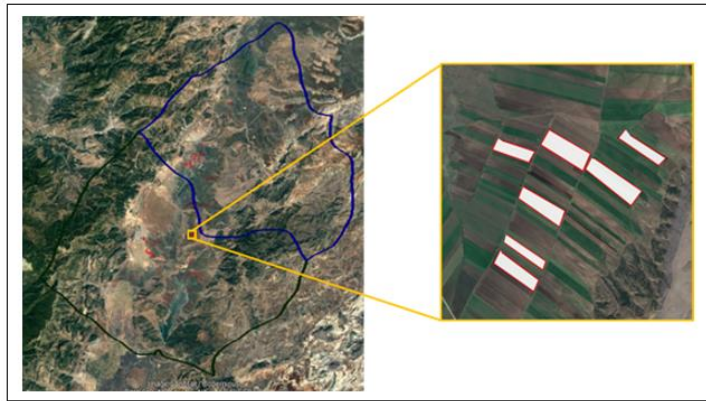
Şekil 3.8 : Uzaktan algılama çalışmaları kapsamında kullanılan bölgenin lokasyonu. Ayrıca aşağıdaki şekil 3.9’da görüldüğü gibi, çalışmanın metodolojisi olarak Landsat-8 görüntülerin indirilmesi ve atmosferik düzeltme gibi ön işlemler ve yer doğrulamaları ile başlamıştır. Sınıflandırma ile en iyi sonucu veren makine öğrenmesi RF algoritması ile elde edilen haritada NDVI değerleri elde edilmiştir. Geçmiş 5 yıllık verim değerleri ile karşılaştırmalı olarak regresyon ve test edilme aşamalarından sonra oluşturulan verim tahmin modelinden (VTM) bölgesel verim değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3.9 : UA görüntü indisleri ile elde edilen bölgesel verim tahmininin metodolojisi.

3.3.2 Yer doğrulaması

2017 yılında Nurdağı ve İslahiye bölgesi için Şekil 3.10'da gösterildiği gibi ÇKS'den rastgele 313 yer doğrulama noktası seçilmiştir. Örnekler yer referanslama olarak her bir noktası, sahada aynı konumda bulunan Landsat-8 görüntü piksellerinin sınırını göstermektedir. Gerçek gözlem ile görüntünün piksel boyutuna göre alanlar buğday olan ve buğday olmayan olarak tahmin edildi. Piksellerin, % 50'sinden fazlası buğday kaplı ise, buğday olarak kabul edilirken; % 50'sinden azı buğday ile kaplı ise, buğday dışı olarak kabul edildi.



Şekil 3.10 : Çalışma bölgesine ait ÇKS verileri ile yer doğrulaması yapılan tarlalar.

3.3.3 Görüntü ön işleme

QGIS programı yarı otomatik sınıflandırma (SOC) eklentisi kullanılarak training shapefile dosyası oluşturuldu. Buğday ve buğday olmayan alanlar olarak, ID-0 sınıfı buğdaylara, ID-1 ise buğday olmayan alanlara atandı. Buğday dışı tarlalar için kırmızıbiber, şeker pancarı ve mısır gibi bölgede yetişen bitkiler göz önünde bulunduruldu.

İşlenmesi için hazırlanan, Landsat-8 görüntülerinin, ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci bantları sınıflandırma için kullanıldı. Öncelikle görüntüler dönüştürme ile başlamış olup atmosferik düzeltmeleri yapıldı. Tüm bantların birleştirilmesinden sonra, (Xu vd., 2014) tarafından da aynı yöntemlerin kullanıldığı eğitim shapefile oluşturuldu. Ayrıca mayıs ayının sonuna denk gelen, çalışma alanını yansıtan iki adet Landsat-8 görüntüsü işlendi. Landsat-8 görüntülerinin bölgesel verim tahmini için, önceki 5 yılın (2013-2017) ortalama NDVI'ı, Landsat-8'in Band 5 (NIR) ve Band 4 (Kırmızı)'den elde edilen denklem 3.1 hesaplandı. (Ozelkan, Chen, & Ustundag, 2016)

$$NDVI = \frac{NIR - Kırmızı}{NIR + Kırmızı} \quad (3.1)$$

3.3.4 Makine öğrenmesi ile görüntü sınıflandırması

Buğdayın mekânsal dağılımı için toplam olarak sekiz adet olan destek vektör makinaları (SVM) –radyal tabanlı, SVM-lineer, kuadratik ayırıcı analizi (QDA), Lineer ayırıcı analizi (LDA), random forest, karar ağaçları, k-en yakın komşu (KNN) ve boosting makine öğrenme algoritmaları uygulandı.

Eğitim verileri, R programlama kullanılarak çeşitli makine öğrenme algoritmaları için oluşturuldu. Her bir parametre kombinasyonu, verilerin 10 parçaya bölündüğü ve doğrulama işleminin K-1 tarafından yapıldığı 10 K kat çapraz doğrulama kullanılarak test edildi. Kalibrasyon için bir bölüm, validasyon için de diğer kalan bölümler kullanıldı. Benzer yaklaşım Ahmad tarafından da kullanıldığı (Ahmad vd., 2018c) buğday alanının sınıflandırılmasında en iyi sonucu veren random forest kullanıldı.

3.3.5 Verim tahmin modelinin geliştirilmesi

Hasat verimleri seçimi olarak, ÇKS'den elde edilen tarlalar arasından İslahiye'den 27 ve Nurdağı'ndan da 30 buğday tarlasının verimleri seçildi. NDVI değerleri her bir tarla ve tüm yetiştirme sezonu için 16 günlük aralıklarla elde edildi. Bootstrapping yöntemi ile verim tahmin modelini geliştirmek için, NDVI ve tarla verim değerlerinin %70'i kullanılmış olup, doğruluğunu test etmek için ise bu değerlerin % 30'u kullanıldı. Model katsayısını bulmak için LASSO regresyonu kullanıldığı çalışmada model formülasyonundaki NDVI'nin önem değeri de tahmin edildi.

3.3.6 Bölgesel verim tahmini

Bölgesel verim tahminleri için geliştirilen model formülasyonun kullanıldığı çalışma için önceki beş yıl (2013-2017) içindeki mayıs ayının ilk haftasına ait uydu görüntülerinden alınmış ve her ilçe sınırı bölge için NDVI değerleri çıkarıldı. Bu NDVI değerleri geliştirilen modelde kullanılarak verim tahmininde bulunuldu. Tahmin edilen verim, TÜİK'in gerçek verimleri ile karşılaştırıldı. Modelin performansı denklem 3.2 ve denklem 3.3'de verilen istatistik endeksleri hesaplanarak kontrol edildi.

$$\mathbf{RMSE} = \left[\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2 / n \right]^{0.5} \quad (3.2)$$

$$\mathbf{Hata} (\%) = \left[\frac{(S_i - O_i)}{O_i} \right] \times 100 \quad (3.3)$$

S_i : Tahmin edilen değer (TE)

O_i : Gözlemlenen ve ölçülen değer (GÖZ/ÖLÇ)



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında yapılan iki bölümden oluşan çalışmalardan biri olan DSSAT BSM ile ilgili CERES-Buğday modülü kullanarak İslahiye ve Nurdağı ilçe sınırları içindeki sekiz tarlada 2016-2017 sezonunda sekiz tarlada yürütüldü. İlk bölümde genetik katsayıların bulunması ve bölgenin sıcaklık, yağış ve bitki verimine karşı iklim değişikliğinin yapacağı etki çalışmaları ele alınmıştır. İkinci bölümde ise yine aynı tarlalara ek olarak ÇKS'den temin edilen tarlalardan elde edilen bilgilerle Landsat-8 uzaktan algılama görüntü indisi olan NDVI kullanılarak bölgenin verim tahmin formülasyonu çıkarıldı. Aşağıda ise bu çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar ve buna bağlı olarak da öneriler sunulmuştur.

4.1 DSSAT CERES-Buğday Model Sonuçları

Modelin yüksek doğrulukta kalibrasyonu için yüksek verimli tarlalar (TUKU, TUKO, TUMA, TUSE) kullanıldı. Genetik katsayılar, GLUE ve hassasiyet analiz araçları (Hunt ve Boote 1998) kullanılarak ayarlandı. Fenoloji ve Gelişim (PIV ve PID), sonra büyüme (P5, PHINT) ve en son da verim (G1, G2, G3) parametreleri kalibre edildi. Kalibrasyon ve model performans testi için, fenolojik yani gelişme parametreleri (çiçeklenme ve olgunlaşma zamanı gibi), büyüme (LAI ve biyokütle ağırlığı gibi), tane ve biyolojik verimler (Ahmad vd., 2018c)'in önerdiği yöntem kullanılarak yapıldı. Kalibrasyon ile düzeltilen katsayılar, daha sonra orta düzey verimdeki tarla verileri (TUSA, TUBİ, TUÇE, TUGO) ile değerlendirilmeleri yapıldı. Modelin performansı, GÖZ ve TE değerler arasında KOH ve % hata kullanılarak değerlendirildi.

4.1.1 Genetik katsayının tespiti

Buğday bitkisindeki fenoloji, büyüme ve gelişme ile ilgili Golia çeşidine yönelik bulunan genetik katsayılar Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Genetik katsayılardan PIV ve PID, fenoloji ile doğrudan ilişkilirken, G1 ve G2 verim ve verim bileşeni ile ilişkilidir. Optimum vernalizasyon için günlerin fazla çıkması, kışlık buğdayların kışa daha duyarlı olması nedeniyledir. Fotoperiyodik gereksinim (PID) ve tane dolularına

neden olan termal zaman (P5) bir miktar yüksek bulunmuştur. G1 ve G2 arasında ise birbirini dengeleyici bir etki bulundu. Bu, birim m²'deki kanopi ağırlığındaki tanenin sayısı artarken, danenin içinin dolması için asimile edilmiş miktarın azalması ve dolayısıyla bireysel ağırlığın aralarındaki rekabet nedeniyle azalması nedeniyle olabilir. G3 katsayısı ise biyokütle üretimi ve bitki boyu ile ilgili bir parametredir. PHINT genetik katsayısı, fillochron aralığı olarak adlandırılan ana gövde üzerindeki yaprakların görünürlüğü de yine aynı şekilde sıcaklığa bağlıdır. Buğday çeşidinde bu işlem için 60 °C/gün olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Golia çeşidinin CERES-Buğday modülü kapsamında bulunan genetik katsayıları.

Çeşit	PIV ^a	P1D ^b	P5 ^c	G1 ^d	G2 ^e	G3 ^f	PHINT ^g
Golia	28,60	92,58	707,80	28,65	44,15	1,02	60

^a P1V vernalizasyon için optimum günler (gün)

^b P1D fotoperiyodik cevap (% oranında azalma/fotoperiyod'daki 10 saatlik düşüş)

^c P5 tane doldurma süresi (°C/gün)

^d G1 kernel sayısı/çiçeklenmede kanopi ağırlığı (#/g)

^e G2 optimum koşullarda tane büyüklüğü (mg)

^f G3 stressiz kök filiz ağırlığı (gr kuru ağırlık)

^g PHINT ardışık yaprak ucu görünüm aralığı (°C/gün).

4.1.2 CERES-Buğday modülünün kalibrasyonu ve evaluasyonu

CERES-Buğday modülünün kalibrasyonu, büyüme, gelişme ve verim ile ilgili özelliklere sahip buğday çeşidi Golia için oldukça iyi sonuçlandı (Çizelge 4.2). Öncelikle çiçeklenme zamanı ve olgunlaşma zamanı olarak sırasıyla iki gün ve bir gün farkla altında tahmin ederek model tarafından oldukça iyi tahminde bulunuldu. Maksimum YAI'nin ölçülen ve simüle edilen değerleri arasında % -5,26 hata ve 0,21'lik KOH ile birbirine oldukça yakın ilişki bulundu. Model tarafından buğday verimini % -11,32 hata ve 586 kg/ha KOH ile gözlemlenen değerlerin altında bir tahminle bulunuldu. Toprak üstü bitki ağırlığındaki ölçülen ve simüle edilen değerler ise çizelge 4.2'de gösterildiği gibi % -9,56 hata ve 896 kg/ha KOH ile yine altında bir değer olmakla birlikte yakın bir uyum gösterdi.

