ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Akdeniz Koşullarında Cropgro-Kinoa Modelinin Performansının Farklı Sulama Düzeylerinde Belirlenmesi ve Olası İklim Değişikliğinin Etkisinin Değerlendirilmesi

Abdiwahid Ali DHAKANE

Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Ocak, 2025

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

Akdeniz Koşullarında Cropgro-Kinoa Modelinin Performansının Farklı Sulama Düzeylerinde Belirlenmesi ve Olası İklim Değişikliğinin Etkisinin Değerlendirilmesi

---

Abdiwahid Ali DHAKANE

Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Bu Yüksek Lisans Tezi 27/12/2024 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. S. Metin SEZEN (Danışman) ……..……

: Doç. Dr. Burçak KAPUR ……

: Doç. Dr. Burak ŞEN ……

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Bu çalışma Ç.Ü. Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FYL-2024-16533

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
ÇİZELGELER DİZİNİ IV
ŞEKİLLER DİZİNİ VI
1. GİRİŞ VI
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 7
2.1. Kinoa Bitkisine Etki Eden Hastalık ve Zararlılar 12
2.2. Kinoa Bitki Büyüme Modelleri ile ilgili Araştırmalar 12
2.3. Olası İklim Değişiminin Kinoa Verim, Büyüme ve Gelişimine Etkileri 15
2.4. İklim Değişikliği İçin CROPGRO-Kinoa Modelinin Duyarlılık Analizi 16
2.4.1. Sıcaklığın kinoa üretimine etkisi 17
2.4.2. Yağışın kinoa üretimine etkisi 19
2.4.3. CO_2 Konsantrasyonunun kinoa üretimine etkileri 20
3. MATERYAL VE METOT 22
3.1. Materyal 22
3.1.1. Araştırma yerinin tanımı 22
3.1.2. Araştırmada kullanılan kinoa çeşidi ve özellikleri 23
3.1.3. Toprak özellikleri 23
3.1.4. İklim özellikleri 24
3.1.5. Araştırmada kullanılan su kaynakları 25
3.2. Metod 25
3.2.1. Deneme Metodu 25
3.2.2. Araştırma Konuları 26
3.2.3. Toprak ve Su Analiz Yöntemleri 26
3.2.4. Araştırmada İzlenen Yöntemler, İşlemler, Gözlem Ve Ölçmeler 27
Denemenin kurulması ve tarımsal işlemler 27
Toprak hazırlığı ve ekim 27
Gübreleme 28
Bakım ve tarımsal mücadele 28
Sulama 28
Yağmurlama sulama sistemi 28
Konulara uygulanan sulama suyu miktarı 29
Gözlemler ve Ölçmeler 29
Hasat 29

3.2.5. Toprak Nemi Ölçümleri 29
3.2.6. Su Kullanım (WUE) ve Sulama Suyu Kullanım Etkinliği (IWUE) 30
3.2.7. Hasat İndeksi 31
3.2.8. Yaprak Alan İndeksi (LAI) 31
3.2.9. DSSAT CROPGRO-Kinoa Modeli Hakkında Genel Bilgiler 31
CROPGRO-Kinoa V4.8.2. Bitki Büyüme Modeli 35
CROPGRO-Kinoa Modeli İçin Gerekli Minimum Veri Seti (MVS) 37
CROPGRO-Kinoa Modeli İçin Gerekli İklim Verileri 38
CROPGRO-Kinoa Modeli İçin Gerekli Toprak Profiline İlişkin Veriler 40
CROPGRO-Kinoa Modelinde Ürün Yetiştiriciliğine ait Gerekli Veriler 42
Modelin Kalibrasyonu ve Değerlendirilmesinde Gerekli Dosyalar (File A ve File T) ... 43
CROPGRO-Kinoa Model İçin Gerekli Genetik Katsayıları 44
CROPGRO-Kinoa Modelinin Kalibrasyonu ve Değerlendirilmesi 50
CROPGRO-Kinoa Modelinde kullanılan iklim değişimi projeksiyonları 52
CROPGRO-Kinoa Modelinde Duyarlılık Analizi 57
3.2.10. Analiz ve Değerlendirme Metotları 59
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 60
4.1. Kinoa Bitkisinin Gelişme Dönemleri 60
4.2. Konulara ait Sulama Suyu Miktarları (mm) 61
4.3. Toprak Su İçeriği 62
4.4. Konulara İlişkin Bitki Su Tüketimi Değerleri 64
4.5. Kinoa Verimi 64
4.6. Kinoa Bitkisinde Su Kullanım (WUE) ve Sulama Suyu Kullanım Randımanı (IWUE) 65
4.7. Kinoada Sulama Suyu (I) - Verim ilişkileri (Y) 68
4.8. Kinoada Bitki Üretim Fonksiyonları 68
4.9. Kinoa Verim Bileşenlerine İlişkin Sonuçlar 69
4.9.1. Kinoa Bitki Boyu 69
4.9.2. Kinoa Bindane Ağırlığı (g) 70
4.9.3. Kinoada Hasat İndeksi (HI) 70
4.10. Kinoada Yaprak Alan İndeksi (LAI) 71
4.11. Kinoada Hastalık Gözlemi, Patojenlerin İzolasyonu ve Tanısı 72
4.12. CROPGRO-Kinoa Modeli Simülasyon Sonuçları 74
4.12.1. Kinoa Titicaca Çeşidine ait Genetik Katsayılar 74
4.12.2. Kinoa Bitkisinde Ölçülen ve Tahmini Çiçeklenmeye Ulaşma Zamanları (ÇUZ) ... 75
4.12.3. Kinoa Bitkisinde Ölçülen ve Tahmini Olgunluğa Ulaşma Zamanları (OUZ) 76
4.12.4. Kinoa Bitkisinde Ölçülen ve Tahmini Verim Değerleri 76
4.12.5. Kinoa Bitkisinde Ölçülen ve Tahmini Yaprak Alan İndeksleri (LAI) 77

4.12.6. Kinoa Bitkisinde Farklı Sulama Düzeylerinde Ölçülen ve Tahmini Toprak Nem İçeriği Değerleri 80
4.12.7. CROPGRO-Kinoa Modelinin Değerlendirilmesi..... 83
4.12.8. CROPGRO-Kinoa Modelinin Duyarlılık Analizi 84
4.12.9. DSSAT CROPGRO -Kinoa modelinde verim ve bitki büyüme dönemi projeksiyonları..... 93
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 96
KAYNAKLAR 101
ÖZGEÇMİŞ 120
EKLER..... 121

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Akdeniz Koşullarında CROPGRO-Kinoa Modelinin Performansının Farklı Sulama Düzeylerinde Belirlenmesi ve Olası İklim Değişikliğinin Etkisinin Değerlendirilmesi

Abdiwahid Ali DHAKANE

Danışman: Prof. Dr. S.Metin SEZEN

Tarımsal Tapılar ve Sulama Anabilim Dalı

ÖZ

Bu tez çalışmasında DSSAT-CROPGRO Kinoa V.8.2 bitki simülasyon modeli ile 2014 ve 2015 yıllarında Tarsus koşullarında kinoa bitkisinde yürütülen arazi denemesine ait verilerden yararlanılarak farklı sulama düzeylerinde, kinoa bitkisinin kimi bitki gelişim dönemlerine (çiçeklenme ve olgunluk) ulaşma zamanı, verim ve verim bileşenleri tahmin edebilme potansiyeli ile mevcut ve gelecekte öngörülen iklim senaryolarında olası iklim değişiminin etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Duyarlılık analizi ile mevcut ve geleceğe ait meteorolojik parametreler (sıcaklık, yağış ve CO_2) olası aralıkta değiştirilerek, bu farklılıkların kinoa dane verimi ve bitki gelişim dönemi üzerine etkileri varyasyon katsayısı (% CV) hesaplanarak incelenmiştir. Araştırmada, çizgi kaynaklı yağmurlama sistemi ile farklı sulama düzeyleri oluşturulmuştur. Laterale en yakın konu tam sulama konusunu (I_{100}) oluştururken, en uzak konu ise (I_0) susuz konuyu oluşturmuştur. Her iki konu arasında ise kısıntılı sulama I_{75}, I_{50} ve I_{25} sulama düzeyleri yer almıştır. Sulamalar kinoa bitkisinin erken vegetatif, geç vegetatif, çiçeklenme ve dane dolum periyotlarında laterale en yakın I_{100} konusunda 60 cm toprak derinliğindeki eksik nemin tarla kapasitesine tamamlanması şeklinde yapılmıştır. Farklı sulama düzeylerinin kinoa verim ve verim bileşenlerinde etkisi istatistiksel olarak %1 hata seviyesinde önemli bulunmuştur. Maksimum kinoa verimleri 2014 ve 2015 yılında I_{100} (4700-4230 kg/ha) konusunda belirlenirken, minimum verim susuz konuda (I_0) (2500 ve 1930 kg/ha) elde edilmiştir. Çalışmanın model bölümünde öncelikle CROPGRO-kinoa modelinin kalibrasyonu 2014 yılı verileri ile, validasyonu ise 2015 yılı verileri kullanılarak yapılmıştır. Ardından, olası iklim değişikliklerinin kinoa verimi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryoları ile HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, GFDL-ESM2M küresel iklim modellerinden yararlanılmıştır. Gelecek dönem yakın periyot (YP) 2016-2045, orta periyot (OP) 2046-2075, uzak periyot (UP) 2076-2098 olarak gruplandırılmıştır. CROPGRO-kinoa modeli ile bitki gelişme dönemlerine varış zamanı (çiçeklenmeye ve olgunluğa ulaşma zamanı), toprak su içeriğinin ve LAI'nin mevsim içerisinde değişimi simülasyonla iyi performans sergilemiştir. Ayrıca, kinoa verimi, maksimum LAI tahmininde ölçülen ve tahmini değerler arasındaki fark kabul edilebilir sınırlarda olduğundan CROPGRO-kinoa V4.8.2. modeli Doğu Akdeniz koşullarında kinoa bitki gelişimini, verimini ve olası iklim değişikliği etkisini tahmin etmede kullanılabilir. Çalışmada tam sulama koşulunda (I_{100}) RCP4.5 senaryosuna göre kinoa veriminin yakın ve orta dönemlerinde sırasıyla %3.9 ve %8.6 oranında artması, uzun dönemde ise %-4.6'lık bir azalma beklenmektedir. RCP8.5 senaryosunda ise kinoa veriminin yakın periyotta %3.1 artması beklenirken, orta ve uzun periyotlarda sırasıyla %-7.0 ve %-13.7'lik bir azalma beklenmektedir. Kısıntılı sulama (I_{50}) koşulunda RCP4.5 senaryosuna göre kinoa verimi yakın ve orta periyotta dönemlerinde sırasıyla %2.6 ve %6.0 artarken, uzun dönem periyodunda %-7.5 azalacaktır. Kısıntılı sulama RCP8.5 senaryosunda ise kinoa verimi yakın periyotta %1.7 artış, orta ve uzun periyot dönemlerinde ise sırasıyla %-8.0, %-20.0 azalacaktır. Susuz (I_0) koşulda, RCP4.5 senaryosuna göre kinoa verimi yakın ve orta periyot dönemlerinde sırasıyla %0.8 ve %4.3 artarken, uzun periyot döneminde %-9.1 azalacaktır. RCP8.5 senaryosunda kinoa verimi yakın periyotta %1.0 artış, orta ve uzun periyot dönemlerinde ise sırasıyla %-9.6 ve %-27.8 azalacaktır.

Anahtar kelimeler: Kinoa, Sulama Programı, CROPGRO modeli, duyarlılık analizi, iklim senaryoları

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

MSc THESIS

Determining the Performance of the CROPGRO-Quinoa Model under Different Irrigation Levels and Evaluating the Effect of Climate Change on Quinoa Yield and Yield Components under Mediterranean Conditions

Abdiwahid Ali DHAKANE

Advisor: Prof. Dr. S.Metin SEZEN

Department of Agricultural structures and irrigation

ABSTRACT

This thesis study aimed to evaluate the potential of the DSSAT-CROPGRO Quinoa V.8.2 crop simulation model in predicting the timing of key phenological stages (flowering and maturity), yield, and yield components of quinoa under different irrigation levels. The analysis utilized data from field experiments conducted in 2014 and 2015 in Tarsus, Turkey. Additionally, the study investigated the impacts of current and projected climate scenarios on quinoa performance. Sensitivity analysis was performed by altering meteorological parameters (temperature, precipitation, and CO_2) within possible ranges, and the effects on grain yield and phenological stages were assessed using the coefficient of variation (CV%). A line-source sprinkler irrigation system was employed to create varying irrigation levels. The plot closest to the lateral represented full irrigation (I_{100}), while the farthest plot represented rainfed conditions (I0). Intermediate plots represented deficit irrigation levels (I_{75}, I_{50}, and I_{25}). Irrigation was scheduled during the early vegetative, late vegetative, flowering, and grain filling stages by replenishing depleted moisture in the 60 cm soil profile to field capacity in the I_{100} treatment. Statistical analysis revealed that the effects of different irrigation levels on quinoa yield and its components were significant at the 1% error level. The highest yields were recorded under I_{100} (4700–4230 kg/ha in 2014 and 2015, respectively), while the lowest yields were observed under I_0 (2500 and 1930 kg/ha, respectively). The model calibration was performed using data from 2014, and validation was conducted using data from 2015. To assess the potential impacts of climate change on quinoa yield, RCP4.5 and RCP8.5 climate scenarios were applied using global climate models (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, GFDL-ESM2M). Future periods were categorized as near-term (2016–2045), mid-term (2046–2075), and long-term (2076–2098). The CROPGRO-Quinoa model demonstrated good performance in simulating phenological stages (time to flowering and maturity), seasonal variations in soil water content, and leaf area index (LAI). Moreover, differences between observed and simulated values for quinoa yield and maximum LAI were within acceptable limits, indicating that the CROPGRO-Quinoa V4.8.2 model can reliably predict quinoa growth, yield, and the potential impacts of climate change under Eastern Mediterranean conditions. Under full irrigation (I_{100}) and the RCP4.5 scenario, quinoa yield is expected to increase by 3.9% and 8.6% in the near and mid-term periods, respectively, but decrease by -4.6% in the long-term. Under the RCP8.5 scenario, yield is projected to increase by 3.1% in the near-term, but decrease by -7.0% and -13.7% in the mid- and long-term periods, respectively. Under deficit irrigation (I_{50}), the RCP4.5 scenario indicates yield increases of 2.6% and 6.0% in the near and mid-term, respectively, but a decrease of -7.5% in the long-term. Under RCP8.5, yield is projected to increase by 1.7% in the near-term, but decrease by -8.0% and -20.0% in the mid- and long-term, respectively. Under rainfed conditions (I_0), the RCP4.5 scenario projects yield increases of 0.8% and 4.3% in the near and mid-term, respectively, but a decrease of -9.1% in the long-term. Similarly, under RCP8.5, yield is expected to increase by 1.0% in the near-term, but decrease by -9.6% and -27.8% in the mid and long-term, respectively.

Keywords: Quinoa, Irrigation Program, CROPGRO model, sensitivity analysis, climate scenarios

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesinden tamamlanmasına kadar tüm süreçlerde bana rehberlik eden ve desteğini esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Semih Metin SEZEN'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez izleme komitesinde yer alarak katkı sağlayan Sayın Doç. Dr. Burçak KAPUR ve Sayın Doç. Dr. Burak ŞEN'e de şükranlarımı iletmek isterim.

TUBİTAK-BİDEP'e proje desteği ve tezime katkılarından dolayı çok teşekkür ederim. Bu proje kapsamında bölümümüze uluslararası misafir öğretim üyesi olarak gelen Doç. Dr Muhammad Habib Ur RAHMAN'a, Dr. Ishfaq AHMAD'a modelin kalibrasyonu ve değerlendirilmesinde gösterdiği ilgi ve anlayıştan dolayı teşekkür ederim.

İklim değişikliği konusunda gerekli iklim projeksiyonları, iklim verileri ve model hakkındaki katkı ve önerileri için Dr. Hüdaverdi GÜRKAN'a, meteorolojik verileri sağlanmasındaki katkılarından dolayı Meteoroloji Genel Müdürü Volkan Mutlu COŞKUN ve Dr. Hakan DOĞAN'a teşekkür ederim. Ankara Üniversitesinde düzenlenen model eğitim ve workshop çalışmalarında katkılarından dolayı Prof. Dr. Ersoy YILDIRIM ve Prof. Dr. Gerrit HOOGENBOOM'a, ayrıca teşekkür ederim. Tezin istatistiksel analiz, verilerin değerlendirilmesi konularındaki katkılarından dolayı Dr. Orhan KARA ve Zir. Yük. Müh. Mehmet YILDIZ'a, tezin tamamlanması konusunda çabalarından dolayı Prof.Dr. Sadık DİNÇER ve Prof.Dr. Hasan Basri İLA, Prof.Dr. Mustafa ÜNLÜ'ye çok teşekkür ederim.

Yüksek Lisans tezime finansal destek sağlayan Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje no: FYL-2024-16533) teşekkür ederim.

Yüksek Lisans çalışmamın her aşamasında maddi ve manevi yanımda olan aileme teşekkür ederim.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Deneme Yeri Topraklarına ait Bazı Fiziksel Özellikler 23
Çizelge 3.2. Deneme Yeri Toprakları Verimlilik Analiz Sonuçları..... 23
Çizelge 3.3. Denemede Kullanılan Sulama Suyunun Analiz Sonuçları (2014). 25
Çizelge 3.4. Denemede Kullanılan Sulama Suyunun Analiz Sonuçları (2015). 25
Çizelge 3.5.CROPGRO-Kinoa V4.8.2 Bitki Büyüme Modelinde Gerekli Minimum Veri Seti 37
Çizelge 3.6. CROPGRO-Kinoa'da Bitki Genetik Katsayıları Parametreleri..... 45
Çizelge 3.7. CROPGRO-Kinoa Ekotip Özelinde Genetik Katsayı Listesi 47
Çizelge 3.8. Seçilen İklim Modelleri ve İklim Senaryoları..... 55
Çizelge 3.9. Doğu Akdenizde Yıllık Ortalama Sıcaklık Projeksiyonları 56
Çizelge 3.10 Doğu Akdenizde Yıllık Toplam Yağış Projeksiyonları 57
Çizelge 3.11. Yakın, Orta, Uzak ve Tüm Periyotlarda Yıllık Ortalama CO_2 Değişimi 57
Çizelge 3.12. Duyarlılık Analizinde Kullanılan Meteorolojik Parametreler 58
Çizelge 4.1. Kinoa Bitkisine İlişkin Kimi Gelişme Dönemleri (2014, 2015)..... 61
Çizelge 4.2. Farklı Sulama Düzeylerine Uygulanan Sulama Suyu Miktarları (mm) (2014)..... 62
Çizelge 4.3. Farklı Sulama Düzeylerine Uygulanan Sulama Suyu Miktarları (mm) (2015)..... 62
Çizelge 4.4. Konulara Ait Bitki Su Tüketimleri (ET) (mm) (2014, 2015)..... 64
Çizelge 4.5. Kinoa Dane Verimine İlişkin LSD Sınıflandırması (2014, 2015) 65
Çizelge 4.6. Konulara Göre Su Kullanım (WUE) ve Sulama Suyu Kullanım IWUE) Randıman Değerleri (2014, 2015). 66
Çizelge 4.7. Kinoa Bitki Boylarına İlişkin LSD Sınıflandırması (2014, 2015) 69
Çizelge 4.8. Kinoa Bindane Ağırlıklarına İlişkin LSD Sınıflandırması (2014, 2015)..... 70
Çizelge 4.9. Kinoa HI Değerlerine İlişkin LSD Sınıflandırması (2014, 2015)..... 71
Çizelge 4. 10 Kinoa Maksimum LAI Değerlerine İlişkin LSD Sınıflandırması (2014, 2015) 72
Çizelge 4.11. CROPGRO-Kinoa Modelinde ait Genetik Katsayılar 74
Çizelge 4.12. CROPGRO-Kinoa Modelinde Ekotipi Ait Genetik Katsayılar..... 75
Çizelge 4.13. Sulama Düzeylerinde Kinoanın Çiçeklenmeye Ulaşma Zamanları (2014) (ÇUZ)..... 75
Çizelge 4.14. Farklı Sulama Düzeylerinde Kinoanın Çiçeklenmeye Ulaşma Zamanları (2015) (ÇUZ) 75
Çizelge 4.15. Farklı Sulama Düzeylerinde Kinoanın Olgunluğa Ulaşma Zamanları (OUZ) (2014)..... 76
Çizelge 4.16. Farklı Sulama Düzeylerinde Olgunluğa Ulaşma Zamanları (OUZ) (2015)..... 76
Çizelge 4.17. Sulama Düzeylerinde Ölçulen ve Tahmini Verim Değerleri (2014) 77
Çizelge 4.18. Farklı Sulama Düzeylerinde Ölçulen ve Tahmini Verim Değerleri (2015)..... 77
Çizelge 4.19. Farklı İklim Parametrelerinin Teksel ve İkili Kombinasyonlarda Kinoa Verimine Etkisinin Duyarlılık Analizi ile Belirlenmesi 88
Çizelge 4.20. Farklı İklim Parametrelerinin Üçlü Kombinasyonlarda Kinoa Verimine Etkisinin Duyarlılık Analizi ile Belirlenmesi..... 89
Çizelge 4.21. Farklı İklim Parametrelerinin Üçlü Kombinasyonlarda Kinoa Verimine Etkisinin Duyarlılık Analizi ile Belirlenmesi (devam)..... 90
Çizelge 4.22. CROPGRO-Kinoa Modelinde Farklı İklim Modelleri ve İklim Senaryolarında Tam Sulama Koşulunda Dane Verimi Değişimi 93

Çizelge 4.23. CROPGRO-Kinoa Modelinde Farklı İklim Modelleri ve İklim Senaryolarında Kısıntılı Sulama Koşulunda Dane Verimi Değişimi 93
Çizelge 4.24. CROPGRO-Kinoa Modelinde Farklı İklim Modelleri ve İklim Senaryolarında Susuz Konu koşulunda dane verimi değişimi 94
Çizelge 4.25. CROPGRO-Kinoa modelinde farklı iklim modelleri ve iklim senaryolarında tam sulama koşulunda bitki gelişme dönemi değişimi 94
Çizelge 4.26. CROPGRO-Kinoa Modelinde Farklı İklim Modelleri ve İklim Senaryolarında Kısıntılı Sulama Koşulunda Bitki Gelişme Dönemi Değişimi 95
Çizelge 4.27. CROPGRO-Kinoa Modelinde Farklı İklim Modelleri ve İklim Senaryolarında Susuz Konuda Bitki Gelişme Dönemi Değişimi 95

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. 2014 ve 2015 Yıllarında Yürütülmüş Proje Deneme Alanı Uydu Görüntüsü 22
Şekil 3.2. Araştırmanın Yürütüldüğü Yıllara İlişkin İklimsel Veriler ve Uzun Yıllık Ortalama Değerleri 24
Şekil 3.3. Çizgi Kaynaklı Yağmurlama Sulama Sistemi 26
Şekil 3.4. DSSAT Modüler Yapısı ve Bileşenleri 34
Şekil 3.5. DSSAT Bitki Büyüme Modelinde İş Akış Şeması 34
Şekil 3.6. DSSAT İklim Verileri Giriş Ekranı. 39
Şekil 3.7.CROPGRO-Kinoa Bitki Büyüme Modelinde Kullanılan Girdi ve Çıktı Dosyaları. 40
Şekil 3.8. Toprak Verilerinin Girişi Yapılan Program Ekranları 41
Şekil 3.9. Filex Deneme Konularını Gösteren Ekran Görüntüsü. 43
Şekil 3.10. DSSAT Vejetasyon Dönemi Giriş Ekranı A ve T dosyaları. 44
Şekil 4.1. a-b. Deneme Konularında İlişkin Toprak Su İçeriğinin Zamana Göre Değişimi (2014) (2015) 63
Şekil 4.2 a-c. Kinoa Bitki Su Tüketimi- Verim İlişkisi (2014)(2015). 67
Şekil 4.3 a-c. Kinoa Sulama Suyu- Verim İlişkisi (2014) (2015). 68
Şekil 4.4. a-b Kinoa Bitkisinde Verim Tepki Etmeni (2014) (2015) 69
Şekil 4.5 a-b. Deneme Konularında Yaprak Alan İndeksinin (LAI) Zamana Göre Değişimi (2014) (2015) .. 72
Şekil 4.6. Denemede Pamuk Çizgili Yaprak Kurdu Zararlısı ve Kinoa Bitkisi Üzerindeki Etkisi (2014) 73
Şekil 4.7. Denemede Pamuk Çizgili Yaprak Kurdu Zararlısı Etkisi ve Mücadelesi (2015) 73
Şekil 4.8 a-e. Farklı Sulama Düzeylerinde Ölçülen ve Tahmini Kinoa LAI Değerlerinin Zamansal Değişimi (2014). ..78
Şekil 4.9 a-e. Farklı Sulama Düzeylerinde Ölçülen ve Tahmini Kinoa LAI Değerlerinin Zamansal Değişimi (2015) ...79
Şekil 4.10 a-e. Farklı Sulama Düzeylerinde Ölçülen ve Tahmini Kinoa Toprak Nem İçeriğinin Zamansal Değişimi (2014) 81
Şekil 4.11 a-e. Farklı Sulama Düzeylerinde Ölçülen ve Tahmini Kinoa Toprak Nem İçeriğinin Zamansal Değişimi (2015) 82
Şekil 4.12 a-b. 2014 ve 2015 Deneme Yılında Ölçülen ve Tahmini Kinoa Verimleri 83
Şekil 4.13 a-b. 2014 ve 2015'de Ölçülen ve Tahmini Kinoa Maksimum LAI Değerleri İlişkisi 83
Şekil 4.14 a-b. 2014 ve 2015 Yılında Ölçülen ve Tahmini HI Arasındaki İlişki 84
Şekil 4.15. Olası Sıcaklık Artışının Kinoa Dane Verimi Üzerine Etkisinin Duyarlılık Analizi ile Belirlenmesi 85
Şekil 4.16. Olası Yağış Değişiminin Kinoa Dane Verimi Üzerine Etkisinin Duyarlılık Analizi ile Belirlenmesi 86
Şekil 4.17. Olası CO_2 Artışının Kinoa Dane Verimi Üzerine Etkisinin Duyarlılık Analizi ile Belirlenmesi .. 87
Şekil 4.18. Artan CO_2 Konsanstrasyonları ile Sıcaklık Artışı Kombinasyonlarında Kinoa Verimine ait Değişimin Duyarlılık Analizi ile Belirlenmesi 91
Şekil 4.19. Artan CO_2 Konsanstrasyonları ile Yağış Değişimi Kombinasyonlarında Kinoa Verimine ait Değişimin Duyarlılık Analizi ile Belirlenmesi 92

1. GİRİŞ

Ülke nüfusunun sürekli ve hızlı bir şekilde artışı, bireylerin beslenme, giyinme ve diğer yaşam ihtiyaçlarının artışına sebep olmaktadır. Nüfus artışı, bireylerin ihtiyaçlarını niceliksel olarak artırırken, teknolojik gelişmelerin sağladığı yaşam standardındaki yükseliş de bu ihtiyaçların çeşitlenmesine yol açmaktadır.

Kullanılabilir su kaynaklarının sınırlılığı ve evsel, kentsel ve endüstriyel sektörler tarafından artan kullanım baskıları göz önünde bulundurulduğunda, sulamanın dünya genelindeki su tüketiminin en büyük kaynağı olduğu gerçeği, suyun etkin kullanımının önemini daha da vurgulamaktadır. Su ve enerji tasarrufu sağlayan, su kayıplarını en aza indiren ve ürün miktarı ile kalitesinde artışa olanak tanıyan basınçlı sulama sistemlerinin uygulanması, ülke kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlayacak ve belirtilen baskıların azaltılmasına katkıda bulunacaktır.

Mevcut su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması ve tarımsal sulamada su tasarrufunun sağlanması amacıyla çeşitli kısıntılı sulama teknikleri üzerine pek çok araştırma gerçekleştirilmiştir. Kısıntılı sulama yöntemi, standart uygulamaların altında bir su miktarı kullanarak, aynı su hacmi ile daha geniş alanların sulanmasını ve dolayısıyla daha fazla üretim alanının aktif hale getirilmesini mümkün kılmaktadır. “Olağandan daha az su uygulama” kavramı, projede öngörülen sulama programına göre, bitkileri daha fazla su stresine sokmak olarak tanımlanabilir.

Yukarıda da değinildiği gibi, kısıntılı sulamanın temel amacı, sulama yeterliliğini azaltarak veya en yararsız sulamadan vazgeçerek, su kullanma randımanını yükseltmektir. Kısıntılı sulama, "su kaynaklarının sınırlı olduğu veya su fiyatlarının yüksek olduğu durumlarda, suyun ekonomik optimum düzeyinin en yüksek verim için gereken miktardan daha az olabileceği" varsayımına dayanır. Ayrıca, sermaye, enerji, işgücü ve diğer temel kaynakların kısıtlı olduğu veya bu kaynakların maliyetlerinin yüksek olduğu yerlerde, kısıntılı sulama, gelir artışını sağlamak için bir strateji olarak değerlendirilebilir. Bu yaklaşım, bölgesel bitki üretimini sürdürülebilir kılmak veya geliri maksimize etmek amacıyla da uygulanmaktadır. Ancak, eğer amaç, üretimi kararlı kılmak veya geliri maksimize etmek ise, kısıntılı sulama tekniği, geçerli ve yararlı bir strateji olarak kullanılabilir (Stegman ve ark., 1980; Doorenbos ve Kassam., 1986).

Kinoa, dünya genelinde tarımda, yüksek besin değeri ve stres koşullarına dayanıklılığı sayesinde öne çıkan bir bitkidir. Dengeli amino asit profili, yüksek protein içeriği, vitaminler ve mineraller açısından zengin olması, onu özel kılan özelliklerdendir. Ayrıca, gluten içermemesi sebebiyle çölyak hastaları ve veganlar için önemli bir besin kaynağı olarak değerlendirilmiştir (Razzaghi ve ark., 2011).

Güney Amerika kökenli olan kinoa (Chenopodium Kinoa Willd.) bitkisi, olumsuz çevresel koşullara uyum sağlama yeteneği ve zengin besin içeriği ile alternatif bir bitkide aranan birçok özelliğe sahiptir. İki çenekli ve tek yıllık olan bu bitki, çevresel ve genetik faktörlere bağlı olarak

100-300 cm arasında büyüyebilir. Yaprakları genellikle loplu ve tüylüdür, nadiren pürüzsüz olabilir, odunsu bir gövdeye sahiptir. Dallanma durumu çeşit ve ekim sıklığına göre değişkenlik gösterir. Gövde rengi yeşil, kırmızı veya pembe olabilir. Çiçekleri kümeler halinde bulunur ve bitkinin uç kısmına doğru çiçek sayısı artar. Çiçekler sapsız, hermafrodit, dişi veya erkek kısır olabilir. Erkek organlar kısa saplıdır ve 2 veya 3 adet stigma içerir. Tohumlar düz, 1-2,6 mm çapında olup, 250-500 tohum 1 gram ağırlığındadır. Tohum renkleri beyaz, sarı, kırmızı, pembe, kahverengi ve siyah olabilir. Embriyo, tohum ağırlığının %60'ını oluşturur. Yoğun bir kök ağına sahip olup, kazık kök sistemi 20-50 cm derinliğe kadar ulaşır ve bitki boyu kadar derinliğe inebilir. Kinoanın olgunlaşma süresi, varyetelere ve ışıklanma süresine bağlı olarak 120-240 gün arasında değişir (Tan ve Temel, 2019).

Geleneksel olarak kurak ve yarı-kurak bölgelerde yetiştirilen kinoa bitkisi, son zamanlarda ekonomik ve besleyici özelliklerinin fark edilmesiyle birlikte, diğer tarım bölgelerinde de dikkat çekmeye başlamıştır. Bunun sonucunda, kinoa üretiminin artırılması ve bu ürünün yaygınlaştırılması amacıyla, sulanan tarım alanlarında da kinoa yetiştiriciliğini teşvik eden çalışmalar yürütülmektedir (Taboada ve ark., 2011; Cusicanqui ve ark., 2013; Sheboygan, 2015).

Kinoa bitkisi çevresel streslere karşı dayanıklıdır, önceki çalışmalara göre kinoa tohumlarının en yüksek standartlarda büyüme ve verim kalitesini elde etmek için en uygun ortam sıcaklığının 15-20˚C olması gerektiği görülmüştür (Garcia ve ark., 2015). Kinoa bitkisinin yaşam döngüsü yaklaşık altı aydır, ancak bu değer bölgeye göre değişmektedir (Sajjad ve ark., 2014). Kinoa, genotiplerine ve orijinlerinin enlem ve rakımına göre farklı performans gösterir ve bu da kendi gelişimlerini tamamlamak için gerekli fenolojik aşamaların süresinde önemli fenolojik farklılıklar göstermektedir (Sosa-Zuniga ve ark., 2017).

Kinoa, ticari bir değer taşımamakla birlikte, yaprakları ve yeşil aksamı salata olarak insan beslenmesinde değerlendirilen bir bitkidir. Kinoa tohumları, un haline getirilerek ekmek, makarna ve diğer unlu mamullerin yapımında, buğday veya diğer tahıllarla karıştırılarak kullanılabilir. Ayrıca, dane formunda pirinç gibi yemeklerde veya pilavlarda kullanılabilir; çimlendirilen tohumları ise kinoa filizi olarak salata ve soğuk yemeklerde tüketilmektedir.

Quinoa tohumlarının besin değeri oldukça yüksektir. Quinoa tohumu diğer tahıllarla karşılaştırıldığında protein içeriği daha yüksektir (yaklaşık %14.6) (http://www.vurv.cz/altercrop/quinoa.html). İnsan beslenmesinde gerekli olan temel aminoasitleri daha yüksek ve insanlar için dengeli bir oranda içerir. Protein fraksiyonu iyi ayarlanmış ve ideal proteine yakındır (http://www.vurv.cz/altercrop/quinoa.html). Nişasta içeriği % 60 oranındadır (http://www.vurv.cz/altercrop/quinoa.html). Tohumlar ayrıca saponin bileşikleri içermektedir (Ward, 2000).

Dünya kinoa üretimi 2023 verilerine göre 147037 kg/ha olup, Peru Bolivya ve Ekvador ilk üçte yer almaktadır (FAOSTAT, 2023). Peru, Bolivya ve Ekvador'dan yapılan toplam ithalatın üçte birini oluşturan Avrupa, kinoa için dünyanın en büyük pazarıdır. İngiltere ise Avrupa'da kinoa için

üçüncü ana tüketici pazarıdır. İngiltere 2019 yılında yaklaşık 6 milyon ABD doları tutarında 44.7 bin tondan fazla kinoa ithal etmiştir (FAOSTAT, 2023).

Dünyanın farklı bölgelerinde kinoa ile ilgili kısıntlı sulama uygulaması ile yüksek verim değerleri elde edilirken, aynı zamanda daha yuksek su kullanım randımanı değerleri elde edilmiştir (English, 1990; Geerts ve ark., 2008a,b; Geerts ve Raes, 2008; Pereira ve ark., 2002; Zhang ve Oweis, 1999).

Geerts ve ark (2006) Bolivya'da iki sezonda kinoa bitkisinin kuraklık stresine tepkisini araştırmışlardır. Sonuçta, çiçeklenme öncesi, çiçeklenme ve dane dolum dönemlerindeki su stresinin toplam verim ve WUE üzerinde olumsuz etkiler yarattığını göstermiştir. Kinoa için önerilen kısıtlı sulama stratejisinde, bu dönemlerde su stresinin bir veya iki sulama ile azaltılması gerektiği vurgulanmıştır.

Su yetersizliği, kurak ve yarı kurak bölgelerdeki en zorlu abiyotik stres faktörlerinden biridir. Ayrıca, artan nüfus ve küresel sıcaklıkla birlikte su talebi de artmaktadır (Huang ve ark., (2015). Tarımsal faaliyetler tatlı suyun başlıca tüketicisidir; Bu nedenle, su eksikliği koşullarında bitki üretim seviyelerini artırmak için kuraklığa dayanıklı bitkilerin seçimi ve yetiştirilmesi bir yaklaşımdır. Su, bitki metabolizması ve verim üretiminin kritik bir bileşenidir (Babur ve ark., 2021)

Küresel ısınma ve iklim değişikliği karşısında, kuraklık stresine dayanıklı bitki türlerinin geliştirilmesi önem kazanmıştır. Kinoa (Chenopodium quinoa Willd), yüksek besin değeri ve zorlu iklim koşullarına adaptasyonu sayesinde dikkat çekmektedir. Anavatanı Güney Amerika'nın And bölgesi olan kinoa, bu topraklarda 7000 yıldan uzun süredir yetiştirilmektedir. Kuraklık, don ve tuzlu toprak gibi olumsuz koşullara karşı gösterdiği yüksek tolerans, onun dünya genelinde ilgi görmesini sağlamaktadır (Garcia, 2003a). FAO, kinoa'yı gelecek yüzyılda gıda güvenliğini sağlamak için önemli bir bitki olarak önermiştir (Jacobsen, 2003a).

İklim parametreleri (sıcaklık, yağış, atmosferdeki CO_2 seviyesi) oluşabilecek değişiklikler tarımsal üretimde önemli etkilere neden olabilecektir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) raporlarına göre Türkiye'nin iklim değişikliği kapsamında 2030 yılından 2100 yılına dek bitkisel üretimin giderek azalacağı ve bu oranların ilerleyen zamana göre daha şiddetli olacağı vurgulanmıştır (Anonymous, 2022). Ancak, ülkemizde iklim değişikliğinin gelecekte bitkisel üretime olası etkileri konusunda yapılan araştırma sayısı yok denecek düzeydedir.

Gelişen bilgisayar teknolojileri, Bitki Simülasyon Modelleri, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri gibi araçların kullanılmasını mümkün hale getirmiştir. Bu teknolojiler, tarımsal üretimin yerel ve bölgesel düzeyde sağlıklı bir şekilde izlenmesi ve değerlendirilmesi için önemli veriler sunmaktadır. Böylelikle, tarım alanlarının yönetimi için güvenilir bilgiler elde edilerek daha etkili kararlar alınabilmektedir. Ancak, Türkiye'de, tarımsal üretim süreçlerinin izlenmesi ve değerlendirilmesi hala çoğunlukla geleneksel yöntemlerle yapılmaktadır. Teknolojik olanakların etkin bir şekilde kullanılmaması ve modern tarım yönetim sistemlerinin yeterince yaygınlaşmaması, bu alandaki uygulamaların sınırlı kalmasına yol açmaktadır (Wang ve ark., 2024).

Tarla denemeleri gibi geleneksel agronomik araştırmalardan elde edilen veriler, tarımsal arazi yönetimi modelleri ile gerçek dünya ve gözlemlenen ölçümler arasında neden-sonuç ilişkileri kurmak için güvenilir bilgi kaynağı olarak kullanılır. Ancak, bu geleneksel agronomik araştırma yöntemleri, tarım politikaları ve karar alma süreçlerine rehberlik edecek verilerin artan ihtiyacını karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu tür araştırmalar genellikle sadece belirli bir zaman ve bölgede gerçekleştirilen denemelerin sonuçlarını sunar, bu nedenle sonuçlar hem bölgeye hem de mevsime özgüdür. Tarla denemeleri genellikle zaman alıcı, maliyetli ve yoğun iş gücü gerektiren çalışmalardır, bu da bilgi edinme sürecinde gecikmelere neden olur. Ayrıca, herhangi bir bitkinin çeşitli parametrelerini değerlendirmek için farklı bölge ve mevsimlerde, birkaç yıl boyunca ve birden çok yerde denemeler yapmak ve önerilerde bulunmak oldukça zordur (Kephe ve ark., 2021).

Bitki büyüme modelleri, toprak ve iklim koşullarına ek farklı bitki yetiştirme teknikleri gibi minimum girdiler ile bitkinin büyümesini, gelişimini ve verimini matematiksel yöntemlerle tahmin etmeye yarayan programlardır (Hoogenboom ve ark., 2004; Salvacion, 2011). Bu modeller, çiftçilere, akademisyenlere ve karar vericilere, pahalı ve zaman alan tarla denemelerine gerek kalmadan bir bitkinin herhangi bir bölgede yetişme potansiyelini keşfetme fırsatı sunmaktadır. Bitki modelleri farklı yetiştirme stratejilerinin uygulanması ile tahmini verim yapabilmekte ve olası iklim farklılığının gelecekteki etkilerinin tahminlenmesinde vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir (Gürkan, 2019).

Bitki gelişimi, bitki büyümesi ve bitki simülasyonu şeklinde isimlendirilen bitki büyüme modelleri, iklim, toprak, yetiştirme tekniğinin ortak etkilerini sentezleyerek bitkinin gelişimi ve verimini analiz yapma imkânı sunar (Shelia ve ark., 2019). Bu modeller, tarla ölçeğinde verim ve risk öngörüleri gibi uygulamalara olanak tanır.

Bitki büyüme modeli DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer: Tarımsal Teknoloji Transferinde Karar Destek Sistemleri) , ekim tarihi, toprak tipi, bitki yönetimi, bitki çeşidi ve mevsimsel iklim modellerini içeren bitkileri etkileyen faktörler arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için uygulanabilir. Bitki simülasyon modeli, mevcut tarım sistemi gibi dinamik ve iklim değişikliği ortamlarında faydalıdır. Ayrıca, iklim değişikliği nedeniyle bitki verimi ve gıda güvenliğinin etkisini incelemek için de kullanılabilmektedir. Bitki simülasyon modeli, bitkilerin büyümesini, gelişimini ve verimini temsil etmede ve teknolojiyi veya farklı koşul yönlerini değerlendirmede önemli bir rol oynamaktadır. DSSAT modeli, küresel olarak en yaygın kullanılan modellerden biridir (Jones ve ark., 2003, 2017; Hoogenboom ve ark., 2017, 2019; Singh ve Kalra, 2016; Singh ve ark., 2017). Türkiye'de DSSAT modeli üzerinde farklı bitkilerde yoğun araştırmalar yapılmaktadır (Sezen, 1993; Sezen ve ark., 1998; Kapur, 2010; Gürkan, 2019; Vanlı, 2019; Kuşçu, 2021; Sezen ve ark., 2022; Aydoğdu ve ark., 2023; Arslan, 2024).