CERES-Buğday modülünün performans testi ise TUSA, TUBI, TUCE, TUGO tarlaları gibi farklı alanlardan bağımsız bir veri seti ile yürütülmüştür. Sonuçlar, çizelge 4.3'de gösterildiği gibi model performansının da oldukça iyi olduğunu gösterdi. Çiçeklenme zamanı açısından simüle edilen ile gözlemlenen değerler arasında model tarafından

dört gün eksik tahmin edilirken, olgunlaşma günlerinde yalnızca bir gün fark bulundu. Simüle edilen maksimum YAI, % 13,3 hata ve 0,56 KOH ile yüksek göstermiştir. Bitki modeli ile % 9,45'lik hata ve 462 kg/ha'lık KOH ile gerçek değer üzerinde tahmin ile tane verimi bulunmuştur. Çizelge 4.3'de gösterildiği gibi biyokütle ağırlığı olarak ise % -8,98 hata ve 858 kg/ha KOH ile gerçek değer altında simüle etti. Genel sonuçlar, bitki modelinin iyi kalibre edildiğini ve iklim değişikliğine etkisini değerlendirme için kullanılabileceğini göstermiştir.

Çizelge 4.2 : CERES-Buğday modülün kalibrasyonu, buğdayın gelişme, büyüme ve verim değerleri ve karşılaştırma sonuçları.

Parametreler	Gözlemlenen (GÖZ)/ Ölçülen (ÖLÇ)	Tahmin edilen (TE)	% Hata	KOH
Çiçeklenme zamanı (gün)	142	140	-1,40	1,41
Olgunlaşma zamanı (gün)	190	189	-0,52	0,70
Yaprak Alan İndeksi (max)	5,7	5,4	-5,26	0,21
Tane verimi (kg ha ⁻¹)	7.321	6.492	-11,32	586,2
Toprak üstü ağırlığı (kg ha ⁻¹)	13.245	11.978	-9,56	895,9

Çizelge 4.3 : CERES-Buğday modülün evaluasyonu, buğdayın gelişme, büyüme ve verim değerleri ve karşılaştırma sonuçları.

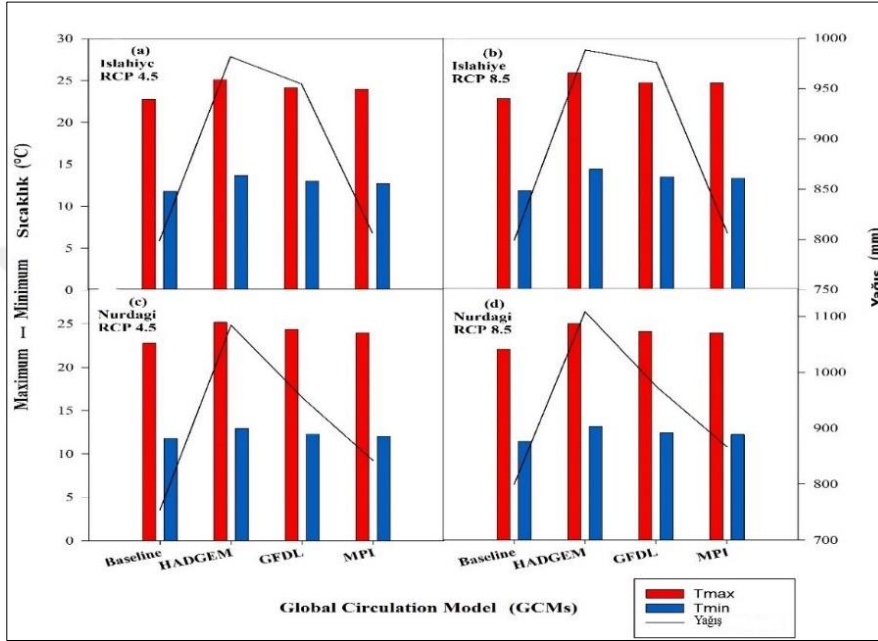
Parametreler	Gözlemlenen (GÖZ)/ Ölçülen (ÖLÇ)	Tahmin edilen (TE)	% Hata	KOH
Çiçeklenme zamanı (gün)	152	148	-2,63	2,82
Olgunlaşma zamanı (gün)	196	195	-0,51	0,70
Yaprak Alan İndeksi (max)	6,0	6,8	13,33	0,56
Tane verimi (kg ha ⁻¹)	6.907	7.560	9,45	461,74
Toprak üstü ağırlığı (kg ha ⁻¹)	13.500	12.287	-8,98	857,72

4.1.3 İklim değişikliği projeksiyonları

Üç adet küresel iklim modelinin MakS, MinS ve yağış için tahmin edilen gelecekteki iklim değeri sonuçları, geçmiş temel zamanlara kıyasla Şekil 4.1 ve 4.2'de gösterildiği gibi artış eğilimi gösterdi.

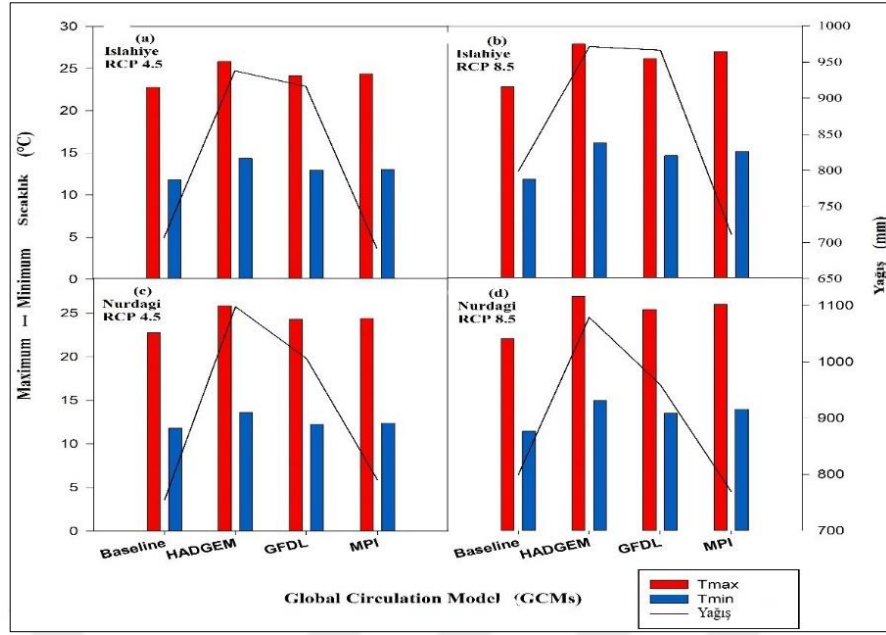
İslahiye bölgesinde yüzyıl ortası için, ortalama MakS değerinin, 1,60 °C (RCP 4.5) ve 2,29 °C (RCP 8.5) ve ortalama MinS değerinin ise 1,32 °C (RCP 4.5) ve 1,90 °C (RCP 8.5) oranında artacağı tahmin edildi. Aynı şekilde yüzyıl sonu için ise, ortalama MakS değeri 1,99 °C (RCP 4.5) ve 4,16 °C (RCP 8.5) ve ortalama MinS değerinin ise 1,63 °C (RCP 4.5) ve 3,45 °C (RCP 8.5) artacağı tahmin edildi (Şekil 4.1 ve 4.2).

Nurdağı bölgesinin gelecekteki tahminlerine bakılacak olursa, yüzyıl ortası boyunca, ortalama Maks için 1,72 °C (RCP 4.5) ve 2,35 °C (RCP 8.5) artışlar gösterir iken ortalama MinS için 0,62 °C (RCP 4.5) ve 1,21 °C (RCP 8.5) artış olacağını gösterdi. Yüzyıl sonları için ise, ortalama Maks için 2,08 °C (RCP 4.5) ve 4,19 °C (RCP 8.5) artarken, ortalama MinS için 0,95 °C (RCP 4.5) ve 2,78 °C (RCP 8.5) artış olacağını göstermiştir (Şekil 4.1 ve 4.2).



Şekil 4.1 : GCM'lerin **yüzyıl ortası** için RCP 4.5 ve 8.5'teki iklim değişikliği projeksiyonu Maks, MinS ve yağış sonuçları.

İslahiye bölgesindeki yüzyıl ortası için yıllık yağışın, yaklaşık 115 mm (RCP 4.5) ve 124 mm (RCP 8.5) artacağı tahmin edilmekle birlikte yüzyıl sonu için (RCP 4.5) senaryosunda 42 mm ve RCP 8.5'ta ise 15 mm kadar azalacağı tahmin edilmektedir (Şekil 4.1 ve 4.2). Yine benzer bir durum Nurdağı bölgesi için de söz konusu olmaktadır. Burada da yüzyıl ortası için yıllık yağışın, yaklaşık 121 mm (RCP 4.5) ve 38 mm (RCP 8.5) artacağı tahmin edildiği fakat yüzyıl sonu için (RCP 4.5) senaryosunda 20 mm ve RCP 8.5'ta ise 28 mm kadar azalacağı tahmin edilmektedir (Şekil 4.1 ve 4.2).



Şekil 4.2 : GCM'lerin yüzyıl sonu için RCP 4.5 ve 8.5'teki iklim değişikliği projeksiyonu Maks, MinS ve yağış sonuçları.

4.1.4 İklim değişikliğinin buğday tarımına etkisi

İklim değişikliğinin, yağışlardaki artışa rağmen artan sıcaklıkların bir sonucu olarak yüzyılın orta ve sonunda tüm bölgelerde verimi düşüreceği öngörülmüştür. İslahiye'de verimde ortalama % 16,55 düşüşe karşılık, Nurdağı'nda % 13,77 düşüş ile en az etkilenen bölge olmuştur (Çizelge 4.4). RCP bazında bakılacak olursa, yüzyılın ortası ve sonundaki sıcaklık artışı nedeniyle, RCP 8.5 senaryosunda verim düşüşleri, ortalama % 15,8 ile daha yüksek olma eğiliminde iken RCP 4.5 senaryosunda % 14,5 oldu. Yüzyılın orta ve sonunda verimde Küresel iklim modellerinden HadGEM2-ES'in, diğer ikisi olan GFDL-ESM2M ile MPI-ESM-MR'e nazaran daha büyük bir azalma göstermiştir. HadGEM2-ES, yüzyılın ortaları için yaklaşık % 27 ve yüzyılın sonu için ise % 29 ile en büyük azalma gösteren model olmuştur (Çizelge 4.4).

İlçe bazında detaylı sonuçlara bakılacak olursa, İslahiye için verimde yüzyılın ortalarında RCP 4.5'de % 15,89 ve RCP 8.5'te % 16,86 azalma kaydedilirken, yüzyıl sonu için RCP 4.5'de % 16,20 ve RCP 8.5'te % 17,25 düşüş göstermiştir. Nurdağı için ise, yüzyıl ortası için verimde RCP 4.5'de % 12,94 ve RCP 8.5'te % 13,23'lük düşüşleri kaydedilmiş iken, yüzyıl sonu için RCP 4.5'te % 13,05 ve RCP 8.5'te % 15,87 düşüşler olacağı görülmüştür (Çizelge 4.4).