Dokoohaki ve ark (2016) bitki büyüme modellerinin, bitkileri etkileyen unsurlar arasındaki çok boyutlu ilişkilerin netleştirilmesine ve tahmin edilmesine yardımcı olduğunu belirtmektedir. Bu

faktörler arasında ekim tarihleri, bitki çeşidi, tohumlama oranları, toprak tipi, başlangıçtaki toprak durumu, gübre ve sulama stratejileri gibi bitki yönetimi ve mevsimsel iklim modelleri yer almaktadır.

Dünyada birçok bölgede su kaynaklarının yıllık ve bölgesel değişiklikler göstermesi, bitkilerin gelişme dönemlerini ve sahalarını engellemektedir. Su kaynaklarının yanı sıra iklimdeki değişiklikler de üreticiler için sorun yaratabilir. Bu durumda modeller, tarımdaki olası sorunları çözmede öngörüler sağlayabilir. Bu modellerden biri olan CROPGRO-Kinoa V4.8. tarımsal karar alma süreçlerinde, stratejik planların risk analizlerinde, yetişme sezonundaki tarımsal işlemlerin yapılmasında, geniş alanlarda verim tahmininde ve araştırma ihtiyaçları için kullanılabilir. CROPGRO-Kinoa V4.8. modelinin amacı, sonuçta verim tahmini olduğu için modelin başarısı da verimi etki eden parametrelere bağlıdır. Bu parametreler arasında iklim, bitki gelişim aşamaları, genetik faktörler, bitki gelişimi, olgunlaşması ve biyomas üretimi, bitkinin yetişme periyodunda su ve azot eksiklikleri yer alır (Adnan ve ark., 2017).

Bu çalışmada yağmurlama yöntemiyle uygulanan farklı sulama düzeyleri altında yetiştirilen kinoa bitkisinin büyüme dönemlerine ulaşma zamanları, verim, yaprak alan indeksi (LAI) ve toprak su içeriğinin zamansal değişimini CROPGRO modeli iletahmin etmede kullanım olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla sulama düzeylerinin kinoa yetiştiriciliği üzerindeki etkilerini araştırmak için TAGEM Bahçe Kültürleri Araştırma İstasyonu Tarsus Toprak ve Su Kaynakları Topçu Lokasyonunda 2014 ve 2015 yıllarında danışmanım Prof. Dr. S. Metin SEZEN tarafından yürütülen "Çizgi kaynaklı yağmurlama sulama sistemi ile uygulanan drenaj ve kanal suyunun kinoa bitkisinin verim, verim bileşenleri ile su kullanım randımanı üzerine etkileri" isimli proje sonuç raporu verileri (Sezen ve ark., 2016) ve çıktıları CROPGRO-Kinoa V4.8.2 modelinde veri seti olarak kullanılmıştır. Proje sonuç raporlarına ait proje çıktıları ile bitki benzetim modelinden elde edilen çıktılar karşılaştırılmıştır. Ayrıca, gelecekteki olası iklim senaryoları, Doğu Akdeniz koşullarında sürdürülebilir kinoa üretimine yönelik önemli tehditler öngördüğünden dolayı, geleceğe yönelik kinoa verim tahmininde bulunmak ve olası iklim değişiminin kinoa üzerindeki belirsizliğini gidermek amaçlanmıştır. Bu nedenle 2 farklı iklim senaryosu (RCP4.5 ve RCP8.5) (Representative Concentration Pathways: Temsili Konsantrasyon Rotaları) ile geliştirilmiş 3 farklı küresel iklim modeline (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL_ESM2M)(Hadley Global Environment Model: Hadley İklim Tahmin Merkezi, Max Planck Institute: Max Plank Enstitüsü, GFDL-Geophysical Fluid Dynamics Laboratory: Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuarı) ait projeksiyonlar kullanılarak sonuçların elde edilmesi planlanmıştır. Küresel iklim modelleri genellikle 100 ila 200 km arasında değişen bir çözünürlüğe sahiptir. Bu, uluslararası düzeyde yapılan analizler için yeterli olsa da, ülke bazındaki çalışmalar için sınırlı kalmaktadır. Buna karşılık, bölgesel iklim modelleri daha küçük bir alanı kapsarken 1-50 km arasında değişen daha yüksek çözünürlüklerdedir. Bu doğrultuda, Meteroroloji Genel Müdürlüğünce RegCM4.3.4 (Regional Climate Model) bölgesel iklim modeli kullanılarak seçilen küresel iklim model

verileri işlenmiş ve 20 km çözünürlüğe sahip bölgesel iklim projeksiyonları oluşturulmuştur. Bu çalışmada 1971-2000 dönemi referans alınarak, 2016-2040, 2041-2070 ve 2071-2099 yıllarını kapsayan projeksiyonlar üretilmiştir (Akçakaya ve ark., 2015). Çalışma sonucunda elde edilecek bilgiler ve bulgular, kinoa yetiştiriciliğinde Doğu Akdeniz bölgesindeki ilgili kurum ve kuruluşlara, Araştırma Enstitülerine ve çiftçilere iletilmesi sağlanacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kinoa bitkisi, olumsuz iklim ve toprak koşullarına kolayca uyum sağlayabilen bir bitkidir. Don (Jacobsen ve ark., 2005), kuraklık (Geerts ve ark., 2008b) ve toprak tuzluluğuna (Jacobsen, 2003b) karşı yüksek düzeyde dayanıklılık göstermektedir.

Kinoa toprakta su eksikliğine dayanıklıdır, yıllık toplam yağışın 100-200 mm olduğu iklim koşullarında bile kabul edilebilir düzeyde verim sağlamaktadır (Jacobsen ve ark., 2003b; FAO, 2011).

Lavini ve ark (2014) vejetatif periyotta su stresinin kinoa'da derin köklerin oluşumuna yol açtığını, ideal şartlarda kinoa veriminin mevcut iklim şartları, toprak özellikleri, ekim zamanı ve kullanılan kinoa çeşidine göre farklılık göstereceğini belirtmiştir.

Jacobsen ve ark (2009a) toprakta yetersiz nem durumunda kinoa bitkisinde stomaların kapanarak, yaprak su potansiyelini koruduğu ve fotosenteze olanak tanıdığını, dolayısıyla yüksek su kullanım verimliliği elde edildiğini saptamışlardır.

Hirich ve ark (2014a) Fas'ta kısıtlı sulama ve organik kompost uygulamalarının kinoa bitkisinin büyümesi ve dane verimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sonuçta, kompostun kısıtlı sulama koşullarında verimi artırmada önemli bir etken olduğunu ve doğru uygulanan sulama planı ile %50 su tasarrufu sağlanabileceği ve 1700 - 2000 kg/ha verim sağlanabileceğini göstermiştir.

Jacobsen ve ark (2003b) kinoa bitkisinin hafif kumlu topraklarda yalnızca 200 mm yağış ile başarılı bir şekilde yetiştirilebileceğini belirtmiştir. Kuraklığa karşı çeşitli dayanım mekanizmalarına sahip olmasına rağmen, başlangıç büyüme dönemindeki orta düzeydeki kuraklıklar haricinde su stresi nedeniyle verim kayıpları yaşandığı bildirilmiştir (Bosque Sanchez ve ark., 2003).

Geerts ve ark (2006) kinoa bitkisinde su stresine en duyarlı olduğu gelişim evrelerinin çimlenme, çiçeklenme ve erken dane dolum olduğunu ortaya koymuştur.

İklim, toprak türü, bitki çeşitleri, gübreleme ve sulama gibi faktörler, kültür bitkilerinin büyüme ve gelişimini, dolayısıyla verim ve kaliteyi etkileyen temel unsurlardır. Kinoa yetiştiriciliğinde, yüksek dane verimi ve kalitesi için vejetasyon süresine uygun çeşitlerin seçilmesi (Bertero ve ark., 2004) ve teknik ile fizyolojik olgunluğun sağlanacağı ekim zamanının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Düşük sıcaklık, yüksek nem oranı ve sınırlı güneş ışığı, birim alandaki bitki sayısını ve sağlık durumunu olumsuz yönde etkilerken, yüksek sıcaklık da teknik olgunluğu bozmakta ve verimi düşürmektedir (González ve ark., 2015).

Geerts ve ark (2008a) Bolivya'da kinoa bitkisinin kuraklık stresine tepkilerini incelemişlerdir. Sonuçta, erken vegetatif, çiçeklenme ve erken dane dolum periyotlarında kısıntılı bir sulama programı ile yaklaşık %50 su tasarrufu sağlanabileceği, 1200 - 2000 kg/ha kinoa dane verimi elde edilebileceği saptanmıştır. Belirtilen gelişme periyotlarında yapılacak kısıntılı sulama ile su stresi önlenmiş olacaktır.

Gęsiński (2008a,b) İtalya, Yunanistan, İsveç, Danimarka ve Polonya'da kinoa bitkisinin gelişme dönemi uzunluğunu sırasıyla 116, 106, 140, 134 ve 128 gün belirlerken, verim değerleri ise sırası ile 1380, 2260, 260, 3400 ve 1650 kg/ha olarak belirlemişlerdir.

Kinoa, 250 çeşidi dünya çapında yetiştirilen ve Güney Amerika'nın And Dağları bölgesine özgü olan, Peru, Bolivya, Şili, Arjantin, Ekvador ve Kolombiya gibi ülkelerde doğal olarak bulunan bir allotetraploid bitkidir (Agarwal ve ark., 2023), Ayrıca, Colorado, Washington, Oregon, İngiltere ve İskandinavya'da yetiştirilmektedir. Kinoa, düşük yağış, ılıman bölgeler, marjinal topraklar, yüksek sıcaklık ve besleyici değerini kaybetmeden zayıf kumlu, alkali topraklar gibi farklı sıcaklık ve iklim koşullarına dayanıklı olması nedeniyle büyük ilgi görmektedir (Galvez ve ark., 2010; Agarwal ve ark, 2023; Jan ve ark., 2023).

Kinoa, içsel olarak düşük su gereksinimine dayanarak su eksikliğine karşı dayanaklılık gösterebilir. Su stresi döneminden sonra eski fotosentetik seviyesine ve özel yaprak alanına hızla geri dönme yeteneği, bu bitkinin kurak ve yarı kurak bölgelerde yetiştirilmesi için uygun hale getirmektedir (Jacobsen ve ark., 2009b; Jensen ve ark., 2000). Bu yetenek, sulama için daha az suyun mevcut olduğu ve çiftçilerin mevsimsel yağışlara güvenmek zorunda kaldığı kurak ve yarı kurak bölgelerde yetiştirilmesi için uygundur (Bhargava ve ark., 2006).

Zhang ve Oweis (1999) kısıntılı sulamanın en yüksek bitki verimini elde etmekten daha çok en yüksek su kullanım randımanında istikrarlı bir verim elde etmeyi amaçladığını belirtmiştir. English (1990) ise doğru bir kısıntılı sulama stratejisi uygulamak için bitkide su stresi ile oluşacak verim kaybının ekonomik analiz ile incelenmesini vurgulayarak, suyun yetersiz olduğu durumlarda WUE'nin arttırılmasının, verimin arttırılmasından daha avantajlı olacağını belirtmiştir. Kısıntılı sulama uygulamasının bitkinin daha az duyarlı olduğu gelişme periyotlarında kısmi su stresine maruz kalabileceği belirtilmiştir (Payero ve ark., 2006; Fghire ve ark., 2015). Bitkilerin kuraklığa hassasiyeti, türlerine ve gelişim evrelerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiğinden, her bir gelişim döneminde su stresine verdikleri yanıtların anlaşılması, etkili bir kısıntılı sulama oluşturulması açısından kritik öneme sahiptir (Geerts ve Raes, 2008). Kısıntılı sulamada su tasarrufu sağlanıp, WUE'nin artması sağlanırken, toprak profilinde tuzluluğunun artması gibi olumsuzlara neden olabilmektedir (Schoups ve ark., 2005). Bu amaçla, kısıtlı sulama programları oluşturulurken bu unsurların dikkate alınması, tarımsal sürdürülebilirlik için kritik öneme sahiptir.

Küresel ısınma ve iklim değişimine karşı alınacak önlemler arasında kuraklık stresine dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi de yer almaktadır. Bolivya'da sınırlı su kaynakları göz önüne alındığında, tam sulama bir seçenek değildir. Bununla birlikte, su uygulamalarını kuraklık duyarlı büyüme aşamalarıyla sınırlandırarak verim önemli ölçüde artırılabilir ve ciddi yağış eksikliklerinin yaşandığı yıllarda stabilize edilebilir (Garcia ve ark., 2003b).

Khaled ve ark (2021) Mısır'da farklı sulama düzeyleri referans evapotranspirasyonunun (ET_0) %40, %60, %80 ve %100'ü oranlarında ve susuz kolu olarak uygulanmıştır. Sonuçta, sulama düzeylerinin kinoa verimliliği üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. En yüksek verim

ET_0'nin %100'üne göre yapılan sulamada kaydedilmiştir ve susuz konuya kıyasla %156'lık bir artış sağlanmıştır.

Buckland ve ark (2019) Amerika'da 2013-2014 yıllarında yürütülen çalışmada çizgi kaynaklı yağmurlama sistemi ile kinoa çeşitleri arasındaki tolerans farklılıklarını belirlemeye çalışılmıştır. Kinoa bitkisi 2013 yılında sulamaya tepki verirken, 2014 yılında muhtemelen yağışlardaki mevsimsel farklılıklar nedeniyle tepki vermemiştir.

FAO kurak mevsimde gıda üretimini artırmak ve beslenme ile gıda güvenliğini iyileştirmek amacıyla, Ulusal Tarımsal Araştırma Merkezleri ve Akademisi ile birlikte, iklim aşırılıkları ve iklim değişikliği ile ilişkili artan abiyotik streslerle mücadele edebilen (örneğin, kinoa gibi) kuraklık toleranslı bitkilerin kullanımını teşvik etmektedir (Alvar-Beltrán ve ark., 2019; Dao ve ark., 2020).

Razzaghi ve ark (2020a) İran'da yaptıkları bir çalışmada, ilk olarak vejetatif, çiçeklenme ve dane doldurma aşamalarındaki kısıntılı sulamanın kinoa yetiştiriciliği ve verimi üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. İkinci olarak, İran'ın yarı-kurak bölgelerinde kinoa bitkisinin su stresine en duyarlı aşamasını belirlemek hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlar, farklı büyüme aşamalarında su stresi uygulamasının kinoa bitkisinin çiçeklenme aşamasında çok duyarlı olduğunu ve dane doldurma aşamasında sulamanın tohum verimini iyileştirmeye yardımcı olmadığını göstermiştir.

Mirsaf ve ark (2024) İran'da yaptıkları bir çalışmada, ilk amacı ekim yöntemlerinin ve sulama suyu seviyelerinin kinoa su kullanım göstergeleri ve verim bileşenleri üzerindeki etkileşimini belirlemektir. İkinci amacı ise kinoa kök büyümesi hakkında ayrıntılı ve değerli bir bakış sunmaktır. Sonuç olarak, en yüksek dane verimi tam sulama altında elde edilmiştir. Ayrıca, sulama suyu miktarındaki değişimlerin kök dağılımını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

Danimarka'da toprak profilinde yeterli nemin olmamasının kinoa veriminde az etkili olurken, tam sulamada 1870 kg/ha, su stresi koşullarında ise kinoa'dan 1690 kg/ha verim elde edilmiştir (Razzaghi ve ark., 2012).

Casini (2002) İtalya'da yürütülen araştırmada kinoa'dan 1900-3000 kg/ha verim elde edilirken, Kolombiya'da kinoa veriminin çeşide bağlı olarak 1700 – 2700 kg/ha olduğunu saptamıştır (Delgado ve ark., 2009).

Hirich ve ark (2014b) stressiz koşullarda kinoa'dan 3000 kg/ha verim alınırken, %50 su tasarrufunun sağlandığı kısıntılı sulamada ise 1700 kg/ha verim alınmıştır.

İncekaya (2010) Çukurova ekolojik koşullarında kinoa bitkisinde dane veriminin 1690-2120 kg/ha arasında değiştiğini belirtmiştir.

Jacobsen (2014) Kinoa bitkisinin optimum koşullardaki verim potansiyelinin iklim, toprak, ekim zamanı, ceşit, vb gibi unsurlara gore değişebileceğini de ifade etmektedir. Risi ve Galwey (1991) Cambridge-İngiltere ekolojik koşullarında Baer isimli kinoa ceşidinden 6960 kg/ha, Garcia ve ark. (2003b), Patacamaya-Bolivya'da ise optimum koşullarda kinoa 3700 kg/ha dane verimi alınabildiğini vurgulamışlardır.

Danimarka'da tam sulama şartlarında kinoa verimi 3300 kg/ha (Razzaghi ve ark., 2011). İtalya'da ise 1900 ile 3300 kg/ha olarak saptanmıştır (Lavini ve ark., 2014). Değişik kinoa türleri ile yürütülen çalışmalarda örneğin Bolivya'da 3700 kg/ha (Garcia ve ark., 2003b); Şili'de 2600 kg/ha (Martinez ve ark., 2009); Fas'ta ise 3300 kg/ha (Hirich ve ark., 2014a) kinoa verimi alınmıştır. İtalya'da kinoa verimin ekim zamanı ve kullanılan türe göre 1500 - 3400 kg/ha olduğu saptanmıştır (Pulvento ve ark., 2010).

Geerts ve ark (2008a-c) Bolivya'da lizimetrede değişik gelişme periyotlarında kinoa bitkisini su stresine karşı tepkisini çalışmışlardır. Sonuçta, çiçeklenme ve dane dolum periyotlarında oluşacak kuraklığın verim ve WUE'de negatif etki oluşturacağı belirlenmiştir.

Bolivya'da yürütülen kinoa araştırmasında su stressiz koşullarda WUE değeri 0.41 kg/m^3; %50 kısıntılı sulamada 0.48 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır (Geerts ve ark., 2008a).

Razzaghi ve ark (2012) Danimarka'da kinoa'da WUE değerlerini 1.08 ile 1.26 kg/m^3 olduğunu, tam sulama şartlarında kinoa ile su stresi koşullarındaki kinoa'da su kullanım randımanı değerleri bakımından farkın önemsiz olduğunu saptamışlardır.

Hirich ve ark (2014b) kinoanın su stressiz koşulda ve %50 su tasarrufu yapılan kısıntılı sulama konusunda WUE'nin 1.2 ve 1.7 kg/m^3 olduğunu; tam sulamada daha düşük su kullanım randımanı hesaplandığını saptamışlardır.

El-Harty ve ark (2023) Suudi Arabistan'da tarla kapasitesinin üç farklı düzeyinde (%95, 65 ve 35) yetiştirilen 19 kinoa genotipinin fizyolojik tepkisini ve verimini değerlendirmiştir. Sonuçta, tarla kapasitesinin %65 düzeyinde optimum su kullanım etkinliği (WUE) değerlerine ulaşılmıştır.

Choudhary ve ark (2022) Hindistan'da kinoa'nın verim ve su kullanımı üzerinde arazi düzenlemesi ve sulama programlamasının etkisini değerlendirmek için, arazi düzenleme tekniklerinin (düz yatak, sıra ve karık , geniş yatak ve karık tekniği) ve 3 sulama programlama ile (ekimden sonra 20-25 gün arayla 1 sulama, ekimden sonra 20-25 ve 55-60 gün arayla 2 sulama, ekimden sonra 20-25, 55-60 ve 90-95 gün arayla 3 sulama) kombine edildiği deneyler yapılmıştır. Sonuç olarak, geniş yatak ve karık tekniğiyle kinoa yetiştirme, verimlilik, su kullanım randımanı ve su verimliliği açısından en etkili sonuçları verdiği sonucuna varılabilir. Sulama programlaması arasında, kinoa veriminde maksimum ve önemli ölçüde daha yüksek bir seviye 3 sulama düzeyiyle kaydedilirken, su kullanım randımanı ve su verimliliği açısından önemli ölçüde daha yüksek sonuçlar 1 sulama düzeyiyle kaydedilmiştir.

Algosaibi ve ark (2017) Suudi Arabistan'ın Al-Ahsa bölgesinde kinoa bitkisinda farklı sulama aralıklarının bitki büyüme, verim, verim bileşenleri ile toprağın bazı kimyasal özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. T1 (haftada iki kez sulama, T2 (haftada bir kez sulama) ve T3 (iki haftada bir kez sulama) olmak üzere üç uygulama kullanılmıştır. Sonuçta, T2 uygulamasının tüm incelenen özelliklerde en yüksek ortalamayı verdiğini, T3 uygulamasının ise tohum sayısı dışında tüm özelliklerde en yüksek ortalama belirlenmiştir.

Cakmakci (2023) Van koşullarında su verimliliği açısından tam sulama ile rekabet edebilecek kısıntılı sulama uygulamalarını belirlemek ve su eksikliği koşulları altında bitkinin tohum verimi ve verim parametreleri ile su-verim ilişkilerini inceleyerek yarı kurak bölge için uygun çeşitleri tespit etmiştir. Sonuçlar, farklı sulama rejimlerinin kinoa çeşitlerinin bitki boyu, tohum verimi 1000dane ve HI'de önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir, Ayrıca, WUE'lerin tam (I_{100}) ve %25 kısıntılı (I_{75}) sulama uygulamalarında benzer olduğunu göstermiştir ve IWUE en yüksek I_{75} uygulamasında kaydedilmiştir.

Fghire ve ark (2022) Fas'ta kısıntılı sulamanın kinoanin agronomik performans üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla yürütülmüştür. Sonuçlar, kısıntılı sulama uygulamasının tarımsal su kullanımını azaltmak ve nispeten yüksek verimi korumak için uygun bir strateji olduğunu göstermektedir. Öte yandan, tohum veriminin büyüklüğü ve ağırlığı ile yansıtılan ekonomik kalite sonuçları, kinoanın su yetersizliği koşullarına iyi adapte olmuş bir kültür olarak kabul edilebileceğini göstermektedir.

Geren ve Geren (2016) Ege bölgesinde sera koşullarında kinoa bitkisinin dane verimi ve diğer bazı verim bileşenleri üzerindeki etkisini belirlemek için bir saksı çalışması yürütülmüştür. Beş farklı sulama suyu düzeyini tarla kapasitesinin (FC) %100'ü, diğerleri ise sırasıyla %80, 60, 40 ve 20'si kısıntılı sulama uygulamaları olarak alınmıştır. Sonuçta, kısıntılı sulamanın tam sulamaya kıyasla kinoanın dane verimini ve diğer büyüme parametrelerini önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Ancak en yüksek bitki boyu, hasat indeksi ve dane veriminin FC'nin %80'ı uygulamasında belirlenmiştir. Kinoa dane verimi açısından %100 ve %60 FC farksız bulunmuştur.

Akçay ve Tan (2021) Erzurum'da farklı düzeyde sulamaların kinoa kök ve sürgün gelişmesini değiştirdiğini, artan sulama suyu ile bitki kuru madde değerlerinin artış gösterdiğini saptamışlardır.

Çolak ve ark (2021) Adana'da iki sezonluk araştırmada toprak üstü ve altı damla sulama ile farklı sulama düzeylerinin kinoa üzerine etkisini araştırmıştır. Sonuçta, gömülü ve toprak üstü damla konuları arasında fark belirlenememiş, sulama düzeyleri önemli bulunmuştur. Maksimum kinoa verimi deneme yıllarında su stressiz konuda elde edilmiştir. Gömülü ve toprak üstü damla'da I_{75} konusunda yaklaşık %17'lik su tasarrufu gerçekleşmiştir.

Samutoğlu ve ark (2020) Antalya'da lizimetrede kinoanın ET değerlerini 198-302 mm, WUE'yi 0.98-1.22 kg/m^3, kinoa verimini 2952-2430 kg/ha olarak belirlemiştir. Aşırı su kısıntısı kinoa verimini düşürürken, %25 su kısıntısı kinoa verimini etkilememiştir.

Tüfenkçi (2021) Van'da değişik sulama suyu miktarlarının kinoa verim ve HI'ye olan etkisi çalışmıştır. Maksimum verim ve HI tam sulamada saptanmıştır. Minimum HI ise %25 sulama düzeyinde elde edilmiştir.

Çaygaracı ve Kuşçu (2019) Bursa'da kinoa'da aşırı kısıntılı sulama düzeylerinde dane verimini önemli derecede azalttığını saptamıştır. Su stressiz konuda ise ET ve dane verim değerleri yüksek belirlenmiştir.

Kır ve Temel (2017) Iğdır'da değişik kinoa genotiplerini test ettiği araştırmada kinoa türlerinin sulu koşullarda kinoa üretimine uygun olduğunu belirtirken, Titicaca kinoa çeşidi diğerlerine göre daha avantajlı bulunmuştur.

2.1. Kinoa Bitkisine Etki Eden Hastalık ve Zararlılar

Kinoa bitkisinde rastlanabilecek olan bildirimi yapılmış hastalıklardan Fide Kök çürüklüğü hastalıkları; Ascochyta caulina, Rhizoctonia solani, Fusarium spp., Alternaria spp.ve Pythium spp., Mildiyö Peronospora farinosais Yaprak leke hastalığı Ascochyta hyalospora görülebilir. Kinoa bitkisinin ana zararlıları olan, afit, beyaz sinek, thrips , kırmızı örümcekler ile mücadele edilmediğinde ürün kayıplarına yol açmaktadır (Partap ve Galwey, 1995; Jancurová ve ark., 2009).

Kinoa bitkisinin doğal yetiştirme alanında çok çeşitli böcek zararlıları rapor edilmiştir. Böcek zararlıları enfeksiyon nedeniyle üründe %8-40 oranında kayba neden olmaktadır (Tapia ve ark., 1979). Kinoanın ekonomik açıdan en önemli ve endemik böcek saldırısı güve (Meyrick sp., Eurysacca melanocampta) ve ticona kompleksi (Spodoptera, Heliothis, Feltia ve Copitarsia turbata) grubuna aittir. (Bhargava ve ark., 2006).

Mildiyö hastalığı, kinoa bitkisinin yıkıcı fungal enfeksiyonlarından biridir. Dünya çapında kinoa üretimini %35-90 oranında büyük ölçüde azaltmaktadır (Danielsen ve ark. 2000, 2003; Danielsen ve Munk, 2004). Tüylü mildiyö ile enfekte olmuş bitkiler, yaprak yüzeyinin üzerinde sarı klorotik lezyonlar da dahil olmak üzere çeşitli fenotipler gösterirken, yaprak yüzeyinin altında gri, sümüksü miselyal sporülasyon gösterirler ve şiddetli koşullarda erken yaprak kaybına neden olur (Jancurová ve ark., 2009).

2.2. Kinoa Bitki Büyüme Modelleri ile ilgili Araştırmalar

DSSAT modelleme sistemi CROPGRO modelini içerir ve çeşitli çevresel koşullar altında büyüme ve verimi simüle eder. Model, sınırlı hava ve toprak koşullarını yönetme stratejilerini (Malik ve Dechmi, 2019), iklim değişikliğinin bitkisel üretim üzerindeki etkilerini değerlendirmek (Rana ve ark. 2019; Jiang ve ark., 2021) ve farklı çeşitlerin performansını ve değişik çevre koşullarına uygunluğunu (Chisanga ve ark., 2021; Feleke ve ark., 2021) gibi bir dizi uygulamayı ele almak için kullanılmaktadır.

Bitki simülasyon modeli, verimi tahmin etmek için temel deneysel detaylara ihtiyaç duyar. DSSAT-CSM deneysel bilgilerinde ürün çeşitleri, arazi bilgileri, başlangıç toprak durumu, ekim tarihi, çıkış tarihi, bitki popülasyonu, sulama, su yönetimi bilgileri ve gübre uygulamaları bulunmaktadır. DSSAT-CROPGRO, günlük zaman adımını kullanan ve toprak ve bitki özelliklerindeki değişiklikleri hesaplayan süreç tabanlı bir modeldir (Lobell ve Asseng, 2017).

DSSAT'ın modüler yapısı, kullanıcıların karmaşık tarımsal süreçleri modellemesini, yönetmesini ve optimize etmesini sağlar. Her modül, spesifik bir süreci simüle eder ve diğer modüllerle entegre çalışarak çok yönlü bir simülasyon sunar. Bu esneklik, DSSAT'ı tarımsal karar

destek sistemleri arasında güçlü bir araç haline getirmiştir. Bu modüller, kullanıcıların çeşitli çevresel, yönetim ve genetik faktörleri göz önünde bulundurarak tarımsal üretimi modellemesine imkan sağlar. DSSAT'ın modüler yapısında farklı bitkiler için geliştirilen modeller, iklim, toprak ve yetiştirme modülleri, kalibrasyon ve duyarlılık modülleri, veri yönetim modülü mevcuttur (Jones ve ark., 2003; Hoogenboom ve ark., 2019; Präger ve ark., 2019; Mack ve ark., 2020). Tsuji ve ark. (1998). DSSAT'ın iklim ve toprak modüllerinin, farklı çevresel ve yönetim koşullarını simüle ederek, karar verme süreçlerinde esneklik sağladığını ifade etmiştir. Buddhaboon ve ark (2018) GLUE ve GENCALC gibi araçlarla yapılan kalibrasyonların, modüler yapının önemli bir avantajı olduğunu ve yerel genotiplerin simülasyon doğruluğunu artırdığını belirtmiştir.

Bitki Simülasyon Modelleri (BSM), tarımsal üretim parametrelerinin tamamını göz önünde bulundurarak, bitki türlerinin fizyolojik ve morfolojik gelişimini çeşit bazında değerlendirmeye olanak sağlar. Bu modeller, daha hassas hesaplama kabiliyetine kavuşmak için, ilgili alanlarda yürütülen deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ışığında, bitki çeşitlerinin genetik katsayılarının belirlenmesi ve modellerin sürekli iyileştirilmesi yoluyla geliştirilebilir. Bitki modellemeleri aynı zamanda iklim modelleriyle birlikte kullanılabilir. Bu sayede, gelecekte yaşanması beklenen kuraklık, yağış rejimi ve tarımsal verimlilik üzerindeki olası etkilerin güvenilir projeksiyonlarının yapılması mümkün olmaktadır. Küresel iklim değişikliğinin tarımsal alanlarda doğuracağı muhtemel olumsuz sonuçların önceden öngörülmesi, uyum stratejilerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Modeller, belirli bir ortamda gerçekçi benzetim için fırsatlar sağlar ve verilerin modele tanımlandığı ve modelin çalıştırıldığı, ardından sonuçların doğrulaması için diğer benzetim sonuçlarıyla karşılaştırıldığı yerde doğrudan görülebilir. Ayrıca, pratik olarak modelleme süreci, küresel iklim değişikliği verilerinden bu modellerin tipik olarak çalıştığı parsel ölçeğine kadar çok sayıda veri kullanılabilirliği sorununu ve kalite ölçeklendirmesini içerir. Modellerin özellikle bölgesel ölçekte yetersiz performans göstermesinin nedeni verim değişkenliğini belirleyen faktörlerin ve süreçlerin uygunsuz değerlendirilmesinden kaynaklandığı gösterilmiştir. (Kephe ve ark., 2021).

CROPGRO-Kinoa'un günlük zaman adımı vardır; içinde bitki gelişimi hava sıcaklığı ve fotoperiyot ile kontrol edilir. Bitkide günlük biyokütle artışı, bitki tarafından tutulan ışık ile belirlenir. Hava sıcaklığı, mevcut su ve azotun arz / talep oranları ile modüle edilir. Bitki organlarının uzaması, organ büyüme potansiyeline ve organa ayrılan yeni biyokütlenin bulunmasının getirdiği sınırlamalara ve ayrıca sıcaklık, su ve azotun etkilerine bağlıdır. Verim, dane sayısı ve dane ağırlığının sonucu olarak modellenir (Villalobos ve ark., 1996).

Ccama ve ark (2022), çalışmada AquaCrop-OS modelinin kinoa sulama yönetimini değerlendirmek için temel bir araç olarak kullanıldığını vurgulamaktadır. AquaCrop, FAO tarafından geliştirilmiş ve bitkilerin suya tepkisini simüle eden, su kısıntısı koşullarında uygun bir simülasyon platformu sağlayarak, bitki büyümesini, su dengesi ve ürün verimliliğini tahmin etmektedir. Bu çalışmada AquaCrop-OS, bir "bitki modeli" olarak görev yapmış ve model öngörülü kontrol (MPC)

stratejisi ile entegre edilmiştir. Bu entegrasyon sayesinde oluşturulan tahmin modeli, AquaCrop-OS'den veri alarak bitki su açığı ve sulama gereksinimlerini simüle etmiştir. Bu bağlantı, gerçek zamanlı verilerin kullanımıyla günlük sulama miktarını optimize etmeyi ve daha verimli bir su yönetimi sağlamayı mümkün kılmıştır. Sonuçta, MPC ile AquaCrop-OS'in kombinasyonunun, hem kurak hem de yağışlı yıllarda ürün verimini optimize etmek ve su kullanımını azaltmak için etkili bir yaklaşım olduğunu göstermiştir.

Cusicanqui ve ark (2013) Güney Bolivya'da AquaCrop modelini kullanarak, kinoa üretiminde kısıntılı sulamanın etkisini modelle simüle etmiştir. Sonuçta, kinoa üretiminin gerçekleştirebileceği ve kısıntılı sulamayla kabul edilir ölçülerde verim elde edileceği model tarafından saptanmıştır. Model iyi bir performans göstermiştir.

Präger ve ark (2019) Güneybatı Almanya'da kinoa bitkisinde DSSAT modeli içerisinde yer alan CSM- CROPGRO modelini kullanmıştır. Kinoa bitkisine ait genetik katsayılar, yaprak alanı indeksi (LAI), kuru madde ve verim bileşenleri dahil olmak üzere literatür değerleri ve büyüme analizi verileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Sonuçta, CROPGRO-Kinoa modeli, kinoa fizyolojisi hakkında daha fazla bilgiyi entegre etmek için iyi bir başlangıç noktası sunarken, kinoanın uzun dönem uygunluğunu ve farklı yönetim stratejilerini değerlendirme imkanı sağladığı belirlenmiştir.

CROPGRO modeli ayrıca toprak suyu ve azot dengelerinin, kalıntı dinamiklerinin ve zararlılar veya hastalık hasarının simülasyonuna da olanak sağlar. Ayrıca, DSSAT (Agroteknoloji Transferi için Karar Destek Sistemi) yazılımının bir parçasıdır ve her bir seçeneğin potansiyel risklerini değerlendirmek için farklı yönetim seçeneklerinin çok yıllık simülasyonuna olanak tanır (Jones ve ark., 2003; Hoogenboom ve ark., 2017).

Modeller, toprak, bitki ve atmosferik özelliklere uygun olarak farklı bitkilerin büyüme, gelişme ve su dengesini simüle edebilir (Hoogenboom ve ark., 2012). Örneğin, DSSAT toprak verimliliği, su ve sulama yönetimi, verim açığı analizi, bitki ıslahında genotip ve çevre etkileşimi, iklim değişikliği ve iklim çeşitliliği, risk sigortası ve adaptif yönetim konularında yaygın olarak kullanılmaktadır (Bhupinderdhir, 2018).

CROPGRO modeli, DSSAT yazılımı içerisinde yer alan ve birçok bitki türünün fizyolojik süreçlerini simüle edebilen bitki modellerinden biridir. Model, mekanistik ve deterministik bir yapıya sahiptir ve toprak tipi, iklimsel koşullar ile uygulanan yönetim pratiklerine dayalı olarak, belirli bir çeşit için vejetatif ve üreme dönemlerinin uzunluğu, biyokütle birikimi ve dane verimi gibi özellikleri simüle edebilmektedir. Ancak, daha ileri uygulamalarda kullanılmadan önce, modellerin önce çok çeşitli ortamlar ve ekim uygulamaları altında değerlendirilmesine sürekli ihtiyaç duyulmaktadır (López-Cedrón ve ark., 2008).

CROPGRO tür dosyası, yaprak görünme oranı, fenolojik dönem süreleri, fotosentez, yaprak alan genişlemesi, kapsül eklenmesi ve tohum büyümesi gibi farklı gelişim ve büyüme süreçleri için belirli kardinal sıcaklıkları içerir. Tür dosyası ayrıca doku bileşimi, yaprak dökümü, fotosentez, solunum ve N-fiksasyonu için ek katsayılar ve ilişkileri tanımlar. Bitkiye özgü büyüme ve gelişme

parametrelerinin tanımlanmasının yanı sıra, çeşit dosyası, kritik gün süresini ve gün süresine duyarlılığın eğimini tanımlamak için kullanılır ve bu da gün süresine bağlı olarak bitki gelişimini yavaşlatmak veya hızlandırmak için kullanılır. (Boote ve ark., 2002) CROPGRO modelinin yukarıda bahsedilen genel kaynak kodundan yararlanarak, birçok baklagil ve bitki türleri başarılı bir şekilde adapte edildi (Singh ve ark 2016; Hartkamp ve ark., 2002).

2.3. Olası İklim Değişiminin Kinoa Verim, Büyüme ve Gelişimine Etkileri

Yang ve ark (2016) Danimarka'da yapılan araştırmada, kinoanın üç sulama ve iki sıcaklık rejimi altında büyüme ve fizyolojik tepkilerini araştırmıştır. Düşük sıcaklıkta, gece/gündüz iklim odası sıcaklığı 18/8 °C'de ve yüksek sıcaklık için 25/20 °C'de uygulama süresi boyunca muhafaza edilmiştir. Sulama uygulamaları, tam sulama (FI), kısıntılı sulama (DI) ve alternatif kök bölgesi kurutması (ARD) şeklinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, kinoa bitkisinin büyümesinin yüksek sıcaklık (25/20 °C) ile desteklendiğini ve ARD'nin kuraklığa eğilimli alanlarda WUE'yi artırmak için etkili bir sulama stratejisi olduğunu göstermektedir.

Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) geleceğe yönelik iklim senaryolarını oluşturmak amacıyla Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCPs) belirlenmiştir. Oluşturulan 4 iklim senaryosunda (RCP-3.0, RCP-4.5, RCP-6.0 ve RCP-8.5) gerek ortalama sıcaklık gerekse CO_2 oranlarının önemli derecede artış olacağı vurgulanmıştır (IPCC, 2013).

Tarım özellikle iklim faktörlerine bağlıdır ve iklim değişikliğinin tarımsal üretimi ve gıda güvenliğini sınırlayacağı beklenmektedir. Sıcaklık artışları ve aşırı hava olayları (sıcak dalgaları, fırtınalar, sel etkileri) ile birlikte azalan su rezervlerinin gelecekte daha sık görülmesi beklenmektedir (Wiebe ve ark., 2019).

İklim değişikliği, artan sıcaklıklar ve yağış eksikliği sonucunda, yirmi birinci yüzyılın sonuna kadar Avrupa'da kuraklığın görülmesi beklenmektedir. Ancak bu iklim olayı hakkında iki farklı olası senaryo söz konusudur. RCP 4.5 senaryosuna göre, Akdeniz, Batı Avrupa ve Kuzey İskandinav'da kuraklığın sıklığı ve şiddeti artacaktır. RCP 8.5 senaryosuna göre ise tüm Avrupa'da yoğun kuraklıkların ortaya çıkması öngörülmektedir. Her iki senaryo dikkate alındığında, kuraklık sıklığının ilkbahar ve yaz aylarında (özellikle Güney Avrupa'da) artacağı, kış aylarında ise Kuzey ve Batı Avrupa'da azalacağı öngörülmektedir (Spinoni ve ark., 2018).

İklim değişkenliğinin hem küresel hem de yerel düzeyde bitkisel üretimi ve gıda güvenliği üzerinde önemli etkileri olacağı öngörülmektedir. Birleşmiş Milletler dünya nüfusu 2050'de 9.8, 2100'de ise 11.2 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Stresli bir çevrede gıda sürdürülebilirliğinin en önemli gelecek zorluklarından biri haline geleceği anlamına gelmektedir. Nüfus artışı ve küresel gıda tüketim kalıplarındaki değişiklikler nedeniyle artan gıda talebi, daha sürdürülebilir tarımsal üretim ve uyum ile hafifletme önlemlerine doğru bir baskı oluşturacaktır (Campbell ve ark., 2016; Wheeler ve Von Braun, 2013).

İklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkilerini azaltmak için, Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) en savunmasız bölge ve ülkelerde iklime duyarlı tarım (CSA) kavramını uygulamaya koymuştur. CSA sistemi, tarımsal verimliliği ve geliri artırmak ve mümkün olduğunda sera gazı emisyonlarını azaltmak için uyarlanmış teknolojileri içeren, yerel çiftçilerin özel ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik eylemlerle ilişkilendirilmektedir. (FAO, 2013; Lipper ve ark., 2014).

Küresel iklim değişikliğinin etkileri ve ürün bitkilerinin büyümesi ile verimliliği üzerindeki etkisi, küresel nüfus ve çevre üzerinde önemli sosyoekonomik etkilere yol açma eğilimindedir. Isınan iklim, toprağın su tutma ve verimliliğini koruma kapasitesini azalttığı için bitki büyümesi ve verimliliği için uygun olmayacaktır. (United Nations, 2019, González ve ark., 2015).

İklimin yıllar içinde değiştiğine şüphe yok, ancak son yıllarda daha büyük bir yoğunluk ve sonuçlarla küresel ısınma, gıda güvenliğinin omurgasi olan tarım sistemi üzerinde zararlı etkiler yaratmakta ve artan nüfusun hayatta kalması. Küresel ısınmanın doğrudan etkileri arasında toprak tuzlanması, sel ve kuraklık yer almakta olup, bunların hepsi bitki örtüsünün ve toprak yapısının büyük ölçüde bozulmasına yol açacaktır (Field ve ark., 2014).

Jaikishun ve ark (2019) sürdürülebilir bir gıda kaynağı olarak kinoanın önemini ve küresel iklim değişiklikleri ve nüfus artışına yanıt olarak çok yönlülüğünü özetlemeye çalışmaktadır. Birçok ülkede bitki denemeleri ve uygulamalarında elde edilen başarılara dayanarak, diğer ülkeler de sosyoekonomik durumu iyileştirme, sağlığı geliştirme ve daha güvenli bir çevreye katkıda bulunma potansiyeliyle kinoanın büyümesini ve yaygınlaşmasını kolaylaştıracak programlar başlatmaya teşvik edilmelidir.

Kinoanın çeşitli agro-iklimsel habitatlara ve toprak koşullara yüksek uyum yeteneği, Güney Amerika dışındaki ülkelerde, Avrupa, ABD, Kanada, Çin ve Hindistan gibi yerlerde farklı çeşitlerinin verimlerinin artmasını sağlamıştır (Gonzalez ve ark ., 2015; Jacobsen, 2011).