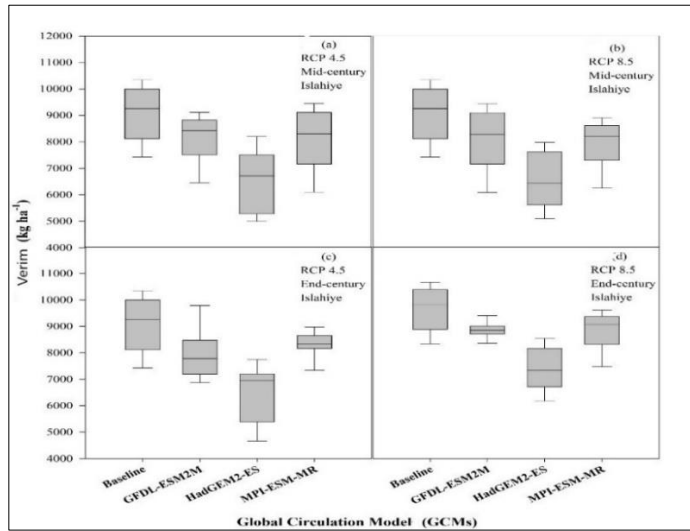
Genel olarak ise, İslahiye'de ortalama verimin yüzyılın ortalarında % 16,37 ve yüzyılın sonunda % 16,72 düşüş gösterir iken Nurdağı'nda ortalama verimin yüzyılın

ortalarda % 13,08 ve yüzyıl sonunda ise % 14,46 oranında azalacağı öngörülmüştür (Çizelge 4.4). RCP 4.5 ve 8.5 altındaki her iki bölgenin buğday verimindeki değişim, Şekil 6 ve 7'de gösterilmektedir.

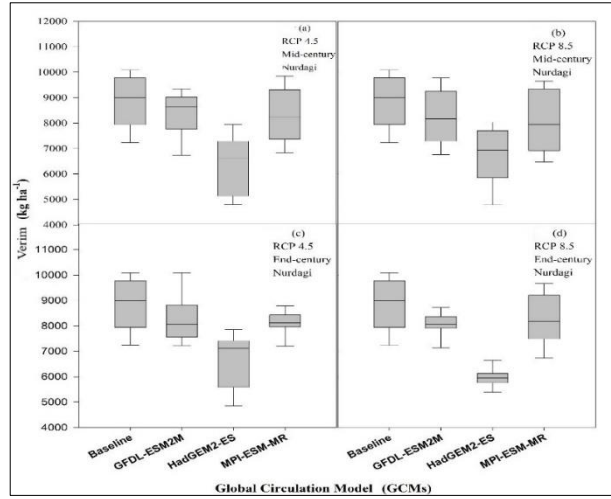
Çizelge 4.4 : Yüzyıl ortası ve sonundaki İslahiye ve Nurdağı için RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında üç GCM'in buğday verimindeki değişim.

Senaryolar	GCM'ler	İslahiye		Nurdağı	
		Yüzyıl Ortası	Yüzyıl Sonu	Yüzyıl Ortası	Yüzyıl Sonu
RCP 4.5	GFDL-ESM2M	-9,58	-11,92	-4,78	-5,90
	HadGEM2-ES	-27,49	-28,26	-27,7	-24,66
	MPI-ESM-MR	-10,59	-8,43	-6,33	-8,58
RCP 8.5	GFDL-ESM2M	-10,73	-10,41	-7,18	-9,22
	HadGEM2-ES	-27,93	-30,62	-23,77	-32,25
	MPI-ESM-MR	-11,92	-10,71	-8,74	-6,15

Üst-alt ve çeyreklik aralığı İslahiye ve Nurdağı olan her iki konumdaki tüm GCM'lerde azdı. Ancak çeyreklik aralığı İslahiye'de yüzyıl sonunda RCP 4.5 senaryosunda MPI-ESM-MR olarak (Şekil 4.3/c) daha az çıktı. Ayrıca İslahiye ve Nurdağı'nda yine yüzyılın sonu için fakat RCP 8.5 senaryosunda GFDL-ESM2M olarak (Şekil 4.3 ve 4.4/d) ile buna ek olarak Nurdağı'nda HADGEM2-ES (Şekil 4.4/d) küresel iklim modellerinde daha az çıktı.



Şekil 4.3 : İslahiye için RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında iklim değişikliğinin buğday verimi üzerine etkileri.



Şekil 4.4 : Nurdagi için RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarında iklim değişikliğinin buğday verimi üzerine etkileri.

4.2 Uzaktan Algılama NDVI İndis Sonuçları

4.2.1 Görüntü sınıflandırma

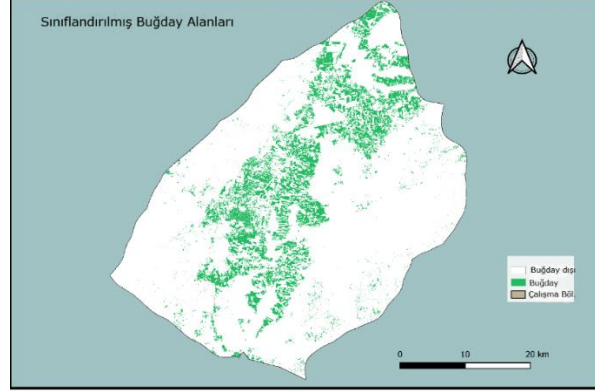
Çalışma bölgesi ile ilgili, daha farklı bir metot olarak görüntü sınıflandırma için makine öğrenme algoritmaları kullanılarak % 90 ile % 97 arasında değişen doğruluklar elde edilmiştir (Çizelge 4.5). Random Forest (RF) ile sınıflandırılan alanın doğruluğu Çizelge 4.5'te de gösterildiği gibi % 97 olarak bulunmuştur. Çapraz validasyonun ortalama doğruluğu, en yüksek % 97 civarındaki kaydedilen RF dışındaki diğer tüm doğrulukların dahi % 90'dan daha yüksek oranda desteklendiği göstermiştir. Böylece buğdayın mekânsal dağılımı için RF algoritması kullanılmıştır.

Çizelge 4.5 : Makine Öğrenmesi algoritmalarının doğruluk tablosu.

Algoritmalar	Doğruluk %
Destek Vektör Makinaları (SVM)-Radial Basis	0,94
SVM-Lineer	0,93
Kuadratik Ayrıcı Analizi (QDA)	0,91
Lineer Ayrıcı Analizi (LDA)	0,92
Random Forests (RF)	0,97
Karar Ağaçları (DT)	0,95
K-En Yakın Komşuluk (KNN)	0,91
Boosting	0,90

Türkiye RF ile sınıflandırılan toplam iki bölgenin buğday alanı 29.10 bin hektar iken TÜİK istatistiklerine (TÜİK, 2017) göre bölgenin buğday alanının 26.52 bin hektar olduğu bildirildi. Buğday için tahmin edilen alan, resmi kayıtlara göre olan alandan %

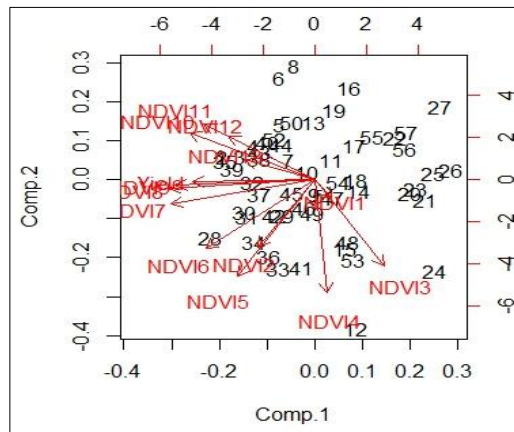
11 daha fazla olmuştur (Şekil 4.5). Buradaki farklılığın sebebi resmi kurumların yeni buğday alanları hesaba katmamaları, toplanan güncel örnek popülasyonun gerçek sürekliliği temsil etmemesi nedeniyle yanlış değerler verilebileceği ihtimalidir.



Şekil 4.5 : Nurdağı ve İslahiye bölgesi için sınıflandırılmış buğday alanı.

4.2.2 Temel bileşenler analizi

Buğdayın yetiştirme sezonundaki buğday görüntülerinden elde edilen NDVI indisleri, 17 Kasım 2016 - 29 Haziran 2017 tarihleri arasındaki ve 16 gün arayla indirilen iki ilçenin Landsat-8 görüntülerinden hesaplanmıştır. Dolayısıyla NDVI'lerin zaman serileri, buğday verim değerleri de olan 27 tarla İslahiye, 30 tarla da Nurdağı'ndan olmak üzere 57 tarladan hesaplandı. Temel Bileşenler Analizi (PCA), hangi NDVI'nin verime daha yakın olduğunu görmek için çalıştırıldı. NDVI_7, NDVI_8 ve NDVI_9 indislerinin verim ile çok yakın bir ilişkiye sahip olduğu bulundu (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : NDVI zaman serilerinin temel bileşen analizi (PCA).

4.2.3 Verim tahmin modeli

LASSO regresyonu, verim tahmin modelinin katsayılarını belirlemek için kullanılmıştır. Verim tahmin modeli, verim ile yakından ilişkili olarak bulunan

NDVI₇, 8 ve 9 değerleri kullanıldı (Çizelge 4.6). Verilerin % 40'ı modelin geliştirilmesinde, % 60 ise modelin doğrulanması için kullanılmıştır. Bootstrapping yönteminde ise % 70'i eğitim için, % 30'u ise test için uygulandı. Sonuçlar NDVI'lerin Pr > 1 ile geliştirilen modelde güçlü bir şekilde katkıda bulunduğunu göstermiştir. Modelin intercept değerinin de 2.368 olarak belirlenen geliştirilmiş Verim Tahmin Modeli (VTM) denklem 4.1'de verilmiştir.

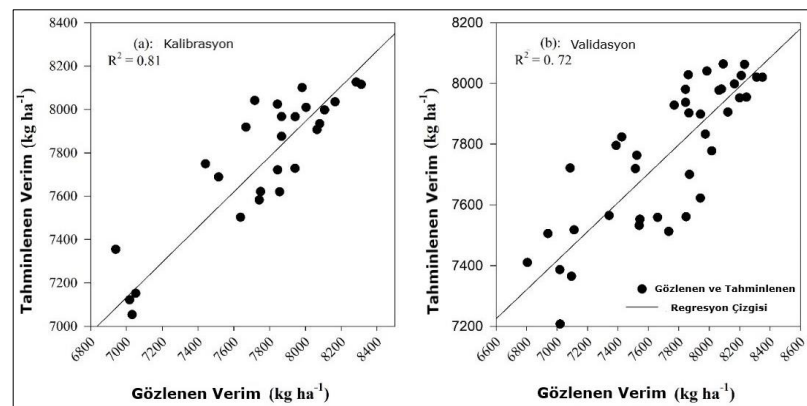
Çizelge 4.6 : Verim tahmin modeli'nde (VTM), NDVI indisleri katsayı değerleri

Katsayılar	Tahmin	Std. Hata	t değeri	Pr(> t)
Intercept	2.368	1.174	2.017	0.06489
NDVI 7	-2.091	1.810	-1.155	0.26876
NDVI 8	9.663	2.644	3.654	0.00291**
NDVI 9	-1.135	3.193	-0.355	0.72803

Not: Std. Hata: Standart Hata; Pr, Olasılık; Önem Seviyeleri: 0'****, 0.001'***, 0.01**', 0.05'0.1'

$$VTM = (2368 - 2091 \times NDVI_7 + 9663 \times NDVI_8 - 1135 NDVI_9) \quad (4.1)$$

Buğday sezonundaki kanopi yoğunluğunda, NDVI₇, en yoğun sezondan bir öncesi olan NDVI (25 Mart) iken, NDVI₈, en yoğun sezonundaki NDVI (10 Nisan) ve NDVI₉ ise en yoğun sezonun bir sonrası olan NDVI (26 Nisan) olarak belirlendi. % 70 veri içeren modelin geliştirilmesinde R², 0.81'lik bir istatistiki değer göstermiştir (Şekil 4.7). Model geliştirilmesinin testi ise % 30 veri ile tahmin edilmeye çalışılan verim, 198 kg/ha KOH ile ve R²'nin 0.72 olarak ortaya çıkan sonuç, GÖZ verim ile karşılaştırılması yapıldı (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : Çalışma bölgesinde GÖZ gerçek değer ile tahmin edilen buğday verim değerleri arasındaki ilişki grafiği.

4.2.4 Bölgesel verim tahminleri

Geliştirilen model, iki bölge olan Nurdağı ve İslahiye için 5 yıllık (2013-2017) bölgesel verim tahmin değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Geliştirilen modelde, iki bölgenin ortalama NDVI değerlerinden hareketle her bölgede 5 yıl boyunca verim tahmin edilmeye çalışıldı. Tahmin edilen verim, Çizelge 4.7'de gösterildiği gibi gerçek gözlemlenen verim değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki gerçek değer ile tahmin edilen verim değerleri arasında yakın bir ilişki olduğunu gösterdi. Nurdağı bölgesinde, gerçek verim ve uzaktan algılama görüntü indisi ile tahmin edilen verim arasındaki % hata, 5 yıl boyunca % 1,96 ile % 10,61 arasında değiştiği gözlemlendi. 2014 yılında % 10,61 ve 2017 yılında ise % 10,09 yüksek hata oranı kaydedilmesine rağmen 2016'da % 1,96 ile daha düşük hata olduğu görüldü. Ayrıca model ile, 2015 ve 2017 yılları için gerçek verimin altında tahmin edildi. Ancak, İslahiye bölgesindeki hata, % 0,81 ile % 7,65 arasında değişmiştir. En yüksek % hata 2013 yılında kaydedilirken, daha düşük hata 2017 yılı için kaydedildi. Model, verimdeki en az hata tahminlerini yani en yakın ilişkileri 2014, 2015 ve 2016 yıllarında öngördü.

Gerçek gözlemlenen verim ve model tahmini ile elde edilen verim arasındaki ilişki, Çizelge 4.7'da gösterildiği gibi her iki bölge için de yakın bir uyum göstermiştir. Nurdağı'nda 5 yıl boyunca 144,8 kg/ha ile daha yüksek olan KOH değerleri olarak kaydedilirken, İslahiye'de 68,78 kg/ha KOH ile kaydedilmiştir.

Çizelge 4.7 : Çalışma bölgelerindeki buğdayda GÖZ gerçek ve model tarafından TE verim sonuçları ve % hataları.

Bölgeler	Nurdağı			İslahiye			
	Yıllar	GÖZ Verim (kg/ha)	TE Verim (kg/ha)	% Hata	GÖZ Verim (kg/ha)	TE Verim (kg/ha)	% Hata
	2017	5.290	4.756	-10,09	4.890	4.930	0,81
	2016	4.790	4.884	1,96	5.340	5.277	-1,17
	2015	6.400	5.924	-7,43	6.170	6.005	-2,67
	2014	4.060	4.491	10,61	5.150	5.068	-1,59
	2013	5.730	5.646	-1,46	5.470	5.889	7,65

4.3 Öneriler

Bu çalışmada buğday bitkisinde verim ile ilgili hem iklim hem de bitki simülasyon model yaklaşımları bütünleştirilerek değerlendirildi. Golia çeşidi öncelikle BSM kullanılarak çiftçi tarlalarından toplanan verilerle kalibre edilerek genetik katsayıları belirlendi. Ardından modelin ilgili katsayılarla ve iklim projeksiyon verileri ile çalıştırılarak 2095 yılına kadar olan bir kısım meteorolojik parametreler ve bitki verimindeki değişimlerle ilgili literatürlere benzerlik taşıyan sonuçlara ulaşılmış oldu.

Tarla düzeyinde gerçekleşen ilk araştırma kısmı olan bitki model çalışması sonucunda en iyi gözlemlenenler % 1 civarında olmak üzere kalibrasyonda en yüksek % 11, model testi sırasında ise en yüksek % 13 civarında değişen hatalarla büyümeyi öngörerek iyi sonuç vermiştir. Bu çalışmanın sonuçlarındaki çelişki, modelin tarla verileriyle kalibre edilmesinden kaynaklanıyor olabilir. Çünkü çiftçiler, buğdayın fenolojik aşamalarını bilmeden ekim, sulama, gübreleme ve ilaçlama gibi bakım girdileri uyguladıklarından dolayı SE veya TE ile GÖZ ve ÖLÇ sonuçları arasında farklılıklar oluşmuş olabilmektedir. Genetik katsayı parametreleri model içerisinde bulunan GLUE yazılımı kullanılarak hesaplandı. Genetik katsayıların bulunan değerleri (Valizadeh vd., 2014) tarafından da tahmin edilen değerler aralığındaydı. Bununla birlikte, vernalizasyonla ilgili çıkan daha yüksek günler (PIV), buğday çeşidinin kışlık olmasından kaynaklanıyordu. Buradan çıkarılan sonuç, bulunan genetik katsayıların Golia çeşidinin karakteristik özelliklerini yüksek oranlarda yansıttığını ve bu çeşidin verim tahmininde yararlı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Son yüzyıldaki en önemli problemlerden olan küresel iklim değişikliği tarımsal üretim ve gıda güvenliği alanını da ciddi bir tehdit olarak etkilemektedir. Gelecek iklim senaryoları, genel itibarıyla bitki verimliliğini azaltacağı öngörülen sıcaklıkların artışı göstermektedir. İklim değişikliğinin birçok bitkide olduğu gibi buğday verimi üzerinde de olumsuz etkileri olacağı yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Özdoğan 2011, Türkiye'deki GCM tahminlerine bağlı olarak buğday veriminin % 5 ile % 35 oranında düşeceğini yaptığı çalışma ile gösterdi. Benzer bulgu olarak, Demircan da Türkiye'deki iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin mutlaka olacağını göstermiştir (Demircan et al., 2017). Bu çalışmada, iklim değişikliğine karşı buğday veriminde gelecekteki muhtemel sonuçlar arasında belirsizliği azaltmak için üç adet küresel iklim

modeli (GCM) kullanılmıştır. Çoklu GCM'lerin kullanımı, iklim değişikliği analizlerindeki belirsizlik aralığını karakterize etmeye yardımcı olmuştur. Bu çalışmada iklim değişikliği tahminleri için öncelikle GCM'lerin dinamik olarak küçültülmesi yapılmıştır. GCM'lerin küçültülmesi, mekânsal çözünürlüğü yükselttiği ve iklim senaryolarının kullanılabilirliğini arttırmak için gerekliydi. Gelecek zamandaki tahminler, Tmax, Tmin ve yağış oranlarının, yüzyılın orta ve sonlarında artması beklendiğini göstermiştir. Ayrıca bu çalışma, gelecekteki sıcaklıkların artışı ve yağışların düzensizliği, buğday verimlerini yüzyıl ortasında yaklaşık % 14 ve yüzyıl sonunda ise % 16 oranında azaltacağını göstermiştir. Azalan verim, hızla biriken günderece sonucunda sıcaklıktaki artışla birlikte büyüme döngüsündeki azalma gibi fizyolojik nedenlerden kaynaklanacağı sonucuna varılabilmektedir. Bu da demektir ki yüksek sıcaklık, tane büyüklüğünü ve ağırlığını düşürerek verimde bir düşüşe neden olmaktadır (R. Wheeler vd., 1996; Nasim vd., 2016a). 32 °C'nin üzerindeki yüksek sıcaklık, tane gelişimi için gereken zamanı kısaltan buğdayda tanenin doldurma süresini de azaltmakla birlikte ayrıca 1°C sıcaklığındaki bir artışın, çiçeklenme başlangıcını 10 gün hızlandırdığı da tespit edildi (Asseng vd., 2015). Benzer bulgular, çiçeklenmeye 11 gün erken girdiğini (Sayre vd., 1997) tarafından da bildirilmiştir. Sonuç olarak verimdeki azalma sıcaklıktaki artışa bağlı olarak, aynı zamanda tahıl doldurma süresini kısaltan fenoloji sürecinin hızlanmasından da kaynaklanmaktadır. İklim değişikliklerinin etkilerinin değerlendirilmesi ayrıca bir kısım araştırmacılar ve politika yapıcılar için zamanında karar alma ve adaptasyon çalışmaları için bilimsel temel oluşturma konusunda da bilgi sağlamaktadır.

Bir diğer çalışma kısmını kapsayan konu olan uydu görüntü indisleri ile bölgesel verim tahmin çalışmalarında bulunmaktı. Buradaki asıl amaç ise, Türkiye için diğer bölgelere de uygulanabilecek bir verim tahmin metodolojisi geliştirmektir. Önceki çalışmalarla da geniş alanlarda verim tahmini için metodolojik bir çerçeve geliştirmek üzere yoğunlaşmasına (Hooda vd., 2006; Mashaba vd., 2017; Ahmad vd., 2018b) rağmen verim tahmini hakkında güvenilir bilgi almak için hangi yöntem ve algoritmanın kullanılması gerektiğine henüz karar verilmemişti. Bu nedenle çalışmamızın dayanağı, tercih edilen bir kısım makine öğrenme algoritmalarının kullanımı, sınıflandırma ve verim tahmin modeli geliştirme hakkında doğruluğu arttıran bilgiler sağlamaktı. Bu çalışmada, görüntü sınıflandırma için MÖ algoritmaları kullanılmış olup % 90'dan daha fazla doğruluk sonucuna ulaşılmasıyla birlikte RF

algoritması ile % 97 doğruluğa ulaşılmıştır. Çalışma sonuçları, çeşitli algoritmaları kullanan Johnson'ın (Johnson vd., 2012) bulgularını da doğrulamaktadır. Fakat sonuçlardaki farklılık, buğday yetiştirme sezonundaki küçük mısır bitkilerinin mevcudiyetinden kaynaklanmış karışıklıklar olmuş olabilir. Buna ek olarak, diğer hatalar, buğday tarlasında aynı boyutlarda başka bitkilerin bulunması olabilir ve bunlar da buğday olarak sınıflandırılmış olabilir. Çoklu birlikte ekim sistemi, belirsiz arazi sınırları ve öngörülemez küçük alandaki tarlaların etkilerini azaltmak için yüksek mekânsal çözünürlükteki görüntüler kullanılarak doğruluk oranları artırılabilir (Drusch vd., 2012). Ayrıca TÜİK tarafından bildirilen sınıflandırma alanı, tahmin edilen alandan % 11 daha azdı. Bunun nedeni de, istatistik biriminde çalışan görevlilerin, sınırlı sayıda tarla bilgisi ve çiftçilerden doğru olmayan değerler toplayarak bu bilgilere göre alanı tahmin etmesi olabilir.