Kinoa, gıda güvenliğine ve iklim değişikliğine uyum sağlamaya katkıda bulunma potansiyeli nedeniyle son yıllarda büyük ilgi gören eski bir Andean tahıl bitkisidir. Kinoa, kuraklık, don, tuzluluk ve marjinal topraklar da dahil olmak üzere çok çeşitli tarımsal iklim koşullarına son derece uyumludur (Jacobsen, 2003b; Bazile ve ark., 2016a).

Bolivya'da yapılan araştırma, kinoa veriminin daha yüksek sıcaklıklar ve azalan yağışlar da dahil olmak üzere öngörülen gelecek iklim senaryoları altında korunabileceğini ve hatta artabileceğini ortaya koymuştur (Geerts ve ark., 2008a-c).

2.4. İklim Değişikliği İçin CROPGRO-Kinoa Modelinin Duyarlılık Analizi

Dünyada ve ülkemizde değişik iklim değişikliği senaryolarını dikkate alarak bitkisel üretim tahmininde bulunabilmek için kullanılan bitki büyüme modelleri ile birçok bitkide yaklaşık verim tahminleri yapılabilir. Böylece, olası iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki etkisi kullanılan modelller ile ortaya koyularak, bitkilerin ve yetiştirilen ürünlerin büyüme ve gelişiminin meteorolojik faktörlere nasıl tepki gösterdiğini saptanabilir. Ayrıca, sıcaklık, yağış gibi iklim

parametrelerindeki değişimleri araştırmanın yanı sıra, CO_2 gibi küresel iklim faktörlerininde kısa, orta ve uzun dönemde olası etkileri ortaya konularak analiz edilebilir.

2.4.1. Sıcaklığın kinoa üretimine etkisi

Kinoa, son yıllarda dikkat çeken bir ürün olup, dünya genelinde tüm bölgelerde son zamanlarda geniş çapta araştırmalara konu olmuştur. Dünyada, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde artan tuzluluk sorunları, zor koşullara kuraklık ve yüksek sıcaklık gibi zor koşullara daha iyi adapte olmuş yeni alternatif ürünlere duyulan ihtiyaç nedeniyle, bu araştırmanın sonuçları kinoa'nın Türkiye'nin Doğu Akdeniz bölgesinin ekim sistemlerine sokulma potansiyelini doğrulamaktadır. Kinoa bitkisinin farklı iklim koşullarına, toprak ortamına ve yetiştirme tekniğine uyum sağlaması, farklı agroekolojik bölgelerde başarılı bir şekilde büyüyüp gelişmesine olanak tanımıştır. Kinoa, bazı ülkelerde yeni tanıtılan bir ürün olduğundan, yerel yetiştirme koşulları ve agroekolojik durumlara göre önerilen tarımsal uygulama paketlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra, insan sağlığına faydaları, besleyici hayvan yemi, kuraklığa ve tuzluluğa toleransı, düşük su ihtiyacı, böcek ve zararlıların az görülmesi, zayıf yabancı ot rekabeti gibi avantajlar, yakın gelecekte ticari yetiştiricilik için fırsatlar yaratacaktır (Singh ve ark., 2021). Doğu Akdeniz bölgesinde her geçen gün mevcut iklim koşullarının negatif değişimi bağlamında, tatlı su kaynakları kıt hale gelmiştir. Tarım, özellikle susuz koşullarda ve yetersiz su kaynakları altında gıda güvenliğine katkıda bulunmak için verimi artırma ihtiyacıyla başa çıkılmalıdır. Bu durumda kinoa gibi yeterince kullanılmayan, kuraklığa ve abiyotik strese dayanıklı ürünleri keşfetmek eşsiz bir fırsat haline gelmiştir. Kinoa bitkileri üzerindeki duyarlılık analizleri, su stresine, sıcaklığa, toprak verimliliğine, tuzluluğa, hastalığa ve zararlılara karşı çeşitli çevresel ve yönetim faktörlerinin büyüme ve verim üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır (Jacobsen ve ark., 2009b). Su stresinin kinoa'nın büyüme ve verimi üzerindeki etkilerini vurgulamıştır. Sonuçta, kinoa'nın kuraklığa karşı nispeten dayanıklı olduğunu, ancak kritik büyüme aşamalarında ciddi su eksikliklerine karşı duyarlı olduğunu bulmuştur.

Kinoa'nın gelişimi ve büyümesi için ideal ortalama sıcaklık yaklaşık 15 °C ile 20 °C arasındadır. Ancak, bazı çeşitler −8 °C ila +38 °C gibi ekstrem sıcaklıklara da dayanabilir (Bazile ve ark., 2015).

Kinoa bitkisinin sıcaklığa duyarlılığı tohum çimlenmesi aşamasında soğuğa (don), ve çiçeklenme döneminde ise yüksek sıcaklıklara olarak saptanmıştır (FAO, 2011; Garcia-Parra, ve ark., 2020). Kinoa, kuraklık, don ve ısı stresi dahil olmak üzere farklı coğrafi alanlara ve abiyotik streslere uyum sağlayabilen dayanıklı bir halofit bitkisidir (Jacobsen ve ark., 2003b; Bertero ve ark., 1999; Adolf ve ark., 2012; Maamri ve ark., 2022). Kinoa, genotiple özelliklerine ve fenolojik aşamaya bağlı olarak geniş bir sıcaklık aralığına (-8 ◦C ila 35 ◦C) dayanabilir (Jacobsen ve ark., 2005).

Bitki büyümesi sırasında aşırı yüksek sıcaklık, en önemli abiyotik streslerden biri olarak kabul edilir ve günümüz iklim değişikliğinin sonuçları nedeniyle giderek daha sık bildirilmektedir (Awasthi ve ark., 2015). Dünya çapında, kapsamlı tarımsal kayıplar, genellikle kuraklıkla birlikte aşırı sıcaklığa atfedilmiştir. Bitkilerdeki aşırı sıcaklık stresi, hasara neden olmak ve dolayısıyla büyümeyi ve gelişmeyi sınırlamak için yeterli bir süre boyunca optimum büyüme sıcaklığının üzerinde hava sıcaklığının artması olarak tanımlanır (Wahid ve ark., 2007). Sıcaklık stresi, sıcaklık olma süresine ve bitki gelişim aşamasına bağlı olarak bitki türlerinde farklı tepkiler üretir (Prasad ve ark., 2017).

Kinoa'nın çiçeklenme ve çimlenme sırasında yüksek sıcaklık verimi önemli ölçüde azaltabilir ve kinoa'nın küresel yayılımının önündeki en büyük engellerden biridir. Örneğin, İtalya (Pulvento ve ark., 2010), Fas (Hirich ve ark., 2014b), Portekiz (Pires, 2017), Hindistan (Bhargava ve ark., 2007), Mısır (Eisa ve ark., 2017), Moritanya (Bazile ve ark., 2016b) ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (Walters ve ark., 2016; Peterson ve Murphy., 2015) çalışmalar, yüksek sıcaklıkların kinoa tohumu verimini azalttığını bildirmiştir. Çoğu araştırma, sıcaklığın kinoa tohumu çimlenmesi üzerindeki etkisini anlamaya odaklanmıştır. Ancak, az sayıda çalışma, diğer fenolojik aşamalarda yüksek sıcaklık altında kinoa'daki fizyolojik değişiklikleri anlamaya odaklanmıştır.

Kinoa, iklim değişikliği ve yüksek toprak tuzluluğuna, asitliğine maruz kalmış farklı alanlarda kuraklığa eğilimli bölgelerde uygulanabilir bir alternatiftir ve belirli koşullar altında kuraklık ve don olaylarına dayanabilir (Jacobsen ve ark., 2003a,b; Bhargava ve ark., 2006; Choukr-allah ve ark., 2016; Hinojosa ve ark., 2018).

Kinoanın aşırı stres koşulları altında büyüme yeteneği, araştırmacıları onu And Dağları'ndan çıkarıp dünyanın diğer bölgelerine uyarlamaya teşvik etmiştir (Bazile ve ark., 2015). Günümüzde çeşitli çalışmalar, Avrupa'daki adaptasyonunu (Jacobsen, 2017), ayrıca ve her şeyden önce marjinal arid ve semi arid bölgelerdeki uyumu araştırmaktadır (Bazile ve ark., 2016c).

Bazile ve ark (2016a-b) kinoa'nın sıcaklık dalgalanmalarına karşı duyarlılığını incelemiştir. Çalışma, kinoa'nın hem yüksek, hem de düşük sıcaklıklara duyarlı olduğunu ve bu koşulların verim ve kaliteyi etkileyebileceğini göstermiştir. Sıcaklık artışının tohum çimlenmesini, çiçeklenmeyi ve dane dolumunu önemli oranda etkilediğini belirtmiştir.

Yüksek ve artan sıcaklıklar, kinoa bitkisinde vejetatif büyümeyi engelleyebilir ve bitki morfolojisini değiştirebilir. Aşırı sıcaklık stresi genellikle sürgün ve kök büyümesinin azalmasına, yaprak alanında azalmaya ve yaprak yaşlanmasının hızlanmasına yol açar (Razzaghi ve ark., 2020b). Çiçeklenme sırasında yüksek sıcaklıkların, kinoa tohum setini ve dane verimini azalttığı gösterilmiştir. Jacobsen ve ark. (2009b) çiçeklenme aşamasında 32°C'yi aşan sıcaklıkların polen kısırlığı nedeniyle dane verimini azalttığını gözlemlemiştir. Ayrıca, kinoa dane kalitesi ve özellikle besin bileşenleri, yüksek sıcaklıkların etkisiyle bozulurken, tohumdaki protein ve esansiyel amino asit içeriklerinin azalmasına neden olabilir (Hinojosa ve ark., 2019).

Coğrafi alanının dışına adaptasyonuna ve sıcaklıkstresi dahil olmak üzere çeşitli abiyotik streslere direncine rağmen, çimlenme ve çiçeklenme aşamasındaki yüksek sıcaklıklar bitkiyi ve özellikle dane verimini önemli ölçüde etkiler. Bu bağlamda, birkaç çalışma kinoa'nın sıcaklık stresine toleransına odaklanmıştır (Pulvento ve ark., 2010; Peterson ve Murphy, 2015; Yang ve ark.,2016; Lesjak ve Calderini, 2017; Alvar-Beltrán ve ark., 2020). Bu çalışmalarda, çimlenme ve çiçeklenme dahil olmak üzere kinoa gelişiminin farklı aşamalarında sıcaklık stresinin etkisi analiz edilmiştir. Şili'de (Lesjak ve Calderini, (2017), çiçeklenme sıcaklığı 34 ◦C'ye ulaştığında tohum veriminde bir düşüş olduğunu bildirmiştir. İtalya'da, Titicaca çeşidinin yüksek sıcaklıklara olumsuz tepki verdiği, çiçeklenme dönemi temmuz civarında gerçekleştiğinde tohum veriminin yarı yarıya düştüğü gösterilmiştir (Pulvento ve ark., 2010). Diğer çalışmalar, daha yüksek sıcaklıkların (20 ◦C ila 25 ◦C) daha düşük sıcaklıklara (8 ◦C ila 18 ◦C) kıyasla kinoa büyümesini destekleyebileceğini göstermiştir (Yang ve ark., 2016). Ayrıca, Burkina Faso'da ve Sahel, MENA ve Akdeniz bölgelerinde yürütülen testlere dayanarak, (Alvar-Beltrán ve ark., (2020), kinoa Titicaca çeşidinde yüksek sıcaklıkların (34 ◦C ile 38 ◦C arasında) tohum verimi kayıplarında % 25 azalmaya neden olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle, çiçeklenme sırasında maksimum sıcaklık eşiği 38 ◦C olarak kabul edilmiştir. Aynı yazarlar, 34 ◦C'nin üzerindeki sıcaklıklarda tohum çimlenmesinde %50'nin üzerinde bir azalma olduğunu da vurgulamıştır.

Shams ve ark (2020) kinoa'nın farklı toprak verimliliği ve besin mevcudiyeti seviyelerine nasıl tepki verdiğini araştırmıştır. Sonuçta, kinoa'nın besin dengesizliklerine duyarlı olduğunu ve optimal gübrelemenin hem biyokütle hem de tohum üretimini artırabileceğini bulmuştur.

Adolf ve ark (2012) kinoa'nın toprak tuzluluğuna karşı duyarlılığını değerlendirmiştir. Kinoa, diğer bitkilere kıyasla bazı derecelerde tuzlu koşullara tolerans gösterse de, aşırı tuzluluk koşullarında bitki büyüme ve verimi olumsuz etkilediği saptnamıştır.

2.4.2. Yağışın kinoa üretimine etkisi

Türkiye'de farklı bölgelerinde olduğu gibi Doğu Akdeniz bölgesinde de yağış dağılımında oluşan farklılıkların oluturabileceği etkiler kısa, orta ve uzun vade de ortaya konulmalıdır. Yıllık ve mevsim içi görülen farklılıklar tarımsal üretimi oldukça etkilemektedir.

Kinoa, kuraklığa dayanıklı bir bitki olarak kabul edilse de, aşırı su kıtlığı altında verimi azalabilir. İklim değişikliği nedeniyle azalan yağışlar, özellikle fide dönemi ve tane doldurma aşaması gibi kritik büyüme aşamalarında su stresini artırabilir. Kuraklık koşullarında, kinoa stomatal iletkenliği düzenleyerek su kullanım verimliliğini artırır ve bu da su tasarrufu sağlar. Ancak uzun süreli kuraklık stresi toplam biyokütle ve verimi azaltır (Razzaghi ve ark., 2011). Aşırı kuraklık, büyüme, biyokütle birikimi ve verimde önemli bir azalmaya yol açar. (Bertero ve ark., 2011), dane doldurma aşamasında su yetersizliğinin, kinoa dane ağırlığı ve kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yarattığını belierlemiştir.

2.4.3. CO_2 Konsantrasyonunun kinoa üretimine etkileri

Sıcaklık düzeylerinin giderek artması, yağış rejiminin değişmesi, birçok bitkinin gelişimini negatif etkilerken, tarım ve gıda güvenliği bakımından endişe edici bir durum oluşturmuştur. Kinoa üretimi aşırı sıcaklık, su kıtlığı ve kötü toprak koşulları gibi çeşitli çevresel stres koşullarında gelişme yeteneğiyle bilinen dayanıklı, yüksek besin değeri olan bir bitkidir. Ancak, diğer bitkiler gibi kinoa da sıcaklık artışı, yağış azalması ve artan CO_2 konsantrasyonları gibi değişen çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Verimde oluşacak bu farklılığın miktarı ve yönünü doğru bir şekilde belirleyebilmek amacıyla bitki büyüme modellerini kullanmak oldukça önem arz etmektedir. Atmosferdeki artan CO_2 seviyeleri, diğer C3 bitkilerinde olduğu gibi, kinoa bitkileri üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkiler yaratır. Artan CO_2, stomaların kısmen kapanmasına yol açarak su kaybını azaltır ve bu da kurak koşullarda kinoa'nın su kullanım verimliliğini artırır, ancak besin içeriğinde düşüşlere yol açabilir (Myers ve ark., 2014; Razzaghi ve ark., 2020b). Artan CO_2 seviyeleri, kinoa'da fotosentezi artırarak, biyokütle üretimini yükselttiği belirlenmiştir. Araştırmalar, kinoa'nın fotosentetik hızının 700 ppm CO_2 koşullarında %46'ya kadar arttığını göstermiştir.

Kinoa'nın karbondioksit (CO_2) duyarlılığı üzerinde yapılan bazı çalışmalar vardır. Rogers ve Humphries, (2016) yüksek CO_2 konsantrasyonlarının kinoa üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sonuçta, CO_2 seviyelerinin artmasının kinoa'nın büyüme hızını ve verimini olumlu yönde etkileyebileceğini göstermiştir. Zhao ve ark (2017) yüksek CO_2 koşullarının kinoa'nın su stresi altındaki performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Yüksek CO_2 seviyelerinin su kullanım verimliliğini artırabileceği, ancak aynı zamanda su stresinin etkilerini de değiştirebileceği bulunmuştur. Yüksek CO_2 konsantrasyonları bitkinin su stresine karşı direncini artırabilir. Ancak, bu etki ortam koşullarına ve bitki gelişim aşamasına bağlı olarak değişir. Kumar ve ark (2019) yüksek CO_2 seviyelerinin kinoa'nın besin içeriği üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yüksek CO_2 koşullarında, kinoa'nın protein ve mineral içeriğinin bazı durumlarda değişebileceği bulunmuştur. Bu çalışmalar, kinoa'nın yüksek CO_2 seviyelerine karşı duyarlılığı ve bu koşullarda nasıl performans gösterdiği hakkında genel bir anlayış sağlar. CO_2 seviyelerinin artmasının kinoa'nın büyümesi ve verimi üzerindeki yeni çalışmalar ile belirlenmelidir.

Yüksek CO_2 seviyeleri kinoa'da da fotosentez oranını artırır. Ayrıca, yüksek CO_2 konsantrasyonları, kinoa bitkilerinde stomatal iletkenliğin ve terlemenin azalmasına yol açarak su kaybını sınırlar ve su kullanım verimliliğini artırır (Morales ve ark., 2020). Yüksek CO_2 koşulları altında, kinoa su kısıtlı ortamlarda daha iyi performans gösterir. Çalışmalar, bu bitkinin yüksek CO_2 ortamlarında su kullanımını optimize ederek kuraklık koşullarında verimliliğini sürdürebildiğini göstermiştir (Razzaghi ve ark., 2020b). Yüksek CO_2'nin kinoa'nın tuzluluk ve kuraklık gibi çeşitli abiyotik streslere karşı direncini artırdığı gösterilmiştir. Bu durum daha düşük terleme nedeniyle oluşan azalan su talebine ve yüksek CO_2 koşullarında iyileşen fotosentetik kapasiteye bağlanmaktadır.

Yüksek CO_2 genellikle kinoa'da büyüme ve biyokütle birikimini teşvik ederken, artan karbon asimilasyonu daha fazla bitki boyu, yaprak alanı ve genel vejetatif biyokütleye katkıda bulunur. Razzaghi ve ark (2020b) yüksek CO_2 koşullarında kinoa'nın hem optimal hem de sınırlı su koşullarında artan biyokütle üretimi gösterdiğini rapor etmiştir.

Bunce (2017) Üç farklı kinoa çeşidinde artan CO_2 ve sıcaklık değerlerinin bitkinin çiçeklenme dönemi sırasında verdikleri tepkiler incelenmiştir. Sonuçta, kinoa bitkisinde artan sıcaklık uygulaması sırasında fotosentezdeki azalma, yükseltilmiş CO_2 konsantrasyonlarında, diğer ortam CO_2 konsantrasyonlarına göre daha az belirlenmiştir. Üç kinoa çeşidinin artan CO_2 ve yüksek sıcaklık uygulamalarına verdiği verim tepkilerindeki önemli farklılıklar, bu bitkinin iklim değişikliklerine uyarlanması açısından umut verici bir potansiyel sunmaktadır.

Duyarlılık analizi, modelleri değerlendirmenin önemli bir yoludur ve girdilerdeki değişikliklere çıktılardaki değişimi daha iyi anlamaya yardımcı olur. Duyarlılık analizi yapmak için maksimum ve minimum sıcaklıklar, solar radyasyon ve CO_2'yi içeren giriş iklim parametreleri kullanabilir. Kinoa zayıf toprak ve olumsuz iklim şartlarına uyum sağlamış Andean bitkisidir (Garcia ve ark., 2007). Düşük sıcaklıkları (-8 °C) tolere etme özelliğine sahiptir (Jacobsen ve ark., 2005, 2007)

Alvar-Beltrán ve ark (2021) Burkina Faso'daki kinoa verimi üzerindeki etkilerini tahmin etmek için Sahra Altı Afrika'daki (SSA) gelecekteki iklim eğilimlerini incelenmiştir. İklim projeksiyonları, yüzyılın sonuna kadar Temsili Konsantrasyon Yolları (RCP) 4.5 ve 8.5 altında sırasıyla 1.67-4.90°C'lik bir sıcaklık artışı göstermektedir. Daha fazla iklim değişikliğinin kinoa için faydalı ya da zararlı olabileceğini ve iklim risklerinin modüle edilmesinin tarla düzeyinde alınan kararlara (örneğin ekim tarihi ve bitki seçimi) bağlı olacağını göstermiştir.

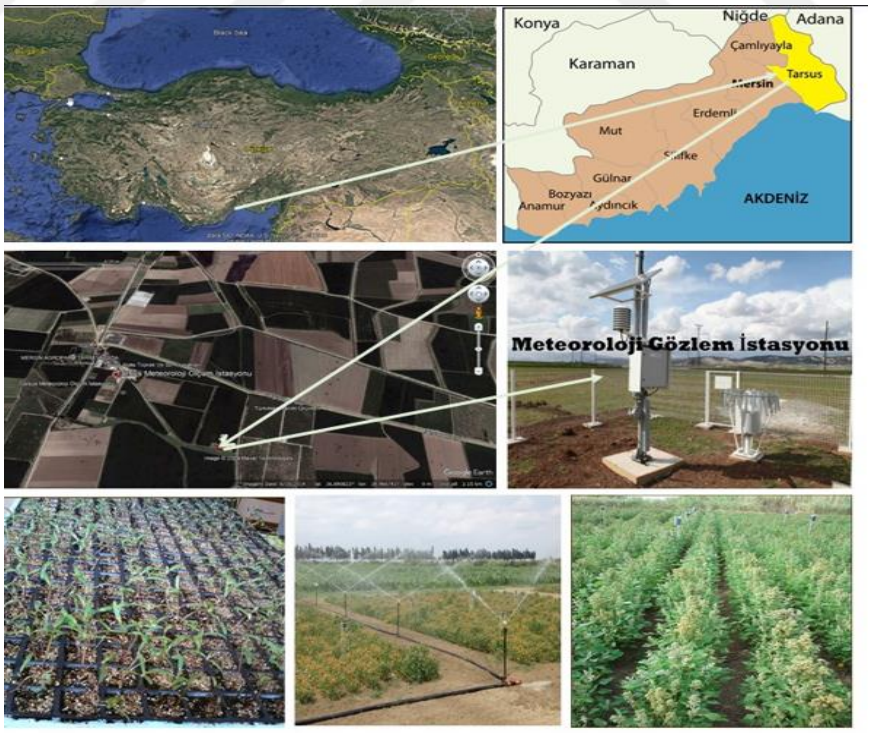
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma yerinin tanımı

Araştırma, Doğu Akdenizde Tarsus Ovasında ve Tarsus'un Yaklaşık 10 km güney doğusunda yer alan TAGEM Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Tarsus Toprak ve Su Kaynakları Lokasyonu Merkez arazilerinde 2014 ve 2015 yıllarında arazi çalışması yürütülen "Çizgi kaynaklı yağmurlama sulama sistemi ile uygulanan sulama suyunun kinoa bitkisinin verim, verim bileşenleri ile su kullanım randımanı üzerine etkileri**"** isimli TAGEM Proje sonuç raporlarına ait proje çıktıları mevcut koşullarda yürütülenYüksek Lisans tez çalışmasında CROPGRO-Kinoa V4.8 bitki büyüme modeli için gerekli başlıca girdileri oluşturmuştur (Sezen ve ark., 2016).

Aşağı Seyhan Ovası; Çukurova'nın en geniş ve verimli deltasıdır. Ovanın kapladığı 210.00ha'lık alanın 181.000 ha'lık kısmı sulanabilir niteliktedir (Tekinel, 1989). Aşağı Seyhan Ovası doğuda Ceyhan nehri, batıda Berdan nehri seddeleri, kuzeyde Toros dağlarının 30m kotu ve güneyde Akdeniz ile sınırlanmıştır. Anılan ova Yüreğir ve Tarsus ovalarından oluşmaktadır. Araştırmanın yürütüldüğü Tarsus ovası, Aşağı Seyhan ovasının kuzeyden güneye kat eden Seyhan nehrinin sağ sahilinde kalmaktadır. Tarsus Ovasının toplam alanı ise yaklaşık 80.000 ha'dır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. 2014 ve 2015 Yıllarında Yürütülmüş Proje Deneme Alanı Uydu Görüntüsü

3.1.2. Araştırmada kullanılan kinoa çeşidi ve özellikleri

Araştırmada Akdeniz iklim koşullarına iyi adapte olmuş Titicaca kinoa çeşidi kullanılmıştır. Kinoa (Chenopodium Kinoa Willd) yüksek besin değeri ve ekstrem iklim ve toprak koşullarına dayanıklılığı ile son yıllarda dikkatleri çeken bir bitkidir. Anavatanı Güney Amerika'nın And bölgesi olan Kinoa ; bu bölgede 5000-7000 yıldan daha uzun süredir yetiştirilmektedir. Bu bitki uygun olmayan iklim ve toprak koşullarına iyi adapte olmuştur (Garcia, 2003a). Güçlü karakteri ve yüksek besin değeri nedeniyle dünyanın her yerinde hızla ilgi gören bir bitkidir (Jacobsen, 2003a,b). Bu durum, don (Jacobsen ve ark., 2005), kuraklık (Geerts ve ark., 2008a-c) ve toprak tuzluluğuna (Jacobsen, 2003a-b) yüksek tolerans seviyesinden kaynaklanmaktadır.

3.1.3. Toprak özellikleri

Dinç ve Ark (1990) tarafından yapılan toprak etüt çalışmaları sonuçlarına göre Çukurova toprakları iki fizyografik gruba ayrılmaktadır. Bunlar; yüksek araziler ve alüviyal taban arazileridir. Bu fizyografik gruplar üzerinde yer alan topraklar veya arazi parçalarının özelliklerine, eğim ve erozyon sınıflarına bağlı olarak kendi içlerinde birbirlerinden doğal sınırlarla ayrılan 7 üniteden oluşmaktadır. Bu fizyografik üniteler üzerinde oluşmuş 20 toprak serisi vardır. Toprak ve Su Kaynakları Tarsus Araştırma Enstitüsü merkez arazileri 2 toprak birliği üzerindedir. Bu toprak birlikleri "Arıklı-Arpacı-Mürsel Birliği" ve "Çanakçı-Oymaklı Birliği'dir. Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel (bünye, hacim ağırlığı, su tutma kapasitesi) ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1 ve 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneme Yeri Topraklarına ait Bazı Fiziksel Özellikler

Toprak Özellikleri	Derinlik (cm)		
	0-30	30-60	60-90
Tarla kapasitesi (%)	37.47	38.12	38.96
Solma noktası (%)	23.21	23.58	23.33
Hacim ağırlığı (g/cm^3)	1.32	1.27	1.30
Bünye Sınıfı	Kil	Kil	Kil
Kum (%)	10.0	7.7	8.0
Kil (%)	62.10	64.40	66.30
Silt (%)	27.9	27.9	25.7

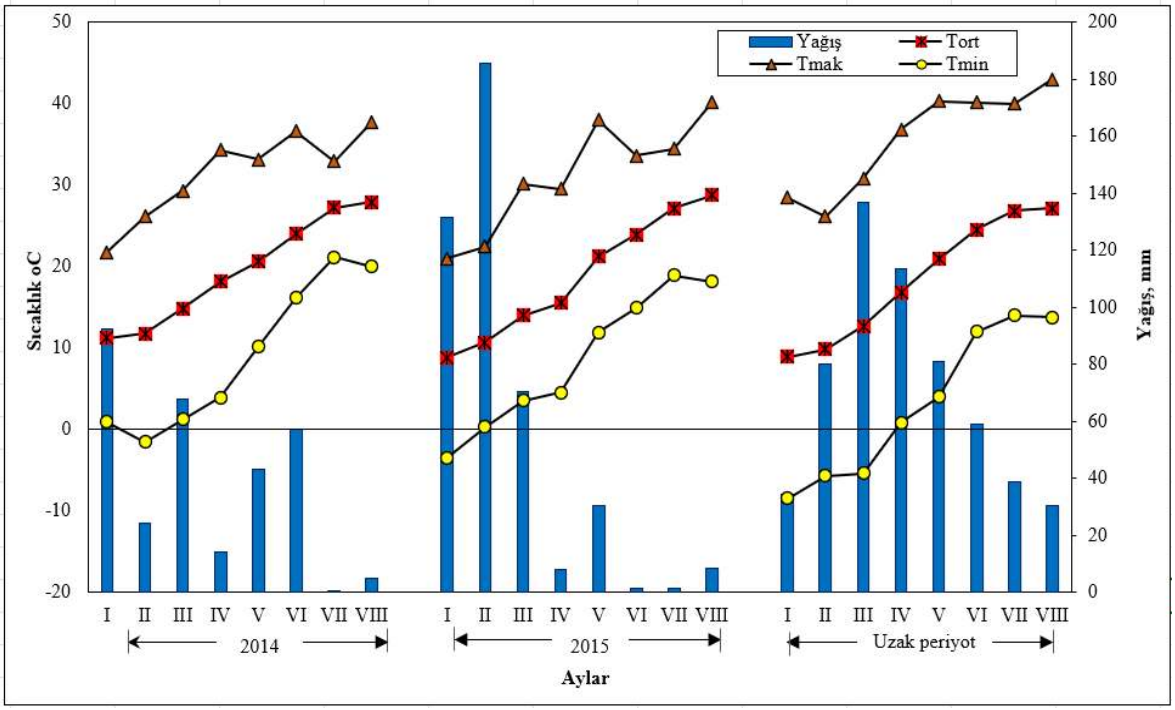
Çizelge 3.2. Deneme Yeri Toprakları Verimlilik Analiz Sonuçları

Yıllar	Toprak Derinliği (cm)	pH	EC (dS/m)	Kireç (%)	Organik Madde %	P_2O_5 (kg/da)	K_2O (kg/da)
2014	0-30	7.89	0.321	26.33	1.49	3.30	134.32
2015	30-60	7.92	0.432	27.58	0.93	0.90	98.92

3.1.4. İklim özellikleri

Araştırmanın yürütüldüğü bölgede tipik Akdeniz iklimi görülür. Doğu Akdeniz Araştırma Enstitüsü verilerine göre, yörenin uzun yıllık yağış ortalaması 616.3 mm'dir. Yılın en yağışlı geçen ayları Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, en kurak ayları ise Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül'dür. Toplam yağışın %54'ü kış aylarında düşmektedir. Yağışın büyük bir bölümü yağmur şeklindedir. Bölgede uzun yıllık sıcaklık ortalaması 17.8 ºC'dir. Minimum ekstrem sıcaklık Şubat ayında –10.8 ºC, maksimum ekstrem sıcaklık Ağustos ayında 43.0 ºC, bölgenin en sıcak ayları Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül, en soğuk ayları ise Aralık, Ocak, Şubat ve Mart'tır. En sıcak ay ortalaması Temmuz'da 26.6 ºC, en soğuk ay ortalaması Ocak'ta 8.9ºC'dir. Uzun yıllar ölçümlerine göre oransal nem ortalaması %70.6'dır. Uzun yıllar ortalamalarına göre yıllık buharlaşma ise 1487.4 mm'dir. En fazla buharlaşma 216.3 mm ile Temmuz ayında olmaktadır. Bölgede hakim rüzgar yönü Mayıs-Kasım arası güneybatı, diğer aylarda kuzey doğudur.

Kinoa bitkisi 2014 ve 2015 yılı dikim tarihinden hasada kadar geçen dönem için yağış değerleri, uzun yıllık ortalama yağış değerleri (1952-2015 yılları) ile birlikte Şekil 3.2'de verilmiştir. Bitki büyüme mevsimi süresince 2014 yılında toplam 182.3 mm yağış miktarı aynı dönemde düşen uzun yıllık yağış miktarından %27 daha fazlasına karşılık gelmektedir. İkinci deneme yılında ise toplam 119.5 mm yağış miktarı aynı dönemde düşen uzun yıllık yağış miktarından %16 daha az miktara karşılık gelmektedir. Her iki deneme yıllarına ilişkin aylık buharlaşma miktarları incelendiğinde; en yüksek aylık buharlaşma miktarları ağustos ayında gerçekleşmiştir.



Şekil 3.2. Araştırmanın Yürütüldüğü Yıllara İlişkin İklimsel Veriler ve Uzun Yıllık Ortalama Değerleri

3.1.5. Araştırmada kullanılan su kaynakları

Araştırmada kullanılan sulama suyu Enstitü sınırları içinde yer alan tersiyer DSİ sulama kanalından sağlanmıştır. DSİ sulama kanalından sağlanan su bir pompa yardımıyla yağmurlama sistemine verilmiştir. Her sulama öncesi alınan sulama suyu örnekleri USSL (1954)'de verilen esaslardan, abak ve çizelgelerden yararlanarak laboratuvarda analiz edilmiş ve sonuçlar 2014 yılı değerleri Çizelge 3.3'da, ve 3.4'de, 2015 verilmiştir.

Çizelge 3.3. Denemede Kullanılan Sulama Suyunun Analiz Sonuçları (2014).

Sulama sayısı	EC, dS/m	pH	Katyonlar (me/L)					Anyonlar (me/L)					SAR
			Ca	Mg	Na	K	∑	CO_3	HCO_3	Cl	SO_4	∑	
1. sulama (08.04.2014)	0.541 T_2A_1	7.8	2.0	4.0	0.4	0.0	6.4	0.38	3.65	1.1	1.3	6.4	0.22
2. sulama (25.04.2014)	0.478 T_2A_1	8.0	1.9	3.1	0.6	0.0	5.6	-	4.03	0.1	1.5	5.6	0.38
3. sulama (26.05.2014)	0.488 T_2A_1	7.8	1.6	2.0	0.6	0.0	4.2	-	4.03	0.1	0.1	4.2	0.45
4. sulama (09.06.2014)	0.470 T_2A_1	7.8	1.2	2.8	0.7	0.0	4.7	-	4.03	0.1	0.5	4.7	0.48

Çizelge 3.4. Denemede Kullanılan Sulama Suyunun Analiz Sonuçları (2015).

Sulama sayısı	EC, dS/m	pH	Katyonlar (me/L)					Anyonlar (me/L)					SAR
			Ca	Mg	Na	K	∑	CO_3	HCO_3	Cl	SO_4	∑	
1. sulama (13.04.2015)	0.446 T_2A_1	7.9	1.8	2.6	0.4	0.0	4.8	0.9	3.1	0.5	0.3	4.6	0.27
2. sulama (01.05.2015)	0.531 T_2A_1	7.9	1.4	3.4	0.5	0.0	5.4	-	4.0	0.9	0.4	5.4	0.33
3. sulama (29.05.2015)	0.500 T_2A_1	7.9	1.0	3.8	0.4	0.0	5.2	-	4.0	0.9	0.2	5.2	0.23
4. sulama (12.06.2015)	0.463 T_2A_1	7.7	1.2	3.0	0.4	0.0	4.7	0.6	3.5	0.6	0.0	4.7	0.29

Her iki deneme yılında yapılan sulama analizleri sonucunda su kalitesi T_2A_1 olarak belirlenmiştir.

3.2. Metod

3.2.1. Deneme Metodu

CROPGRO-Kinoa V4.8.2. modelinde oluşturulacak deneme konuları seçiminde "Çizgi kaynaklı yağmurlama sulama sistemi ile uygulanan sulama suyunun kinoa bitkisinin verim, verim bileşenleri ile su kullanım randımanı üzerine etkileri**"** isimli projeden yararlanılmıştır. Araştırmada tek lateral yağmurlama sistemi ve 4 farklı sulama düzeyi ve susuz konu olmak üzere toplam 5 deneme konusunda ele alınmaktadır. Laterale en yakın konuya en fazla sulama suyu uygulanırken, I_{100} lateralden uzaklaştıkça uygulanan sulama suyu miktarı azalmıştır (I_{75}, I_{50}, I_{25}). Lateralden en uzak

konu ise susuz konuyu (I_0) oluşturmuştur. Deneme dört yinelemeli olarak yürütülmüştür. Parsel boyutları 6 bitki sırası genişliğinde (3.0 m) ve 10 m uzunluğundadır.

3.2.2. Araştırma Konuları

Araştırmada deneme konuları; tek lateral yağmurlama sistemi ile 4 farklı sulama düzeyi ve sulanmayan konu olmak üzere toplam 5 konudan oluşmaktadır (Şekil 3.3).

I_{100}: konusu için %100

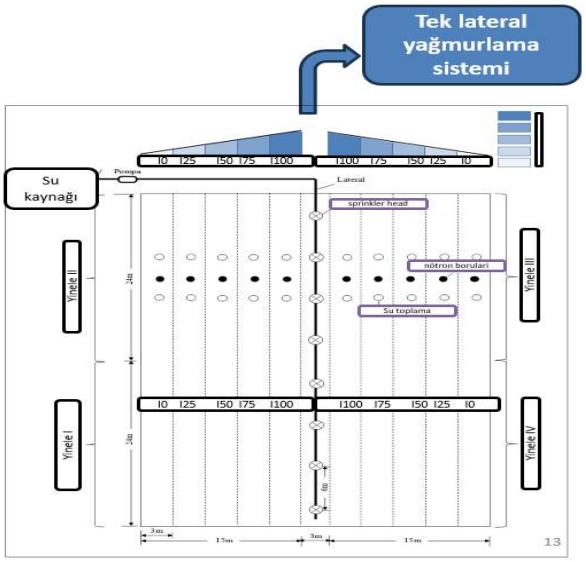
I_{75}: konusu için %75

I_{50}: konusu için %50

I_{25}: konusu için %25

I_0 Susuz (0)

Yukarıda özetlenen deneme konuları CROPGRO-Kinoa V4.8.2 modelinde tanımlanarak, herbir konuya ait sulama bilgileri (sulama tarihleri, uygulanan sulama suyu miktarları) FileX dosyasına) kaydedilmiştir.



Şekil 3.3. Çizgi Kaynaklı Yağmurlama Sulama Sistemi

3.2.3. Toprak ve Su Analiz Yöntemleri

Dikimden önce her yinelemeden verimlilik için bozulmuş toprak örneklerinde 0-30 cm ile 0-90 cm derinlikten (0-30, 30-60, 60-90 cm) alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinde aşağıdaki fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır (Tüzüner, 1990).

- Su ile doygunluk (%): Toprak doygun hale gelinceye kadar saf su ilave edilerek belirlenmiştir (Richards, 1954)

- Toprak reaksiyonu (pH): Saturasyon macununda pH metre ile ölçülmüştür (Tüzüner, 1990). Total tuz (%): Kondaktivite aletiyle saturasyon macununun elektriksel geçirgenliğinin ölçülmesi ile belirlenmiştir (Richards, 1954).
- Organik madde (%): Modifiye edilmiş Walkley-Black metoduna göre saptanmıştır (Tüzüner, 1990).
- Kalsiyum karbonat (%): Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiştir (Çağlar, 1949).
- Alınabilir Fosfor (P_2O_5):Olsen metoduna göre yapılmıştır (Olsen ve Sommers, 1982).
- Alınabilir Potasyum(K_2O): Amonyum Asetat çözeltisinden yararlanarak fleymfotometrede belirlenmiştir (Richards, 1954).
- Hacim Ağırlığı(g/cm^3): Bozulmamış toprak örneklerinde silindir metodu yapılmıştır (Tüzüner, 1990).
- Tarla Kapasitesi: Bozulmuş toprak örneklerinde basınçlı tencere yardımı ile yapılmıştır (Richards, 1954).
- Solma Noktası: Bozulmuş toprak örneklerinde basınçlı tencere yardımı ile yapılmıştır (Richards, 1954).
- Bünye: Bouyoucos hidrometre metodu ile belirlenmiştir (Richards, 1954).

Araştırmada kullanılan sulama suyuna ilişkin analizler USSL (1954)'te verilen esaslardan, abak ve çizelgelerden yararlanarak belirlenmiştir.

3.2.4. Araştırmada İzlenen Yöntemler, İşlemler, Gözlem Ve Ölçmeler

Denemenin kurulması ve tarımsal işlemler

Araştırmanın arazi çalışması TAGEM Bahçe Kültürleri Araştırma İstasyonu Tarsus Toprak ve Su Kaynakları Lokasyonu Merkez işletmesinde 2014 ve 2015 deneme yıllarında iki yıl süre ile yürütülmüştür. Arazi verileri ve araştırma sonuçları CROPGRO-Kinoa modelinde data olarak kullanılmıştır.

Toprak hazırlığı ve ekim

Deneme alanı toprakları dikimden önce goble-disk çekilerek düzeltilip dikime hazır duruma getirilmiştir. Kinoa bitkisinin dikimi sıra üzeri 8-10 cm, sıra arası 50 cm olacak şekilde 02.04.2014 ve 07.04.2015 tarihinde yapılmıştır (Ek Şekil 1-5).

Kinoa projesine ait ekim ile ilgili tüm bilgiler (ekim tarihi, sıra arası, sıra üzeri, hektara uygulanan tohum miktarı, ekim derinliği, kullanılan kinoa çeşit özellikleri, CROPGRO-Kinoa V4.8.2. modelinde girdi dosyasına (FileX) kaydedilmiştir.

Gübreleme

İlk deneme yılında dikimle birlikte 01.04.2014 tarihinde deneme konularına 15-15-15 gübresinden saf madde esasına dayanarak hektara 75 kg N, 75 kg P_2O_5 ve 75 kg K_2O dozunda verilmiştir. Üst gübreleme ise 26.05.2014 tarihinde çiçeklenme döneminde deneme parsellerine 75 kg/ha N saf madde asasına göre % 33 Amonyum Nitrat gübresi formunda bitki sıralarına (banda) uygulanmıştır.

İkinci deneme yılında ise dikimle birlikte 07.04.2015 tarihinde deneme konularına 15-15-15 gübresinden saf madde esasına dayanarak hektara 75 kg N, 75 kg P_2O_5 ve 75 kg K_2O dozunda verilmiştir. üst gübreleme ise 29.05.2015 tarihinde çiçeklenme döneminde deneme parsellerine 75 kg/ha N saf madde asasına göre % 33 Amonyum Nitrat gübresi formunda bitki sıralarına (banda) uygulanmıştır.

Kinoa projesine ait gübreleme programı tarihleri ve uygulanan gübre dozları ve tipi CROPGRO-Kinoa V4.8.2. modelinde gübre girdi dosyası (FileX) olarak kaydedilmiştir.

Bakım ve tarımsal mücadele

Deneme süresince, parsellerde gelişen yabancı otlarla mücadele etmek için bitkiler 25-30 cm boya ulaşınca el çapası yapılmıştır. Kinoa denemesi üzerinde oluşabilecek hastalık ve zararlı ile ilgili müdahaleler Adana Biyolojik Mücadele Araştırma İstasyonunda görevli araştırıcı tarafından yapılmıştır.