Çalışmada, LASSO regresyonu da kullanılarak NDVI ile verim tahmin modeli geliştirmek ve bootstrapping yöntemi ile de verim elde edilmiştir. LASSO analizi, değişken seçiminde ve model için katsayıların geliştirilmesinde kullanılır (Chan-Lau, 2017). Bu çalışmada, LASSO sonuçları NDVI indislerinin gerçek bitki verim değerleri ile güçlü bir ilişki olduğunu göstermiştir. Pettorelli gibi bir kısım araştırmacı da, NDVI'ların vejetasyon izlemede güçlü bir tahmin edici olduğunu bulmuştur (Pettorelli vd., 2011). Kuhn ve Johnson (Kuhn ve Johnson 2013) düşük hatayla katsayının tahmini için LASSO regresyonunu kullandı ve ayrıca model geliştirmede ve bu deneyimin geliştirilmesinde önemli bir iyileşme sağlayan bootstrapping metodu çok etkili bir yaklaşım olmaktadır (Breiman, 1996). Geliştirilen modelden elde edilen verim tahmini sonuçları, Nurdağ'ında 144 kg/ha ve İslahiye'deki 68 kg/ha KOH ile 5 yıllık GÖZ ve TE verim arasında yakın bir ilişki olduğunu göstermiştir. Modelin 2015 ve 2017 yılı için düşük verim tahmininde bulunma nedeni, çiçeklenme aşamasında elverişsiz hava koşulları olabilir ve ayrıca yaprak kıvrıldığından dolayı daha az NDVI göstermesi veya NDVI vejetatif aşamalarda bazen daha yoğunlaşmış görülmesi olabilmektedir (Yengoh vd., 2014). Yine de GÖZ ve TE verim arasındaki ilişkide iyi bir uyum gösterdiği sonucuna varılabilir. Geliştirilen model, diğer bölgelerdeki tarımsal ürünlerin bölgesel verim tahminleri için de kullanılabilir.



KAYNAKLAR

- Ahmad, I., Saeed, U., Fahad, M., Ullah, A., ur Rahman, M., Ahmad, A., ... Judge, J.** (2018). Yield Forecasting of Spring Maize Using Remote Sensing and Crop Modeling in Faisalabad-Punjab Pakistan. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(10), 1701–1711. doi:10.1007/s12524-018-0825-8
- Ahmad, I., Wajid, S. A., Ahmad, A., Cheema, M. J. M., & Judge, J.** (2018). Assessing the Impact of Thermo-temporal Changes on the Productivity of Spring Maize under Semi-arid Environment. *International Journal of Agriculture and Biology*, 20(10), 2203–2210.
- Ahmad, I., Wajid, S. A., Ahmad, A., Cheema, M. J. M., & Judge, J.** (2019). Optimizing irrigation and nitrogen requirements for maize through empirical modeling in semi-arid environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(2), 1227–1237. doi:10.1007/s11356-018-2772-x
- Ahmed, I., ur Rahman, M. H., Ahmed, S., Hussain, J., Ullah, A., & Judge, J.** (2018). Assessing the impact of climate variability on maize using simulation modeling under semi-arid environment of Punjab, Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(28), 28413–28430. doi:10.1007/s11356-018-2884-3
- Ahmed, M., Akram, M. N., Asim, M., Aslam, M., Hassan, F., Higgins, S., ... Hoogenboom, G.** (2016). Calibration and validation of APSIM-Wheat and CERES-Wheat for spring wheat under rainfed conditions: Models evaluation and application. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 384–401. doi:10.1016/j.compag.2016.03.015
- Akçakaya, A., Sümer, U. m., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., ... Çukurçayır, F.** (2015). *Yeni senaryolar ile Türkiye iklim projeksiyonları ve iklim değişikliği. TR2015-CC Araştırma dairesi başkanlığı klimatoloji şube müdürlüğü.* MGM.
- Akhand, K.** (2018). *Crop Yield Prediction Using Satellite Remote Sensing and Artificial Neural Network.* City University of New York.
- Alexander, L. V, Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Tank, A. M. G. K., ... Rahimzadeh, F.** (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D5).
- Alganci, U., Ozdogan, M., Sertel, E., & Ormeci, C.** (2014). Estimating maize and cotton yield in southeastern Turkey with integrated use of satellite images, meteorological data and digital photographs. *Field Crops Research*, 157, 8–19. doi:10.1016/j.fcr.2013.12.006
- Apaydin, H., Sonmez, F. K., & Yildirim, Y. E.** (2004). Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey. *Climate Research*, 28(1), 31–40.

- Arıcı, İ., Gündoğdu, K., Aslan, T., Yashoğlu, E., & Kirmikil, M.** (2011). *Tarimsal Meteoroloji*. (I. ARICI, Ed.). Eskişehir: T.C. ANADOLU ÜNİVERSİTESİ YAYINI NO: 2258.
- Asseng, S, Ewert, F., Rosenzweig, C., Jones, J. W., Hatfield, J. L., Ruane, A. C., ... Wolf, J.** (2013). Uncertainty in simulating wheat yields under climate change. *Nature Climate Change*, 3(9), 827–832. doi:10.1038/Nclimate1916
- Asseng, Senthold, Cammarano, D., Basso, B., Chung, U., Alderman, P. D., Sonder, K., ... Lobell, D. B.** (2017). Hot spots of wheat yield decline with rising temperatures. *Glob Chang Biol*, 23(6), 2464–2472. doi:10.1111/gcb.13530
- Asseng, Senthold, Cao, W., Zhang, W., & Ludwig, F.** (2009). Chapter 20 - Crop Physiology, Modelling and Climate Change: Impact and Adaptation Strategies. In *Crop Physiology* (pp. 511–543). San Diego: Academic Press. doi:http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-374431-9.00020-7
- Asseng, Senthold, Zhu, Y., Wang, E., & Zhang, W.** (2015). Chapter 20 - Crop modeling for climate change impact and adaptation A2 - Sadras, Victor O. In D. F. Calderini (Ed.), *Crop Physiology (Second Edition)* (pp. 505–546). San Diego: Academic Press. doi:http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-417104-6.00020-0
- Atar, B.** (2018). Determination and Assessments the Yield Gap Between the Wheat Yield and Potential Yield in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 6(10). doi:10.24925/turjaf.v6i10.1339-1346.1825
- Bao, Y. W., Hoogenboom, G., McClendon, R., & Vellidis, G.** (2017). A comparison of the performance of the CSM-CERES-Maize and EPIC models using maize variety trial data. *Agricultural Systems*, 150, 109–119. doi:10.1016/j.agsy.2016.10.006
- Baumer, O., & Rice, J.** (1988). Methods to predict soil input data for DRAINMOD. *American Society of Agricultural Engineers (Microfiche Collection)(USA)*.
- Bazgeer, S., Mahey, R. K., Sidhu, S. S., Sharma, P. K., Sood, A., Noorian, A. M., & Kamali, G.** (2008). Wheat yield prediction using remotely sensed agromet trend-based models for Hoshiarpur District of Punjab, India. *Journal of Applied Sciences*, 8(3), 510–515. doi:10.3923/jas.2008.510.515
- Ben-Asher, J., Yano, T., Aydın, M., & Garcia, A. G.** (2019). Enhanced Growth Rate and Reduced Water Demand of Crop due to Climate Change in the Eastern Mediterranean Region. In *Climate Change Impacts on Basin Agroecosystems* (pp. 269–293). Springer.
- Berhane, A.** (2018). Applications of Aqua crop Model for Improved Field Management Strategies and Climate Change Impact Assessment: A Review. *Modern Concepts & Developments in Agronomy*, 3(2), 1–11. doi:10.31031/mcda.2018.03.000558
- Bessembinder, J., Bosma, R., De Ridder, N., De Vries, S., Hutten, S., Kroeze, C., ... Ittersum, M. Van.** (2008). PLANT, ANIMAL, MAN & ENVIRONMENT A course on the biological background and the environmental effects of agricultural production, and on the management of its sustainability. Retrieved from <https://www.pame.wur.nl/>

- Bhatnagar, R., & Gohain, G. B.** (2005). *Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition* (Vol. 3587). Springer International Publishing. doi:10.1007/b138149
- Boken, V. K., & Shaykewich, C. F.** (2002). Improving an operational wheat yield model using phenological phase-based Normalized Difference Vegetation Index. *International Journal of Remote Sensing*, 23(20), 4155–4168. doi:10.1080/014311602320567955
- Boote, K. J., Allen Jr, L. H., Prasad, P. V. V., & Jones, J. W.** (2011). Testing effects of climate change in crop models. In *Handbook of climate change and agroecosystems: Impacts, adaptation, and mitigation* (pp. 109–129). World Scientific.
- Bowman, R. A.** (1997). Field Methods to Estimate Soil Organic Matter. Conservation Tillage Fact Sheet# 5-97. USDA-ARS and NRCS. Akron, CO.
- Breiman, L.** (1996). Bagging predictors. *Machine Learning*, 24(2), 123–140.
- Burgos-Artizzu, X. P., Ribeiro, A., Tellaeché, A., Pajares, G., & Fernández-Quintanilla, C.** (2009). Improving weed pressure assessment using digital images from an experience-based reasoning approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 65(2), 176–185.
- Çelik, M. A.** (2012). İslâhiye İlçesi Arazi Kullanımı Üzerinde Yükselti, Eğitim ve Toprak Faktörlerinin Etkisi. *Sosyal Bilimler Dergisi*, cilt 2 say, 173–186.
- Çelik, Ö., & Altunaydın, S. S.** (2018). A Research on Machine Learning Methods and Its Applications. *Journal of Educational Technology & Online Learning*, 1(3), 25–40. doi:10.31681/jetol.457046
- Challinor, A. J., Simelton, E. S., Fraser, E. D. G., Hemming, D., & Collins, M.** (2010). Increased crop failure due to climate change: assessing adaptation options using models and socio-economic data for wheat in China. *Environmental Research Letters*, 5(3), 34012.
- Chan-Lau, M. J. A.** (2017). *Lasso Regressions and Forecasting Models in Applied Stress Testing*. International Monetary Fund.
- Chikushi, J., Yoshida, S., & Eguchi, H.** (1990). A new method for measurement of root length by image processing. *Biotronics*, 19, 129–135.
- Chisanga, C., Chisanga, C. B., Phiri, E., Shepande, C., & Sichingabula, H.** (2014). Evaluating CERES-Maize Model Using Planting Dates and Nitrogen. *Journal of Agricultural Science*, 7(December), 1–19. doi:10.5539/jas.v7n3p11
- Cline, W. R.** (2007). *Global warming and agriculture: End-of-century estimates by country*. Peterson Institute.
- Čustović, H., Ljuša, M., & Sitaula, B. K.** (2016). Adaptation to Climate Change in Agriculture.
- Das, S. K., & Singh, R.** (2013). A multiple-frame approach to crop yield estimation from satellite- remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 34(11), 3803–3819. doi:10.1080/01431161.2012.762697

- Demircan, M., Gürkan, H., Eskioğlu, O., Arabaci, H., & Coşkun, M.** (2017). Climate Change Projections for Turkey: Three Models and Two Scenarios. *Turkish Journal of Water Science & Management*, 1(1). Retrieved from [https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/44_Climate Change Projections for Turkey.pdf](https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/44_Climate%20Change%20Projections%20for%20Turkey.pdf)
- Dempewolf, J., Adusei, B., Becker-Reshef, I., Hansen, M., Potapov, P., Khan, A., & Barker, B.** (2014). Wheat yield forecasting for Punjab Province from vegetation index time series and historic crop statistics. *Remote Sensing*, 6(10), 9653–9675.
- Dogan, H. G., & Karakas, G.** (2018). The effect of climatic factors on wheat yield in Turkey: A Panel Dols Approach.
- Doğan, Y., & Kendal, E.** (2012). Determination of grain yield and some quality traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(1), 113–121.
- Donatelli, M., Van Ittersum, M. K., Bindi, M., & Porter, J. R.** (2002). Modelling cropping systems—highlights of the symposium and preface to the special issues. *European Journal of Agronomy*, 18(1–2), 1–11. doi:10.1016/s1161-0301(02)00104-1
- Doraiswamy, P. C., Moulin, S., Cook, P. W., & Stern, A.** (2003). Crop yield assessment from remote sensing. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(6), 665–674.
- Doraiswamy, P. C., Sinclair, T. R., Hollinger, S., Akhmedov, B., Stern, A., & Prueger, J.** (2005). Application of MODIS derived parameters for regional crop yield assessment. *Remote Sensing of Environment*, 97(2), 192–202. doi:10.1016/J.RSE.2005.03.015
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., ... Martimort, P.** (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25–36.
- Dudu, H., & Çakmak, E. H.** (2018). Climate change and agriculture: an integrated approach to evaluate economy-wide effects for Turkey. *Climate and Development*, 10(3), 275–288.
- Esetlili, M. T., Balçık, F. B., Şanlı, F. B., Üstüner, M., Kalkan, K., Göksel, Ç., ... Kurucu, Y.** (2018). Comparison of Object and Pixel-Based Classifications For Mapping Crops Using Rapideye Imagery: A Case Study Of Menemen Plain, Turkey. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 5(2), 231–243.
- Ewert, F., Rötter, R. P., Bindi, M., Webber, H., Trnka, M., Kersebaum, K. C., ... Rivington, M.** (2015). Crop modelling for integrated assessment of risk to food production from climate change. *Environmental Modelling & Software*, 72, 287–303.
- Ewert, F., van Ittersum, M. K., Heckelei, T., Therond, O., Bezlepkina, I., & Andersen, E.** (2011). Scale changes and model linking methods for integrated assessment of agri-environmental systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 142(1–2), 6–17. doi:10.1016/J.AGEE.2011.05.016

- Fang, H., Liang, S., & Hoogenboom, G.** (2011). Integration of MODIS LAI and vegetation index products with the CSM–CERES–Maize model for corn yield estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 32(4), 1039–1065. doi:10.1080/01431160903505310
- Feekes, W.** (1941). De tarwe en haar milieu. *Verlagen van de Technische Tarwe Commissie*, 287e303.(523e888. Groningen 17), 72.
- Fenech, A., & Comer, N.** (2013). Future Projections of Climate Change for the Atlantic Region of Canada Using Global Climate Models Used in the IPCC Fifth Assessment Report (2014). *Charlottetown: University of Prince Edward Island*.
- Gaur, A., & Simonovic, S.** (2019). Introduction to Physical Scaling: A Model Aimed to Bridge the Gap Between Statistical and Dynamic Downscaling Approaches. In *Trends and Changes in Hydroclimatic Variables* (pp. 199–273). Elsevier.
- Geçit, H. H., Çiftçi, C. Y., İkincikarakaya, S. Ü., & Kaya, M.** (2008). Tahıllar ve yemelik baklagiller uygulama kılavuzu. In *Ankara Üniversitesi Ziraat Yayınları* (1567th ed., p. 249). Ankara.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Stark, R., & Rundquist, D.** (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 76–87. doi:10.1016/S0034-4257(01)00289-9
- Gontia, N. K., & Tiwari, K. N.** (2011). Yield Estimation Model and Water Productivity of Wheat Crop (*Triticum aestivum*) in an Irrigation Command Using Remote Sensing and GIS. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 39(1), 27–37. doi:10.1007/s12524-011-0065-7
- Hammer, G. L., Kropff, M. J., Sinclair, T. R., & Porter, J. R.** (2002). Future contributions of crop modelling—from heuristics and supporting decision making to understanding genetic regulation and aiding crop improvement. *European Journal of Agronomy*, 18(1–2), 15–31. doi:10.1016/s1161-0301(02)00093-x
- Hamzacebi, C., & Es, H. A.** (2014). Forecasting the annual electricity consumption of Turkey using an optimized grey model. *Energy*, 70, 165–171.
- Hennessy, K., Fawcett, R., Kironoa, D., Mpelasokaa, F., Jones, D., Batholsa, J., ... Mitchell, C.** (2008). An assessment of the impact of climate change on the nature and frequency of exceptional climatic events.
- Holden, C. E., & Woodcock, C. E.** (2016). An analysis of Landsat 7 and Landsat 8 underflight data and the implications for time series investigations. *Remote Sensing of Environment*, 185, 16–36. doi:10.1016/j.rse.2016.02.052
- Hooda, R. S., Yadav, M., & Kalubarme, M. H.** (2006). *Wheat production estimation using remote sensing data: An Indian experience*. In *Workshop Proceedings: Remote Sensing Support to Crop Yield Forecast and Area Estimates, Stresa, Italy. 30 Nov.–1 Dec. 2006*. (pp. 85–89).
- Hoogenboom, G., Jones, J. W., Traore, P. C. S., & Boote, K. J.** (2012). Improving Soil Fertility Recommendations in Africa using the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). *Improving Soil Fertility Recommendations in Africa Using the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT)*, 9–18. doi:10.1007/978-94-007-2960-5

- Hunt, L. A., & Boote, K. J.** (1998). Data for model operation, calibration, and evaluation. In G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom, & P. K. Thornton (Eds.), *Understanding Options for Agricultural Production* (pp. 9–39). Dordrecht: Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-017-3624-4_2
- IPCC.** (2013). *Climate Change 2013: The physical science basis. working group I contribution to the IPCC 5th assessment report—changes to the underlying scientific/technical assessment.* Cambridge University Press Cambridge.
- Johnson, B., Tateishi, R., & Xie, Z.** (2012). Using geographically weighted variables for image classification. *Remote Sensing Letters*, 3(6), 491–499.
- Jones, J. W., He, J., Boote, K. J., Wilkens, P., Porter, C. H., Hu, Z., ... Ma, L.** (2011). Estimating DSSAT Cropping System Cultivar-Specific Parameters Using Bayesian Techniques. doi:10.2134/advagricsystmodel2.c13
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Boote, K. J., & Porter, C. H.** (2004a). DSSAT V45 manual Volume 2. In *DSSAT Manual (Data Management and Analysis Tools)* (Vol. 2). University of Hawaii.
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Boote, K. J., & Porter, C. H.** (2004b). DSSAT V45 manual Volume 3. In *DSSAT Manual (ICASA Tools)* (Vol. 3). University of Hawaii.
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., ... Ritchie, J. T.** (2003). *The DSSAT cropping system model.* In *European Journal of Agronomy* (Vol. 18, pp. 235–265). Elsevier. doi:10.1016/S1161-0301(02)00107-7
- Kalkan, K.** (2019, December). Uzaktan Algılama. *Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi*, Aralık ayı sayısı sayfa 77.
- Karande, B. I., Lunagariya, M. M., Patel, K. I., & Pandey, V.** (2014). Model for detecting nitrogen deficiency in wheat crop using spectral indices. *Journal of Agrometeorology*, 16(1), 85–93.
- Kheir, A. M. S., El Baroudy, A., Aiad, M. A., Zoghdan, M. G., Abd El-Aziz, M. A., Ali, M. G. M., & Fullen, M. A.** (2019). Impacts of rising temperature, carbon dioxide concentration and sea level on wheat production in North Nile delta. *Science of the Total Environment*, 651, 3161–3173. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.10.209
- Khoorani, A., Farajzadeh, M., Bazgeer, S., & Zaeian, P.** (2014). A Statistical Approach for estimating Wheat Yield Using Bootstrapping resampling for rain-fed farming: A case study of Kurdistan province, Iran. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20(2), 267–274.
- Komarek, A. M., De Pinto, A., & Smith, V. H.** (2020). A review of types of risks in agriculture: What we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 178(September 2019), 102738. doi:10.1016/j.agsy.2019.102738
- Kuhn, M., & Johnson, K.** (2013). *Applied predictive modeling* (Vol. 810). Springer.
- Lal, M., Singh, K. K., Rathore, L. S., Srinivasan, G., & Saseendran, S. A.** (1998). Vulnerability of rice and wheat yields in NW India to future changes in climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 89(2), 101–114.

- Lary, D. J., Zewdie, G. K., Liu, X., Wu, D., Levetin, E., Allee, R. J., ... Mannino, A.** (2018). Machine Learning Applications for Earth Observation. In *Earth Observation Open Science and Innovation* (pp. 165–218). Springer.
- Liu, J., Pattey, E., & Jégo, G.** (2012). Assessment of vegetation indices for regional crop green LAI estimation from Landsat images over multiple growing seasons. *Remote Sensing of Environment*, *123*, 347–358. doi:10.1016/j.rse.2012.04.002
- Lobell, D. B.** (2013). The use of satellite data for crop yield gap analysis. *Field Crops Research*, *143*, 56–64. doi:10.1016/j.fcr.2012.08.008
- Lobell, D. B., Asner, G. P., Ortiz-Monasterio, J. I. I., & Benning, T. L.** (2003). Remote sensing of regional crop production in the Yaqui Valley, Mexico: estimates and uncertainties. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *94*(2), 205–220. doi:10.1016/S0167-8809(02)00021-X
- Lobell, D. B., & Ortiz-Monasterio, J. I.** (2006). Regional importance of crop yield constraints: Linking simulation models and geostatistics to interpret spatial patterns. *Ecological Modelling*, *196*(1–2), 173–182. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.11.030
- Lorenz, D. H., Eichhorn, K. W., Bleiholder, H., Klose, R., Meier, U., & Weber, E.** (1994). Phänologische Entwicklungsstadien der Weinrebe (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*) e Codierung und Beschreibung nach der erweiterten BBCH Skala. *Enol. Sci.*, *66e70*, 49.
- Martre, P., Wallach, D., Asseng, S., Ewert, F., Jones, J. W., Rotter, R. P., ... Wolf, J.** (2015). Multimodel ensembles of wheat growth: many models are better than one. *Glob Chang Biol*, *21*(2), 911–925. doi:10.1111/gcb.12768
- Maselli, F., & Chiesi, M.** (2006). Integration of multi-source NDVI data for the estimation of Mediterranean forest productivity. *International Journal of Remote Sensing*, *27*(1), 55–72. doi:10.1080/01431160500329486
- Mashaba, Z., Chirima, G., Botai, J. O., Combrinck, L., Munghemezulu, C., & Dube, E.** (2017). Forecasting winter wheat yields using MODIS NDVI data for the Central Free State region. *South African Journal of Science*, *113*(11–12), 1–6.
- Mereu, V., Gallo, A., & Spano, D.** (2019). Optimizing Genetic Parameters of CSM-CERES Wheat and CSM-CERES Maize for Durum Wheat, Common Wheat, and Maize in Italy. *Agronomy (Mdpi)*, (creativecommons.org/licenses/by/4.0/), 19.
- Mor, A.** (2005). *Bitki - İklim Modeli (DSSAT) Kullanılarak Bursa'da Buğday İçin Farklı Su Uygulama Düzeylerinin Analizi*. uludağ üniv. Fen Bilimleri Ens. Uludağ Üniversitesi.
- Morell, F. J., Yang, H. S., Cassman, K. G., Wart, J. Van, Elmore, R. W., Licht, M., ... Grassini, P.** (2016). Can crop simulation models be used to predict local to regional maize yields and total production in the U.S. Corn Belt? *Field Crops Research*, *192*, 1–12. doi:10.1016/j.fcr.2016.04.004
- Moriondo, M., Maselli, F., & Bindu, M.** (2007). A simple model of regional wheat yield based on NDVI data. *European Journal of Agronomy*, *26*(3), 266–274. doi:10.1016/j.eja.2006.10.007