Kinoa bitkilerinin dikiminden itibaren deneme alanı takip edilerek, gerektiği durumlarda kültürel ve kimyasal mücadele yapılmış, ortaya çıkabilecek hastalıklar kayıt edilmiştir. Hastalık belirtileri gösteren kinoa bitkileri laboratuara getirilmiş, gerekli makroskopik ve mikroskopik incelemeler sonucu hangi uygulamalarda hangi hastalıkların geliştiği kayıt edilmiştir.

Deneme yıllarında kinoa bitkisinde çapalama ve yabancı ot kontrolü, boğaz doldurma işlemi CROPGRO-Kinoa V4.8.2. modelinde girdi dosyasına herbir deneme yılı için kaydedilmiştir.

Sulama

İlk deneme yılında konulu sulamalara 08.04.2014 tarihinde, ikinci deneme yılında ise 13.04.2015 tarihinde başlanmıştır. Sulamalar sırasıyla ilk yıl 09.06.2014 ve ikinci yıl 12.06.2015 tarihlerinde sonlandırılmıştır.

Yağmurlama sulama sistemi

Araştırmada uygulanan sulama suyu miktarı tek lateral yağmurlama sistemi ile verilmiştir (Ek Şekil 10). Sözkonusu sistemde lateral Sezen ve Yazar, (2006)'da belirtilen esaslara göre düzenlenmiştir. Sistemde 63 cm PVC yağmurlama boru ve parçaları ile 4.5 mm x 4.8 mm çapında çift memeli yağmurlama başlıkları kullanılmıştır. Bu yöntemde istenilen su dağılımını sağlayan

işletme basıncı 3.0 atmosfer olarak alınmıştır. Yağmurlama başlıkları lateral üzerine 6 m aralıklarla yerleştirilmiştir.

Konulara uygulanan sulama suyu miktarı

Çalışmada öngörülen tek lateral yağmurlama sulama sistemi ile kinoa bitkisinin farklı gelişme dönemlerinde (vegetatif, çiçeklenme ve dane dolum) 90 cm toprak profilinde laterale en yakın konuda (I_{100}) eksik nem tarla kapasitesine tamamlanmıştır. Laterale en yakın konuya (I_{100}) en fazla sulama suyu uygulanırken, lateralden uzaklaştıkça uygulanan sulama suyu miktarı azalmıştır (I_{75}, I_{50}, I_{25}). Lateralden en uzak konu (I_0) ise susuz konuyu oluşturmuştur.

Gözlemler ve Ölçmeler

Büyüme dönemi süresince konulara göre fenolojik gözlemler dikimden itibaren yapılmış, Kinoa bitki gelişim devreleri belirlenmiştir. Dikimden itibaren her bir sulama öncesi gravimetrik toprak örnekleri ve nötronmetre okumaları nem belirlemek amacıyla 0-90 cm toprak profilinde gravimetrik ve nötron yöntemiyle düzenli aralıklarla gözlenmiştir. Deneme alanı topraklarının 30 cm'lik katmanlar halinde 0-30, 30-60, 60-90 cm derinlikleri için nötronmetre kalibrasyon eşitlikleri çıkarılmıştır. Ayrıca, Kinoa bitkisinde toplam verimin yanı sıra, bindane ağırlığı, hasat indeksi, yaprak alan indeksi (LAI), hastalık gözlemi, verim tepki etmenleri, su tüketimi-verim, sulama suyu-verim ilişkileri belirlenmiştir. Deneme konularında kinoa bitkisinin su tüketiminin belirlenmesinde su dengesi eşitliğinden yararlanılmıştır (Garrity ve ark., 1982). Etkili kök derinliği 90 cm olarak alınmıştır.

$$ET=I+P-Dp-R\pm\Delta S$$

Eşitlikte; ET: bitki su tüketimi (mm); I: sulama suyu miktarı (mm); P: yağış (mm); Dp: derine sızma (mm); R: yüzey akış (mm); ΔS: kök bölgesinde toprak su içeriğinde değişme (dönem başı ile dönem sonu arasındaki depolama) farkıdır (mm).

Hasat

Herbir parselde yeralan 5 bitki sırasından kenarlardan birer sıra ve başlardan 1.0 m değerlendirme dışı bırakılarak 2.10 m x 6 m=12.6 m^2 alandaki bitkilerde hasat işlemi 10.07.2014 ve 03.07.2015 tarihinde gerçekleştirilmiştir (Ek Şekil 12-15). Belirtilen hasat tarihleri CROPGRO-Kinoa modelinde girdi dosyasına herbir deneme yılı için ayrı ayrı kaydedilmiştir.

3.2.5. Toprak Nemi Ölçümleri

Tüm deneme konularında toprak suyu gözlemleri, ilk katmanda (0-30 cm) gravimetrik yöntemle. 30-90 cm arasında ise 30 cm'lik katmanlarda nötron yöntemiyle her bir sulamadan önce

yapılmış ve hasada dek sürdürülmüştür. Bu amaçla her parselin ortasına bir adet nötron borusu 90 cm derinliğe dek yerleştirilmiştir. Nötron sayımları 15 saniye süre ile yapılmış ve anılan sayımlarda Campbell Pasific Nuclear Corp tarafından yapılmış BF3 (nötron kaynağı Americium-Berilium) dedektör tüpü içeren CPN 503 Hydroprobe. DR tipi nötronmetre kullanılmıştır.

Standart okumalar, su doldurulmuş varilde yapılmıştır. Her okumada 12 standart sayım yapılmış, en büyük ve en küçük değerler atılarak. 10 okumanın ortalamaları alınmış ve elde edilen değer ölçümün standart sayımı olarak göz önüne alınmıştır. Gerçek ve standart sayımların birbirine oranlanması ile bulunan sayım oranları, kalibrasyon denkleminde kullanılarak her bir katmandaki nem düzeyi kestirilmiştir.

Her bir katman için belirlenen kalibrasyon eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

Y=34.1x+19.3 R2=0.66** (0-30 cm)
Y=27.6x+32.1 R2=0.75** (30-60 cm)
Y=56.9x+9.3 R2=0.82** (60-90 cm)

3.2.6. Su Kullanım (WUE) ve Sulama Suyu Kullanım Etkinliği (IWUE)

Su kullanım randımanı daha çok ekonomik bir yaklaşım olmakla birlikte kuru madde üretiminde kullanılan su miktarının hesaplanmasında yararlanılan bir oran olarak kabul edilmektedir. Konulara ilişkin toplam su kullanım randımanları; su tüketimi değerleri, sulama suyu kullanım randımanı ise sulama suyu değerleri esas alınarak aşağıdaki eşitliklerden hesaplanmıştır. Çalışmada (Howell ve ark., 1990) tarafından verilen eşitlik kullanılmıştır.

$$WUE = Y/ET$$

Burada; WUE: Toplam su kullanım randımanı (kg/m^3); Y: dane verim (kg); ET: Bitki su tüketimi, (m^3)'dir.

Hesaplamalarda ekonomik verim yerine, birim alandan elde edilen toplam verim değerleri kullanılmıştır.

Sulamanın etkisini belirlemek için sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE) aşağıdaki eşitlikte hesaplanmıştır (Howell ve ark.,1994).

$$IWUE = Y/I$$

Burada;

IWUE = Sulama suyu kullanım etkinliği (kg/m^3);

Y = Konulara ilişkin kinoa verimi, (kg/ha);

I = Konulara uygulanan sulama suyu miktarı, (mm)'dır.

Proje sonuç raporunda her bir sulama düzeylerine (I_{100}, I_{75}, I_{50} ve I_{25}) ve susuz konuya (I_0) ilişkin gözlenen WUE ve IWUE değerleri ile CROPGRO-Kinoa V4.8 modelinde tahmin edilen WUE ve IWUE değerleri ile karşılaştırılmıştır.

3.2.7. Hasat İndeksi

Proje sonuç raporunda herbir konuya ait kinoa hasat indeksi (HI) değerleri Beadle (1985), tarafından belirtilen aşağıdaki eşitlikle belirlenmiştir.

Hasat indeksi (HI) = Y / DM

Eşitlikte; HI: hasat indeksi;

Y: birim alandan elde edilen kinoa verimi (kg/ha);

DM: birim alandan elde edilen kinoa toprak üstü toplam kuru madde ağırlığı (kg/ha)'dir.

Proje sonuç raporunda herbir sulama düzeylerine (I_{100}, I_{75}, I_{50} ve I_{25}) ve susuz konuya (I_0) ilişkin hesaplanan HI değerleri ile CROPGRO-Kinoa V4.8 modelinde tahmin edilen HI değerleri karşılaştırılmıştır.

3.2.8. Yaprak Alan İndeksi (LAI)

Proje sonuç raporunda deneme konularına ait alınan bitki örneklerinden yararlanarak yaprak alanları optik yaprak alan ölçer ile ölçülmüştür. Elde edilen yaprak alanların toplamı, alınan bitkilerin temsil ettiği alana oranlanarak yaprak alan indeksleri (LAI) hesaplanmıştır. Herbir deneme konusuna ait ölçülen LAI değerleri ile CROPGRO-Kinoa V4.8.2. modelinin tahmin edeceği LAI değerleri karşılaştırmıştır.

3.2.9. DSSAT CROPGRO-Kinoa Modeli Hakkında Genel Bilgiler

Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Agroteknoloji Transferi için Karar Destek Sistemi (DSSAT), 42 bitki için dinamik bitki büyüme simülasyon modellerini içeren yazılım uygulama programıdır (Hoogenboom ve ark., 2019). DSSAT sistemi iklim, toprak, genetik, ürün yetiştirme yönetimi ve gözlemsel deneysel veriler için bir dizi yardımcı program ve uygulama tarafından desteklenir ve tüm bitki modelleri için örnek veri kümeleri içerir.

Bitki simülasyon modelleri, toprak-bitki-atmosfer dinamiğinin bir fonksiyonu olarak büyüme, gelişme ve verimi tahmin etme özelliğine sahiptir. DSSAT sistemi ile genetik modellemeden, tarla denemelerinin değerlendirilmesine, hassas tarım uygulamalarının değerlendirilmesi, iklim değişkenliği ve iklim değişimi etkisinin bölgesel değerlendirmelerine kadar birçok uygulamada kullanılmaktadır (Li ve ark., 2015). DSSAT, 30 yılı aşkın bir süredir dünya genelinde 150'den fazla ülkede araştırmacılar, eğitimciler, danışmanlar, yayım şirketleri, çiftçiler, özel sektör, politika ve karar vericiler tarafından kullanılmaktadır.

DSSAT, ilk olarak, tarımsal araştırmalara sistem yaklaşımında bitki modellerinin uygulanmasını kolaylaştırmak için Uluslararası Tarımsal Teknoloji Transferi Siteleri Ağı projesinde (IBSNAT, 1989; Tsuji, 1998; Jones ve ark., 1998) işbirliği yapan uluslararası bir bilim adamları ağı tarafından geliştirilmiştir. İlk gelişimi, üretim teknolojisini bir yerden toprak ve iklimin farklı olduğu diğer yerlere transfer etme konusunda daha iyi kararlar almak için toprak, iklim, bitkiler ve yönetim hakkındaki bilgileri bütünleştirme amacıyla yapılmıştır (IBSNAT, 1989; Şu anda kullanılan güncel sürümü ise DSSAT 4.8. 2019 yılında yayınlanmıştır (Hoogenboom ve ark., 2019).

DSSAT, tarım ürünlerine yönelik artan talepler ve toprak, su ve diğer doğal kaynaklar üzerindeki artan baskılar nedeniyle, her düzeyde tarımsal karar alma süreçlerine yardımcı olacak bir araç haline gelmiştir. Geleneksel tarımsal araştırma yöntemleri ile yeni verilerin üretilmesi ve yayınlanması, artan bu ihtiyaçları karşılamada yeterli olmadığından, geleneksel arazi denemeleri zaman alıcı ve pahalı olması nedeniyle modelllerin kullanımı bir ihtiyaç haline gelmiştir (Ahmad ve ark., 2013).

DSSAT bir bilgisayar yazılım programı olup, toprak, bitki, iklim verilerini birleştirerek, içerdiği bitki büyüme modelleri ile gerek uzun yıllık gerekse yıllık üretim stratejileri tahmin edebilir. DSSAT ayrıca, bitki büyüme modellerinin geçerliliğini test edebilir. Böylece model kullanıcıları ölçülen değerler ile model tahmini değerlerini karşılaştırabilir. Modelin geçerliliği minimum veri dosyası ile yapılabilir. Model çalıştırılması ile elde edilen model çıktıları gerçek ölçüm değerleri ile kıyaslanabilir. DSSAT modelinin bileşenleri Şekil 3.4'de gösterilmiştir (Hoogenboom ve ark., 2019). Modelde gerekli başlıca veri dosyaları iklim, toprak, bitki genetiği, hastalık, deneme detayları ve ekonomik parametreleri kapsamaktadır.

DSSAT 4.8.2. kullanıcıların simülasyon için veri kümelerini hazırlamalarına, büyük veya karmaşık simülasyonları çalıştırmalarına ve sonuçları analiz etmeye yardımcı olacak bir dizi araç içerir. Model deneysel veri programı olup, sezon sonunda bir kez ölçülen fenolojik gözlem veya hasatta verim ile sezon boyunca birden fazla tarihte alınan bitki büyüme / toprak suyu / toprak veya bitki Nölçümleri gibi topladığınız bitki ölçüm verilerine kolayca girmek için kullanılır. Arazi ölçüm verileri kullanılarak model ile deneme sonuçları test edilebilir, modelin performansı değerlendirilebilir.

Bitki büyüme modelinin iyi sonuç verip vermediği ancak model sonuçları ve arazi ölçümlerinin değerlendirilmesi ile belirlenebilir. Bitki büyüme modellerinin değerlendirilmesinde; deneme yerine, toprağın özelliklerine, başlangıç koşullarına, iklim durumuna, tarımsal uygulamalara ve arazide yapılan ölçümlere gereksinim duyulmaktadır. Değerlendirme, yalnız bir uygulamanın olduğu çiftçi koşullarında yapıldığı gibi değişik iklim ve farklı uygulamalarda da yapılabilir (Jinghua ve Erda, 1996).

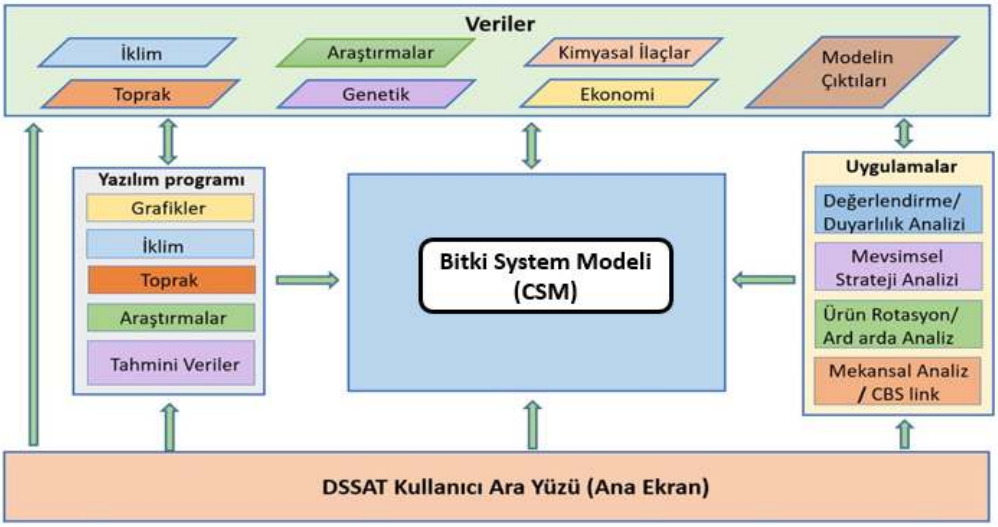
Kullanıcı model içerisinde planladığı analiz doğrultusunda gerekli girdileri sağlayarak detaylı sonuçlar elde edebilir. Model diğer pek çok modelde olduğu gibi iklim, bitki, toprak, yetiştirme tekniği ve toprak-bitki-atmosfer etkileşimini matematiksel eşitliklerle hesaplamaktadır.

DSSAT 40'tan fazla bitki için dinamik bitki büyüme modellerini içeren yazılım uygulama programıdır. DSSAT, 30 yılı aşkın bir süredir dünya genelinde 150'den fazla ülkede araştırmacılar, eğitimciler, danışmanlar, yayım şirketleri, çiftçiler, özel sektör, politika ve karar vericiler tarafından kullanılmaktadır (Hoogenboom ve ark., 2019). DSSAT toprak-bitki-atmosfer dinamiğinin bir fonksiyonu olarak büyüme, gelişme ve verimi tahminetme özelliğine sahiptir. Bitki büyümesi, gelişme, verim, sulama ve N alımını karakterize etmek için yaygın kullanılan model paketidir (Yakoub ve ark., 2017). DSSAT modeli, dünya çapında çeşitli iklim koşullarında farklı yetiştirme koşullarında sulama programı (Rinaldi ve ark., 2003; Todorovic ve ark., 2009; Kadiyala ve ark., 2015; Rötter ve ark., 2012; López-Cedrón ve ark., 2008), gübre yönetimi (Li ve ark., 2015; Salmerón ve ark., 2014), iklim değişimi etkisini (Nasim ve ark., 2016a; Kadiyala ve ark., 2021) saptamak amaçlı kullanılmaktadır. Model ilegerek uzun yıllık, gerekse yıllık üretim stratejileri tahmin edebilir. Ayrıca, model kullanıcıları ölçülen değerler ile modelin tahmini değerlerini karşılaştırarak, karar vermede yardımcı olabilir.

Dünyada çoğu alanlarındaki su kaynaklarının yıldan yıla ve bölgeden bölgeye değişmesi, bitkilerin yetişme mevsimin ve alanlarını sınırlamaktadır. Su kaynağı yanında iklimde de görülen değişmeler, çiftçiler için risk oluşturmaktadır. İklim, bitki, toprak parametrelerini toprak-su dengesine ilişkilendiren modeller, tarımdaki riskleri en aza indirmede ön bilgiler sunar. Anılan modellerden CROPGRO-Kinoa V4.8.2. tarımsal işletime ilişkin karar vermede, stratejik planların risk analizinde, yetişme mevsimi içindeki tarımsal faaliyetlerin kararında, büyük alanların verim tahmininde ve araştırma gereksinimlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

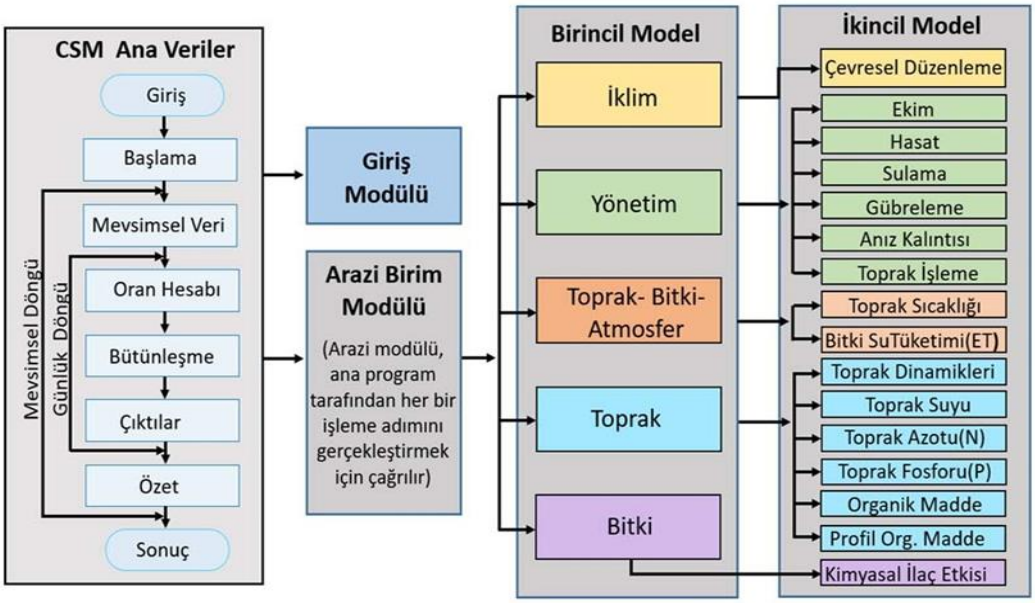
DSSAT, birlikte çalışan bağımsız programların bir koleksiyonudur; bitki benzetim modelleri merkezindedir (Şekil 3.4) (Hoogenboom ve ark., 2019). Veritabanları, modelleri farklı durumlara uygulamak için iklim, toprak, deneme koşulları, ölçümleri ve genotip bilgilerini tanımlar. Yazılım, kullanıcıların bu veritabanlarını hazırlamalarına ve modellere güven vermeleri veya doğruluğu artırmak için modifikasyonların gerekipgerekmediğini belirlemeleri için simüle edilmiş sonuçları gözlemlerle karşılaştırmasına yardımcı olur (Jones ve ark., 1998). Ek olarak, DSSAT'ta yer alan programlar, kullanıcıların her bir seçenekle ilişkili riskleri değerlendirmek için birkaç yıl boyunca yetiştirme tekniği seçeneklerini simüle etmesine olanak tanır. Farklı modellerin, yardımcı programların ve uygulamaların birleşimi özellikle de girdi ve çıktı dosyalarını biçimlendirmenin zorluklarıyla ilgilikolay erişim sağlayan benzersiz bir arabirimin geliştirilmesini entegre bir bitki modelleme platformu ile gerçekleştirilmiştir (Jones ve ark., 1998).

DSSAT bitki benzetim modeli bünyesinde kullanıcılara destek olabilecek farklı yardımcı programlar da yer almaktadır. Model bünyesinde uzun yıllar analizi, ekonomik analiz ve bitki rotasyonu gibi analizlere de imkân tanınmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. DSSAT Modüler Yapısı ve Bileşenleri

DSSAT modelinin diğer bir önemli avantajı ise çok büyük bir veri tabanınasahip olmasıdır. Model veri tabanında daha önce uygulanmış pek çok araştırmaya yönelik bitki çeşidine genetik katsayılarını, yetiştirme tekniği bilgilerini, toprakveri tabanını, meteorolojik parametrelere ilişkin veri tabanlarının kullanımı model aracılığı ile kullanıcılara kolaylıkla sağlamaktadır. Modelde kullanıcının istekleri doğrultusunda pek çok parametre özelinde ayrıntılı çıktı alınabilmektedir (Şekil 3.5) (Hoogenboom ve ark., 2019). DSSAT bitki benzetim modelinde hesaplamalar iklim, yetiştirme tekniği, toprak-bitki-atmosfer etkileşimi, toprak ve bitki olmak üzere 5 ana kategoride gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.5). Kullanıcının gerekli girdi parametrelerini sağlayabilmesi durumunda pek çok parametreye yönelik modelleme yapabilmekabiliyetine sahip olan DSSAT, temel hesaplamaları gerçekleştirebilmek için belirlenmiş bazı minimum parametreleri girdi olarak ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 3.5. DSSAT Bitki Büyüme Modelinde İş Akış Şeması

CROPGRO-Kinoa V4.8.2. Bitki Büyüme Modeli

Dünyada çoğu alanlarındaki su kaynaklarının yıldan yıla ve bölgeden bölgeye değişmesi, bitkilerin yetişme mevsimin ve alanlarını sınırlamaktadır. Su kaynağı yanında iklimde de görülen değişmeler, çiftçiler için risk oluşturmaktadır. İklim, bitki, toprak parametrelerini toprak-su dengesine ilişkilendiren modeller, tarımdaki riskleri en aza indirmede ön bilgiler sunar. Anılan modellerden CROPGRO-Kinoa V4.8 tarımsal işletime ilişkin karar vermede, stratejik planların risk analizinde, yetişme mevsimi içindeki tarımsal faaliyetlerin kararında, büyük alanların verim tahmininde ve araştırma gereksinimlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. CROPGRO-Kinoa V4.8. bitki büyüme modelinin amacı kullanıcılara ürün tahmini yapmak olduğundan modelin başarısı, verimi belirleyen temel özelliklere etki eden etmenlere bağlıdır. Bu etmenler; iklim, bitki gelişme dönemleri, genetik özelliği; bitki organlarının (sap ve yaprak) büyümesi, gelişmesi,sararması ve kuru madde miktarları; bitkinin büyüme ve gelişme dönemlerindeki su ve azot eksikliğidir (Hoogenboom ve ark., 2019).

CROPGRO-Kinoa V4.8.2. modeli yarı mekanistik yapıya sahip olup günlük bazda çalıştırmak mümkündür. Modelden ayrıca biyolojik ayrıntı, toprak-su dengesi, bitki büyüme ve gelişimi, azot dinamiği hakkında da bilgi elde edilebilir.

Modelin doğru kestirimler yapabilmesi için iklim, çevre ve bitki genetiğine ilişkin çok sağlıklı ölçümlere gereksinim vardır. Araştırmada ele alınan konuların verim ve verim öğeleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için CROPGRO-Kinoa bitki büyüme modelinin V 4.8.2. no'lu geliştirilmiş tipi kullanılmıştır.

Tarımsal işletmecilikte, CROPGRO-Kinoa V4.8.2. bitki büyüme modeli kullanıcıların farklı sulama tarihleri ve sulama miktarları sunarak en iyi sulama stratejilerini seçme ve karşılaştırma olanağı sağlamaktadır. Anılan modelde, sulamaprogramları değiştirilerek sonuçları karşılaştırma olanağı da bulunmaktadır. Söz konusu model ile kullanıcılara, toprak suyu belirli bir değere düştüğünde sulamanınyapılması gerektiğini bildirmektedir (Jones ve Ritchie, 1990; Hoogenboom ve ark., 2019).

CROPGRO-Kinoa V4.8.2. modeli Uluslararası Tarımsal Teknoloji Grubu (IBSNAT) tarafından geliştirilmiştir. Model içerisinde tanımlanan bitkilerin iklim, toprak, bitki yetiştirme tekniği ve bitki genetiğinin fonksiyonu olarak büyüme, gelişme ve verimi kestirilebilir. Model Fortran 77 dilinde yazılmış ve günlük zaman aralığında modeli çalıştırmak mümkündür (Ritchie ve Otter, 1985).

DSSAT'ın önceki bazı versiyonlarının aksine, en son şu andaki DSSAT V4.8.2. sürümünde Bitki Sistem modelini (Cropping System Modeling: CSM) kullanmaktadır. CSM bileşenlerinin bilimsel disiplin çizgileri boyunca ayrıldığı ve modüllerin değiştirilmesine veya eklenmesine izin veren ara yüzlere sahip olduğu modüler bir formatta yapılandırılmıştır (Şekil 3.6). CSM ile tüm bitki modellerini tek bir toprak modülü ve tek bir iklim modülü kullanan modüller olarak kullanılabilmektedir. CSM artık orijinal SOYGRO, PNUTGRO, CERES-Mısır ve CERES-

Buğday bitki büyüme modellerinden türetilen 40'tan fazla bitki modelini içermektedir. (Hoogenboom ve ark., 2019). DSSAT model ailesinde yer alan CROPGRO-Kinoa modeli fotosentez süresindeki yapraklarda gerçekleştirilen karbon asimilasyonu tabanlı bir model olarak tanımlanmaktadır.

CSM-CROPGRO-Kinoa V4.8.2. modeli dünyada farklı iklimlerde ve bölgelerde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Modelin büyüme, gelişme ve verimi daha doğru kestirebilmesi için aşağıdaki süreçlerin göz önünde bulundurulması gerekir. Bunlar:

- Genetik ve iklim faktörlerinden etkilenen fenolojik gelişme dönemleri,
- Bitki organlarının (yaprak, sap, kök) büyüme mevsimi süresincedeğişimi,
- Kuru madde birikiminin bitki organlarına göre dağılımı,
- Toprak-su dengesi ve bitki tarafından kullanılan su miktarı,
- Toprakta azot transformasyonu, bitki tarafından alınan azot ve bununbitki organlarına göre dağılımıdır (Hoogenboom ve ark., 2019).

CSM-CROPGRO-Kinoa bitki büyüme modelinin diğer modellerinde bulunmayan, modelin mekanik temellerini güçlendirmeye yönelik bir dizi ayırt edici özelliğe sahiptir.

Model ile sıcaklık, ışınım ve kullanılabilir suyun bitki gelişimi ve verimi üzerindeki etkileri simüle edilirken, kullanılan mantık kısmen diğer modellerde kullanılanlardan farklıdır. Modelin DSSAT (IBSNAT, 1989) karar destek yazılımıyla uyumlu olması, yönetim stratejisi değerlendirme analizlerinin model kullanılarak çok yıllık iklim verileri kayıtlarıyla birlikte yapılmasına izin vermesidir. Model tarafından kullanılan toprak ve iklim verileri için standartlaştırılmış giriş formatları DSSAT için belirtilen formatlardır.

CSM-CROPGRO-Kinoa günlük zaman adımı vardır; içinde bitki gelişimi, hava sıcaklığı ve fotoperiyot ile kontrol edilir. Bitkide günlük biyokütle artışı, bitki tarafından tutulan ışık ile belirlenir. Hava sıcaklığı, mevcut su ve azotunarz / talep oranları ile modüle edilir. Bitki organlarının uzaması, organ büyüme potansiyeline ve organa ayrılan yeni biyokütlenin bulunmasının getirdiği sınırlamalara ve ayrıca sıcaklık, su ve azotun etkilerine bağlıdır. Verim, dane sayısı ve dane ağırlığının sonucu olarak modellenir (Villalobos ve ark., 1996).

Bitkide yaprak alanı bitki yoğunluğuna ve yapılan kültürel işlemlere bağlı olarak görünüşü, uzaması ve yaşlanması değişmektedir. Modelde, bitki başına yaprak alanındaki günlük artış, hava sıcaklığı, kullanılabilir su ve azot arz / talep oranlarını desteklemek için biyokütlenin kullanılabilirliğidir. Bitki başına potansiyel yaprak büyümesi (optimum su seviyesine yakın yeterli su, besin ve radyasyon kaynağı olan ve rekabet olmadan büyüyen bir bitki için beklenen yaprak alanındaki günlük artış) büyüyen yaprak sayısına ve büyüyen yaprakların genişleme oranı potansiyeline bağlıdır. Büyüyen yaprak sayısı, yaprak görünüm oranının ve yaprak genişleme süresinin bir fonksiyonudur (Villalobos ve ark., 1996).

CROPGRO-Kinoa Modeli İçin Gerekli Minimum Veri Seti (MVS)

CROPGRO-Kinoa modelini çalıştırmak için gereken girdi verileri, günlük iklim verilerini (maksimum ve minimum sıcaklık, yağış ve güneş radyasyonu); detaylı toprak verileri (fiziksel, kimyasal ve morfolojik özellikler); bitki gelişimi ve gelişme dönemleri verileri, Tyagi ve ark., 2000; Anothai ve ark., 2008; ve bitki popülasyonu, sıra aralığı, ekim derinliği, gübre ve sulama uygulaması gibi yetiştirme tekniği ile ilgili bilgilere ihtiyaç duyar (Çizelge 3.5).

Bir bitki benzetim modelini çalıştırmak için, minimum bir veri seti gereklidir. Buradaki zorluk, bitki modeli kullanıcıları tarafından elde edilmesi kolay olan ve aynı zamanda kabul edelebilir benzetim sonuçları sağlayan bir Minimum veri seti (MVS) tanımlamaktır. Ancak, farklı ülkelerde geliştirilen büyüme modellerinde MVS anlamında standart bir tanım hiçbir zaman gerçekleşmemiştir (Hunt ve ark., 1993). MVS, günlük iklim verilerini, toprak profili bilgilerini, bitki yetiştirme tekniğine ilişkin bilgileri ve simülasyonun başlangıcındaki mevcut koşullarını tanımlanmasını gerektirir. Modelde MVS'nin oluşturulmasında bitki genotip bitki yetiştirme tekniği interaksyonu dikkat alınarak oluşturmuştur (Hoogenboom ve ark., 2012).

Modelde benzetimleri yapabilmek için toprak verileri, iklim verileri, bitki yetiştirme tekniğine ait bilgiler ve kullanılan bitki çeşidine göre değişen genetik katsayılardan oluşan dört farklı gruba ayrılan verilerin hazırlanması gerekir. İki yıl yürütülen kinoa projesinden elde edilen büyüme, verim ve bileşenlerine ait veriler, DSSAT V4.8.2. CROPGRO-Kinoa modelini kalibre etmek ve geçerliliği doğrulamak için kullanılmıştır.

Çizelge 3.5.CROPGRO-Kinoa V4.8.2 Bitki Büyüme Modelinde Gerekli Minimum Veri Seti

Parametre	**Gerekli minimum veri seti**
İklim	Günlük maksimum ve minimum sıcaklık, yağış, solar radyasyon
Deneme yeri	Toprak sınıflaması, enlem, boylam
Deneme	Konuların tanıtımı, önceki bitkiden kalan artık bitki miktarı
Toprak gübresi	Toprağın pH'ı, ekimden önce azot düzeyi
Toprak nemi	Deneme süresince toprağın hacimsel su içeriği
Bitki çeşidi	Çeşidin adı, sıra aralığı, bitki populasyonu, ekilen tohum derinliği
Gübre	Gübreleme tarihi, kullanılan gübre miktarı ve tipi
Sulama	Sulama tarihi, uygulanan sulama suyu miktarı
Gelişme dönemleri	Model belirtilen gelişme dönemlerine ulaşma zamanı
Hasat	Hasat alanı, dane verimi, kuru madde miktarı, yaprak alanı, kök ağırlığı

CROPGRO-Kinoa Modeli İçin Gerekli İklim Verileri

Model içerisinde yer alan dosyalar, çıktı ve deneme performans verileri olmak üzere düzenlenmiştir. Deneme performans dosyaları, yalnızca simülasyon sonuçlarını belirli bir denemeye ilişkin sonuçlarla karşılaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Modeldeki çıktı dosyaları ise kullanıcıya seçilen belirli bir uygulama için gerekli olan bilgiyi sağlamaktadır. Modelde tanımlanması gereken dosyalar dört farklı gruba ayrılmıştır. Bunlar; denemeyi tanımlayan bilgiler, iklim, toprak ve kullanılan bitki çeşidine göre değişen genotip özelliklerdir, Modelde yer alan denemelerin yer tanımı (enstitü), deneme adı, bitki kodu, denemenin yürütüldüğü yıl gibi özelliklerin tanımlanması gerekir.

Model içerisinde yer alan WTH.LST dosyaları denemenin yürütüldüğü dönemlerdeki her bir yöreye ilişkin günlük iklim verilerini içermektedir. Modelde başlıca tanımlanması gereken dosya FILEX'dir. Simüle edilecek her bir denemeye ilişkin tanımlar bu dosyada belirtilmelidir. Bu dosyada yer alan değerler gözlenmiş değerler ya da simülasyon için tanımlanmış varsayıma dayalı değerlerdir. Dosyada denemenin adı, denemede kullanılan konuların tanımı, kullanılan bitki çeşidi, bitki kodu ve adı, denemenin yürütüldüğü yerdeki toprak ve iklim istasyonunun tanımı, toprak analiz sonuçları, denemenin başlangıcındaki toprak profilinde bulunan mevcut azot ve su durumu, deneme öncesinde ekilibitkiden artan kalan kök miktarı, ekim tarihi, ekim derinliği, bitki sıra arası uzunluğu, bitki yoğunluğu, sulama tarihleri, uygulanan sulama suyu miktarı, gübreleme tarihi, uygulanan gübre dozu ve uygulanan gübrenin modelde tanımlanan kodu, kullanılan artık sap, yeşil ve hayvan gübresine ilişkin veriler, uygulanan herbisit ve pestisitlerin uygulama tarihleri, çevresel modifikasyonlar(örneğin; sabit gün uzunluğu, gölgeleme, sabit sıcaklık vb.), toprak işleme detayları, toprak işleme biçimi, hasat tarihi, simülasyona başlama tarihi, model bileşenleri için su ve azot dengesi, çıktı aralığının tanımlanması gerekir (Hoogenboom ve ark., 2019).

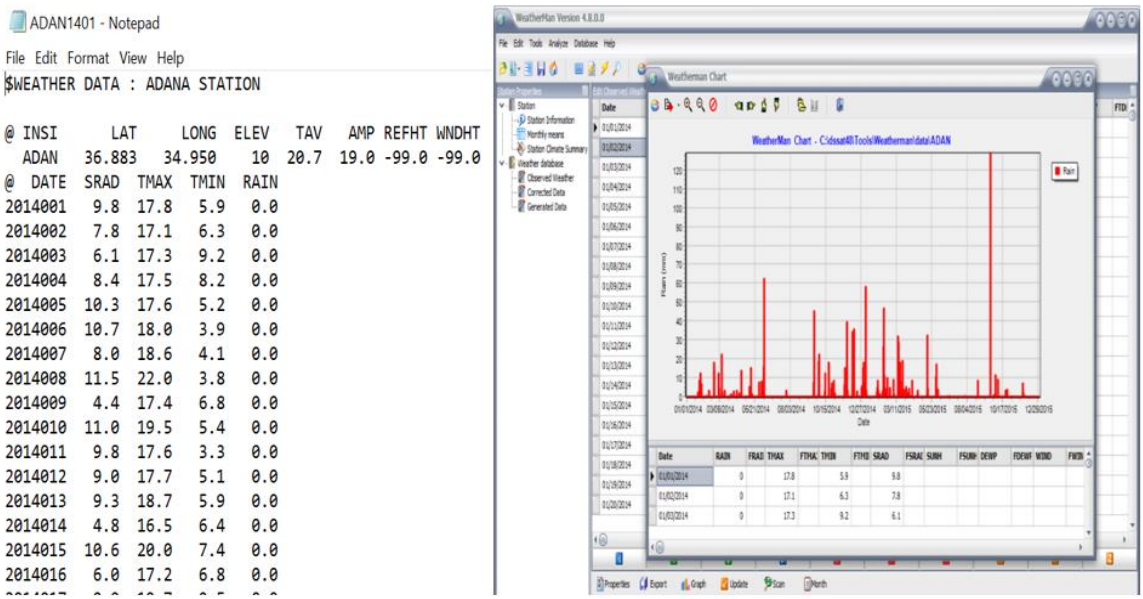
Burada açıklanması gereken, herhangi bir simülasyonda yukarıda açıklananlardan yalnızca birkaçı yeterli olmaktadır. Ancak, simülasyon için gerekli minimum veri (toprak-su ve azot dengesi kullanılmadığı ve herhangi bir su, bitki besin maddesi ya da zararlı stresi söz konusu olmadığında); deneme adı ve denemede yer alan konular, kullanılan çeşit, denemenin yürütüldüğü yere ilişkin bilgiler, ekim tarihi, ekim derinliği, bitki yoğunluğu ve simülasyon kontrol bölümleri yeterli olmaktadır.

İklim verilerinin büyüme mevsimi süresince (ekimden hasada dek) günlük bazda tanımlanması gerekmektedir. İdeal olarak, iklim dosyalarında (FILEW) gereken günlük verilerin ekim tarihinden önce ve hasattan sonraya dek yer alması modelin ekim sırasındaki toprak koşullarını tahmin etmeye olanak sağlar. Ayrıca, bu şekilde hazırlanan iklim dosyası kullanıcının alternatif ekim tarihi seçmesine izin verir. Yine modelde uzun yetişme periyoduna sahip bitkiler duyarlılık analizi ile test edilebilir. Modelde yer alan iklim dosyasında; iklim istasyonun adı, bulunduğu ülke, enlem, boylam, kot, yıllık ortalama sıcaklık, sıcaklık ve rüzgar ölçümünün yapıldığı yüksekliğin yanı sıra DSSAT V4.8.2 için gereken günlük bazda minimum veriler; solar radyasyon, minimum ve maksimum sıcaklık, yağıştır. Eğer çiğlenme noktası sıcaklığı, rüzgar hızı, fotosentetik aktif

radyasyon değerleri de mevcut ise modelde iklim dosyasına eklenebilir (Şekil 3.6).

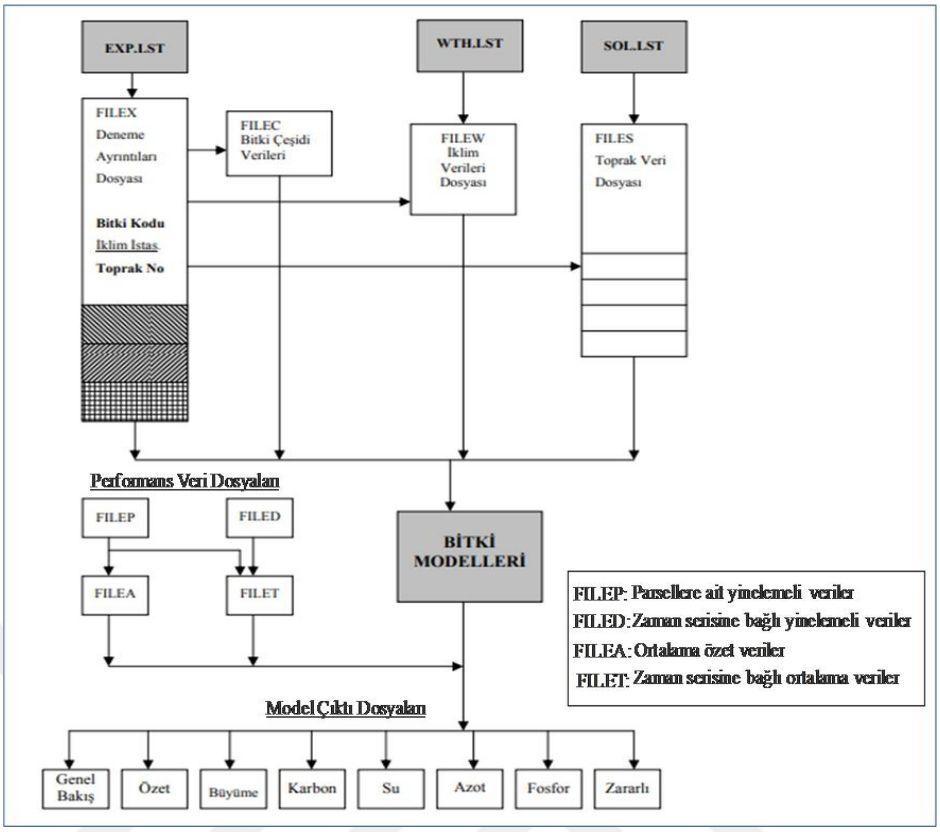
Modelde benzetim yapabilmek için günlük bazda maksimum ve minimum sıcaklık, yağış, solar radyasyon değerlerine gereksinim vardır. İstenirse rüzgar hızı ve nem değerleri de eklenebilir. Ayrıca, denemenin yürütüldüğü yerin tanımı, iklim istasyonun adı, bulunduğu ülke, çalışmanın yapıldığı yerin coğrafik bilgileri (enlem, boylam ve deniz seviyesinden yüksekliği) bilgi amaçlı modele tanımlanması gerekir. Radyasyon değerlerinin her yerde ölçülmesi uygun olmadığında, modelde Priestley-Taylor eşitliği ile fotosentez ve potansiyel terlemenin doğru simüle edilmesi mümkün değildir. Model içerisinde iklim verileri WTH.LST dosyaları içerisine tanımlanmalıdır.

Model içerisine iklim verilerini tanımlaması, iklim dosyalarının modele girilmesine ve biçimlendirilmesine için WeatherMan alt programı kullanılmaktadır (Şekil 3.6). Model kullanıcıları, tercihen farklı kaynaklardan elde ettiği iklim verilerini modele tanımlayabilmektedir. Ayrıca, WeatherMan ile, CSV ve ASCII modunda hazırlanmış iklim verileri modele yüklenebilir. WeatherMan ile eksik iklim verilerin kestirilerek iklim veri tabanı düzenlenebilir. (Hoogenboom ve ark., 2019).



Şekil 3.6. DSSAT İklim Verileri Giriş Ekranı.

Çıktı dosyalarının sayısı simülasyon yapılan denemenin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Çıktı dosyası ile daha önce hazırlanan veriler (inputlar), bitki performansı ve eğer uygunsa gerçek (ölçülen) veriler ile karşılaştırma olanağı vardır. Bu dosyada; denemenin adı, enstitü kodu, deneme no, denemede hangi konunun simüle edildiği, bitki kodu, simülasyona başlama tarihi, ekim tarihi, bitki sıra aralığı, bitki yoğunluğu, iklim istasyonunun yeri ve yılı, toprak tekstürü ve numarası, deneme başlangıcında toprağın NH_3, NH_4 ve mevcut su içeriği bakımından durumu, sulama programı, azot programı, gübreleme ve artık gübre uygulamasına ilişkin veriler, çevre faktörleri, simülasyon ve denemenin konularına bağlı olarak gereken bilgilerdir (Şekil 3.7).



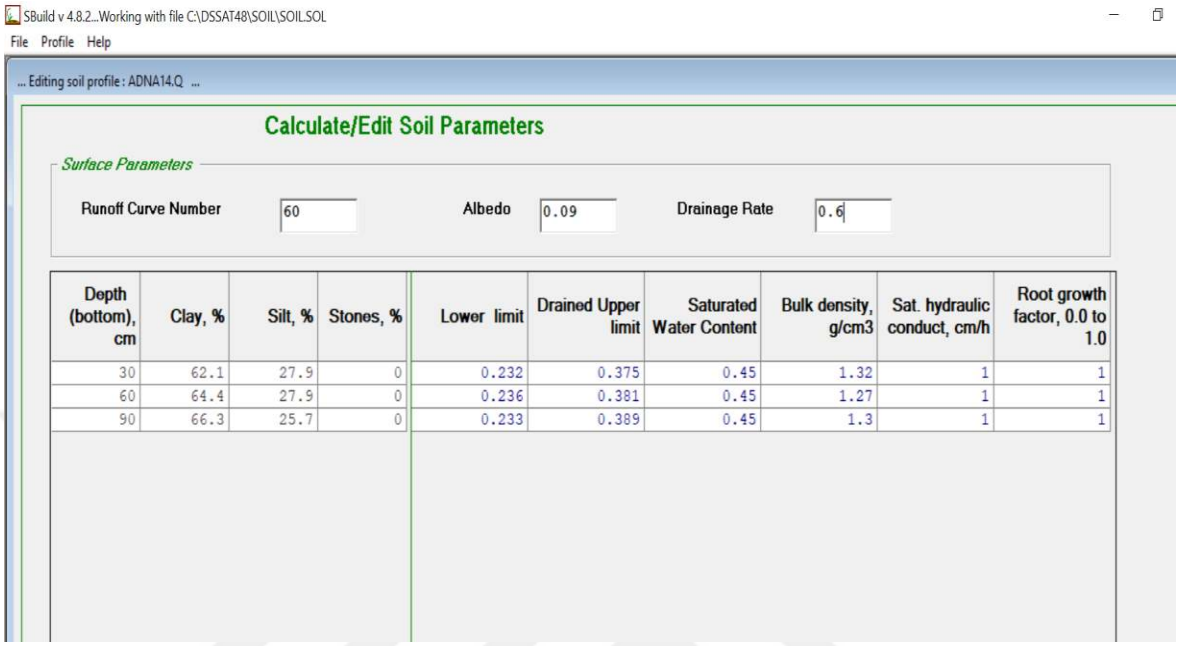
Şekil 3.7.CROPGRO-Kinoa Bitki Büyüme Modelinde Kullanılan Girdi ve Çıktı Dosyaları.

Modelde benzetim yapabilmek için günlük bazda maksimum ve minimum sıcaklık, yağış, solar radyasyon değerlerine gereksinim vardır. İstenirse rüzgar hızı ve nem değerleri de eklenebilir. Ayrıca, denemenin yürütüldüğü iklim istasyonun adı, bulunduğu ülke, alanın enlem, boylam ve deniz seviyesinden yüksekliğininde bilgi amaçlı tanımlanması gerekir. Model içerisinde iklim verileri WTH.LST dosyaları içerisine tanımlanmalıdır. Anılan değerler deneme alanında kurulu otomatik iklim istasyonu ve Adana Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir. Ayrıca, 30 yıllık günlük iklim verileri (maksimum ve minimum sıcaklık (°C), toplam yağış (mm) ve solar radyasyon değerleri) duyarlılık analizinde kullanılmıştır. 2014 deneme yılında maksimum sıcaklık değerleri 19.7-36.6° C arasında, minimum sıcaklık değerleri ise 1.9-26.2 °C aralığında değişmiştir. Aynı yıl toplam 154.4 mm yağış kaydedilmiştir. İkinci deneme yılında ise toplam 40.9 mm yağış, maksimum ve minimum sıcaklıklar ise sırasıyla 23.3-40.4 °C ve 13.0-25.6 °C arasında değişmektedir.

CROPGRO-Kinoa Modeli İçin Gerekli Toprak Profiline İlişkin Veriler

CROPGRO-Kinoa modelinde gerekli başlıca toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri her bir profil için tanımlanmalıdır. Toprağa ilişkin parametreler; tarla kapasitesi, solma noktası, doygunluk, hacim ağırlığı, tekstürü belirleyebilmek için kil ve silt oranı, organik karbon, toplam azot, hidrolik iletkenlik ve drenaj katsayıdır. Model çalıştırmak için yeterli verileri (TK, SN) sahip değilse, DSSAT modeli içerisinde yer alan SBUILD programı ile toprak ilişkin renk, eğim, geçirgenlik,

drenaj karakteristikleri, bünye, hacim ağırlığı ve organık karbon değerleri her bir katman olarak modele tanımlandığında doygunluk oranı, tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri her bir katman için tahmin edebilir (Hoogenboom ve ark., 2019) (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Toprak Verilerinin Girişi Yapılan Program Ekranları

Toprağın pH'ı, toprağın hacimsel su içeriği ve ölçülmüş ise deneme süresince toprak su değişimidir. Modelde silt ve kil içeriği tanımlanırken, kum içeriği ise (100-(kum+silt)) eşitliğinden hesaplandığından modele dahil edilmemiştir (Jones ve ark., 2003).

Toprağa ilişkin verilerin yer aldığı dosyada (SOL.LST) yalnızca simülasyonla etkisi gözlenecek parametrelere ilişkin veriler yeterli olacaktır. Örneğin; Tarsus'ta olduğu gibi yalnızca sulama suyunun etkisi simüle edilecek ise toprağın fiziksel karakteristik özelliği yeterli olacaktır. Eğer çalışmada su ve azotun ortak etkisi simülasyonla belirlenmeye çalışıyor ise fiziksel özelliklerin yanı sıra topraktaki azot ve pH değerlerinin de dosyada yer alması gerekir. Fosforun etkisi gözleniyor ise tüm yukarda belirlenenlere ek olarak fosfora ilişkin değişkenlerinde tanımlanması gerekir.

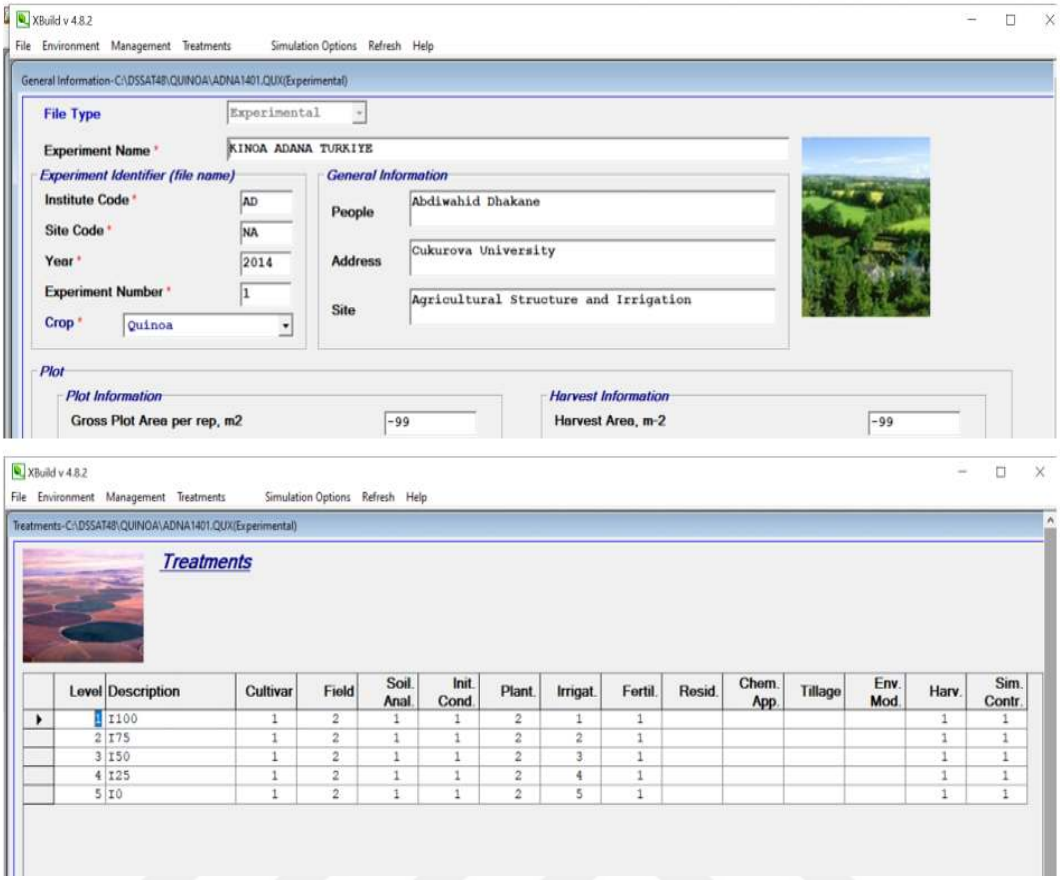
Her bir yetiştirme mevsimi öncesinde toprak profilinde ekimden önce azot düzeyi (amonyum ve nitrat durumu) belirtilmelidir. Toprak profil özelliklerini içeren veriler, toprak suyu, azot, fosfor ve kök gelişim bölümlerinde kullanılmaktadır. Burada öncelikle toprak tekstürüne ilişkin tanımlar ve bilgiler verilmelidir. Toprak sınıflaması Kanada toprak sınıflandırma sistemine göre yapılmaktadır. Ayrıca, coğrafik veriler toprak sınıflandırması ile verilmelidir (Soil Survey Staff, 1975). Bunun yanı sıra derinlik ile değişmeyen toprak özellikleri (albedo ölçü tekniği gibi) verilmelidir. Daha sonra derinliğe göre veriler tanımlanmalıdır. Topraktaki organik karbon da diğer toprak özelliklerinin hesabında sıklıkla kullanıldığından bu dosyaya toprak profil özelliklerini içeren veriler, toprak suyu, azot, fosfor ve kök gelişim bölümlerinde kullanılmaktadır. Burada öncelikle

toprak tekstürüne ilişkin tanımlar ve bilgiler verilmelidir. Toprak sınıflaması Kanada toprak sınıflandırma sistemine göre yapılmaktadır. Ayrıca, coğrafik veriler toprak sınıflandırması ile verilmelidir (Soil Survey Staff, 1975). Bunun yanı sıra derinlik ile değişmeyen toprak özellikleri (albedo ölçü tekniği gibi) verilmelidir. Daha sonra derinliğe göre veriler tanımlanmalıdır. Topraktaki organik karbon da diğer toprak özelliklerinin hesabında sıklıkla kullanıldığından bu dosyaya dahil edilmiştir. Dosyada silt ve kil içeriği tanımlanırken, kum içeriği ise (100-(kum+silt)) eşitliğinden hesaplandığından modele dahil edilmemiştir (Jones ve ark., 2003).

Toprağa ilişkin verilerin yer aldığı dosyada (SOL.LST) yalnızca simülasyonla etkisi gözlenecek parametrelere ilişkin veriler yeterli olacaktır. Örneğin; Tarsus'ta olduğu gibi yalnızca sulama suyunun etkisi simüle edilecek ise toprağın fiziksel karakteristik özelliği yeterli olacaktır. Eğer çalışmada su ve azotunortak etkisi simülasyonla belirlenmeye çalışıyor ise fiziksel özelliklerin yanı sıra topraktaki azot ve pH değerlerinin de dosyada yer alması gerekir. Fosforun etkisi gözleniyor ise tüm yukarda belirlenenlere ek olarak fosfora ilişkin değişkenlerinde tanımlanması gerekir.

CROPGRO-Kinoa Modelinde Ürün Yetiştiriciliğine ait Gerekli Veriler

CROPGRO-Kinoa modelinde öncelikle yetiştirme tekniğine ait bilgilerin File X dosyasında tanımlanması gerekmektedir. Ayrıca, model içerisinde denemenin adı, denemede kullanılan konuların tanımı, kullanılan bitki çeşidi, bitki kodu ve adı, denemenin yürütüldüğü yerdeki toprak ve iklim istasyonunun tanımı, toprak analiz sonuçları, denemenin başlangıcındaki toprak profilinde bulunan mevcut azot ve su durumu, deneme öncesinde ekili bitkiden artan kalan kök miktarı, ekim tarihi, ekim derinliği, bitki sıra arası uzunluğu, bitki yoğunluğu, sulama tarihleri, uygulanan sulama suyu miktarı, gübreleme tarihi, uygulanan gübre dozu ve uygulanan gübrenin modelde tanımlanan kodu, uygulanan herbisitve pestisitlerin uygulama tarihleri, toprak işleme detayları, toprak işleme biçimi, hasat tarihi, simülasyona başlama tarihi gibi bilgilerin modele tanımlanması gerekir. Yukarıda belirtilen veriler çok karmaşık ve ayrıntılı görünse de, yetiştirme tekniğine ait tüm bilgiler düzenli olarak kaydediliğinde modelin performansını artıracaktır (Hoogenboom ve ark., 2019) (Şekil 3.9).

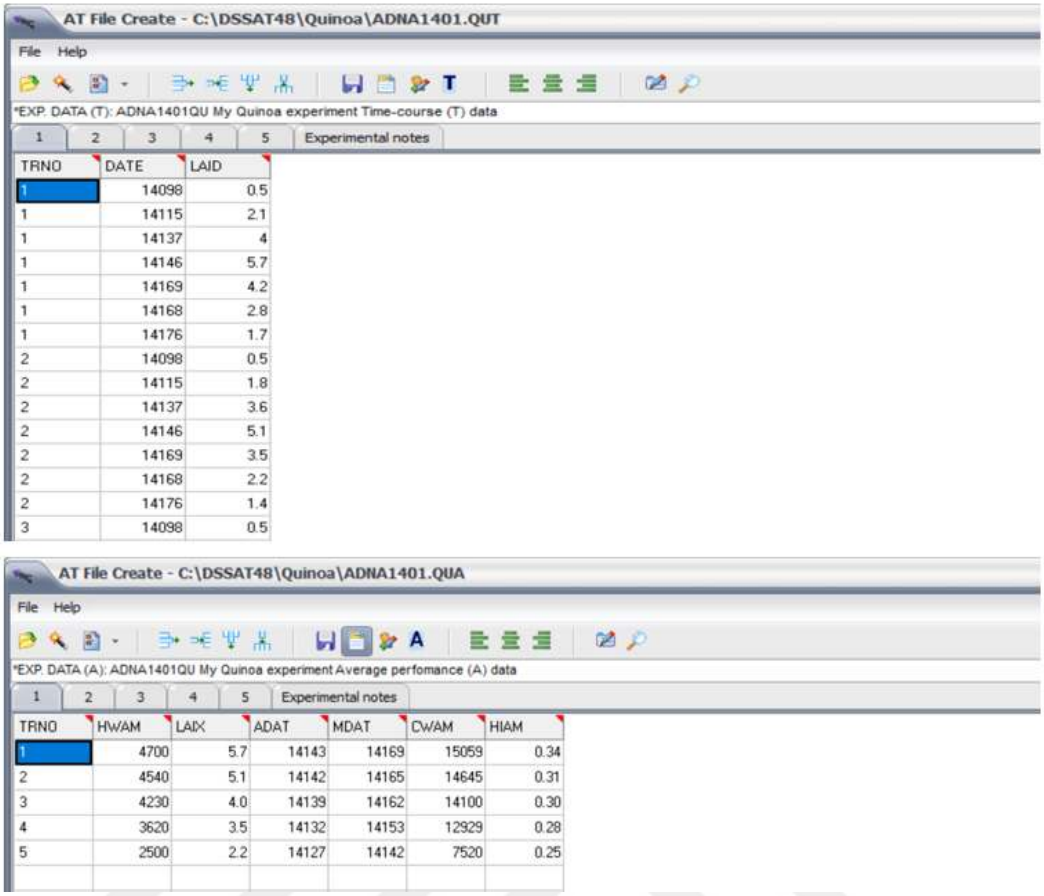


Level	Description	Cultivar	Field	Soil. Anal.	Init. Cond.	Plant.	Irrigat.	Fertil.	Resid.	Chem. App.	Tillage	Env. Mod.	Harv.	Sim. Contr.
1	I100	1	2	1	1	2	1	1					1	1
2	I75	1	2	1	1	2	2	1					1	1
3	I50	1	2	1	1	2	3	1					1	1
4	I25	1	2	1	1	2	4	1					1	1
5	I0	1	2	1	1	2	5	1					1	1

Şekil 3.9. Filex Deneme Konularını Gösteren Ekran Görüntüsü.

Modelin Kalibrasyonu ve Değerlendirilmesinde Gerekli Dosyalar (File A ve File T)

Bitkiye ve yetiştiriciliğe ilişkin iki dosya oluşturulmalıdır. Bunlardan biri özet sonuçları içeren File A dosyası olup öncelikle hasatta ortalama performans verilerini ve çiçeklenme ve olgunlaşma gibi bitkiye ilişkin kritik gelişme dönemlerine ulaşma tarihlerini içermektedir. Diğeri ise File T olup, büyüme mevsimi boyunca ölçülen bitkiye ilişkin kuru madde gelişimi, yaprak alan indeksi, toprağa ilişkin bitki kök bölgesinde toprak su değişimi gibi gözlemleri kapsar (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. DSSAT Vejetasyon Dönemi Giriş Ekranı A ve T dosyaları.

DSSAT programı içerisinde ölçülen verilerle modelin değerlendirmesi iki şekilde yapılabilir. Bitkiye ve yetiştiriciliğe ilişkin iki dosya (File A ve T) modelde oluşturulmuştur. İlk olan özet veriler olarak adlandırılan File A yetiştirilen bitkinin önemli gelişme dönemlerine ulaşma sürelerini (çiçeklenme ve olgunlaşma dönemlerine ulaşma süreleri), hasattaki verim ve verim bileşenlerini (hasat alanı, dane verimi, toplam kuru madde miktarı) ve ölçüldü ise maksimum yaprak alanı indeksi (LAImax) gibi parametreleri kapsar. Özet veriler, araştırmada kullanılan herbir deneme konusu tek bir satır olarak File A dosyasında tanımlanmıştır (Hoogenboomve ark., 2019).

Modelin değerlendirilmesinde kullanılan ikinci yöntem ölçüm verileri, zamansal olup, bitkinin büyüme mevsimi boyunca deneme konularına göre toprak nem içerikleri, ölçüldü ise yaprak alan indeksinin ve toplam kuru madde mıktarınınzamansal değişimini kapsar. Zamansal veriler model içerisinde File T dosyasında yer alırken, veriler zamansal olarak ölçüm tarihine ve deneme konulara göre depolanmalıdır (Hoogenboom ve ark., 2019).

CROPGRO-Kinoa Model İçin Gerekli Genetik Katsayıları

DSSAT modelinde katsayılar, her bitki için üç farklı dosya şeklinde çeşit (.CUL), ekotip (.ECO) ve tür (.SPE) olarak genotip dosyası içinde ayrı ayrı sunulmaktadır. Örneğin, Kinoa için dosya adı "QUGRO048" olarak belirlenmiştir. Kalibrasyon aşamasında öncelikle çeşitle ilgili

genetik katsayılar üzerinde çalışılmıştır. Bu genetik katsayılarda yapılan değişikliklerle kabul edilebilir sonuçlar elde edilemediğinde, tür ve ekotip için belirlenen genetik katsayılarda değişiklik yapılabilmektedir (Gürkan, 2019) (Çizelge 3.6).

Genetik katsayılar fenolojik süreleri, vejetatif büyüme özelliklerini ve bitki büyüme özelliklerini temsil eden üç farklı tipte gruplandırılmıştır. Genetik katsayılardan 8'i faz sürelerini ve fotoperiyot duyarlılığını tanımlarken, 4'ü vejetatif büyüme parametrelerini ve 6'sı ise büyüme parametrelerini temsil etmektedir (Gürkan ve ark., 2020).

CROPGRO modelindeki CSDL, PPSEN, EMFL, ve FLSH genetik katsayıları, bitkinin fenolojik gelişimini ve çevresel koşullara (özellikle sıcaklık ve fotoperiyot gibi faktörlere) tepkisini belirlemek için kullanılır (Çizelge 3.6). Her biri bitkinin farklı büyüme aşamalarıyla veya fenolojik süreçleriyle ilgilidir. CSDL genetik katsayısı kritik gün uzunluğunu belirler, çiçeklenme için gerekli minimum gün uzunluğunu ifade eder. PPSEN genetik katsayısı bitkinin fotoperiyoda (gün uzunluğuna) duyarlılığını belirler, çiçeklenme süresini hızlandırır veya yavaşlatır. EM-FL genetik katsayısı çimlenmeden çiçeklenmeye kadar geçen süreyi belirler. FL-SH genetik katsayısı çiçeklenmeden meyve (pod) oluşumuna kadar geçen süreyi belirler.

Çizelge 3.6. CROPGRO-Kinoa'da Bitki Genetik Katsayıları Parametreleri

Genetik Katsayılar	Açıklamalar
CSDL	Kritik kısa gün uzunluğu (reproduktive dönemde), h
PPSEN	Bitki gelişimin fotoperiyoda zamanla oransal tepkisi, 1/h
EMFL	Bitki çimlenmesi ile çiçek görünümü süresi (R1), fototermal gün
FLSH	İlk çiçek oluşumu-ilk kapsül oluşum süresi (R3), fototermal gün
FL-SD	İlk çiçek oluşumu ile ilk dane oluşum süresi (R5), fototermal gün
SD-PM	İlk tohum (R5) ile fizyolojik olgunluk (R7) süresi, fototermal gün
FL-LF	İlk çiçek oluşumu (R1)-yaprak büyümesinin durması süresi,
LFMAX	En yüksek fotosentez oranı (30 ^{o}C, 350 ppm CO_2), mg CO_2 m^2-s
SLAVR	Standart koşullarda yaprak alanı, cm^2 g^{-1}
SIZLF	En yüksek tam yaprak boyutu, cm^2
XFRT	Maksimum günlük büyüme oranı (tohum + kabuk), g
WTPSD	En yüksek tohum ağırlığı, g
SFDUR	Tablada tohum doldurma süresi, fototermal gün
SDPDV	Tabla başına ortalama tohum sayısı, sayı/kapsül
PODUR	Tabla oluşumu için geçen optimum süre, fototermal gün
THRSH	Tohum/(tohum+ kabuk yüzdesi) %'si
SDPRO	Tohumdaki protein kısmı (g(protein)/g(tohum))
SDLIP	Tohumdaki yağ kısmı (g(yağ)/g(tohum))

WTSPD, PODUR, SFDUR ve LFMAX genetik katsayıları bitkinin büyüme ve üreme süreçlerinin hassas bir şekilde modellenmesine yardımcı olarak, bitki gelişimi, verim ve kaynak kullanımının doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlar (Çizelge 3.6). WTSPD genetik katsayısı bir kapsül içindeki tohumların ağırlığını belirler, bu da nihai verimi etkiler. PODUR genetik katsayısı

kapsül gelişme süresini belirler, kapsül olgunlaşma zamanını simüle eder. SFDUR genetik katsayısı tohum dolum süresini belirler, tohumların olgunlaşma sürecini simüle eder ve nihai tohum ağırlığını etkiler. LFMAX genetik katsayısı yaprakların maksimum fotosentez hızını belirler, bitkinin biyokütle biriktirme kapasitesini ve büyüme hızını simüle eder.

SLAVR, SIZLF, XFRT ve WTPSD genetik katsayıları bitkinin büyüme ve üreme süreçlerini simüle ederek, bitki gelişimini ve verimi doğru bir şekilde tahmin etmeye yardımcı olur (Çizelge 3.6). Özellikle yaprak alanı, tohum ağırlığı ve çiçek-meyve dönüşüm oranı gibi faktörler bitkinin fotosentez kapasitesi ve nihai ürün miktarı üzerinde önemli rol oynar. SLAVR genetik katsayısı birim kuru madde başına üretilen yaprak alanını belirler. Fotosentez kapasitesini ve bitkinin büyüme hızını etkiler. SIZLF genetik katsayısı yaprakların maksimum boyutunu belirler. Bitkinin ışık yakalama ve fotosentez yapma kapasitesini sınırlar. XFRT genetik katsayısı çiçeklerin meyveye dönüşme oranını belirler, dolayısıyla verimi etkiler. WTPSD genetik katsayısı tohum başına ağırlığı belirler ve nihai verimi etkiler.

SFDUR, SDPDV ve PODUR genetik katsayıları bitkinin üreme süreçlerini modellemekte kullanılır ve toplam verim üzerine önemli etkileri vardır (Çizelge 3.6). Tohum dolum süresi, kapsül gelişim süresi ve kapsül başına tohum sayısı gibi parametreler, bitkinin verimlilik potansiyelini ve hasat zamanını etkileyen faktörlerdir. SFDUR genetik katsayısı tohum dolum süresini belirler ve tohumların ne kadar süreyle büyüyüp olgunlaştığını simüle eder. Tohum başına ağırlığı ve nihai verimi etkiler. SDPDV genetik katsayısı her kapsül içinde kaç tohum olduğunu belirler, bu da toplam tohum verimini etkiler. PODUR genetik katsayısı kapsül (meyve) gelişim süresini belirler ve kapsüllerin olgunlaşma zamanını simüle eder.

THRSH, SDPRO ve SDLIP genetik katsayıları bitkinin tohum verimi ve tohumların bileşimi (protein ve yağ içerikleri) hakkında bilgi sağlar. Hem tarımsal verim hem de besin kalitesini etkileyen önemli faktörlerdir ve bu nedenle özellikle verim optimizasyonu ve ürün kalitesi değerlendirmelerinde kritik rol oynarlar (Çizelge 3.6). THRSH genetik katsayısı hasat edilen tohumların bitkinin toplam biyokütlesi içindeki yüzdesini belirler, bu da bitkinin hasat edilecek tohum miktarını ve verimi etkiler. SDPRO genetik katsayısı tohumların içerdiği protein miktarını belirler ve tohumların besin değerini simüle eder. SDLIP genetik katsayısı tohumların içerdiği yağ miktarını belirler ve yağ üretimi için önemlidir.

Çeşit özelindeki 18 genetik katsayıdan 4 tanesi fenolojik gelişme dönemleri ile ilgiliyken, 14 tanesi bitki büyümesi ile ilgilidir. DSSAT CROPGRO modelinde kinoa bitkisi özelinde ekotipe bağlı olarak belirlenmiş genetik katsayı sayısı 16 adettir (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. CROPGRO-Kinoa Ekotip Özelinde Genetik Katsayı Listesi

Genetik Katsayılar	Açıklamalar
THVAR	Uzun gün ve optimum sıcaklıkta minimum büyüme oranı
PL-EM	Ekim-çıkış arasında geçen süre
EM-V1	Çıkış-ilk gerçek yaprak (V1) arasında geçen süre
V1-JU	İlk gerçek yapraktan gençlik evresinin sonuna kadar geçen süre
JU-R0	Optimum sıcaklık ve gün uzunluğunda çiçeklenme için gereken süre
PM06	İlk peg için ilk çiçek ile ilk bakla arasındaki zaman oranı
PM09	İlk dane-fizyolojik olgunluk arasında geçen süre
LNGSH	Kabuk başına gelişme için gereken süre
R7-R8	Fizyolojik olgunluk-hasat olgunluğu arasındaki süre
FL-VS	Rozet dönemi-ana gövdedeki son yaprak arasındaki süre
TRIFL	Ana gövdedeki yaprak oluşum aralığı (süre)
RWDTH	Standart ekotipe göre gövde kalınlığı oranı
RHGHT	Standart ekotipe göre bitki boyu oranı
R1PPO	Rozetlenme dönemi sonrası gün uzunluğuna hassasiyetteki artış
OPTBI	Çiçeklenmeye doğru minimum günlük sıcaklık (°C).
SLOBI	Tmın'in çiçeklenmeye doğru ilerlemeyi azaltan ilişkinin eğimi.

Model çalışmalarında bitki tür ve ekotip üzerine belirlenmiş genetik katsayılarda çok fazla değişiklik yapmaya gerek yoktur. Ancak üzerinde çalışma yürütülen çeşit ile ilgili genetik katsayılarda yapılan kalibrasyon işlemi sonucunda uygun sonuçlar elde edilememesi durumunda ekotip ve tür için oluşturulmuş katsayılarda da değişiklik yapılabilmektedir.

THVAR, PL-EM, EM-V1 ve V1-JU genetik katsayıları bitkinin büyüme ve gelişim süreçlerini simüle etmek ve çevresel faktörlere (örn. sıcaklık) tepkilerini anlamak amacıyla kullanılan büyüme modellerinde büyük önem taşır (Çizelge 3.7). CROPGRO modelinde bu genetik katsayılar, doğru sonuçlar elde etmek ve ürün yönetim stratejilerini optimize etmek için kullanılır. Her biri, bitkinin farklı gelişim aşamalarını veya fizyolojik süreçlerini tanımlamak için kullanılır: THVAR genetik katsayısı bitkinin belirli bir gelişim aşamasına (örneğin, vegetatif aşamadan generatif aşamaya) ulaşması için gereken ısıl zaman miktarını ifade eder. PL-EM genetik katsayısı ekimden çimlenmeye (filizlenmeye) kadar geçen sürenin genetik olarak belirlenmiş kısmıdır. Bitkinin toprak yüzeyine çıkması için gereken süreyi sıcaklık ve toprak nemi gibi çevresel faktörler etkiler, ancak bu süre aynı zamanda bitkinin genetik yapısına da bağlıdır. EM-V1 genetik katsayısı çimlenmeden ilk gerçek yaprak aşamasına (V1) kadar geçen süreyi temsil eder. Bu aşama, bitkinin büyüme hızını ve erken gelişim sürecini etkileyen önemli bir parametredir. V1-JU genetik katsayısı ilk gerçek yapraktan çiçeklenmeye kadar geçen süreyi tanımlar. Bu dönem, bitkinin daha fazla yaprak ürettiği ve vegetatif büyümenin hızlandığı bir aşamadır (Boote ve ark., 2023).

JU-R0, PM06, PM09 ve LNGSH genetik katsayıları bitkilerin büyüme süreçlerini, büyüme özelliklerini detaylı bir şekilde simüle ederek, farklı çevresel koşullar ve genetik varyasyonlar altında nasıl tepki verdiklerini anlamaya olanak tanır (Çizelge 3.7). CROPGRO gibi modellerde bu tür parametrelerin kullanılması, tarımsal verimliliği artırmak için önemli kararlar alınmasına katkı

sağlar. Her biri, bitkinin farklı gelişme dönmelerindeki büyüme hızını, olgunlaşma sürecini ve fizyolojik gelişimini etkileyen genetik faktörlerle ilgilidir. JU-R0 genetik katsayısı bitkinin gençlik evresinden (juvenile stage) generatif büyümenin başlangıcı olan R0 aşamasına (tomurcuk oluşumu) kadar geçen sürenin genetik olarak belirlenen kısmını ifade eder. R0 aşaması, bitkide üreme organlarının oluşmaya başladığı dönemdir. Bu katsayı, bitkinin ne kadar sürede bu aşamaya geçeceğini simüle etmek için kullanılır ve çevresel faktörlerin yanı sıra genetik kontrolün de etkili olduğunu gösterir. PM06 genetik katsayısı fizyolojik olgunluğun %60'ına ulaşılması için geçen süreyi temsil eder. Bu katsayı, bitkinin olgunlaşma sürecini genetik olarak kontrol eden faktörleri ifade eder ve bitkilerin büyüme sezonu boyunca hangi hızla olgunlaşacağını belirlemede kullanılır. Bu süreç, bitkinin genetik yapısına ve çevresel koşullara bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

R7-R8, FL-VS, TRIFL ve RWDTH genetik katsayıları bitkinin büyüme aşamalarını ve fiziksel özelliklerini modellemek için kullanılır. Her biri, bitkinin gelişim süreçlerini simüle etmek için önemli olup, farklı çevresel ve genetik değişkenler altında bitki büyüme modellerinde kritik rol oynamaktadır ve tarımda verim artırma ve yetiştirme stratejileri optimize edilebilir (Çizelge 3.7).

R7 aşaması, bitkide fizyolojik olgunluğa ulaşmayı ifade eder (genellikle yaprakların ve sapların sarardığı, danelerin büyümesinin durduğu evredir). R8 aşaması, tam olgunluk aşamasıdır ve bitkinin artık hasada hazır olduğu zaman dilimini ifade eder. R7-R8 genetik katsayısı, bu iki aşama arasındaki süreyi belirleyen genetik faktörleri ifade eder. Bu süre, ürünün hasada hazır hale gelme sürecini tahmin etmeye yardımcı olur ve çevresel koşulların yanı sıra bitkinin genetik yapısına bağlıdır. FL-VS genetik katsayısı çiçeklenme aşamasından vegetatif büyüme evresine kadar geçen süreyi tanımlar. Bu katsayı, bitkinin çiçeklenme sonrasında vegetatif gelişime ne kadar süre devam edeceğini simüle etmek için kullanılır. Bitkinin çiçeklenmeden sonraki gelişim sürecini ve bu süredeki genetik faktörleri ifade eder. Çiçeklenme sonrası vegetatif büyüme, bitkinin nihai verimini etkileyen önemli bir süreçtir. TRIFL genetik katsayısı bitkinin tomurcukların oluşmasından çiçeklenme aşamasına kadar olan süreyi etkileyen genetik faktörleri temsil eder. Bu süreç, bitkinin üreme gelişimi açısından kritik bir dönemdir ve doğru simülasyonlarla bitkinin ne zaman çiçek açacağını belirlemek için kullanılır. RWDTH genetik katsayısı kapsül ya da çiçek başının genişliğini etkileyen genetik faktörleri ifade eder. Bu genişlik, bitkinin verimini doğrudan etkileyen yapısal bir özelliktir. Çiçek başının veya kapsülün genişliği, ürünün büyüme kapasitesi, tohum miktarı ve genel verimlilik açısından kritik bir parametredir (Çizelge 3.7).

RHGHT, R1PPO, OPTBI ve SLOBI genetik katsayıları bitki büyüme modellerinde bitkilerin büyüme süreçleri, biyolojik ve yapısal özellikleri, fizyolojik performanslarını ve verim potansiyelini simüle etmek için kritik öneme sahiptir. Her biri, farklı genetik ve çevresel koşullar altında bitkilerin nasıl büyüyeceğini ve nasıl tepki vereceğini anlamaya yardımcı olmakatadır (Çizelge 3.7). RHGHT genetik katsayısı bitkinin büyüme sürecinin sonunda ne kadar uzayacağını tahmin eder ve çevresel koşulların yanı sıra genetik faktörlerin de etkili olduğu bir parametredir. Bitki yüksekliği, bitkinin büyüme potansiyeli, ışık yakalama kapasitesi ve genel verimi açısından önemli bir yapısal özelliktir.

R1PPO genetik katsayısı çiçeklenmenin başladığı dönemdeki (R1 aşaması) fotoperiyod duyarlılığını ifade eder. R1PPO genetik katsayısı, bitkinin çiçeklenme aşamasında gün uzunluğuna (fotoperiyoda), çevresel ışık koşullarına nasıl tepki verdiğini simüle eder. Fotoperiyod duyarlılığı, gün uzunluğunun bitkinin gelişim aşamalarını hızlandırıcı veya yavaşlatıcı etkisini belirler. OPTBI genetik katsayısı bitkinin optimal biyokütle üretim kapasitesini ifade eder. Bu katsayı, fotosentez oranı, büyüme koşulları ve verimlilik açısından bitkinin biyokütle üretiminin maksimum seviyede olduğu durumu simüle ederken, btki büyüme modellerinde ürün verimini optimize etmek için kullanılır. SLOBI genetik katsayısı bitkinin büyüme sezonu boyunca biyokütle birikim hızını belirleyen bir katsayıdır. Biyokütle birikimi, bitkinin fotosentez ve büyüme hızına bağlıdır. Bu katsayı, büyüme hızının nasıl değiştiğini ve bu değişimin genetik olarak kontrol edilen kısmını ifade eder. Daha yüksek bir SLOBI değeri, bitkinin hızlı biyokütle üretimi anlamına gelmektedir (Karunaratne ve ark., 2024).

Model kullanıcı isteği doğrultusunda girilen girdi parametreleri ve bitki türüne göre pek çok çıktı parametresi üretmektedir. Ayrıca, elde edilen sonuçlarla ilgili görsel grafik oluşturma seçenekleri de bulunmaktadır. Bunun yanı sıra model sonuçlarının gözlem verileri ile kıyaslanarak modelin benzetim kabiliyetinin değerlendirilebilmesine yönelik istatistiki değerlendirme sonuçları da kullanıcıya sunulmaktadır.

Her bir kinoa çeşidinin özelliklerini belirten genetik katsayılar CROPGRO-Kinoa modelinde tanımlanmıştır. Ayrıca model içinde tanımlanmamış yeni veya eski bir kinoa çeşidi için genetik katsayıların denemenin yürütüldüğü bölgeye göre kestiriminde Hunt ve Boote, (1998) tarafından geliştirilen GLUE programı kullanılmıştır.

Her bir çeşidin yaşam döngüsünün nasıl olduğunu belirten ve özgün olan bu katsayılar modelin performansının belirlenmesinde, herhangi bir çeşidi yetiştirmenin uygun olmadığı koşullarda adaptasyonu sağlamada oldukça önemlidir. Geçmişte kullanılan birçok modelde anılan katsayıların belirlenememesi modelin uygulanabilirliğinde büyük bir darboğaz oluşturmakta iken günümüzde yeni çeşitlerin ortaya çıkması ve anılan çeşitlerin yeni bölgelere adaptasyonunun test edilmesinde genetik katsayılar geliştirilen alt modeller ile tahmin edilebilmektedir. Bu alt modellerden en yoğun kullanılardan biri GLUE modeli olup genetik katsayısı hesaplamada kullanılan bir istatistik programıdır. Bu amaçla kestirilen ve ölçülen fenoloji ve verim arasında yakın bir eşleşme elde edilene kadar “deneme-yanılma” yöntemi kullanılarak model içerisinde en uygun genetik katsayıların kestirilen yapılmaktadır. Bu durumda kullanılan GLUE modeli ile ölçülen bitki fenolojisi ve verim değerleri modelce simüle edilmiş değerlerle eşleştirilerek kalibrasyon işlem sağlanmaktadır.

Ayrıca, model için büyük öneme sahip genetik katsayılarında bilinmesi gerekmektedir. Birçok modelde olduğu gibi CROPGRO-Kinoa V4.8’de olduğu gibi bitkinin büyüme ve gelişimini tahmin etmek amacıyla öncelikle genetik katsayıların belirlenmesi gerekmektedir. Her bir çeşidin yaşam döngüsünün nasıl olduğunu belirten ve özgün olan bu katsayılar modelin performansının

belirlenmesinde, herhangi bir çeşidi yetiştirmenin uygun olmadığı koşullarda adaptasyonu sağlamada oldukça önemlidir. Geçmişte kullanılan birçok modelde anılan katsayıların belirlenememesi modelin uygulanabilirliğinde büyük bir darboğaz oluşturmakta iken günümüzde yeni çeşitlerin ortaya çıkması ve anılan çeşitlerin yeni bölgelere adaptasyonunun test edilmesinde genetik katsayılar geliştirilen alt model (GLUE: Generalized Likelihood Uncertainty Estimation: Genelleştirilmiş Olabilirlik Belirsizlik Tahmini) ile tahmin edilebilmektedir. Her bir bitki çeşidini ilgilendiren ve her çeşidin özelliğini ortaya koyan genotip katsayılar model içinde tanımlanmıştır. Ayrıca model içinde yer almayan her bir yeni veya eski çeşit için genetik katsayıların denemenin yürütüldüğü bölgeye göre tahmininde (Hunt ve ark., 1993) tarafından geliştirilen GLUE programı ile en uygun genetik katsayıyı bulabilmek için hem binlerce denemeyi otomatik olarak gerçekleştirererek, gözden kaçabilecek olasılıklar da değerlendirilmekte hem de zamandan çok büyük kazanç sağlanmaktadır.

Genotip veri dosyasında herbir kinoa çeşidinin gelişme ve büyüme özelliklerini tanımlayan genetik katsayılara ait verileri içerir. CROPGRO-Kinoa modelinde herbir kinoa çeşidi 18 genetik katsayı kullanılmaktadır (Hoogenboomve ark., 2019). Anılan genetik katsayılar bölge koşullarında kinoa Titicaca çeşidi için hesaplanarak, bulgular bölümünde sunulmuştur.