- Mourice, S. K., Rweyemamu, C. L., Tumbo, S. D., & Amuri, N.** (2014). Maize Cultivar Specific Parameters for Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Application in Tanzania. *American Journal of Plant Sciences*, 05(06), 821–833. doi:10.4236/ajps.2014.56096
- Mubeen, M., Ahmad, A., Wajid, A., Khaliq, T., Hammad, H. M., Sultana, S. R., ... Nasim, W.** (2016). Application of CSM-CERES-maize model in optimizing irrigated conditions. *Outlook on Agriculture*, 45(3), 173–184. doi:10.1177/0030727016664464
- Nasim, W., Belhouchette, H., Ahmad, A., Habib-ur-Rahman, M., Jabran, K., Ullah, K., ... Hoogenboom, G.** (2016). Modelling climate change impacts and adaptation strategies for sunflower in Pakistan. *Outlook on Agriculture*, 45(1), 39–45. doi:10.5367/oa.2015.0226
- Nelson, G. C., van der Mensbrugge, D., Ahammad, H., Blanc, E., Calvin, K., Hasegawa, T., ... Willenbockel, D.** (2014). Agriculture and climate change in global scenarios: why don't the models agree. *Agricultural Economics*, 45(1), 85–101. doi:10.1111/agec.12091
- Oguz, H.** (2008). *Toprak Bilgisi*.
- Olesen, J. E., Trnka, M., Kersebaum, K. C., Skjelvåg, A. O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., ... Micale, F.** (2011). Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy*, 34(2), 96–112.
- Olsson, L., Eklundh, L., & Ardö, J.** (2005). A recent greening of the Sahel—trends, patterns and potential causes. *Journal of Arid Environments*, 63(3), 556–566.
- Oteng-Darko, P., Yeboah, S., Addy, S. N. T., Amponsah, S., & Danquah, E. O.** (2013). Crop modeling: A tool for agricultural research—A review. *E3 Journal of Agricultural Research and Development*, 2(1), 1–006. Retrieved from <http://www.e3journals.org>
- Özcan, Orkan.** (2014). *Başlıca iklim parametrelerinin bitki su tüketimine etkilerinin uzaktan algılama yöntemleri ile araştırılması. uydu haberleşmesi ve uzaktan algılama*. istanbul teknik universitesi.
- Özdoğan, M.** (2011). Modeling the impacts of climate change on wheat yields in Northwestern Turkey. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 141(1–2), 1–12. doi:10.1016/j.agee.2011.02.001
- Ozelkan, E., Chen, G., & Ustundag, B. B.** (2016). Multiscale object-based drought monitoring and comparison in rainfed and irrigated agriculture from Landsat 8 OLI imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 44, 159–170. doi:10.1016/j.jag.2015.08.003
- Palosuo, T., Kersebaum, K. C., Angulo, C., Hlavinka, P., Moriondo, M., Olesen, J. E., ... Rötter, R.** (2011). Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: A comparison of eight crop growth models. *European Journal of Agronomy*, 35(3), 103–114. doi:10.1016/j.eja.2011.05.001
- Pandey, A., Chowdary, V. M., & Mal, B. C.** (2007). Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing. *Water Resources Management*, 21(4), 729–746.

- Pecetti, L., & Hollington, P. A.** (1997). Application of the CERES-Wheat simulation model to durum wheat in two diverse Mediterranean environments. *European Journal of Agronomy*, 6(1–2), 125–139. doi:Doi 10.1016/S1161-0301(96)02039-4
- Pettorelli, N., Ryan, S., Mueller, T., Bunnefeld, N., Jędrzejewska, B., Lima, M., & Kausrud, K.** (2011). The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): unforeseen successes in animal ecology. *Climate Research*, 46(1), 15–27.
- Prasad, A. K., Chai, L., Singh, R. P., & Kafatos, M.** (2006). Crop yield estimation model for Iowa using remote sensing and surface parameters. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(1), 26–33. doi:10.1016/j.jag.2005.06.002
- Priya, S., & Shibasaki, R.** (2001). National spatial crop yield simulation using GIS-based crop production model. *Ecological Modelling*, 136(2–3), 113–129. doi:Doi 10.1016/S0304-3800(00)00364-1
- R. Wheeler, T., D. Hong, T., H. Ellis, R., R. Batts, G., Morison, J., & Hadley, P.** (1996). *The duration and rate of grain growth, and harvest index, of wheat (Triticum aestivum L.) in response to temperature and CO2*. *Journal of Experimental Botany - J EXP BOT* (Vol. 47). doi:10.1093/jxb/47.5.623
- Rahman, M. H., Ahmad, A., Wang, X., Wajid, A., Nasim, W., Hussain, M., ... Ishaque, W.** (2018). Multi-model projections of future climate and climate change impacts uncertainty assessment for cotton production in Pakistan. *Agricultural and Forest Meteorology*, 253, 94–113.
- Ratjen, A. M., & Kage, H.** (2015). Forecasting yield via reference- and scenario calculations. *Computers and Electronics in Agriculture*, 114, 212–220. doi:10.1016/j.compag.2015.03.020
- Rawls, W. J., Brakensiek, D. L., & Saxton, K. E.** (1982). Estimation of soil water properties. *Transactions of the ASAE*, 25(5), 1316–1320.
- Reidsma, P., Katrien, D., & Temme, A.** (2015). *The Art of Modelling*. Wageningen: Wageningen Univ.
- Reis, M. J. C. S., Morais, R., Peres, E., Pereira, C., Contente, O., Soares, S., ... Cruz, J. B.** (2012). Automatic detection of bunches of grapes in natural environment from color images. *Journal of Applied Logic*, 10(4), 285–290.
- Rezzoug, W., Gabrielle, B., Suleiman, A., & Benabdeli, K.** (2008). Application and evaluation of the DSSAT-wheat in the Tiaret region of Algeria. *African Journal of Agricultural Research*, 3(4), 284–296.
- Ritchie, J. T., Singh, U., Godwin, D. C., & Bowen, W. T.** (1998). Cereal growth, development and yield (pp. 79–98). doi:10.1007/978-94-017-3624-4_5
- Rosenzweig, C. E., Jones, J. W., Hatfield, J., Antle, J., Ruane, A., Boote, K., ... Janssen, S.** (2015). Guide for Regional Integrated Assessments: Handbook of Methods and Procedures, Version 5.1. Appendix 1.
- Rosenzweig, C., Ruane, A. C., Antle, J., Elliott, J., Ashfaq, M., Chatta, A. A., ... Wiebe, K.** (2018). Coordinating AgMIP data and models across global and regional scales for 1.5 degrees C and 2.0 degrees C assessments. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*, 376(2119). doi:10.1098/rsta.2016.0455

- Rosenzweig, Cynthia, Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., ... Khabarov, N.** (2014). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3268–3273.
- Rosenzweig, Cynthia, Ruane, A. C., Antle, J., Elliott, J., Ashfaq, M., Chatta, A. A., ... Havlik, P.** (2018). Coordinating AgMIP data and models across global and regional scales for 1.5 C and 2.0 C assessments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 376(2119), 20160455.
- Ruane, A. C., Hudson, N. I., Asseng, S., Camarrano, D., Ewert, F., Martre, P., ... Wolf, J.** (2016). Multi-wheat-model ensemble responses to interannual climate variability. *Environmental Modelling & Software*, 81, 86–101. doi:10.1016/j.envsoft.2016.03.008
- Saeed, U., Dempewolf, J., Becker-Reshef, I., Khan, A., Ahmad, A., & Wajid, S. A.** (2017). Forecasting wheat yield from weather data and MODIS NDVI using Random Forests for Punjab province, Pakistan. *International Journal of Remote Sensing*, 38(17), 4831–4854.
- Saengseedam, P., & Kantanantha, N.** (2017). Spatio-temporal model for crop yield forecasting. *Journal of Applied Statistics*, 44(3), 427–440. doi:10.1080/02664763.2016.1174197
- Saglam, S.** (2010). *Tarla Bitkileri Yetistirme – II Uygulama Ders Notları Serin İklim Tahillari*. Ankara Üniversitesi.
- Salazar-Gutierrez, M. R., Johnson, J., Chaves-Cordoba, B., & Hoogenboom, G.** (2013). Relationship of base temperature to development of winter wheat. *International Journal of Plant Production*, 7(4), 741–762.
- Sandeep, V. M., Rao, V. U. M., Bapuji Rao, B., Bharathi, G., Pramod, V. P., Chowdary, P. S., ... Vijaya Kumar, P.** (2018). Impact of climate change on sorghum productivity in India and its adaptation strategies. *Journal of Agrometeorology*, 20(2), 89–96.
- Satir, O., & Yeler, O.** (2016). MONITORING THE WHEAT, CORN AND COTTON AREAS IN AN EASTERN MEDITERRANEAN AGRICULTURAL BASIN BETWEEN 2007 AND 2013. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42(2W1), 159–163. doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W1-159-2016
- Sayre, K. D., Rajaram, S., & Fischer, R. A.** (1997). Yield potential progress in short bread wheats in northwest Mexico. *Crop Science*, 37(1), 36–42.
- Şen, B.** (2009). *Bölgesel İklim Modelleri Kullanılarak Çukurova A Yöresi'nde İklim Değişikliğinin 1. Ve 2. Ürün Mısır Verimine Olası Etkilerinin Belirlenmesi*. Çukurova Üniversitesi.
- Seo, B., Lee, J., Lee, K.-D., Hong, S., & Kang, S.** (2019). Improving remotely-sensed crop monitoring by NDVI-based crop phenology estimators for corn and soybeans in Iowa and Illinois, USA. *Field Crops Research*, 238(October 2017), 113–128. doi:10.1016/j.fcr.2019.03.015

- Serrano, L., Filella, I., & Penuelas, J.** (2000). Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. *Crop Science*, 40(3), 723–731.
- Shah, F., Huang, J., Cui, K., Nie, L., Shah, T., Chen, C., & Wang, K.** (2011). Impact of high-temperature stress on rice plant and its traits related to tolerance. *The Journal of Agricultural Science*, 149(5), 545–556.
- Shelia, V., Hansen, J., Sharda, V., Porter, C., Aggarwal, P., Wilkerson, C. J., & Hoogenboom, G.** (2019). A Multi-scale and Multi-model Gridded Framework for Forecasting Crop Production, Risk Analysis, and Climate Change Impact Studies. *Environmental Modelling & Software*, 115(February), 144–154. doi:10.1016/J.ENVSOF.2019.02.006
- Sinclair, T. R., & Seligman, N.** (2000). Criteria for publishing papers on crop modeling. *Field Crops Research*, 68(3), 165–172. doi:Doi 10.1016/S0378-4290(00)00105-2
- Singh, A. K., Tripathy, R., & Chopra, U. K.** (2008). Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water–nitrogen interactions in wheat crop. *Agricultural Water Management*, 95(7), 776–786. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2008.02.006
- Stockle, C. O., Donatelli, M., & Nelson, R.** (2003). CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal of Agronomy*, 18(3–4), 289–307. doi:Pii S1161-0301(02)00109-0Doi 10.1016/S1161-0301(02)00109-0
- Sunar, F., Özkan, C., & Osmanoğlu, B.** (2011). *Uzaktan Algılama*. (F. Sunar, Ed.) (1.). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- TİGEM.** (2014). *TİGEM’de Yetiştirilen Sertifikalı Tohumluklar*. Ankara. Retrieved from www.tigem.gov.tr
- Toscano, P., Ranieri, R., Matese, A., Vaccari, F. P., Gioli, B., Zaldei, A., ... Miglietta, F.** (2012). Durum wheat modeling: The Delphi system, 11 years of observations in Italy. *European Journal of Agronomy*, 43, 108–118. doi:10.1016/j.eja.2012.06.003
- TÜİK.** (2017). Bölgesel Tahıl Bitkisel Üretim İstatistikleri Veritabanı. Retrieved from http://www.tuik.gov.tr.
- Uça Avcı, Z. D.** (2011). *Process – Based Image Analysis For Agricultural Mapping Using Medium Resolution Satellite Data*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Ullah, A., Ahmad, I., Ahmad, A., Khaliq, T., Saeed, U., Habib-ur-Rahman, M., ... Hoogenboom, G.** (2019). Assessing climate change impacts on pearl millet under arid and semi-arid environments using CSM-CERES-Millet model. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(7), 6745–6757. doi:10.1007/s11356-018-3925-7
- Üstündağ, B.** (2017). An adaptive Mealy machine model for monitoring crop status. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(2), 252–265. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61430-2