CROPGRO-Kinoa Modelinin Kalibrasyonu ve Değerlendirilmesi

Bir modelinin doğru ve güvenilir sonuçlar verebilmesi için, kullanıcının önce modelin kalibre edildiğinden ve benzetimi yapabilmek için doğru bir şekilde tasarlandığından emin olmalıdır. Ayrıca, model araştırmacının kestirim istediği koşullara göre doğrulanmalıdır (Boote ve ark., 1998). Kalibrasyonu model parametrelerini bir yer ve alan için çalışmasını sağlamak için modeldeki fonksiyonel ilişkilerde bazı parametrelerin veya katsayıların ayarlanması olarak ifade etmiştir. Ayrıca, bitki modellerinin kalibrasyonu ve geçerliliği ile yetiştirilen bitkinin büyümesinde yer alan fiziksel ve fizyolojik süreçlerin anlaşılabileceğini belirtmiştir.

GROPGRO-Kinoa V4.8 modelinin kalibrasyonu, 2014 deneme yılı sezonu sonunda hasatta elde edilen verim ve verim bileşenlerinin örneklemesinden elde edilen verilere dayanmaktadır. GROPGRO - Kinoa modelinde kalibrasyon aşamasında kinoa çeşidine ait olan ve fenolojik aşamaları etkileyen genetik katsayıları DSSAT V4.8 içerinde yeralan GLUE genetik katsayısı hesaplama alt modeli ile belirlenmiştir. Bu amaçla kestirilen ve ölçülen fenoloji ve verim arasında yakın bir eşleşme elde edilene kadar “deneme-yanılma” yöntemi kullanılmıştır.

Bu amaçla ölçülen bitki fenolojisi ve verimini modelce kestirilmiş değerlerle eşleştirmek ve kalibre edilmiş genetik katsayıları kinoa çeşidi için ayarlamalar yapılmıştır. Kalibrasyon için kinoa bitkisinde çiçeklenmeye varış süresi, olgunlaşmaya varış süresi gibi bazı fenolojik olaylara ilişkin bilgiler ve kinoa verimi, toplam kuru madde miktarı, yaprak alan indeksi (LAI) gibi veriler kullanılmıştır. Önceden tanımlanmış hata sınırları içinde tutulmak şartıyla genetik katsayıların kalibrasyonu yapılmıştır.

Herhangi bir model güvenle kullanılmadan önce, kullanımlarından kaynaklanabilecek hataların büyüklüğünün yeterli bir şekilde doğrulanması veya değerlendirilmesi yapılmalıdır. Modelin doğrulanması, en basit haliyle simüle edilmiş ve ölçülen değerler arasında bir karşılaştırmanın yapılmasıdır. GROPGRO-Kinoa modelinin performans değerlendirmesinde istatistiksel ve grafiksel olmak üzere iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. İstatistiksel analizler modeldeki benzetimin kalitesini tanımlayan ve ölçülen değerlerle ile modeldeki tahminden kaynaklanan hataları hesaplamak için yapılmıştır.

Kullanıcıların tüm benzetim çalışmalarını bitki büyüme mevsimi boyunca ölçülen ölçüm değerleri ile şekilsel olarak gösterimini sağlamakta, ölçülen ve kestirilen model çıktıları şekilsel olarak ve modelin geçerliliğini doğrulamak için gerekli istatistiksel hesapları (RMSE) yapmaktadır. Grafiksel yaklaşımda ölçülen ve kestirilen veriler zamana karşı grafiklenerek ve görsel olarak karşılaştırması yapılmıştır. İstatistiksel yaklaşımda ise hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) (Dent ve Blackie, 1979; Loague ve Green, 1991) kullanılmıştır.

GROPGRO-Kinoa modelinin değerlendirmesi aşamasında modelinin performansı 2014 yılına ait deneme sonuçlarından elde edilen veri kümesini kullanarak yapılmıştır. Bu yaklaşımda, model parametreleri 2014 veri kümesine göre kalibre edilmediğinden, modelin gerçek bir doğrulaması olarak düşünülebilir. Kimi ölçülen verim ve verim bileşenleri ile modelde tahmin edilmiş değerlerle karşılaştırılarak, grafiksel olarak sunulmuştur.

Bu çalışmada, modelin başarımının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan mutlak hata kareler ortalamasının karakökü ($RMSE_a$), normalleştirilmiş hata kareler ortalamasının karakökü ($RMSE_n$) ve uyum indeksi (d) değerleri aşağıda belirtilen eşitliklerden yararlanarak hesaplanmıştır (Eşitlik 3.1-3.3) (Willmott ve ark., 1985). Hesaplamalarda ölçülen gerçek değerler ve modelce kestirilen değerlerin ortalaması, ölçülen ve kestirilen değerler arasındaki ortalama mutlak hata değerleri hesaplanmıştır. Belirtilen bu istatistiksel indeksler modellerin değerlendirme aşamasında yoğun olarak kullanılmaktadır (Bouman ve Van Laar., 2006).

$$\text{RMSE} = \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \right)^{0.5} \tag{3.1}$$

$$RMSE_n = \frac{100 \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \right)^{0.5}}{O_{mean}} \tag{3.2}$$

$$d = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (|P_i' | + |O_i' |)^2} \right) \quad (3.3)$$

Eşitliklerde, Pi: model tarafından kestirilen verileri, Oi: arazi denemesinde ölçülen verileri, Omean: ortalama ölçülen değeri, arazi n:yapılan örnekleme sayısını ifade etmektedir. P′i = (Pi – M) ve O′i = (Oi – M) (M, ölçülen değişkenin ortalamasıdır).

İyi bir model performansı için RMSE değerleri 0'a mümkün olduğunca yakın olmalıdır. Simülasyon sonucunda RMSE değeri % 10'dan az ise mükemmel, 10-20 arasında ise iyi ve 20-30 arasında ise uygun olduğunu belirtmiştir (Jamieson ve ark., 1991; Soler ve ark., 2008; Nasim ve ark., 2016b).

CROPGRO-Kinoa Modelinde kullanılan iklim değişimi projeksiyonları

İklim değişikliğinin tarımsal ürünlere olası etkilerinin belirlenebilmesi amacı ile bitki benzetim modelleri ile iklim projeksiyonlarının beraber kullanılması gerekmektedir. Uluslararası literatürde farklı amaçlar için geliştirilmiş ve çok yoğun kullanılan farklı bitki benzetim modelleri ile iklim modelleri kullanımı ülkemizde sadece bilimsel tez çalışmalarında kullanılmakta olup, henüz yaygın kullanıma ulaşamamıştır.

Ülkemizin büyük bir bölümü Akdeniz iklim kuşağında yer almaktadır. Ancak, Türkiye iklim değişikliği ve değişkenliği açısından orta-yüksek riskli ülkeler grubundadır. Bu nedenle iklimdeki değişiklik ve değişebilirliklerin izlenmesi ile iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı yapılabilecek olan önlemve uyum konularında araştırmalara gereksinim vardır.

İklim modelleri yağış, sıcaklık ve buna benzer meteorolojik parametrelerdeki değişimlerin hangi şekilde gerçekleşebileceğine dair bizlere fikir sunmaktadır. Küresel iklim modellerinin çözünürlükleri oldukça düşüktür. Düşük çözünürlüklü iklim projeksiyonları gelecek dönem için genel bir bilgi verirkenyerel ölçekte ve sektörel bazlı analizler için yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle düşük çözünürlüklü küresel iklim modelleri çıktılarından yüksek ölçekli iklim projeksiyonları elde etmek için bölgesel iklim modelleri kullanılmaktadır. Bu kapsamda MGM tarafından RegCM Bölgesel İklim Modeli tercih edilmiştir. RegCM merkezi İtalya'da bulunan Abdus SalamUluslararası Teorik Fizik Merkezi (ICTP: The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics) tarafından bölgesel iklim modeli olarak geliştirilen bir modeldir. İlk sürümü 1989 yılında yayınlanan modelin halen kullanımda olan dördüncü sürümü 2010 yılında yayınlanmıştır. MGM, yapmış olduğu çalışmada RegCM4.3.4. sürümünü kullanarak Türkiye ve bölgesi özelinde 20 km çözünürlüklü iklim projeksiyonları geliştirilmiştir (Akçakaya ve ark., 2015).

Son yıllarda iklimle ilgili ekstrem olay ve felaketlerin neden olduğu sosyal ve ekonomik kayıplar, Türkiye'nin ve dünyanın birçok bölgesinde yıllar arasında değişkenlikle birlikte artmaktadır. Ekstrem hava ve iklim olaylarının ve afetlerinin niteliği, şiddeti ve etkileme gücü,

alansal ve zamansal ölçeklerde değişen maruz kalma ve etkilenebilirlik düzeylerinin yanı sıra, ekonomik, sosyal, coğrafi, demografik, kültürel, kurumsal ve yönetişimsel, çevresel ve ekolojik etmenlere de yakından bağlıdır.

IPCC 5. Değerlendirme Raporu, 1. Çalışma Grubu Raporunda kullanılan senaryolara uyumlu olacak şekilde Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) dinamik ölçek küçültme yöntemi ile Türkiye için 2100 yılına kadar bölgesel iklim projeksiyonları oluşturmuştur. MGM'nin ölçek küçültme yöntemi ile ürettiği bölgesel iklim projeksiyonlarında, Dünya İklim Araştırma Programı (WCRP) üyesi 20 iklim modelleme grubu tarafından hazırlanan, Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5) kapsamındaki küresel modeller ile IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nda kullanılan yeni nesil konsantrasyon senaryoları (Representative Concentration Pathways, RCP) baz alınmaktadır. Projeksiyonda 2016-2099 yılları için orta derecede ışınımsal (radyatif) zorlama (4.5W/m^2) RCP4.5 senaryoları ve üst derece ışınımsal (radyatif) zorlama (8.5W/m^2) RCP8.5 senaryoları kullanılmış ve İngiltere Meteoroloji Ofisi Hadley Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen iklim projeksiyonu modeli HadGEM2-ES, küresel model sonuçları bölgesel iklim modeli (Bölgesel İklim Modeli sistemi, RegCM4) ile ölçek küçültülerek üretilmiştir. Kullanılan küresel (HadGEM2- ES) ve bölgesel model (RegCM4) ile ilgili model çözünürlüğü, çalışma alanı, etkilenebilirlik analizleri ve projeksiyon süresi ve kullanılan senaryo ile ilgili ayrıntılı bilgi Çizelge 3.8'de verilmiştir. RCP4.5 senaryosuna göre sera gazları konsantrasyonlarının 2100'de 650 ppm CO_2'ye ulaşacağı, RCP8.5 senaryosuna göre ise sera gazları konsantrasyonlarının 2100'de 1370 ppm CO_2'ye ulaşacağı öngörülmektedir (Akçakaya ve ark., 2015).

IPCC raporlarında da belirtildiği üzere Türkiye, iklim değişikliğine karşı en hassas bölgelerden biri olan Doğu Akdeniz havzasında yer almaktadır. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları IPCC 5. Değerlendirme Raporunda en çok tercih edilen senaryolar olup, MGM tarafından bölgesel iklim modelleri oluşturmak amacıyla kullanılmıştır. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerini en aza indirmek, sektörel bazda iklim değişikliğine uyum ve mücadele faaliyetlerini desteklemek amacıyla havza, bölge ve il düzeyinde sıcaklık ve yağış projeksiyonları geliştirilmiştir.

Projeksiyon sonuçlarına göre; yıllık ortalama sıcaklıkta RCP4.5 senaryosuna göre ortalama 1.5°C, RCP8.5 senaryosuna göre ortalama 2.5°C artış ön görülmektedir. Yağış miktarlarında RCP4.5 senaryosuna göre ortalama olarak 10-15 mm/yıl, RCP8.5 senaryosuna göre ortalama olarak 105-110 mm/yıl civarında azalışlar öngörülmektedir. Sıcaklık ve yağış ortalamalarındaki değişiklikler ülkemizin çok çeşitli coğrafik özelliklere sahip olması nedeniyle bölgesel, havza ve il bazında farklılıklar göstermektedir. Sıcaklık artışı açısındanen hassas havza olarak Fırat-Dicle havzası, yıllık ortalama yağış değişimi açısındanise Akdeniz Bölgesi içerisinde yer alan havzaların en hassas yöreler olması ön görülmektedir.

Çalışmada IPCC'nin geliştirdiği yeni nesil senaryo ailesinden küresel ölçekte de en çok tercih edilen senaryolar olan RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları tercih edilmiştir. RCP8.5 muhtemel en yüksek ışınımsal zorlama ve konsantrasyon rotasıdır. RCP8.5 diğer senaryolara göre daha yüksek

sera gazı emisyonları ifade etmekte dolayısıyla da RCP'lerin üst sınırını belirtmektedir, RCP8.5 senaryosuna göre 2100 yılında radyatif zorlamanın 8.5 W/m2'ye, eşdeğer CO_2 konsantrasyonlarının ise 1370 ppm dolayına ulaşması varsayılmaktadır. RCP4.5 ise orta bir dengede tutma rotası olup bu senaryoya göre radyatif zorlama değerinin 2100 yılında 4.5 W/m^2'ye, eşdeğer CO_2 konsantrasyonlarının ise 650 ppm dolayına ulaşması varsayılmaktadır(Thomson ve ark., 2011). Bu senaryonun diğer senaryolara göre iki avantajı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi yüksek rota ile arasındaki farktan dolayı çok iyisinyal elde edilebilmesi, ikincisi ise literatürde bu rota ile ilgili çok sayıda yayınlanmış çalışmanın bulunmasıdır.

IPCC raporlarında da belirtildiği üzere ülkemiz, iklim değişikliğine karşı en hassas bölgelerden biri olan Doğu Akdeniz havzasında yer almaktadır. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerini en aza indirmek, sektörel bazda iklim değişikliğine uyum ve mücadele faaliyetlerini desteklemek amacıyla "Türkiye İçin İklim Değişikliği Projeksiyonları" adlı ile bir proje ile havza, bölge ve il düzeyinde sıcaklık ve yağış projeksiyonları geliştirilmiştir. Proje kapsamında üretilen projeksiyon verileri iklim değişikliği ile ilgili uyum, önleme ve mücadele konusunda planlama yapan tüm kurum ve kuruluşlar için kaynak sağlamaktadır. Kurum ve kuruluşların geleceğe yönelik çalışmalarında "Türkiye İçin İklim Değişikliği Projeksiyonları" verilerini kullanmaları daha sağlıklı plan ve programlama yapmalarına olanak sağlayacaktır

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) bünyesinde hazırlanan ve "Yeni Senaryolar İle Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği TR2015-CC" adıyla 2015 yılında yayınlanan projenin sonuç raporunda HadGEM2-ES, MPI- ESM-MR ve GFDL-ESM2M küresel iklim modelleri verileri ile RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları temelinde RegCM4.3.4 bölgesel iklim modeli kullanılarak Türkiye ve bölgesi için 20 km çözünürlüklü iklim projeksiyonları geliştirilmiştir. Çalışmada, referans dönem 1971-2000 olarak seçilmiş ve 2098 yılına kadarki gelecek dönem için iklim projeksiyonları üretilmiştir. Araştırmada gelecek dönemler yakın periyot (YP):2016-2045, orta periyot (OP):2045-2075 ve uzak periyot (UP):2076-2098 olmak üzere üç ayrı periyotta değerlendirilmiştir. 3 küresel modelin projeksiyonlarından elde ettiğimiz sonuçlara göre 2016-2098 periyodu için yurt genelinde ortalama sıcaklık artışı;

- RCP4.5 senaryosuna göre 1.5-2.5°C,
- RCP8.5 senaryosuna göre ise 2.5-3.5°C aralığında olması öngörülmektedir.

Yağışlarda ise genel olarak artış ya da azalış trendi olmamakla birlikte yağış düzensizliklerinin artma eğiliminde olması öngörülmektedir.

RCP4.5 iklim senaryosuna göre atmosferdeki CO_2 seviyeleri yakın periyot (YP) 434 ppm, orta periyot 497 ppm ve uzak periyot (UP) 532 ppm olarak dikkate alınmıştır. RCP8.5 iklim senaryosuna göre atmosferdeki CO_2 seviyeleri yakın periyot (YP) 448 ppm, orta periyot 578 ppm ve uzak periyot (UP) 803 ppm olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca referans (baseline) CO_2 değeri 1971-

2000 yılları için 346 ppm olarak modelde tanımlanmıştır.

Türkiye ve çevresine yönelik küresel iklim modellerinin ortalama sıcaklık karşılaştırma sonuçlarına göre, HadGEM, GFDL ve MPI global modellerinin Türkiye'deki ideal sıcaklık değerlerini temsil eden modeller arasında olduğu gözlenmiştir. HadGEM, Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı (GFDL), Max Planck Meteoroloji Enstitüsü (MPI) ve Amerika Birleşik Devletlerinde NOAA- GFD Laboratuvarlarında küresel model verilerinin MGM tarafından kullanılan sonuçlarına göre, bölgesel iklim projeksiyonları sonucunda elde edilen ortalama sıcaklıklar küresel modellerle tutarlıdır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2015). Bu nedenle, MGM'nin bölgesel iklim projeksiyonları üretme çalışmalarında HadGEM, GFDLve MPI global modelleri tercih edilmiştir. MGM tarafından Türkiye iklim projeksiyonları çalışmasında 2016-2098 dönemini kapsayan 3 Küresel İklim Modeli ve 2 senaryo temelinde 20 km çözünürlüklü, 6 farklı iklim projeksiyonuveri seti 2015 yılında tüm sektörlerin kullanımına sunulmuştur (Çizelge 3.8). Bu 3model RegCM4 bölgesel iklim modeli ile ölçek küçültme yöntemi kullanılarak bölgesel iklim projeksiyonları elde edilmiştir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2015). MGM çalışmalarında kullanılan küresel ve bölgesel modellerin temel özellikleri Çizelge 3.8'de verilmiştir. MGM küresel model HadGEM'in 112.5 km çözünürlükteki sonuçlarını RegCM modelinde kullanarak 20 km çözünürlüğe sahip sonuçlar üretmektedir.

HadGEM2-ES, İngiltere Meteoroloji Ofisi ve ona bağlı Hadley İklim Tahmin Merkezi tarafından geliştirilmiş bir küresel iklim modelidir. Modelin yatay çözünürlüğü 1.875° enlem ve 1.25° boylam (~208 km enlem x ~139 km boylam) olarak belirtilmiştir.

MPI-ESM-MR Küresel İklim Modeli Almanya Max Plank Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. Modelin yatay çözünürlüğü 1.9° (~211 km) olarak belirtilmiştir. Modelde atmosfer katmanlarının detaylı olarak ele alınmıştır.

Çizelge 3.8. Seçilen İklim Modelleri ve İklim Senaryoları

Küresel İklim Modelleri	HADGEM2-ES	MPI-ESM-MR	GFDL-ESM2M
Küresel Model çözünürlüğü (km)	112.5	210	210
Proejeksiyon dönemi	2016-2098	2016-2098	2016-2098
Senaryolar	RCP4.5 RCP4.8	RCP4.5 RCP4.8	RCP4.5 RCP4.8
Bölgesel İklim modeli	RegCM4.3.4.	RegCM4.3.4.	RegCM4.3.4.
Projeksiyon çözünürlüğü (km)	20	20	20

GFDL-ESM2M Küresel İklim Modeli, NOAA ve ona bağlı Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuarı (GFDL-Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) tarafından geliştirilmiştir. Modelin yatay çözünürlüğü 2° enlem ve 2.5°boylam (222 km enlem x ~278 km boylam) olarak belirtilmiştir (Gürkan, 2019).

MGM tarafından yapılan çalışmada elde edilen projeksiyon sonuçlarına göre 2016-2098

yıllarını kapsayan dönemde Türkiye ortalama sıcaklıklarında 1.5- 3.7°C aralığında artış beklenmektedir. Yıllık toplam yağışlarda ise bölgesel olarak azalış öngörüleri olmakla birlikte genelde yağışın yıl içerisindeki dağılımın dengesindeki değişiklik beklentileri vurgulanmıştır (Demircan ve ark., 2017).

Doğu Akdeniz koşullarında 3 küresel iklim modeli ve iki iklim senaryosu temelinde elde edilen projeksiyon sonuçlarına göre yıllık ortalama sıcaklıkların 2016-2098 dönemi genelinde sıcaklıklarda artış saptanırken, yağışlarda ise azalma eğilimi belirlenmiştir. Elde edilen sıcaklık projeksiyonlarına göre tüm dönemde (TP);

- RCP4.5 senaryosuna göre; sıcaklıklar 1.3-2.4°C aralığında ve ortalama olarak 1.8°C,
- RCP8.5 senaryosuna göre; sıcaklıklar 2.2-3.4°C aralığında ve ortalama olarak 2.8°C artması öngörülmektedir (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9. Doğu Akdenizde Yıllık Ortalama Sıcaklık Projeksiyonları

Doğu Akdenizde yıllık ortalama sıcaklık değişimi (°C)						
Periyotlar	HadGEM2-ES		MPI-ESM-MR		GFDL-ESM2M	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
YP:2016-2045	1.7	2	0.9	0.9	1.2	1.5
OP:2046-2075	2.5	3.4	1.3	2.2	1.7	2.8
UP:2076-2098	3.1	4.9	1.6	3.4	1.8	3.9
TP:2016-2098	2.4	3.4	1.3	2.2	1.6	2.7

YP:Yakın periyot; OP:Orta periyot; UP:Uzak periyot TP:Tüm Periyot;

Doğu Akdenizde 3 küresel iklim modeli ve iki iklim senaryosundan oluşturulan projeksiyon sonuçlarına göre 2016-2098 döneminde yıllık toplam yağışların;

- RCP4.5 senaryosuna göre; % -9.7 ile %-18.4 arasında ve ortalama olarak % -14.8 oranında,
- RCP8.5 senaryosuna göre; %-18.3 ile %-22.1 arasında ve ortalama olarak % -19.7 oranında azalması öngörülmektedir (Çizelge 3.10).

Yıllık toplam yağışların azalması ve ortalama sıcaklıklarda öngörülen 2.0- 2.5°C aralığındaki artışların daha fazla buharlaşmaya yol açması, ortaya çıkan su eksikliği durumunun bitkisel üretim ve verimlilik üzerinde olumsuz etkilere sebep olması tahmin edilmektedir. Referans dönemi 1971-2000 yılları olarak alınmıştır.

Çizelge 3.10 Doğu Akdenizde Yıllık Toplam Yağış Projeksiyonları

Doğu Akdenizde yıllık ortalama yağış değişimi %'si						
Periyotlar	HadGEM2-ES		MPI-ESM-MR		GFDL-ESM2M	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
YP:2016-2045	-12.8	-12.1	-16.3	-15.7	-9.0	-5.6
OP:2046-2075	-18.4	-23	-19.2	-24.0	-9.7	-20.1
UP:2076-2098	-18	-19.9	-19.6	-26.5	-10.7	-30.2
TP:2016-2098	-16.4	-18.3	-18.4	-22.1	-9.7	-18.6

YP: Yakın periyot; OP:Orta periyot; UP:Uzak periyot TP:Tüm Periyot;

Doğu Akdeniz koşullarında 3 küresel iklim modeli ve iki iklim senaryosu (RCP4.5 ve RCP8.5) temelinde elde edilen projeksiyon sonuçlarına göre atmosferdeki yıllık CO_2 oranlarının değişimi Çizelge 3.11'de sunulmuştur. RCP4.5'e göre yakın (YP), orta (OP) ve uzak periyotta (UP) sırasıyla %12.1, 31.1 ve 39.7 artış, RCP8.5'e göre ise sırasıyla %15.3, 53.2 104.7 artış olacağı hesaplanmıştır. Tüm periyot (2016-2098) incelendiğinde ise RCP4.5 ve RCP8.5'de sırasıyla %27.6 ve 57.7 artış olacağı saptanmıştır.

Çizelge 3.11. Yakın, Orta, Uzak ve Tüm Periyotlarda Yıllık Ortalama CO_2 Değişimi

Doğu Akdeniz koşullarında yıllık ortalama CO_2 değişimi (ppm)		
Dönemler	CO_2, %	
	RCP4.5	RCP8.5
YP:2016-2045	12.1	15.3
OP:2046-2075	31.1	53.2
UP:2076-2098	39.7	104.7
TP:2016-2098	27.6	57.7

Yürütülen tez çalışması kapsamında 3 küresel iklim modeli ve 2 senaryo temelinde elde edilen iklim projeksiyonlarına ait veriler kullanılarak iklim değişikliğinin gelecek dönemlerdeki yağlık kinoa verimliliği üzerindeki olası etkilerinin tahminleri yakın periyot (YP), orta periyot (OP) ve uzak periyot (UP) olmak üzere oluşturulmuştur.

CROPGRO-Kinoa Modelinde Duyarlılık Analizi

İklimin kinoa verimi üzerindeki etkisi oldukça karmaşıktır. kinoa bitkisinin büyümesi ve gelişimi süresince büyüme döneminde farklı şekillerde ve farklı zamanlarda etkileyen birçok iklim değişkeni vardır. Yüksek hava sıcaklığı etkisi kinoada çiçek oluşumuna, Olgunlaşma dönemi gibi faktörlere etki edecektir. Yüksek sıcaklığın bitkinin çiçeklenme gibi fazla duyarlı gelişme dönemlerinde olması daha fazla etki bırakacaktır. İklim, yer, zaman, kinoa çeşit özellikleri ve toprak ortamındaki değişimlere bağlı olarak büyüme tepkisinin ve verim değişikliklerinin ölçülmesi esasen gereklidir. Duyarlılık analizi modelleri değerlendirmenin önemli bir yoludur. Çıktıdaki değişikliklerin girdilerdeki değişikliklerin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olur. Model girdi

değerlerindeki parametreler sistematik olarak değiştirilerek model çıktı değerlerindeki değişiklikleri değerlendirmek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu amaçla model içerisinde yer alan DSSATSens alt modeli ile iklim parametrelerindeki değişikliklere duyarlılığını kontrol edilmiştir. 30 yıllık günlük bazda maksimum ve minimum sıcaklıklar, solar radyasyonu, CO_2 içeren iklim parametreleri kullanılmıştır. Öncelikle duyarlılık analizi yapılacak tüm veri setleri modele tanımlanarak, yüklenmiştir. Ardından veri setindeki değerler belirtilen aralıkta değiştirilerek model çalıştırılmış ve modelin çıktı dosyasında herbir parametrenin artış veya azalması saptanmıştır (Çizelge 3.12).

Duyarlılık analizlerinde seçilen meteorolojik parametreler gerek teksel, gerekse ikili ve üçlü kombinasyonlar halinde gelecekte gerçekleşmesi olası iklim senaryoları arasından seçilmiştir. Bu amaçla sıcaklık değerleri 1, 2, 3 ve 4^{o}C arttırılmıştır. Yağış değerleri mevcut değerlerde %-10, -20, -30 azalması ve %+10,+ 20, +30 artması değerlendirilmiştir. Mevcut 380 ppm olan CO_2 oranının %25, 50, 75 ve 100 artışları değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.12. Duyarlılık Analizinde Kullanılan Meteorolojik Parametreler

Meteorolojik parametre	Açıklama
T	Hava sıcaklığı, ^{o}C
T+1	Hava sıcaklığında 1 °C artış
T+2	Hava sıcaklığında 2 °C artış
T+3	Hava sıcaklığında 3 °C artış
T+4	Hava sıcaklığında 4 °C artış
R	Yağış
-%10 R	Yağış miktarında % 10 azalma
-%20 R	Yağış miktarında % 20 azalma
-%30 R	Yağış miktarında % 30 azalma
+%10 R	Yağış miktarında % 10 artış
+%20 R	Yağış miktarında % 10 artış
+%30 R	Yağış miktarında % 10 artış
CO_2	Karbondioksit konsantrasyonu (atmosferik)
CO_2x1.25	Karbondioksit konsantrasyonunda % 25 artış
CO_2x1.50	Karbondioksit konsantrasyonunda % 50 artış
CO_2x1.75	Karbondioksit konsantrasyonun % 75 artış
CO_2x2.00	Karbondioksit konsantrasyonun % 100 artış

3.2.10. Analiz ve Değerlendirme Metotları

Her deneme yılında kinoa bitkisinden elde edilen toplam verim, verim bileşenleri, hasat indeksi, WUE, IWUE ait bulguların değerlendirilmesi tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre yürütülmüş ve varyans analizleri Yurtsever, (1984)'de belirtilen esaslara göre MSTATC istatistik paket programında yapılmıştır. Uygulamalar arasındaki farklılıkların etkisini görebilmek için konular LSD (Asgari önemli fark) testi ile kontrol edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın arazi çalışması 2014 ve 2015 yıllarında Tarsus'da Sezen ve ark., (2016) tarafından yapılmıştır. Kinoa bitkisinin farklı büyüme periyotları, sulama suyu, ET değerleri, toprak su içeriklerinin dikimden hasada dek değişimi, sulama suyu-ET-verim ilişkileri, verim, WUE, IWUE, bitki boyu, hasat indeksi, yaprak alan indeksi, hastalık gözlemi, verim tepki etmeni ait bulgular elde edilmiştir. Anılan gözlemlere ilişkin istatistiksel analiz sonuçları her bir alt bölümde ayrı ayrı verilmiştir. Kinoa parsellerinden genel görünüm Ek Şekil 1-15'da verilmiştir.

Bu araştırmada Doğu Akdeniz'de 2014 ve 2015 deneme yıllarında Titicaca kinoa çeşidinin genetik katsayılarının kalibre edilmesinden sonra CROPGRO-Kinoa (DSSAT V4.8.2) modelini kullanarak kinoa bitkisinin fenolojisini ve verimini tahmin etmek amacıyla yapılmıştır. Kinoa verimi ve verim bileşenlerine ait ölçülen değerler model tarafından kestirilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, tez için önerilen hedefler kapsamında ilgili bölümlerde açıklanarak sunulmuştur. 2014 yılına ait arazi veriler ile CROPGRO-Kinoa modelinin kalibrasyonu yapılmış, 2015 yılına ait arazi verileri ise modelin değerlendirmesinde kullanılmıştır. Ayrıca, çalışmada olası iklim değişikliğinin kinoa bitkisinde etkilerini belirlemek amacıyla 4 farklı sulama düzeyi ve sulanmayan konu değerlendirilmiştir. İklim değişikliğinin kinoa dane verimine etkilerini Doğu Akdeniz koşullarında belirlemede RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryoları ve 3 Küresel İklim Modeline (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M) ait iklim projeksiyonlarından yararlanılmıştır. Çalışmada gelecek dönemler yakın periyot (YP): 2016-2045, orta periyot (OP):2046-2075 ve uzak periyot (UP):2076-2098 olmak üzere gruplandırılmıştır. İklim değişikliğinin tam sulama, kısıntılı sulama ve susuz koşullarında kinoa dane verimindeki değişimi, bitki gelişim dönemi süresi üzerindeki etkileri de gelecek periyotlar için incelenmiştir. Duyarlılık analizi ile sıcaklığın artışı, yağışın azalması ve artması ile CO_2 'nın artışı uzun yıllık veriler ile değerlendirilmiştir.

4.1. Kinoa Bitkisinin Gelişme Dönemleri

Kinoa bitkisinin gelişme dönemlerinin başlama ve bitiş tarihlerini belirlemede anılan bitkilere ve parsellerin genel durumlarına bakılarak karar verilmiştir. Araştırmada Akdeniz iklim koşullarına iyi adapte olmuş, Danimarka orijinli Titicaca kinoa çeşidi kullanılmıştır. Kinoa büyüme periyotları Jacobsen ve Stolen, (1993)'e göre takip edilmiştir. Bu kapsamda büyüme periyotları erken ve geç vejetatif, çiçeklenme, dane dolumu ve olgunlaşma olarak tanımlanmıştır. Kinoa tohumları serada viyollerde çıkışları sağlanmıştır. Kinoa tohumları birinci ve ikinci deneme yılında sırasıyla 10.03.2014, ve 16.03.2015 tarihinde serada viyollere ekilmiştir. İlk çimlenme 20.03.2014 ve 27.03.2015 tarihinde saptanmıştır. Kinoa fidelerinin araziye şaşırtılması birinci ve ikinci deneme sezonunda 02.04.2014 ve 07.04.2015'de bitki boyu 7-8cm iken yapılmıştır (Ek Şekil 1-4). Erken ve geç vegetatif dönem ilk yıl 08.04.2014 ve 25.04.2014 tarihleri olarak belirlenirken, ikinci yıl ise

13.04.2015 ve 01.05.2015 tarihleri olarak kaydedilmiştir. Çiçeklenme ve dane dolum dönemlerinin başlangıcı sırasıyla ilk yıl 26.05.2014 ve 09.06.2014, ikinci yıl ise 29.05.2015 ve 12.06.2015 olarak gözlenmiştir. Hasatlar ilk yıl 10.07.2014, ikinci yıl ise 03.07.2015 tarihinde yapılmıştır (Çizelge 4.1) (Ek Şekil 12-15).

2014 ve 2015 yıllarında büyüme dönemi açısından çok büyük farklar gözlemlenmemiştir. Ancak, susuz konuda ve I_{25} sulama düzeyinde büyüme periyotlarına varış önceden gerçekleşmiştir. Çizelgede 4.1'de kinoa bitkisinin toplam gelişme periyodu 2014 yılında 100 gün, 2015 yılında ise 88 gün olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Kinoa Bitkisine İlişkin Kimi Gelişme Dönemleri (2014, 2015)

Gelişme Dönemi	Tarih	DAP	Tarih	DAP
Dikim	02.04.2014	1	07.04.2015	1
Erken vejetatif (bitki birkaç yapraklı olduğunda)	08.04.2014	7	13.04.2015	7
Geç vejetatif (bitki sapa kalktığında)	25.04.2014	24	01.05.2015	25
Çiçeklenme	26.05.2014	55	29.05.2015	53
Dane oluşumu (daneler görüldüğünde)	09.06.2014	69	12.06.2015	67
Olgunlaşma	22.06.2014	82	25.06.2015	80
Hasat	10.07.2014	100	03.07.2015	88

DAP: dikimden sonraki gün sayısı

Gęsiński (2008 a,b) İtalya, Yunanistan, İsvec, Danimarka ve Polonya'da kinoa büyüme periyodunu sırasıyla 116, 106, 140, 134 ve 128 gün olarak olarak belirlemişlerdir.

Kinoa bitkisi, su stresine dayanım açısından farklı mekanizmaları vardır. Erken vejetatif dönemdeki su stresine yanıt olarak gelişme periyodu uzarken, geç periyottaki su stresi çabuk olgunlaşma ile sonuçlanmaktadır (Jacobsen ve ark., 2003b). Ayrıca, kinoanın kök yapısı, yaprak dökümü ile yaprak alanını azaltması ve dinamik stoması su stresinin olumsuz etkilerini azaltma yeteneği kazandırmaktadır (Jensen ve ark., 2000).

Pulvento ve ark (2012) İtalya'da iki yıllık yürütülen araştırmada kinoa gelişme periyodunu 96-99 gün olarak saptamıştır. (Sezen ve ark., 2013) Çukurova bölgesinde kinoa bitkisinin ekimden 90-125 gün sonra olgunlaşıp hasada geldiğini belirtmiştir.

4.2. Konulara ait Sulama Suyu Miktarları (mm)

Çalışmada öngörülen tek lateral yağmurlama sulama sistemi ile kinoa bitkisinin erken ve geç vegetatif, çiçeklenme ve dane dolum periyotlarında 60 cm toprak profilinde laterale en yakın konuda (I_{100}) eksik nem tarla kapasitesine getirilmiştir.

Araştırmanın ilk yılında fide dikimi ardından tüm parsellere 20 mm eşit su uygulanmıştır (Ek Şekil 5). Sulama programı 08.04.2014'de başlarken, 09.06.2014 tamamlanmıştır. 2014'de

sulamaların tarihleri, miktarları Çizelge 4.2'de sunulmuştur. Çizelgeden de görüleceği gibi uygulanan sulama suyu değerleri 98 - 330 mm arasındadır.

Çizelge 4.2. Farklı Sulama Düzeylerine Uygulanan Sulama Suyu Miktarları (mm) (2014)

Sulama Zamanı	Sulama suyu, mm				
	I_{100}	I_{75}	I_{50}	I_{25}	I_0
02.04.2014	20	20	20	20	20
08.04.2014	77	59	41	18	-
25.04.2014	69	51	36	17	-
26.05.2014	83	63	45	22	-
09.06.2014	81	60	41	21	-
Toplam	330	253	183	98	20

Deneme ikinci yılında dikim sonrası parsellerde fidelerin tutumunu sağlamak amacıyla tüm deneme konularına 15 mm sulama suyu verilmiştir. Sulama programı 13.04.2015 tarihinde başlarken, 12.06.2015'de tamamlanmıştır. 2015'de sulamaların tarihleri, miktarları Çizelge 4.3'de verilmiştir. Uygulanan sulama suyu değerleri 111 ile 388 mm arasında değişmiştir.

Çizelge 4.3. Farklı Sulama Düzeylerine Uygulanan Sulama Suyu Miktarları (mm) (2015)

Sulama Zamanı	Sulama suyu, mm				
	I_{100}	I_{75}	I_{50}	I_{25}	I_0
07.04.2015	15	15	15	15	15
13.04.2015	102	78	55	26	-
01.05.2015	71	54	41	19	-
29.05.2015	92	70	51	23	-
12.06.2015	109	81	60	28	-
Toplam	388	298	222	111	15

Sezen ve ark (2013) Kinoa bitkisi kuraklığa karşı güçlü bir dayanıklılık mekanizmasına sahiptir. Bitkinin mevsimlik su gereksinimi kumlu-tın ve tınlı-kum topraklarda 250-400 mm arasında değişmektedir. Ekimde toprakta uygun nem içeriği sağlanmalı, gerekirse ekimden önce bir sulama yapılmalıdır. Ekimden sonra bitki büyüme dönemi 2- 3 yaprağa ulaşıncaya kadar sulama yapılmamalıdır. Bu dönemde yapılan aşırı sulamalar fide çökerten (kök çürüklüğü) gibi hastalıklara yol açabilir.

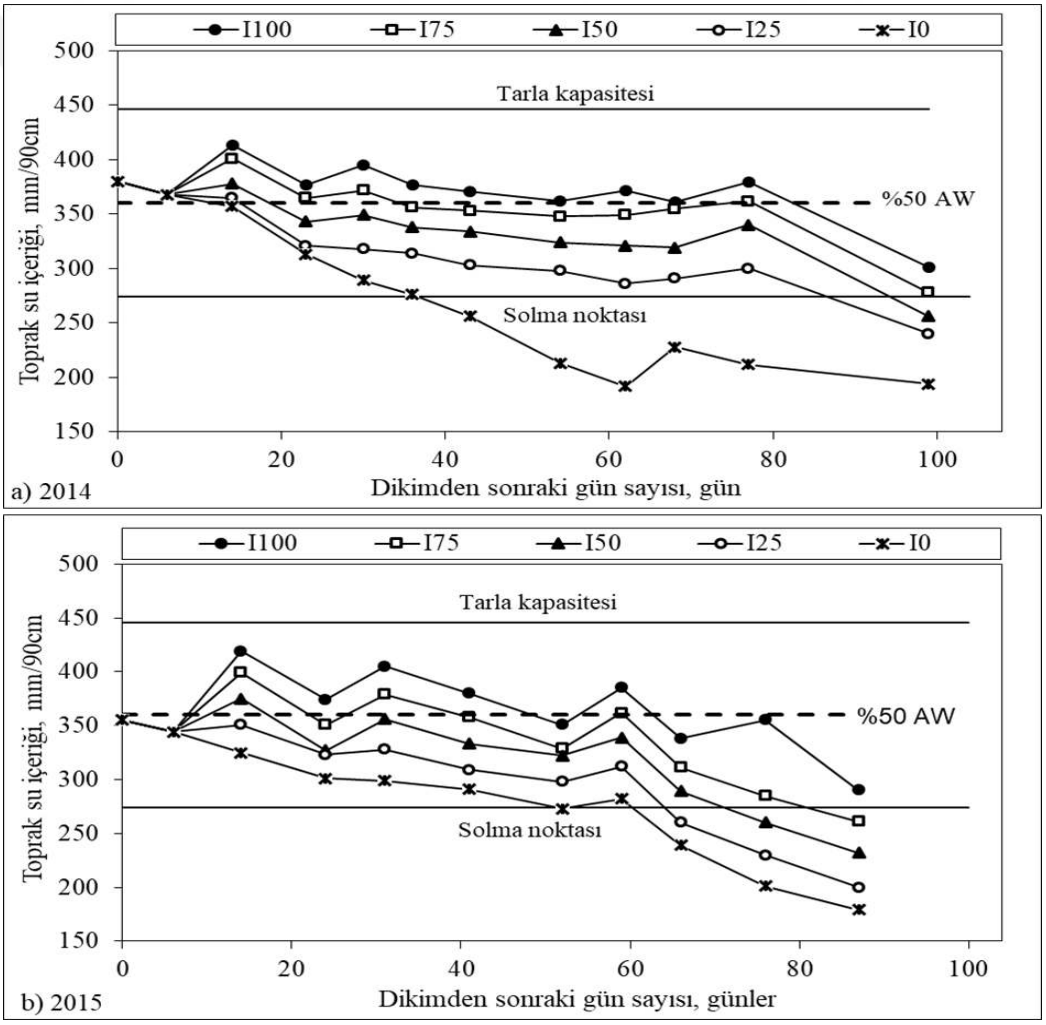
4.3. Toprak Su İçeriği

Araştırmada toprak suyu ölçümleri, 0-30 cm'de gravimetrik (Ek Şekil 6), 30-90 cm'de ise 30 cm'lik profillerde nötronmetre ile 8-10 gün aralığında ölçülmüştür ve 2014 yılında dikim tarihinden (02.04.2014) hasada (10.07.2014) dek yapılmıştır. Deneme konularına ait toprak su içeriğinin zamansal değişimi Şekil 4.1'de sunulmuştur.

Deneme ilk yılında toprak su içeriği susuz konu dışında diğer konularda tarla kapasitesi (TK:446 mm) ile solma noktası (SN:274 mm) arasındadır. I_{100} ve I_{75} parsellerinde mevsim

içerisinde toprak su içeriği daha yüksek iken, I_{50}, I_{25} ve I_0 konuları kullanılabilir nemin %50 düzeyi altındadır (Şekil 4.1a).

Denemenin ikinci yılında tüm konularda toprak suyu ölçümleri, 0-30 cm'de gravimetrik, 30-90 cm'de ise 30 cm'lik derinliklerde nötronmetre ile 8-10 gün aralığında ölçülmüştür ve 2015 yılında dikim tarihinden (07.04.2015) hasada (03.07.2015) dek devam etmiştir. Nötron boruları 90 cm derinliğe parsellerin çakılmıştır. Deneme konularına ait toprak su içeriğinin zamansal değişimi Şekil 4.1b'de sunulmuştur. I_{25} ve susuz konuda toprak su içerisi hasattan yaklaşık 30 gün önce solma noktası altına düşmüştür. Genelde I_{100} ve I_{75} konularında daha yüksek toprak su içeriği belirlenirken, su stresi çeken I_{50}, I_{25} ve susuz konularında daha düşük toprak su içeriği gözlenmiştir. Hasatta I_{100} konusu dışındaki I_{75}, I_{50}, I_{25} ve susuz (I_0) konularında toprak su içeriği %50 kullanılabilir nemin aşağısında yer almıştır (Şekil 4.1b).



Şekil 4.1. a-b. Deneme Konularında İlişkin Toprak Su İçeriğinin Zamana Göre Değişimi (2014) (2015)

4.4. Konulara İlişkin Bitki Su Tüketimi Değerleri

Kinoa bitkisinde mevsimlik su tüketimi değerleri 2014 ve 2015 yılı için Çizelge 4.4'de verilmiştir. Kinoa bitkisinin su tüketiminin saptanmasında su dengesi eşitliğinden yararlanılmıştır. Mevsimlik su tüketimleri 2014 yılında 320-523 mm arasındadır. Artan sulama suyu bitki su tüketimini de arttırmıştır. İlk deneme yılında en düşük ET değerleri kontrol (susuz) konuda 320 mm olarak hesaplanmıştır.

Mevsimlik su tüketimleri 2015 yılında 228-490 mm arasındadır. İkinci, deneme yılında en düşük ET susuz konuda 228 mm olarak belirlenmiştir. Aynı bölgede İncekaya, (2015) en yüksek ET değeri tam sulamada 360 mm olarak hesaplanmıştır. Diğer sulama düzeylerinde ET değerleri 330-343 mm arasında değişmiştir.

Çizelge 4.4. Konulara Ait Bitki Su Tüketimleri (ET) (mm) (2014, 2015)

Deneme yılı	Konular	Kinoa Bitki Su Tüketim Değerleri (ET) (mm)
2014	$I1_{00}$	523a
	I_{75}	469b
	I_{50}	421c
	I_{25}	352d
	I_0	320e
2015	I_{100}	490a
	I_{75}	429b
	I_{50}	382c
	I_{25}	303d
	I_0	228e

$LSD(0,05)_{2014}$=18,85; $LSD(0,05)_{2015}$=13,75

4.5. Kinoa Verimi

Deneme konularına ait kinoa verimleri Çizelge 4.5'de sunulmuştur. Her parselde kenarlarından 2'şer sıra ve baş kısımlarından 1.0 m'lik alanlar çıkarıldıktan sonra geriye kalan bitkiler hasat edilmiştir (8 m²). Hasat edilen bitkiler harmanlanarak elde edilen daneler, hassas terazilerle tartılmış ve parsel verimleri hesaplanmıştır. Ardından, bu parsel verimleri kg/ha cinsine dönüştürülerek birim dane verimleri saptanmıştır. 2014 ve 2015 yılı varyans analizlerinde sulama düzeyi istatistiksel olarak %5 hata seviyesinde konular arasında önemli farklar saptanmıştır. LSD testi Çizelge 4.5'de sunulmuştur. Çizelge'de görüleceği gibi Kinoa dane verimleri ilk yıl ortalama olarak 3615-4700 kg/ha arasındadır. Susuz konuda verim 2500 kg/ha'dır. İkinci yıl ortalama olarak dane verimlerinin 2925-4230 kg/ha arasındadır. Susuz konuda verim 1930 kg/ha'dır.

Çizelgeden de görüleceği gibi her iki deneme yılında istatistiksel olarak %5 hata düzeyinde I_{100} sulama düzeyleri birinci sınıftadır. En düşük kinoa dane verimi susuz konuda belirlenmiştir.

Çizelge 4.5. Kinoa Dane Verimine İlişkin LSD Sınıflandırması (2014, 2015)

Deneme yılı	Konular	Kinoa dane verimi (kg/ha)
2014	I_{100}	4700a
	I_{75}	4542a
	I_{50}	4232b
	I_{25}	3615c
	I_0	2500d
2015	I_{100}	4230a
	I_{75}	4060b
	I_{50}	3748c
	I_{25}	2925d
	I_0	1930e

$LSD(0,05)_{2014}$=185,08; $LSD(0,05)_{2015}$= 34,97

Gęsiński (2008a,b) İtalya, Yunanistan, İsvec, Danimarka ve Polonya'da kinoa ortalama dane verimlerinin sırasıyla 1380, 2260, 260, 340 ve 1650 kg/ha olarak belirlemişlerdir.

İncekaya (2010) Adana'da kinoa bitkisinde dane veriminin 1690-2120 kg/ha değiştiğini belirtmiştir.

Jacobsen (2014) Kinoa'da en yüksek veriminin yetiştirme yapılan bölgenin iklim ve toprak koşullarına, yetiştirme tekniklerine (ekim, gübreleme, sulama vb.) faktörlere bağlı olarak farklılık göstereceğini belirtmiştir. İngiltere'de en yüksek kinoa verimi 6960 kg/ha (Risi ve Galwey.,1991), Bolivya'da 3700 kg/ha kinoa dane verimi elde edilmiştir (Garcia ve ark., 2003b).

İncekaya (2015) Adana'da farklı tuzluluk derecelerindeki sulama suları ve farklı kısıntılı sulama stratejileri kullanılarak damla sulama yöntemiyle sulanan kinoa bitkisinden elde edilen dane verimleri 1280 kg/ha ile 1960 kg/ha arasında değişmiştir.

Danimarka'da tam sulama şartlarında kinoa verimi 3300 kg/ha (Razzaghi ve ark., 2011); İtalya'da ise 1900 ile 3300 kg/ha olarak saptanmıştır (Lavini ve ark., 2014). Değişik kinoa türleri ile yürütülen çalışmalarda örneğin Bolivya'da 3700 kg/ha (Garcia ve ark., 2003b); Şili'de 2600 kg/ha (Martinez ve ark., 2009); Fas'ta ise 3300 kg/ha (Hirich ve ark., 2014a) kinoa verimi alınmıştır. İtalya'da kinoa verimin ekim zamanı ve kullanılan türe göre 1500 - 3400 kg/ha olduğu saptanmıştır (Pulvento ve ark., 2010).

4.6. Kinoa Bitkisinde Su Kullanım (WUE) ve Sulama Suyu Kullanım Randımanı (IWUE)

Konulara göre WUE ve IWUE değerleri 2014 ve 2015 yılı için Çizelge 4.6'de verilmiştir. 2014 ve 2015 yılı varyans analizinde; sulama düzeyi bakımından istatistiksel olarak %5 hata düzeyinde konular arasında önemli farklar saptanmıştır. LSD sonuçları Çizelge 4.6'de sunulmuştur. Çizelge 4.6'de görüleceği gibi WUE değerleri arasında önemli farklar belirlenirken, değerler ilk yıl 0.78-1.03 kg/m^3, ikinci yıl 0.848-0.983 kg/m^3 arasındadır. Maksimum WUE değerleri I_{50} ve I_{25} konularında elde edilmiştir.

IWUE değerleri ise ilk deneme yılında 1.43-3.69 kg/m^3, ikinci deneme yılında ise 1.09-2.52 kg/m^3 arasındadır. Maksimum IWUE değeri 2014 ve 2015'de I_{25} parsellerinde belirlenmiştir.

İncekaya (2015) Adana'da yürütülen araştırmada kinoa'da su kullanma randımanları 0.46 - 0.61 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6. Konulara Göre Su Kullanım (WUE) ve Sulama Suyu Kullanım IWUE) Randıman Değerleri (2014, 2015).

Deneme yılı	Sulama Konuları	Verim Kg/ha	ET (mm)	Sulama Suyu (mm)	WUE kg/m^3	IWUE kg/m^3
2014	I_{100}	4700	523	330	0.90b	1.43d
	I_{75}	4542	469	253	0.97ab	1.80c
	I_{50}	4232	421	183	1.01a	2.31b
	I_{25}	3615	352	98	1.03a	3.69a
	I_0	2500	320	20	0.78c	-
2015	I_{100}	4230	490	388	0.863b	1.09d
	I_{75}	4060	429	298	0.948a	1.36c
	I_{50}	3748	382	222	0.983a	1.69b
	I_{25}	2925	303	116	0.968a	2.52a
	I_0	1930	228	15	0.848b	-

WUE $LSD(0,05)_{2014}$=0,08; WUE $LSD(0,05)_{2015}$=0,045;
IWUE $LSD(0,05)_{2014}$=0,238; $LSD(0,05)_{2015}$=0,029

Bolivya'da yürütülen kinoa araştırmasında su stressiz koşullarda WUE değeri 0.41 kg/m^3; %50 kısıntılı sulamada 0.48 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır (Geerts ve ark., 2008a).

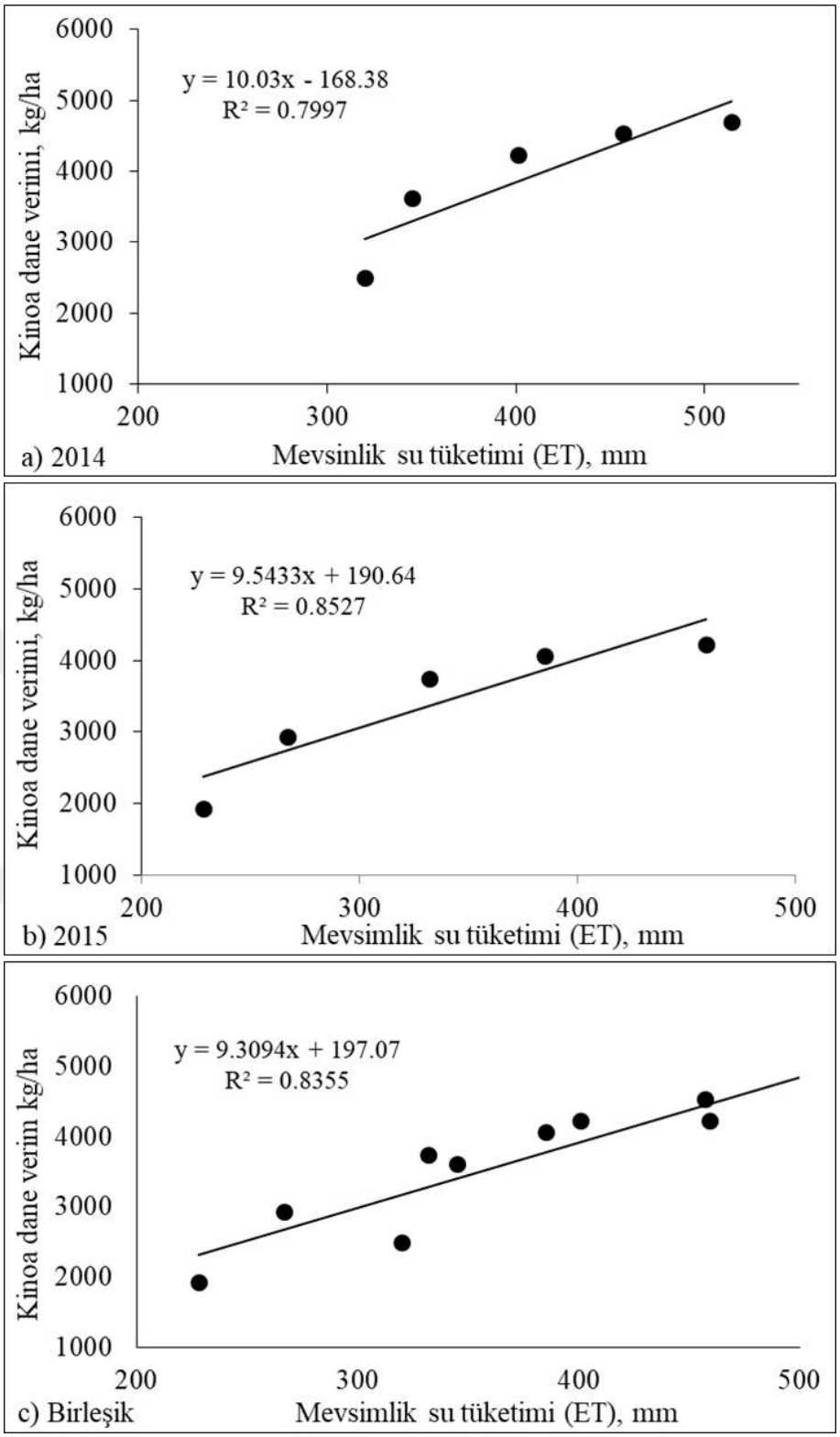
Razzaghi ve ark (2012) Danimarka'da kinoa'da WUE değerlerini 1.08 ile 1.26 kg/m^3 olduğunu, tam sulama şartlarında kinoa ile su stresi koşullarındaki kinoa'da su kullanım randımanı değerleri bakımından farkın önemsiz olduğunu saptamışlardır.

Lavini ve ark (2014) Adana'da kinoa'da su kullanım ranıdmanı 0.45 - 1.39 kg/m^3; sulama suyu kullanım randımanı 0.62 – 1.00 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Hirich ve ark (2014a) kinoanın su stressiz koşulda ve %50 su tasarrufu yapılan kısıntılı sulama konusunda WUE'nin 1.2 ve 1.7 kg/m^3 olduğunu; tam sulamada daha düşük su kullanım randımanı hesaplandığını saptamışlardır.

Kinoada Bitki Su Tüketimi (ET)- Verim İlişkileri (Y)

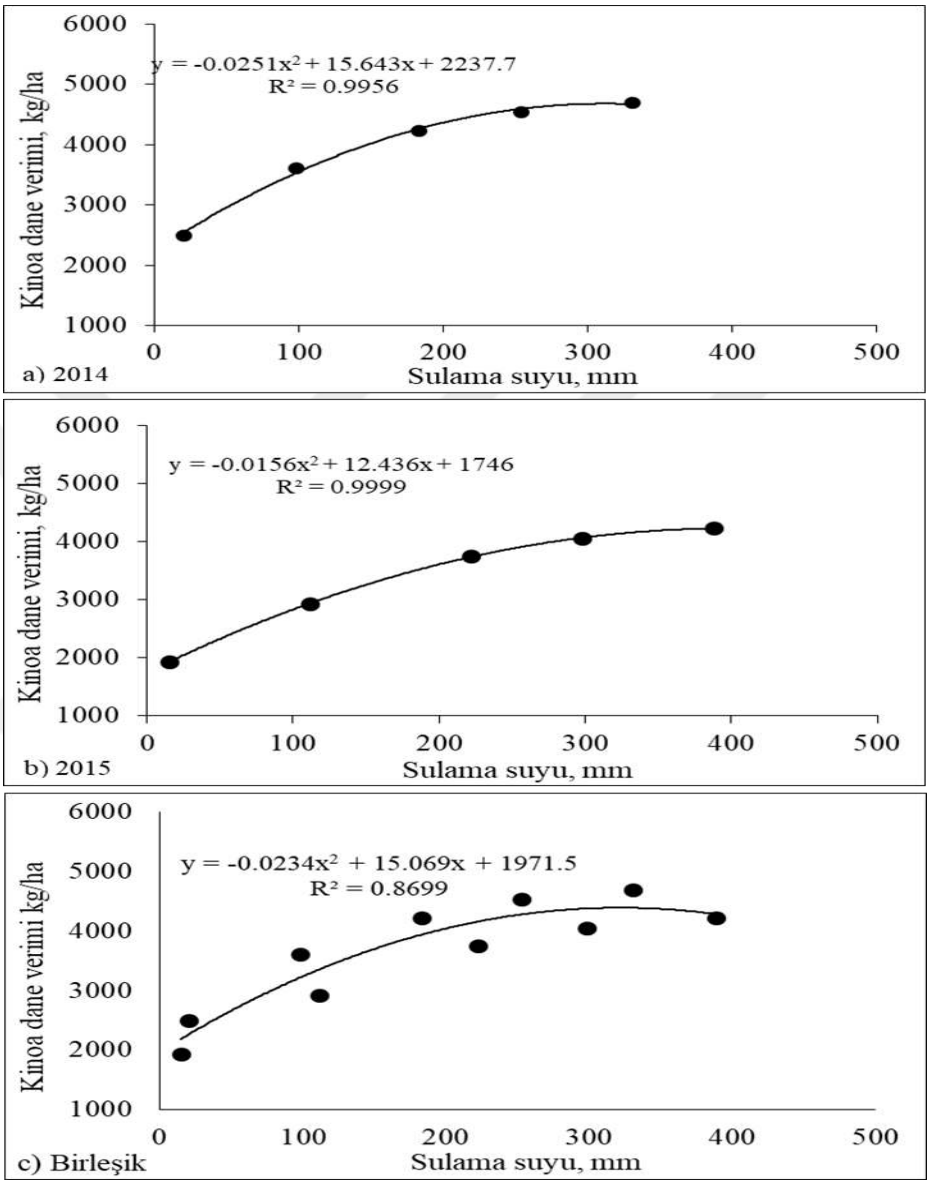
Kinoa bitki su tüketimi (ET) ile dane verimi (Y) arasındaki ilişkiler 2014 ve 2015 deneme için Şekil 4.2a-c'de verilmiştir. Bitki su tüketimi ile verim arasında gerek her bir yıl, gerekse birleşik analizde doğrusal önemli ilişkiler belirlenmiştir. Sulama suyu miktarının artışı, ET değerlerinde belirgin artışa yol açmıştır. Bu artış ile birlikte, kinoa dane veriminde de bir artış gözlemlenmiştir. Benzer bulgular İncekaya (2015) tarafından rapor edilmiştir.



Şekil 4.2 a-c. Kinoa Bitki Su Tüketimi- Verim İlişkisi (2014)(2015)

4.7. Kinoada Sulama Suyu (I) - Verim ilişkileri (Y)

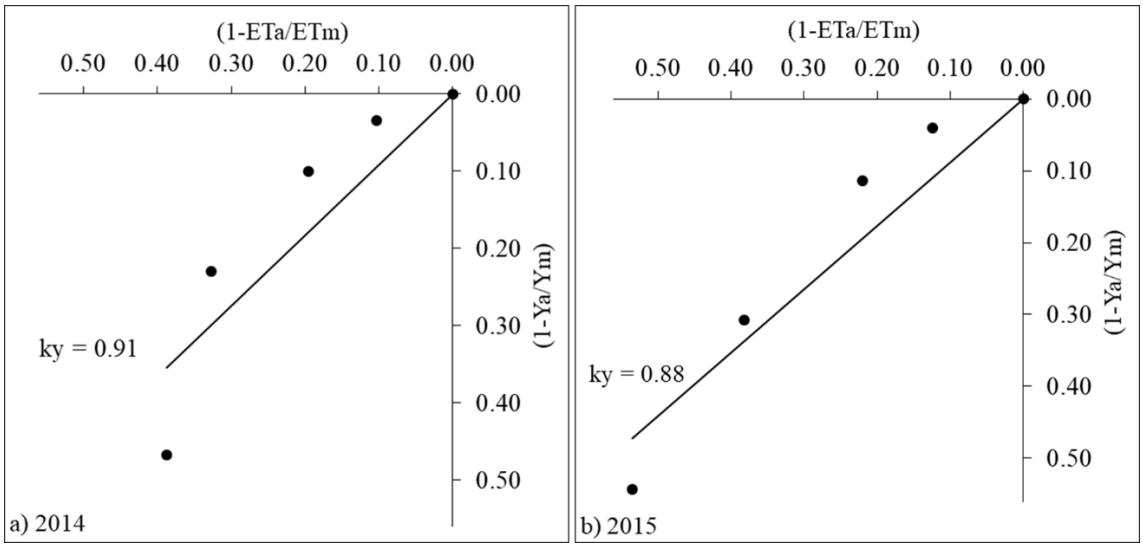
2014 ve 2015 yıllarında sulama suyu (I) ile verim (Y) arasındaki ilişkiler Şekil 4.3a-c'de, sunulmuştur. Sulama suyu ile verim arasında gerek her bir yıl, gerekse birleşik analizde ikinci dereceden önemli ilişkiler belirlenmiştir. Kinoa'da benzer sonuçlar farklı ülkelerde yürütülen araştırmalarda elde edilmiştir (Geerts ve ark., 2008a,b; Lavini ve ark., 2014).



Şekil 4.3 a-c. Kinoa Sulama Suyu- Verim İlişkisi (2014) (2015).

4.8. Kinoada Bitki Üretim Fonksiyonları

Oransal su tüketimi eksikliği ile oransal verim azalışı arasındaki ilişkiye dayanan Stewart eşitliği (Stewart ve ark., 1976) ile verim tepki etmeni (ky) hesaplanmış ve 2014-2015 yılları değerleri Şekil 4.4 a-b gösterilmiştir. İlk yıl ky değeri 0.91 olarak hesaplanırken, ikinci yıl ise ky 0.88 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.4. a-b Kinoa Bitkisinde Verim Tepki Etmeni (2014) (2015)

İncekaya (2015) Adana'da kinoa bitkisinde verim tepki etmenini (ky) 0.96 olarak belirlemiştir. Garcia ve ark. (2003b), Bolivya'da kinoa'da verim tepki etmenini (ky) 0.67 belirlemiştir.

4.9. Kinoa Verim Bileşenlerine İlişkin Sonuçlar

Farklı sulama düzeylerinde kinoa bitkisinde ait bitki boyu, bindane ağırlığı, hasat indeksi üzerine etkileri aşağıda verilmiştir.

4.9.1. Kinoa Bitki Boyu

Her parselden kuru madde miktarını ve yaprak alanını belirlemek amacıyla alınan örneklerde ortalama bitki boyu ölçülmüştür. 2014 ve 2015 yılı varyans analizinde sulama düzeyi bakımından istatistiksel olarak %5 hata düzeyinde önemli farklar saptanmıştır. LSD sonuçları Çizelge 4.7'de sunulmuştur. Çizelge'de görüleceği gibi 2014 yılında Kinoa bitki boyları farklı sulama düzeylerinde ortalama olarak bitki boylarının 60.2-83.7 cm arasında değiştiği görülmektedir. Susuz konuda ise bitki boyu 45.8 cm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.7. Kinoa Bitki Boylarına İlişkin LSD Sınıflandırması (2014, 2015)

Deneme yılı	Konular	Kinoa bitki boyu değerleri (cm)
2014	I_{100}	83.7a
	I_{75}	74.4b
	I_{50}	68.8c
	I_{25}	60.2d
	I_0	45.8e
2015	I_{100}	82.5a
	I_{75}	75.0b
	I_{50}	65.5c
	I_{25}	59.3d
	I_0	43.3e

$LSD(0,05)_{2014}$= 2,69; $LSD(0,05)_{2015}$=2,99

Çizelge 4.7'de görüleceği gibi 2015 yılında kinoa bitki boyları farklı sulama düzeylerinde ortalama 59.3-82.5 cm arasında değiştiği görülmektedir. Susuz konuda ise bitki boyu 43.3 cm olarak ölçülmüştür. Çizelgeden de görüleceği gibi 2014 ve 2015 deneme yıllarında istatistiksel olarak %5 hata sınırında I_{100} sulama düzeyleri birinci sınıfta olup, susuz konu ise son sınıfta yer almıştır.

İtalya'da kinoa bitkisinde bitki boyları 91-113cm (Pulvento ve ark., 2010), Adana'da 116-130 cm arasında (İncekaya, 2010) olduğunu saptamıştır. Adana koşullarında bir diğer çalışmada bitki boyların 41-59 cm arasında olduğunu belirlemiştir (İncekaya, 2015).

4.9.2. Kinoa Bindane Ağırlığı (g)

Kinoa bindane ağırlığına ilişkin varyans analiz sonuçları incelendiğinde 2014 ve 2015 yılında sulama düzeylerinde istatistiksel olarak %5 hata düzeyinde önemli farklılıklar saptanmıştır. LSD testi sonuçları Çizelge 4.8'de sunulmuştur. Çizelge'de görüleceği gibi kinoa bindane ağırlıkları farklı sulama düzeylerinde 2014 yılında konularda 2.70- 3.88 g arasındadır. Susuz konuda bindane 2.40 g olarak belirlenmiştir. 2015 yılında ortalama olarak bindane ağırlıklarının 2.30- 3.60 g arasındadır. Susuz konuda ise bindane 1.80 g olarak saptanmıştır. Çizelgeden de görüleceği gibi 2014 ve 2015 deneme yıllarında istatistiksel olarak %5 hata sınırında I_{100} sulama düzeyleri birinci sınıfta, susuz konuda son sınıfta yer almıştır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Kinoa Bindane Ağırlıklarına İlişkin LSD Sınıflandırması (2014, 2015)

Deneme yılı	Konular	Kinoa bindane ağırlığı (g)
2014	I_{100}	3.88a
	I_{75}	3.48b
	I_{50}	3.28b
	I_{25}	2.70c
	I_0	2.40c
2015	I_{100}	3.60a
	I_{75}	3.30b
	I_{50}	3.13b
	I_{25}	2.30c
	I_0	1.80d

$LSD(0,05)_{2014}$= 0,3; 3; $LSD(0,05)_{2015}$= 0,297

Kinoa'da bindane değerlerinin su stresine bağlı olarak farklı iklimlerde yürütülen çalışmalarda 1.9 - 4.3g (Koziol, 1993); 3.2 ile 5.8 g (Geerts ve ark., 2008a-b); 2.5 - 3.4 g (Delgado ve ark., 2009); 2.1 ile 2.6 g (İncekaya, 2010); 2.44 - 2.67 g (Pulvento ve ark., (2012); 2.1 g ile 3.2 g (Yazar ve ark., 2012) olduğunu belirtmişlerdir.

4.9.3. Kinoada Hasat İndeksi (HI)

Birim alandaki kinoa dane veriminin toplam biyomasa bölünmesi ile hesaplanan hasat indeksi (HI) Beadle (1985)'e göre hesaplanmıştır.

Deneme konularından elde edilen kinoa hasat indeksine (HI) ilişkin varyans analiz sonucunda sulama düzeyleri bakımından %5 hata düzeyinde önemli farklar saptanmıştır. LSD testinde kinoa HI değerleri farklı sulama düzeylerinde 2014 yılında 28.9-34.4 cm arasında, 2015 yılında ise 23.7-33.8 cm olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.9). 2014 ve 2015 sezonunda artan sulama suyu ile HI değerleri artış göstermiş, farklı su düzeyi arasında istatistiksel olarak önemli farklar saptanmıştır. Her iki deneme yılında I_{100} sulama düzeyleri ilk grupta yer alırken, da susuz konu (25.6 ve 22.1) son grupta kalmıştır.

Çizelge 4.9. Kinoa HI Değerlerine İlişkin LSD Sınıflandırması (2014, 2015)

Deneme yılı	Konular	Kinoa HI değerleri
2014	I_{100}	34.4a
	I_{75}	31.4b
	I_{50}	30.5bc
	I_{25}	28.9c
	I_0	25.6d
2015	I_{100}	33.8a
	I_{75}	32.1b
	I_{50}	27.7c
	I_{25}	23.7d
	I_0	22.1e

$LSD(0,05)_{2014}$= 1,64; LSD(0,05)2015=1,33

Kinoa'da HI değerleri farklı ülkelerde yürütülen araştırmalarda önemli farklılıklar göstermektedir. Bolivya'da 0.63 (Geerts ve ark., 2006), Patacamaya'da 0.49; Adana'da 0.39-0.42 (İncekaya, 2010) Fas'ta 0.56 (Hirich ve ark., 2013); İtalya'da 0.31 - 0.57 (Pulvento ve ark., 2010). Lavini ve ark. (2014), HI değerlerinin İtalya'da 0.30 ile 0.57, Türkiye'de 0.48 ile 0.59; Fas'ta ise 0.24 ile 0.51olarak saptamışlardır. İncekaya (2015) kinoa'da konulara göre HI'ları 0.29 ile 0.36 arasında olduğunu belirtmiştir.

4.10. Kinoada Yaprak Alan İndeksi (LAI)

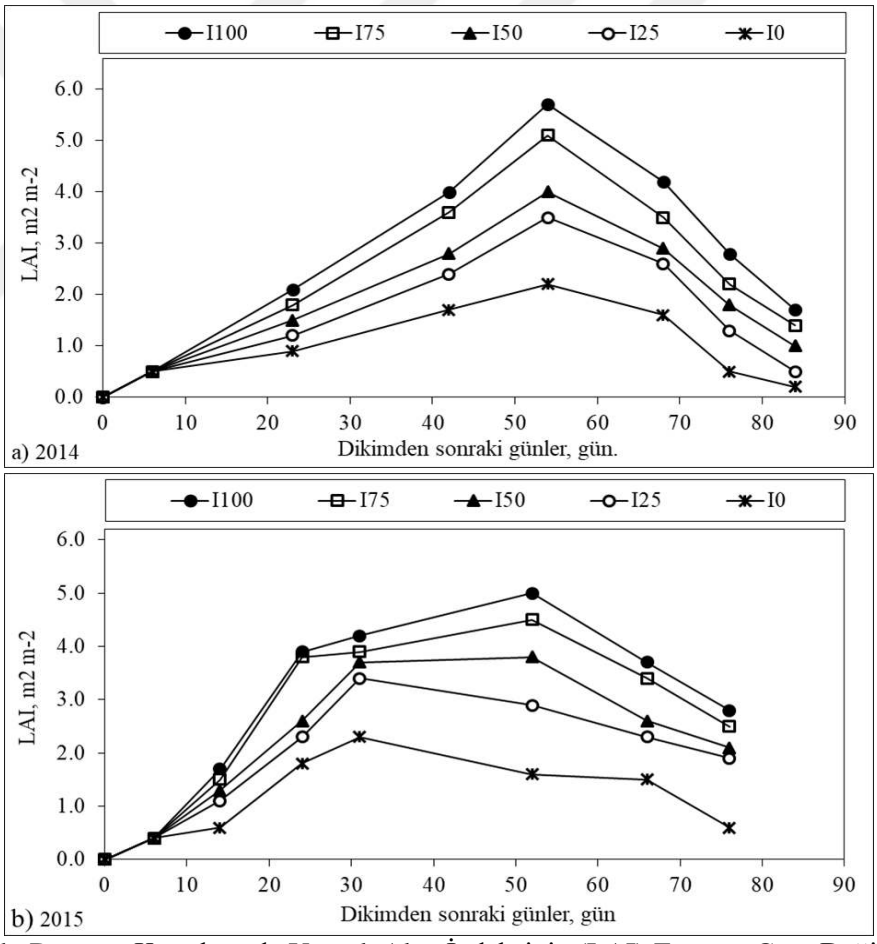
Araştırma süresince yaprak alanları yaprak alan ölçer ile ile belirlenerek, LAI değerleri belirlenmiştir. Herbir konunun LAI değerlerinin mevsim içerisindeki değişimi 2014, 2015 yılları için Şekil 4.5 a-b'de sunulmuştur. Herbir konuda en yüksek LAI'ler 2014'de 2.2-5.7 arasında değişmiştir. 2015 yılında 2.3-5.0 arasında değişmiştir (Çizelge 4.10). Maksimum LAI değerleri kinoa bitkisinde çiçeklenme döneminde ulaşılmıştır. Ardından hasada doğru LAI azalmıştır. Susuz konuda en düşük LAI belirlenmiştir. Benzer sonuçlar İncekaya (2015) tarafından Adana'da belirlenirken, Kinoa bitkisinde en yüksek LAI değeri 2.5 olarak saptanmıştır.

Çizelge 4. 11 Kinoa Maksimum LAI Değerlerine İlişkin LSD Sınıflandırması (2014, 2015)

Deneme yılı	Konular	Kinoa maksimum LAI değerleri
2014	I_{100}	5.7a
	I_{75}	5.1b
	I_{50}	4.0c
	I_{25}	3.5d
	I_0	2.2e
2015	I_{100}	5.0a
	I_{75}	4.5b
	I_{50}	3.8c
	I_{25}	3.4c
	I_0	2.3d

$LSD(0,05)_{2014}$= 0.27; LSD(0,05)2015=0.441

Lavini ve ark (2014) kinoa'da su stressiz koşullarda LAI'i 2.8 ölçmüştür.



Şekil 4.5 a-b. Deneme Konularında Yaprak Alan İndeksinin (LAI) Zamana Göre Değişimi (2014) (2015)

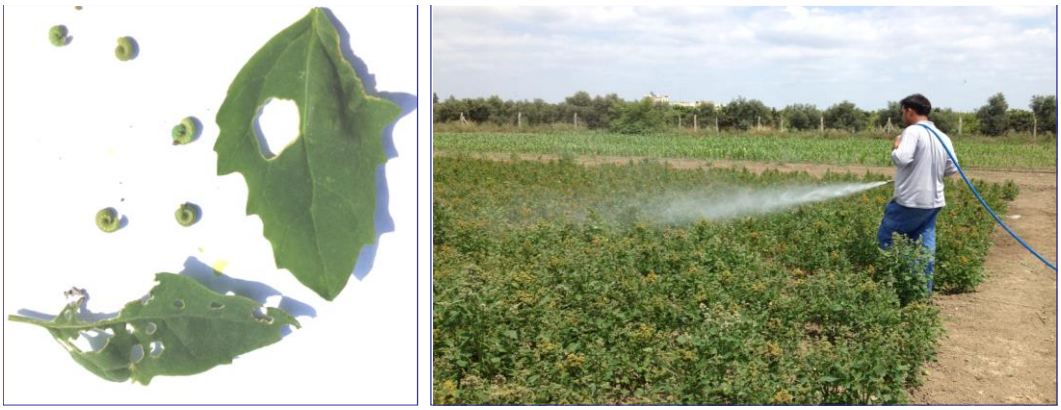
4.11. Kinoada Hastalık Gözlemi, Patojenlerin İzolasyonu ve Tanısı

Kinoa bitkilerinin dikiminden itibaren bitki koruma problemleri açısından izlenerek, ihtiyaç olduğunda kültürel ve kimyasal mücadeleler projede Adana Biyolojik Mücadele Araştırma

İstasyonundan görevli araştırıcı tarafından yapılmıştır. Deneme parsellerinde hastalıklar açısından herhangi bir soruna rastlanmamıştır. Hastalık belirtisi gösteren çok az bitkide ise herhangi bir mücadeleye gerek duyulmamıştır.

Dikimden sonra ilk yıl 03.04.2014, ikinci yıl 10.04.2015'de deneme parsellerinde Danaburnu (Gryllotalpa gryllotalpa) zararlısına rastlanmış ve zararlı ile mücadele için Chlorpyriphos-ethyl, %25 WP 400 g kepekli yem uygulaması yapılmıştır. Ayrıca, her iki yılda deneme parsellerinde yoğun olarak Pamuk Çizgili Yaprak Kurdu (Spodoptera exiqua) zararlısına rastlanmıştır (Şekil 4.6). Ülkemizde Kinoa bitkisine ruhsatlı preparat bulunmaması nedeniyle zararlı ekonomik zarar seviyesine ulaştığı için Malathion etkili maddeli kimyasal zararlı ile mücadelede ilk yıl 28.04.2014 ve 14.05 2014 tarihlerinde 2 kez uygulanmıştır. İkinci yıl ise aynı kimyasal 04.05.2015 ve 20.05 2015 tarihlerinde 2 kez uygulanmıştır (Şekil 4.6,) (Şekil 4.7).

Şekil 4.6. Denemede Pamuk Çizgili Yaprak Kurdu Zararlısı ve Kinoa Bitkisi Üzerindeki Etkisi (2014)



Şekil 4.7. Denemede Pamuk Çizgili Yaprak Kurdu Zararlısı Etkisi ve Mücadelesi (2015)

4.12. CROPGRO-Kinoa Modeli Simülasyon Sonuçları

4.12.1. Kinoa Titicaca Çeşidine ait Genetik Katsayılar

CROPGRO-Kinoa V4.8.2 modelinde bulunan genotip dosyasında, her bir kinoa çeşidinin büyüme ve gelişim özelliklerini tanımlayan genetik parametreler yer almaktadır. Ancak, her bir çeşide ait bu genetik parametrelerin modelde kullanılabilmesi ve bitkinin büyüme ile gelişiminin doğru bir şekilde öngörülebilmesi için çalışmanın yapıldığı ortamlarda kalibrasyonun gerçekleştirilmesi gereklidir. CROPGRO-kinoa modelinde her bir kinoa çeşidi için 18 genetik parametre kullanılmaktadır (Präger ve ark., 2019) (Çizelge 4.11).

.

Çizelge 4.11. CROPGRO-Kinoa Modelinde ait Genetik Katsayılar

Katsayı	Açıklamalar	Değeri	Kullanım aralığı
CSDL	Kritik kısa gün uzunluğu (reproduktive dönemde), h	14.35	14.25-24.35
PPSEN	Bitki gelişimin fotoperiyoda zamanla oransal tepkisi, 1/h	0.010	0.006-2.03
EMFL	Bitki çimlenmesi ile çiçek görünümü süresi (R1), fototermal gün	33.0	8-38
FLSH	İlk çiçek oluşumu-ilk kapsül oluşum süresi (R3), fototermal gün	3.0	1-8.50
FL-SD	İlk çiçek oluşumu ile ilk dane oluşum süresi (R5), fototermal gün	9.0	6.0-21.00
SD-PM	İlk tohum (R5) ile fizyolojik olgunluk (R7) süresi, fototermal gün	20.00	25-45
FL-LF	İlk çiçek oluşumu (R1)-yaprak büyümesinin durması süresi,	35.00	20-40.00
LFMAX	En yüksek fotosentez oranı (30 ^{o} C, 350 ppm CO_2), mg CO_2 m $^{2\ -s}$	1.747	0.75-3.25
SLAVR	Standart koşullarda yaprak alanı, $cm^{2\ g-1}$	300	225-325
SIZLF	En yüksek tam yaprak boyutu, cm^2	8.0	6.0-16.00
XFRT	Maksimum günlük büyüme oranı (tohum + kabuk), g	1.20	0.97-1.97
WTPSD	En yüksek tohum ağırlığı, g	0.065	0.050-1.05
SFDUR	Tablada tohum doldurma süresi, fototermal gün	25.0	20-30.00
SDPDV	Tabla başına ortalama tohum sayısı, sayı/kapsül	2.50	2.00-4.5
PODUR	Tabla oluşumu için geçen optimum süre, fototermal gün	17.0	14-19.00
THRSH	Tohum/(tohum+ kabuk yüzdesi) %'si	84.0	70-120
SDPRO	Tohumdaki protein kısmı (g(protein)/g(tohum))	164	130-175
SDLIP	Tohumdaki yağ kısmı (g(yağ)/g(tohum))	0.60	0.50-1.75

Kinoa çeşidine ait genetik katsayıların belirlenmesi sürecinde, CROPGRO-Kinoa modelinden daha doğru sonuçlar elde edebilmek için, hem çeşide özgü deneme koşullarını daha iyi yansıtacak ekotipe bağlı genetik katsayılar hem de türe özgü genetik parametreler üzerinde kalibrasyon gerçekleştirilmiştir. Ekotipe dayalı kalibrasyon sonucu elde edilen genetik katsayılar Çizelge 4.12'de sunulmuştur.

Kalibrasyon sürecinde, CROPGRO-Kinoa modelinden elde edilebilecek en iyi ve kabul edilebilir sonuçları sağlamak amacıyla, kinoa türüne ait genetik parametrelerde bazı düzenlemeler yapılmıştır.

Çizelge 4.12. CROPGRO-Kinoa Modelinde Ekotipi Ait Genetik Katsayılar

Genetik Katsayı	Değeri	Genetik Katsayı	Değeri
THVAR	0	R7-R8	12.0
PL-EM	3.2	FL-VS	20
EM-V1	2.0	TRIFL	0.90
V1-JU	0.0	RWDTH	1.0
JU-R0	5.0	RHGHT	1.0
PMO6	0.0	R1PPO	189
PM09	0.35	OPTBI	18
LNGSH	10.0	SLOBI	0.28

4.12.2. Kinoa Bitkisinde Ölçülen ve Tahmini Çiçeklenmeye Ulaşma Zamanları (ÇUZ)

2014 yılına ait farklı sulama düzeylerinde ve susuz koşullarda ölçülen ve tahmin edilen çiçeklenmeye ulaşma zamanları Çizelge 4.13'te verilmiştir. Sonuç olarak, farklı sulama düzeylerinde susuz koşullarında çiçeklenmeye ulaşma süresi için ölçülen gün sayısının 43 ile 51 gün arasında değiştiği, model tarafından tahmin edilen değerlerin ise 49 gün olduğu belirlenmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen çiçeklenmeye ulaşma süreleri arasındaki hata oranının % -13.9 ile % +3.9 arasında değiştiği görülmüştür. RMSE ve $RMSE_n$ değerleri 2014 yılı için sırasıyla 3.77 gün ve %8.16 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Sulama Düzeylerinde Kinoanın Çiçeklenmeye Ulaşma Zamanları (2014) (ÇUZ)

Konular	Ölçülen ÇUZ gün	Tahmini ÇUZ gün	Hata (%)
I_{100}	51	49	3.9
I_{75}	50	49	2.0
I_{50}	47	49	-4.2
I_{25}	45	49	-8.9
I_0	43	49	-13.9
RMSE: 3.77 gün		$RMSE_n$: %8.16	

2015 yılına ait ölçülen ve tahmin edilen çiçeklenmeye ulaşma zamanları, farklı sulama seviyeleri ve susuz koşullar için Çizelge 4.14'te gösterilmiştir. Sonuç olarak, çiçeklenme süresine ilişkin ölçülen değerlerin farklı sulama düzeylerinde ve susuz koşullarda 45 ile 53 gün arasında değiştiği, tahmin edilen değerlerin ise tüm konularda 51 gün olduğu tespit edilmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen çiçeklenme süreleri arasındaki hata oranı % -13.3 ile % +3.8 arasında değişmiştir. RMSE ve $RMSE_n$ değerleri 2015 yılı için sırasıyla 3.49 gün ve %7.09 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.14. Farklı Sulama Düzeylerinde Kinoanın Çiçeklenmeye Ulaşma Zamanları (2015) (ÇUZ)

Konular	Ölçülen ÇUZ gün	Tahmini ÇUZ gün	Hata (%)
I_{100}	53	51	3.8
I_{75}	52	51	1.9
I_{50}	49	51	-4.1
I_{25}	47	51	-8.5
I_0	45	51	-13.3
RMSE: 3.49 gün		$RMSE_n$: %7.09	

4.12.3. Kinoa Bitkisinde Ölçülen ve Tahmini Olgunluğa Ulaşma Zamanları (OUZ)

2014 yılına ait ölçülen ve tahmin edilen olgunlaşmaya ulaşma zamanları, farklı sulama düzeylerinde ve susuz koşullarda Çizelge 4.15'te gösterilmiştir. Sonuç olarak, farklı sulama düzeylerinde ve susuz koşullarda ölçülen olgunlaşmaya ulaşma sürelerinin 73 ile 82 gün arasında değiştiği, tahmin edilen sürenin ise 79 gün olduğu tespit edilmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen olgunlaşmaya ulaşma süreleri arasındaki hata oranı % -8.2 ile % 3.7 arasında değişmiştir. RMSE ve $RMSE_n$ değerleri 2014 yılı için sırasıyla 3.42 gün ve %4.46 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.15. Farklı Sulama Düzeylerinde Kinoanın Olgunluğa Ulaşma Zamanları (OUZ) (2014)

Konular	Ölçülen OUZ gün	Tahmini OUZ gün	Hata (%)
I_{100}	82	79	3.7
I_{75}	80	79	1.3
I_{50}	78	79	-1.3
I_{25}	76	79	-3.9
I_0	73	79	-8.2
RMSE: 3.42 gün		$RMSE_n$: %4.46	

2015 yılına ait ölçülen ve tahmin edilen olgunlaşmayaa ulaşma zamanları, farklı sulama düzeylerinde ve susuz koşullarda Çizelge 4.16'da verilmiştir. Sonuç olarak, olgunlaşmaya ulaşma zamanı için ölçülen değerlerin 72 ile 81 gün arasında değiştiği, tahmin edilen olgunlaşmaya ulaşma sürelerin ise tüm konularda 80, susuz konuda ise 79 olduğu belirlenmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen olgunlaşmaya ulaşma zamanları arasındaki hata oranı % -9.7 ile % +1.2 arasında değişmiştir. RMSE ve $RMSE_n$ değerleri 2015 yılı için sırasıyla 4.09 gün ve %5.32 olarak hesaplanmıştır. Buradan CROPGRO-Kinoa modeli ile farklı sulama düzeylerinde ve susuz koşullarda kombinasyonlarında kinoa olgunluğa ulaşma zamanını simüle etmede iyi performans göstermiştir.