- Vakhtang, S., James, H., Cheryl, P., Meng, Z., Pramod, A., Hoogenboom, G., ... Zhang, M.** (2015). CCAFS Regional Agricultural Forecasting Toolbox (CRAFT): software for forecasting of crop production, risk analysis and climate change impact studies. *2015 ASABE International Meeting, 7004*. doi:10.13031/aim.20152182505
- Valizadeh, J., Ziaei, S. M., & Mazlounzadeh, S. M.** (2014). Assessing climate change impacts on wheat production (a case study). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13*(2), 107–115.
- Van Ittersum, M. K., & Rabbinge, R.** (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*. doi:10.1016/S0378-4290(97)00037-3
- Vanli, Ö., Ustundag, B. B., Ahmad, I., Hernandez-Ochoa, I. M., & Hoogenboom, G.** (2019). Using crop modeling to evaluate the impacts of climate change on wheat in southeastern turkey. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:10.1007/s11356-019-06061-6
- Wall, L., Larocque, D., & Léger, P.** (2008). The early explanatory power of NDVI in crop yield modelling. *International Journal of Remote Sensing, 29*(8), 2211–2225.
- Wallach, D., Makowski, D., Jones, J. W., & Brun, F.** (2014). Putting It All Together in a Case Study. *Working with Dynamic Crop Models*, 407–436. doi:10.1016/b978-0-12-397008-4.00010-1
- Wang, Y., Xu, X., Huang, L., Yang, G., Fan, L., Wei, P., & Chen, G.** (2019). An Improved CASA Model for Estimating Winter Wheat Yield from Remote Sensing Images. *Remote Sensing, 11*(9), 1088. doi:10.3390/rs11091088
- Wesseling, J. G., & Feddes, R. A.** (2006). Assessing crop water productivity from field to regional scale. *Agricultural Water Management, 86*(1–2), 30–39. doi:10.1016/j.agwat.2006.06.011
- Wheeler, T. R., Batts, G. R., Ellis, R. H., Hadley, P., & Morison, J. I. L.** (1996). Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum*) crops in response to CO₂ and temperature. *The Journal of Agricultural Science, 127*(1), 37–48.
- White, J. W.** (2006). From genome to wheat: Emerging opportunities for modelling wheat growth and development. *European Journal of Agronomy, 25*(2), 79–88. doi:10.1016/j.eja.2006.04.002
- White, J. W., Hoogenboom, G., Kimball, B. A., & Wall, G. W.** (2011). Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Research, 124*(3), 357–368. doi:10.1016/j.fcr.2011.07.001
- Woli, P., Hoogenboom, G., & Alva, A.** (2016). Simulation of potato yield, nitrate leaching, and profit margins as influenced by irrigation and nitrogen management in different soils and production regions. *Agricultural Water Management, 171*, 120–130. doi:10.1016/j.agwat.2016.04.003
- Woli, P., Jones, J. W., Ingram, K. T., & Hoogenboom, G.** (2014). Predicting Crop Yields with the Agricultural Reference Index for Drought. *Journal of Agronomy and Crop Science, 200*(3), 163–171. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/store/10.1111/jac.12055/asset/jac12055.pdf?v=1&t=iv7sqwnt&s=58c606e3e4daf61e87cb49adb0cdd0094c68d27e>

- Xiong, W., Matthews, R., Holman, I., Lin, E., & Xu, Y.** (2007). Modelling China's potential maize production at regional scale under climate change. *Climatic Change*, 85(3–4), 433–451. doi:10.1007/s10584-007-9284-x
- Xu, M., Jia, X., & Pickering, M.** (2014). Automatic cloud removal for Landsat 8 OLI images using cirrus band. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International* (pp. 2511–2514). IEEE.
- Yang, J. M., Yang, J. Y., Liu, S., & Hoogenboom, G.** (2014). An evaluation of the statistical methods for testing the performance of crop models with observed data. *Agricultural Systems*, 127, 81–89. doi:10.1016/j.agsy.2014.01.008
- Yang, J. Y., & Huffman, E. C.** (2004). EasyGrapher: software for graphical and statistical validation of DSSAT outputs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 45(1–3), 125–132. doi:10.1016/j.compag.2004.06.006
- Yengoh, G. T., Dent, D., Olsson, L., Tengberg, A. E., & Tucker, C. J.** (2014). The use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to assess land degradation at multiple scales: a review of the current status, future trends, and practical considerations. *Lund University Center for Sustainability Studies (LUCSUS), and The Scientific and Technical Advisory Panel of the Global Environment Facility (STAP/GEF)*, 47.
- Yomralıoğlu, T.** (2009). *Coğrafi Bilgi Sistemleri, temel kavramlar ve uygulamalar* (5.). Trabzon.
- Zadoks, J. C.** (1985). Citation Classic - a Decimal Code for the Growth-Stages of Cereals. *Current Contents/Agriculture Biology & Environmental Sciences*, (41), 14.
- Žalud, Z., McMaster, G. S., & Wilhelm, W. W.** (2003). Evaluating SHOOTGRO 4.0 as a potential winter wheat management tool in the Czech Republic. *European Journal of Agronomy*, 19(4), 495–507. doi:10.1016/s1161-0301(02)00186-7
- Zapata, D., Salazar, M., Chaves, B., Keller, M., & Hoogenboom, G.** (2015). Estimation of the base temperature and growth phase duration in terms of thermal time for four grapevine cultivars. *International Journal of Biometeorology*, 59(12), 1771–1781.
- Zhang, N., Wang, M., & Wang, N.** (2002). Precision agriculture - A worldwide overview. In *Computers and Electronics in Agriculture* (Vol. 36, pp. 113–132). doi:10.1016/S0168-1699(02)00096-0
- Zhao, C., Liu, B., Xiao, L., Hoogenboom, G., Boote, K. J., Kassie, B. T., ... Asseng, S.** (2019). A SIMPLE crop model. *European Journal of Agronomy*, 104(February), 97–106. doi:10.1016/j.eja.2019.01.009
- Zhao, G., Siebert, S., Enders, A., Rezaei, E. E., Yan, C., & Ewert, F.** (2015). Demand for multi-scale weather data for regional crop modeling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 200, 156–171. doi:10.1016/j.agrformet.2014.09.026



ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Ömer VANLI

Doğum Yeri ve Tarihi : İslahiye / 22.08.1974

E-Posta : ovanli@gmail.com / vanli@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1998, Harran Üniversitesi- Ziraat Fakültesi -Tarla Bit. Böl.
- **Yüksek lisans** : 2007, İTÜ - İnşaat Fak. – Çevre Müh. Böl.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 1999-2011, TMMOB Ziraat Mühendisliği Odası üyeliği (Gaziantep-İstanbul)
- 2004-2007, İTÜ Ekoloji kulübü başkanlığı (İstanbul)
- 2006, Yalova’da düzenlenen “Türkiye 3. Organik Tarım Sempozyumu’nda “en orijinal poster” ödülü (Yalova)
- 2006, “Kırmızıbiber üretiminde verim ve kalitede artış ve alfa toksin miktarının düşürülmesi” AB Projesi, Uzman (Gaziantep)
- 2013, İşlem GIS tarafından düzenlenen “ArcGIS ileri seviye” program eğitimi (İstanbul)
- 2015, Wageningen Üniversitesi tarafından düzenlenen “Art of Modelling” kursu (Hollanda)
- 2015, Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından düzenlenen “DSSAT kullanımı” kursu (Konya)
- 2016, Gebze Teknik Üniversitesi tarafından düzenlenen “3 dakikada tezini anlat” yarışması (Gebze, Kocaeli)
- 2016, Faisalabad Tarım Üniversitesi tarafından düzenlenen “AgMIP Mid-Term (TOA-MD)” çalıştay (Pakistan)
- 2017, TÜBİTAK BİDEB 2214-A yurtdışı araştırma bursu ile 9 ay Florida Üniversitesi’nde DSSAT programı araştırma ziyareti (USA)

YAYIN VE PATENT LİSTESİ:

Ulusal ve Uluslararası Bildiriler:

- **Vanlı Ö.**, Genetiği Değiştirilmiş Tarımsal Ürünler ve Risk Yönetimi, Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, Kocaeli, 2005. (katılımcı)
- Yazgan M.S., **Vanlı O.**, Chelate Assisted Phytoremediation of boron from soils, International Phytotechnology Society Meeting, 24-26 September 2006, Denver, USA.
- **Vanlı Ö.**, Ağır Metallerle Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde Fitoremediasyon Tekniği, Türkiye 3.Organik Tarım Sempozyumu, 1 - 4 Kasım 2006, Yalova. (katılımcı)
- **Vanlı O.**, Yazgan M.S., Chelate Assisted Phytoremediation of Cadmium and Lead from soils, 14 the international Symposium on Environmental Pollution and its Impact on life in the Mediterranean Region. MESEAP Symposium, Sevilla, Spain, 2007.(participant)
- **Vanlı Ö.**, Şahin İlknur K., Bor elementinin topraklardan şelat destekli fitoremediasyon yöntemiyle giderilmesi, 7. Uluslararası Katılımlı Türk Toksikoloji Derneği Kongresi 30 Mayıs - 01 Haziran 2009, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara (katılımcı)
- **Vanlı Ö.**, Yıldız V., Şahin İlknur K., Üniversitelerin toplumla bütünleşmesinde ekoloji parklarının rolü, IX. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi 7 - 10 Ekim 2009, Nevşehir (katılımcı)
- Şahin İlknur K., **Vanlı Ö.**, Çevre kirliliğini fitoremediasyon yönteminde ve gen aktarımı yapılmış bitkilerle temizleme olanakları, IX. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi 7 - 10 Ekim 2009, Nevşehir (katılımcı)
- **Vanlı O.**, Ustundag B.B., Sertel E., Determination of Leaf Area Index Value in the Pepper Fields with Different Method Approaches Using the Remote Sensing and LAI Analyzer Sensor, Poster presentation, AgMIP 6. Workshop, Montpellier, France, 2016. (participant)

Ulusal ve Uluslararası Makaleler:

- **Vanlı O.**, Yazgan M.S., Chelate assisted Phytoremediation of Pb, Cd and B by sunflower, maize and canola, Fresenius Environmental Bulletin Journal, 2015, Volume 24, Issue 9.
- **Vanlı O.**, Ustundag B.B., Ahmad I., M. Hernandez-Ochoad I., Hoogenboom G., 2019: Using Crop Modeling to Evaluate the Impacts of Climate Change on Wheat in Southeastern Turkey. Environmental Science and Pollution Research doi: 10.1007/s11356-019-06061-6
- Demirel, M.C.; Özen, A.; Orta, S.; Toker, E.; Demir, H.K.; Ekmekcio, Ö.; Tay, H.; Eruçar, S.; Erdem, H.; Melih, M.; **Vanlı, Ö.**; et al. Additional Value of Using Satellite-Based Soil Moisture and Two Sources of Groundwater Data for Hydrological Model Calibration. Water (Switzerland) 2019, 11, 2083.
- **Vanlı Ö.**, Ustundag BB., Machine Learning Framework for Yield forecasting of Winter Wheat at Southeastern , Turkey. pg.1–12. Journal of Indian Social Remote Sensing (submitted manuscript, October 2019)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Vanlı O.**, Sabuncu A., Uça Avcı Z. D., Regional Classification of Winter Wheat Using Remote Sensing Data in Southeastern Turkey, International Conference on Agro-Geoinformatics, 16-19 July 2019, Istanbul, Turkey. (participant)
- **Vanlı O.**, Ustundag B.B., Ahmad I., M. Hernandez-Ochoad I., Hoogenboom G., 2019: Using Crop Modeling to Evaluate the Impacts of Climate Change on Wheat in Southeastern Turkey. Environmental Science and Pollution Research doi: 10.1007/s11356-019-06061-6
- **Vanlı Ö.**, Ustundag BB., Machine Learning Framework for Yield forecasting of Winter Wheat at Southeastern , Turkey. pg.1–12. Journal of Indian Social Remote Sensing (submitted manuscript, October 2019)