Çizelge 4.16. Farklı Sulama Düzeylerinde Olgunluğa Ulaşma Zamanları (OUZ) (2015)

Konular	Ölçülen OUZ gün	Tahmini OUZ gün	Hata (%)
I_{100}	81	80	1.2
I_{75}	80	80	0.0
I_{50}	77	80	-3.9
I_{25}	75	80	-6.6
I_0	72	79	-9.7
RMSE: 4.09 gün		$RMSE_n$: % 5.32	

4.12.4. Kinoa Bitkisinde Ölçülen ve Tahmini Verim Değerleri

2014 yılına ait ölçülen ve tahmin edilen kinoa verim değerleri, farklı sulama düzeylerinde ve susuz koşullarda Çizelge 4.17'de verilmiştir. Sonuç olarak, ölçülen verim değerlerinin farklı sulama düzeylerinde ve susuz koşullarda 2500 ile 4700 kg/ha arasında değiştiği, tahmin kinoa edilen verimlerin ise 3147 ile 4364 kg/ha arasında olduğu tespit edilmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen verim

değerleri arasındaki hata oranı % -25.9 ile % +7.1 arasında değişiklik göstermiştir. RMSE ve $RMSE_n$ değerleri 2014 yılı için sırasıyla 350.6 kg/ha ve %9.4 hesaplanmıştır.

Çizelge 4.17. Sulama Düzeylerinde Ölçulen ve Tahmini Verim Değerleri (2014)

Konular	Ölçülen Verim, kg/ha	Tahmini Verim, kg/ha	Hata (%)
I_{100}	4700	4364	7.1
I_{75}	4540	4358	4.0
I_{50}	4230	4353	-2.9
I_{25}	3620	3462	4.4
I_0	2500	3147	-25.9
RMSE: 350.6 kg/ha		$RMSE_n$: %9.4	

2015 yılı için ölçülen ve tahmini kinoa verim değerleri farklı sulama düzeylerinde ve susuz koşullarda Çizelge 4.18'de sunulmuştur. Sonuçta, farklı sulama düzeylerinde susuz koşullarda verim değerleri için ölçülen verimlerin 1930 ila 4230 kg/ha arasında değiştiği, tahmini değerleri ise 2148 ile 3630 kg/ha arasında olduğu belirlenmiştir. Ölçülen ve tahmini edilen kinoa verim değerleri arasında % hata değeri -11.3 ile +14.2 arasında değişmiştir. RMSE ve $RMSE_n$ değeri 2015 yılı için 400.5 kg/ ha ve %11.8 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.18. Farklı Sulama Düzeylerinde Ölçulen ve Tahmini Verim Değerleri (2015)

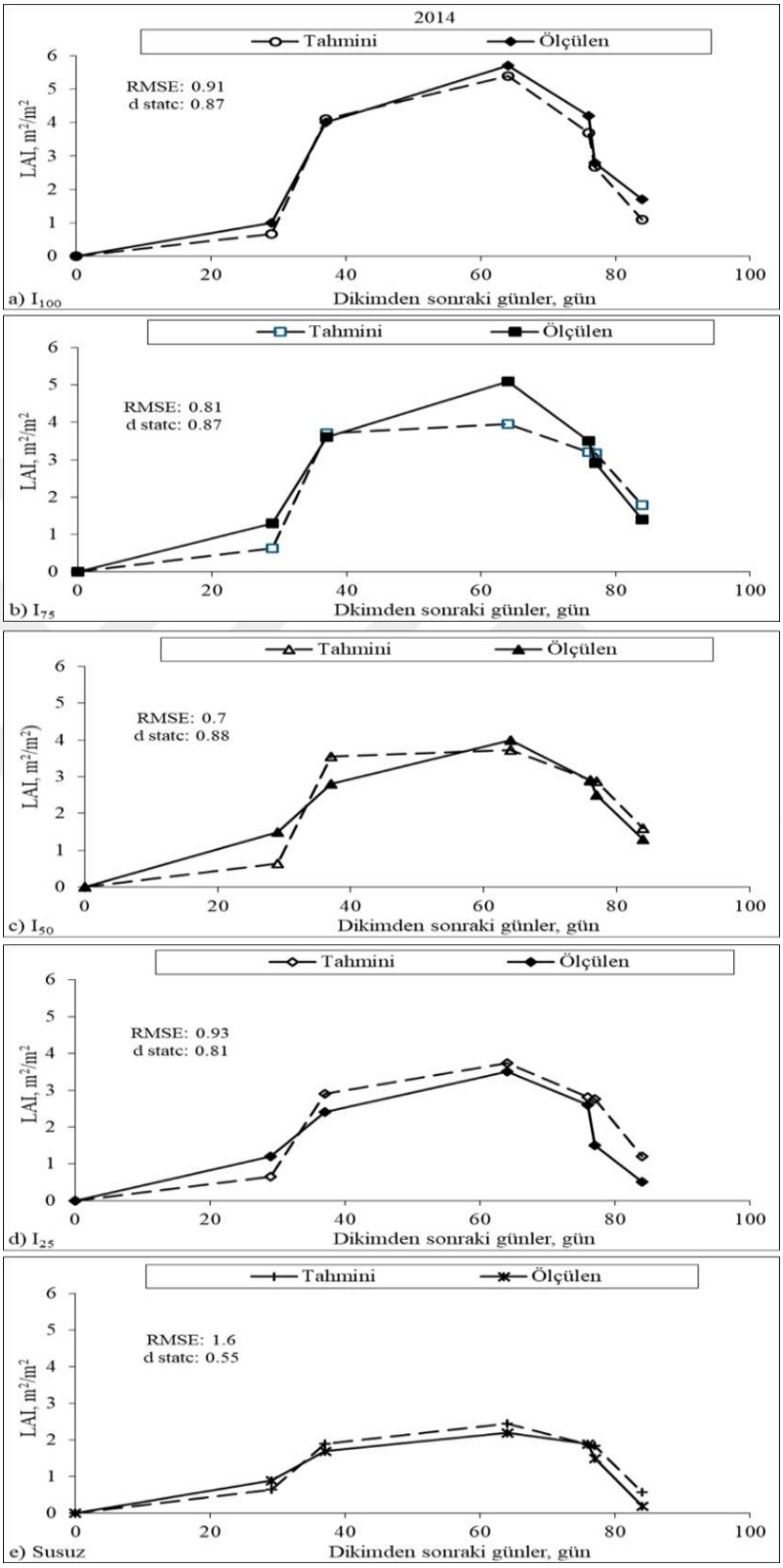
Konular	Ölçülen Verim, kg/ha	Tahmini Verim, kg/ha	Hata (%)
I_{100}	4230	3630	14.2
I_{75}	4060	3539	12.8
I_{50}	3750	3528	5.9
I_{25}	2930	2654	9.4
I_0	1930	2148	-11.3
RMSE: 400.5 kg/ha		$RMSE_n$: %11.8	

4.12.5. Kinoa Bitkisinde Ölçülen ve Tahmini Yaprak Alan İndeksleri (LAI)

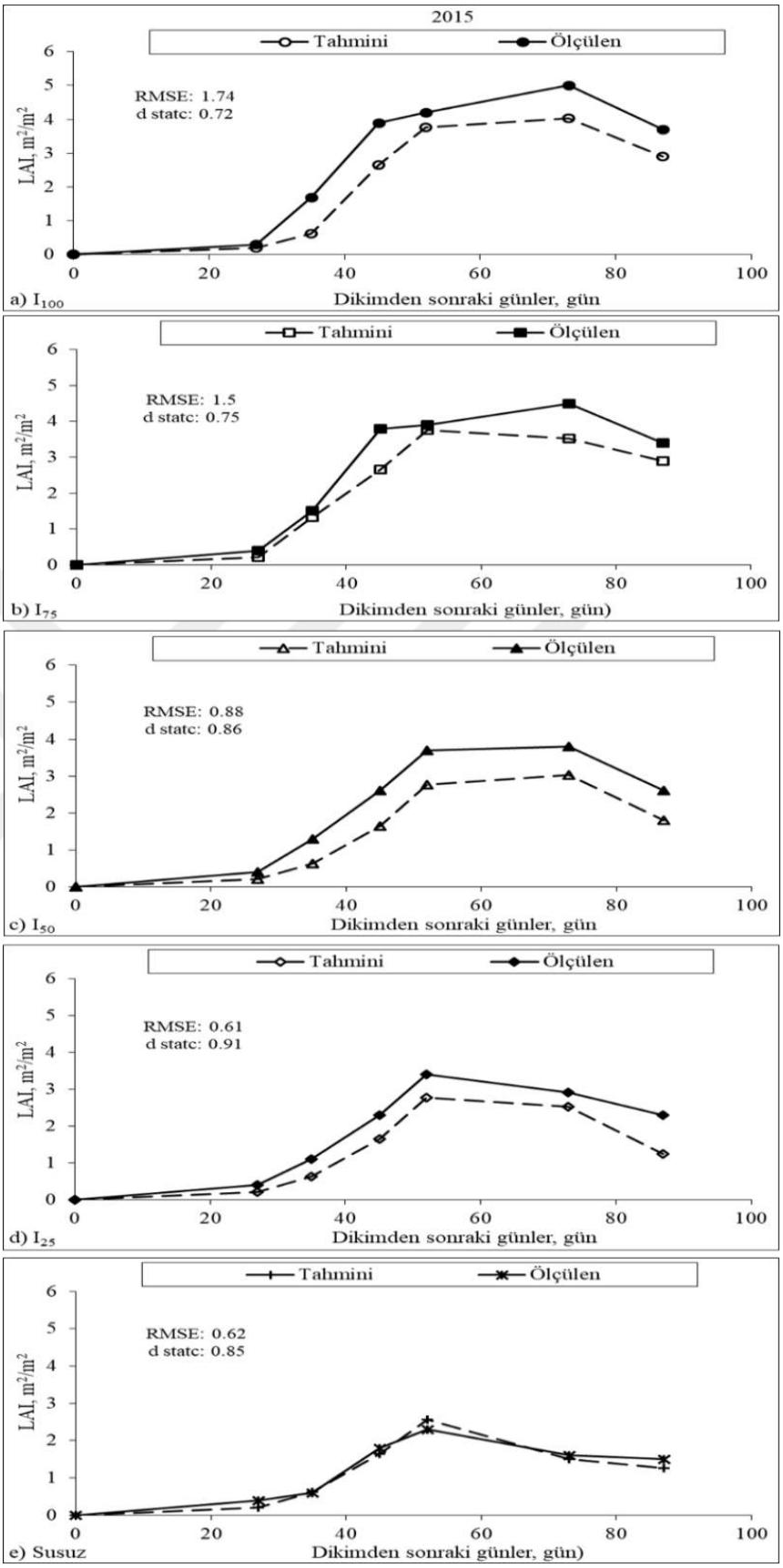
2014 yılına ait farklı sulama düzeylerinde LAI değerlerine ilişkin RMSE değerleri 0.7 ile 0.93 arasında değişirken, d-Stat (standart sapma) değerleri ise 0.81 ile 0.88 arasında belirlenmiştir. Susuz koşullarda ise RMSE değeri 1.6, d-Stat değeri ise 0.55 olarak saptamıştır. Genel olarak, sulama I_{100},I_{75}, ve I_{50} düzeylerinde ölçülen LAI değerlerinin tahmin edilen LAI değerlerinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. I_{25} ve susuz konuda ise tahmini LAI değerleri daha yüksek belirlenmiştir (Şekil 4.8a-e).

2015 yılına ait ölçülen ve tahmin edilen kinoa yaprak alan indeksi (LAI) değerlerine ilişkin RMSE değerleri 0.61 ile 1.74 arasında değişirken, d-Stat (standart sapma) değerleri 0.72 ile 0.91 arasında belirlenmiştir. Susuz koşullarda RMSE değeri 0.62, d-Stat değeri ise 0.85 olarak tespit edilmiştir. Tüm deneme konularda ölçülen LAI değerleri tahmini LAI değerlerinden daha yüksek belirlenmiştir. (Şekil 4.9a-e).

Zhao ve ark (2019) Çinde APEX modelin farklı sulama rejimleri ve yönetim koşulları altında yerfıstığının LAI'sini simüle etmede tatmin edici bir performans gösterdiğini belirtmiştir.



Şekil 4.8 a-e. Farklı Sulama Düzeylerinde Ölçülen ve Tahmini Kinoa LAI Değerlerinin Zamansal Değişimi (2014).



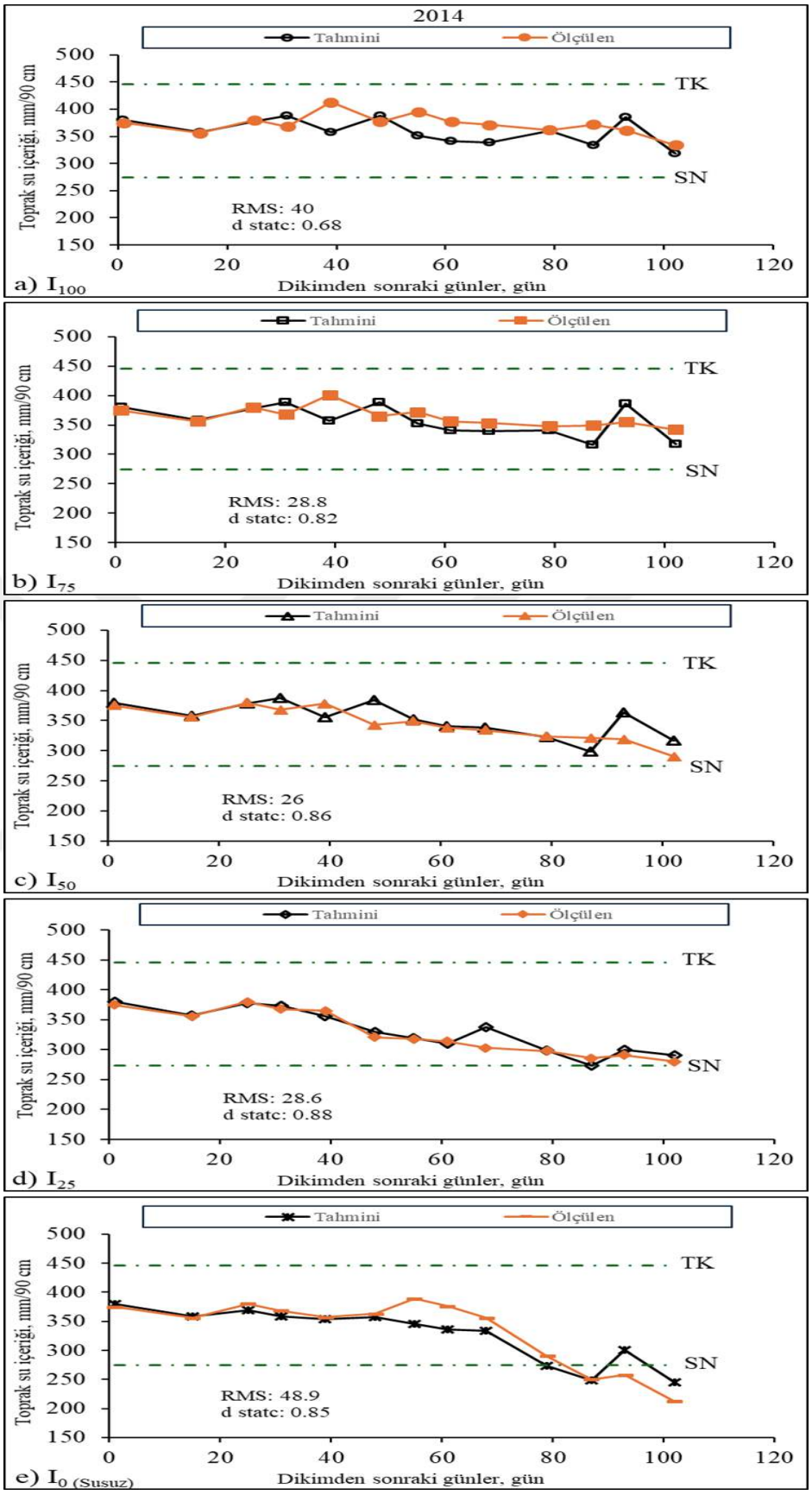
Şekil 4.9 a-e. Farklı Sulama Düzeylerinde Ölçülen ve Tahmini Kinoa LAI Değerlerinin Zamansal Değişimi (2015)

4.12.6. Kinoa Bitkisinde Farklı Sulama Düzeylerinde Ölçülen ve Tahmini Toprak Nem İçeriği Değerleri

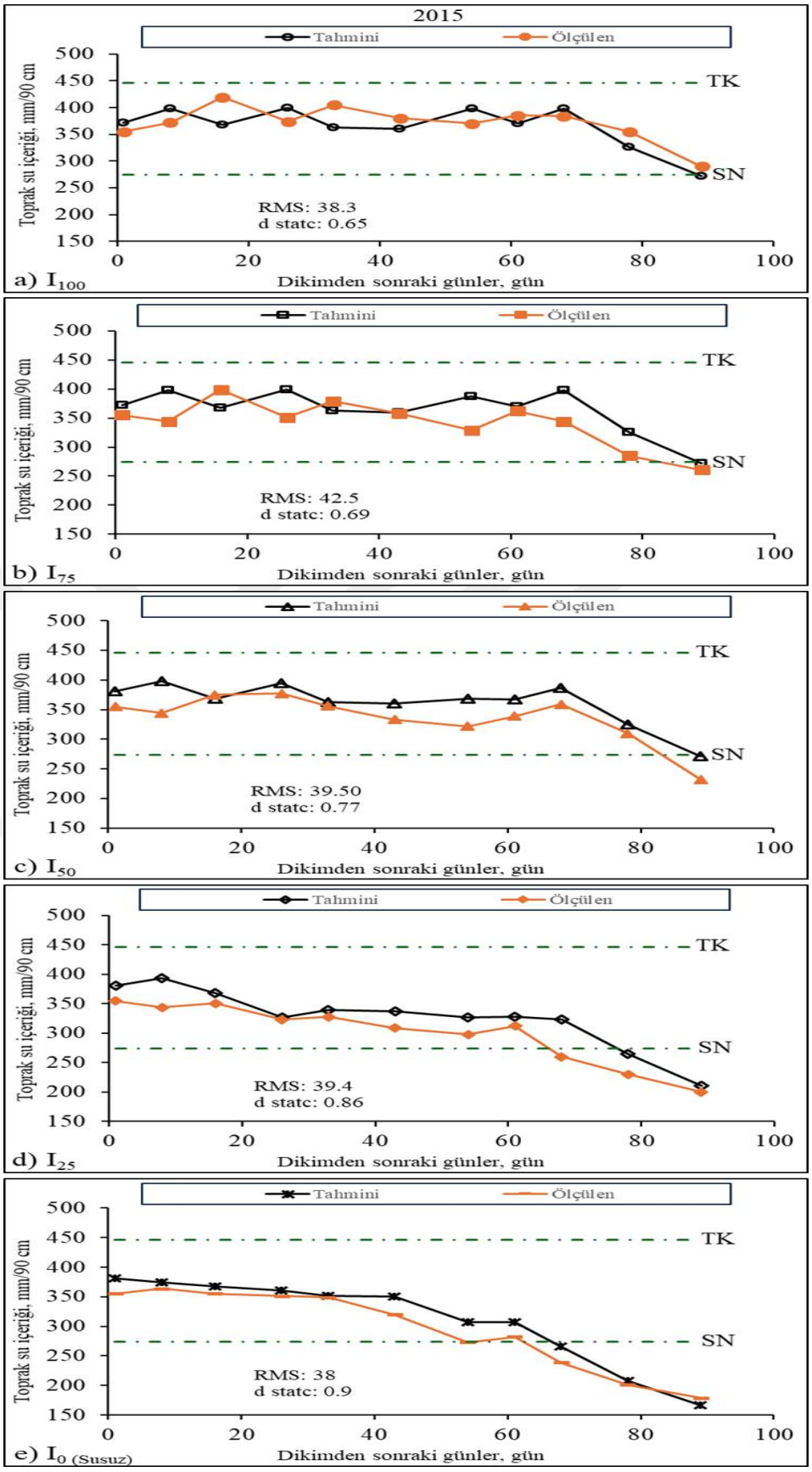
2014 yılına ait ölçülen ve tahmin edilen kinoa toprak nem içeriği değerlerine ilişkin RMSE değerleri 26 ile 40 arasında değişirken, d-Stat (standart sapma) değerleri 0.68 ile 0.88 arasında belirlenmiştir. Susuz koşullarda RMSE değeri 48.9, d-Stat değeri ise 0.85 olarak tespit edilmiştir. (Şekil 4.10a-e).

2015 yılına ait ölçülen ve tahmin edilen kinoa toprak nem içeriği değerlerine ilişkin RMSE değerleri 38.3 ile 42.5 arasında değişirken, d-Stat (standart sapma) değerleri 0.65 ile 0.86 arasında değişmiştir. Susuz koşullarda ise RMSE değeri 38, d-Stat değeri ise 0.9 olarak tespit edilmiştir. (Şekil 4.11a-e).

CSM-CROPGRO modeli ile farklı bitkilerde toprak su içeriğinin değişimi gerçek arazi verileri ile karşılaştırılmıştır. Örneğin; CSM-CROPGRO-Soya fasulyesi, Brezilya'daki farklı topraklar, toprak işleme yöntemleri, su gereksinimleri ve tropikal koşullar altında simüle edilen ve gözlemlenen toprak su içeriği zamansal olarak iyi bir uyum sağlanmıştır, Bir diğer çalışmada, (Singh ve ark., 2017), ABD'de CROPGRO-aspir iki farklı aspir çeşidi üzerinden değerlendirilmiştir. Her iki çeşit için farklı toprak derinliklerindeki toprak su içerikleri model tarafından doğru bir şekilde tahmin edilmiştir. (Lomeling ve ark., 2016), CROPGRO-Börülce modeli kullanılarak etkili kök derinliğinde toprak su içeriğinin değişiminin bitki gelişme dönemleri üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmada model ile toprak su içerikleri doğru bir şekilde tahmin edilirken, farklı gelişme dönemlerinde börülcenin farklı sulama suyuna gerek duyulduğunu saptamışlardır. (Hodges ve ark., 2022), CROPGRO-Soya fasulyesi tahmini verimi iki yetiştirme sezonunda da hasat edilen verime yakın bulunmuştur. 2018 yılında model etkili kök derinliğindeki toprak nemini oldukça benzer tahmin ederken, 2020 yılında ise model, sezonun sonlarında yağış ve sulamalar tepki vermemiştir. (Sezen ve ark., 2022), Doğu Akdeniz'de Cropgro-yerfıstığı modeli ile iki yetiştirme sezonunda farklı sulama aralığı ve sulama düzeylerinde toprak profilindeki nem değerlerini tahmin etmişlerdir. Sonuçta, ölçülen ve modelce tahmin edilen toprak nemlerinin iyi bir uyum gösterdiği saptanmıştır.



Şekil 4.10 a-e. Farklı Sulama Düzeylerinde Ölçülen ve Tahmini Kinoa Toprak Nem İçeriğinin Zamansal Değişimi (2014)

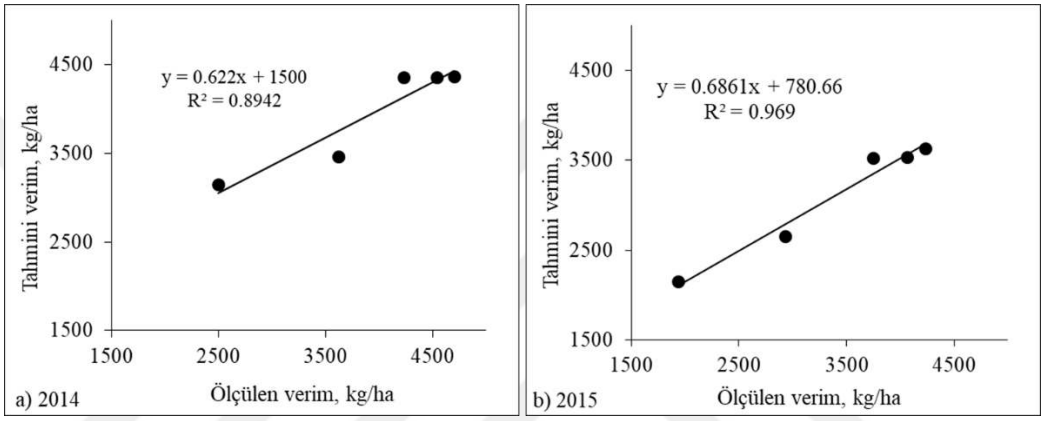


Şekil 4.11 a-e. Farklı Sulama Düzeylerinde Ölçülen ve Tahmini Kinoa Toprak Nem İçeriğinin Zamansal Değişimi (2015)

4.12.7. CROPGRO-Kinoa Modelinin Değerlendirilmesi

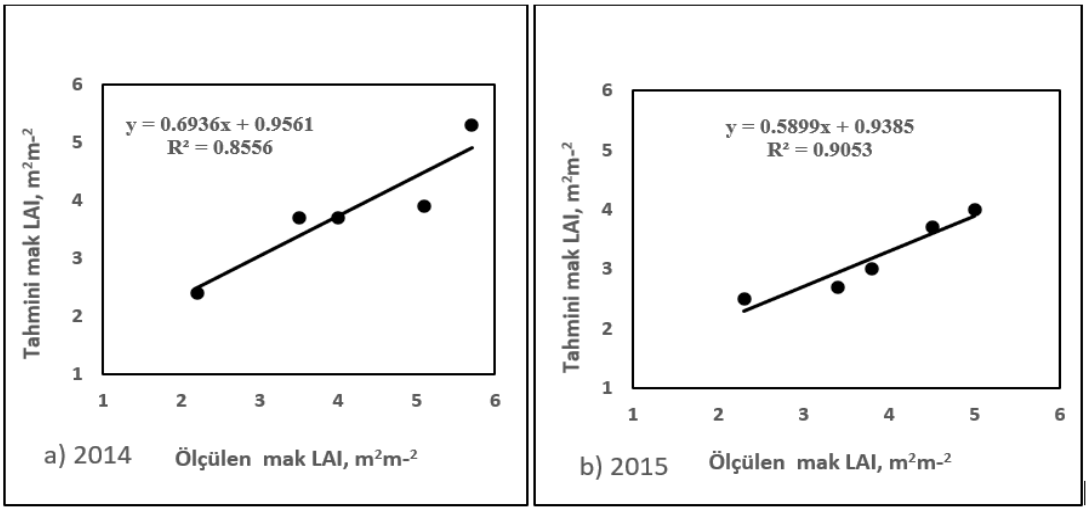
CROPGRO-Kinoa modelinin performansı, tahmin edilen ve ölçülen kinoa verimleri, maksimum LAI ve HI değerleri 2014 ve 2015 yıllarında, her bir sulama düzeyleri ve susuz koşullarda regresyon analizi ile grafiksel olarak karşılaştırmalı bir şekilde sunulmuştur. 2014 yılına ait veriler modelin kalibrasyonu için, 2015 yılı verileri ise modelin doğruluğunu ve geçerliliğini test etmek amacıyla kullanılmıştır.

Tahmin edilen ve ölçülen kinoa verim değerleri arasındaki doğrusal determinasyon katsayısı (R^2) değerleri, sulama programına bağlı olarak 2014 ve 2015 yıllarında 0.89 ile 0.96 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.12a-b).



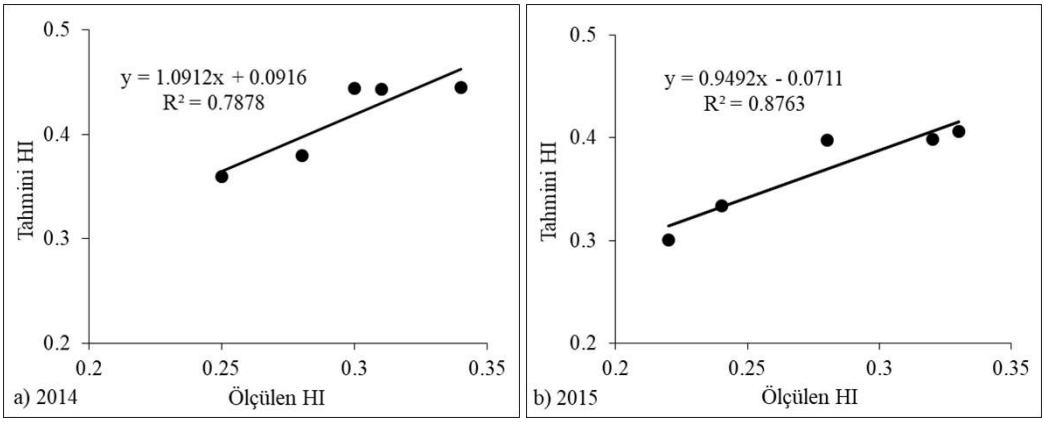
Şekil 4.12 a-b. 2014 ve 2015 Deneme Yılında Ölçülen ve Tahmini Kinoa Verimleri

Tahmin edilen ve ölçülen kinoa maksimum LAI değerleri arasındaki doğrusal determinasyon katsayısı (R^2) değerleri, sulama programına bağlı olarak 2014 ve 2015 yıllarında 0.85 ile 0.90 arasında değişim saptanmıştır (Şekil 4.13 a-b).



Şekil 4.13 a-b. 2014 ve 2015'de Ölçülen ve Tahmini Kinoa Maksimum LAI Değerleri İlişkisi

CROPGRO- kinoa modelinin performansı simüle edilen ve tahmini HI değerleri arasındaki doğrusal determinasyon katsayısı (R^2) değerleri, sulama programına bağlı olarak 2014 ve 2015 yıllarında 0.78 ile 0.87 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.14 a-b).



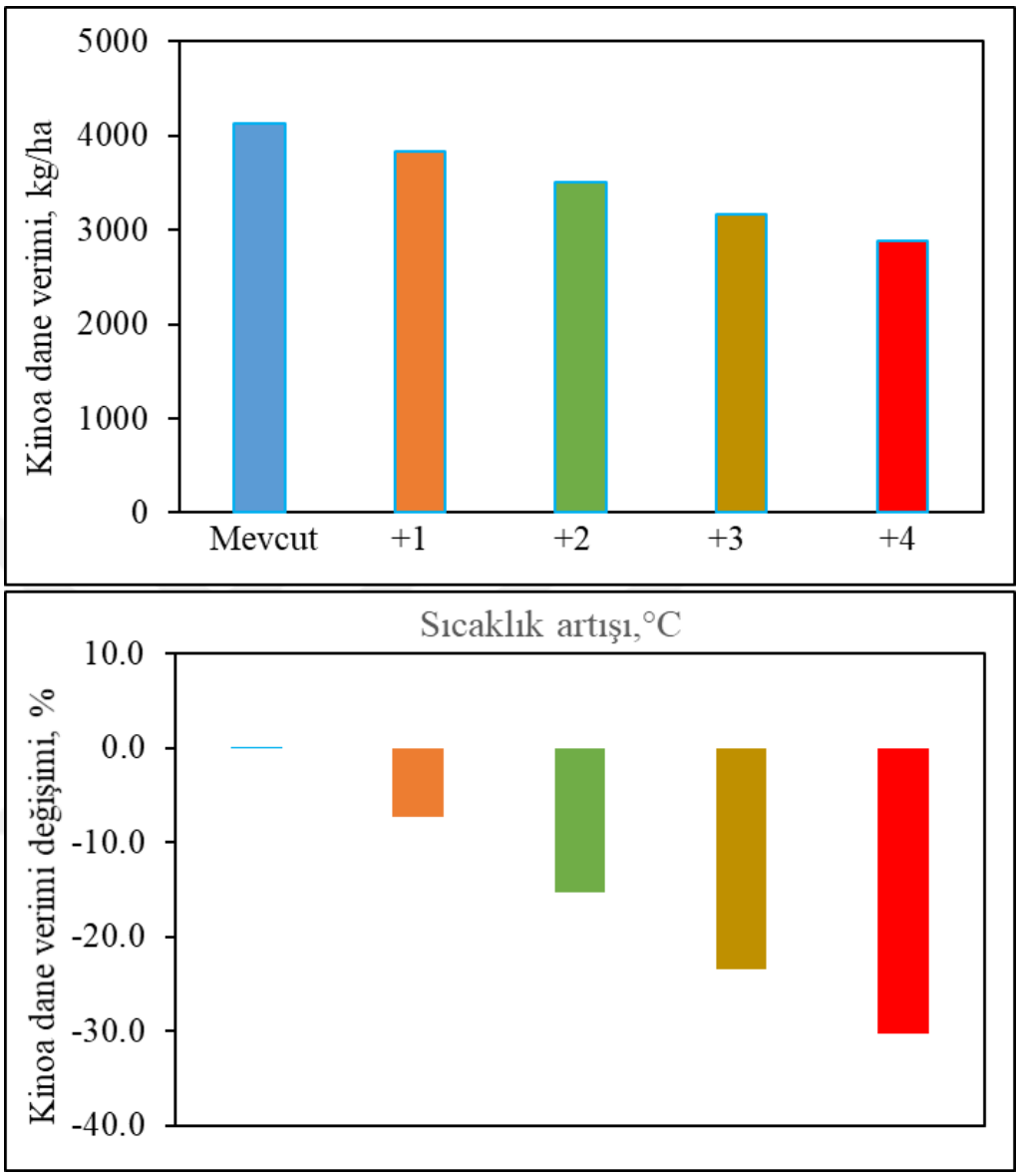
Şekil 4.14 a-b. 2014 ve 2015 Yılında Ölçülen ve Tahmini HI Arasındaki İlişki

4.12.8. CROPGRO-Kinoa Modelinin Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizinde mevcut ve geleceğe ait meteorolojik parametreler belirtilen aralıkta değiştirilerek oluşturulmuş, bu farklılıkların kinoa dane verim üzerine etkileri varyasyon katsayısı (% CV) hesaplanarak incelenmiştir. Bu amaçla; maksimum ve minimum sıcaklıklar (T) sırasıyla +1, +2 +3 ve 4°C arttırılmıştır. Yağış (R) değerleri %-10, -20, -30 azalış ve %+10 +20 ve +30 artış oranları incelenmiştir. Atmosferdeki mevcut 380 ppm olan CO_2 seviyesi ile %25 %50 %75 ve 100 oranında arttırılarak 475, 570, 665, 760 ppm CO_2 düzeylerinin kinoa dane verimi üzerine etkileri araştırılmıştır. CROPGRO-Kinoa modelinde duyarlılık analizinde önerilen tam sulama (I_{100}) konusunda meteorolojik parametrelerden sıcaklık, yağış ve CO_2'de olası iklim değişikliğindeki senaryolar gözönüne alınarak yapılmıştır. Duyarlılık analizinde öncelikle her bir meteorolojik parametre teksel, ardından ikili ve üçlü kombinasyonlarının uygulanarak kinoa verimi üzerindeki etkisi ortaya konulmuştur. Toplamda sıcaklık, yağış ve CO_2 düzeylerinin tüm kombinasyonları göz önüne alındığında 120 koşul kullanılarak duyarlılık analizi yapılmıştır (Çizelge 4.19-4.20).

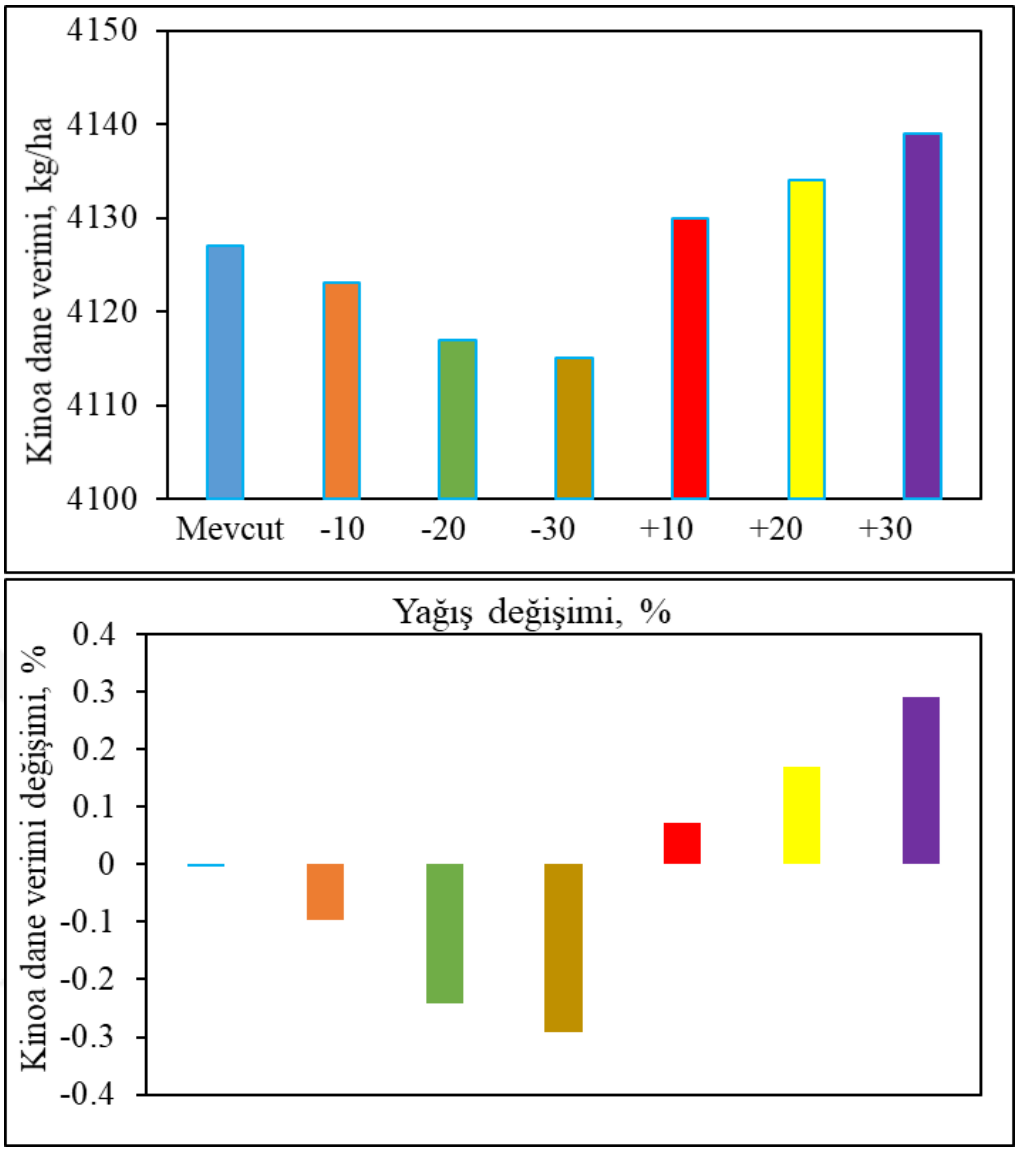
Sıcaklığın mevcut koşullar üzerinde sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 °C artışı kinoa veriminde %-7.3, -15.2, %-23.5 ve %-30.3 oranında azalmaya neden olmaktadır (Çizelge 4.19) (Şekil 4.15). Benzer olarak Alvar-Beltrán ve ark., (2020), Orta Doğu ve Kuzey Afrika bölgesinde hassas fenolojik evrelerdeki (çiçeklenme ve tohum çimlenmesi) yüksek sıcaklıkların kinoa üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçta, 38 °C'yi aşan sıcaklıkların tohum çimlenmesini ve çiçeklenmesi engellediğini ve bu nedenle hasatta tohum verimi kayıplarının %30 olduğunu, tohum çimlenme yüzdesinin ise %50'nin altına düştüğünü göstermiştir. Şili'de yapılan bir diğer araştırmada çiçeklenme dönemindeki yüksek sıcaklığın (34 ºC) kinoa bitkisinde önemli verim kayıplarına neden olabileceğini doğrulamaktadır (Lesjak ve Calderini, 2017; Yang ve ark., 2016). Daha düşük sıcaklıklara (8-18 ºC) kıyasla daha yüksek sıcaklıkların (20-25 ºC) kinoa bitkisinin büyümesi ve gelişmesini olumlu

etkilediğini belirtmiştir (Hinojosa ve ark., 2019) ise farklı sıcaklık eşikleri altında verimde herhangi bir değişiklik olmadığını belirlenmiştir.



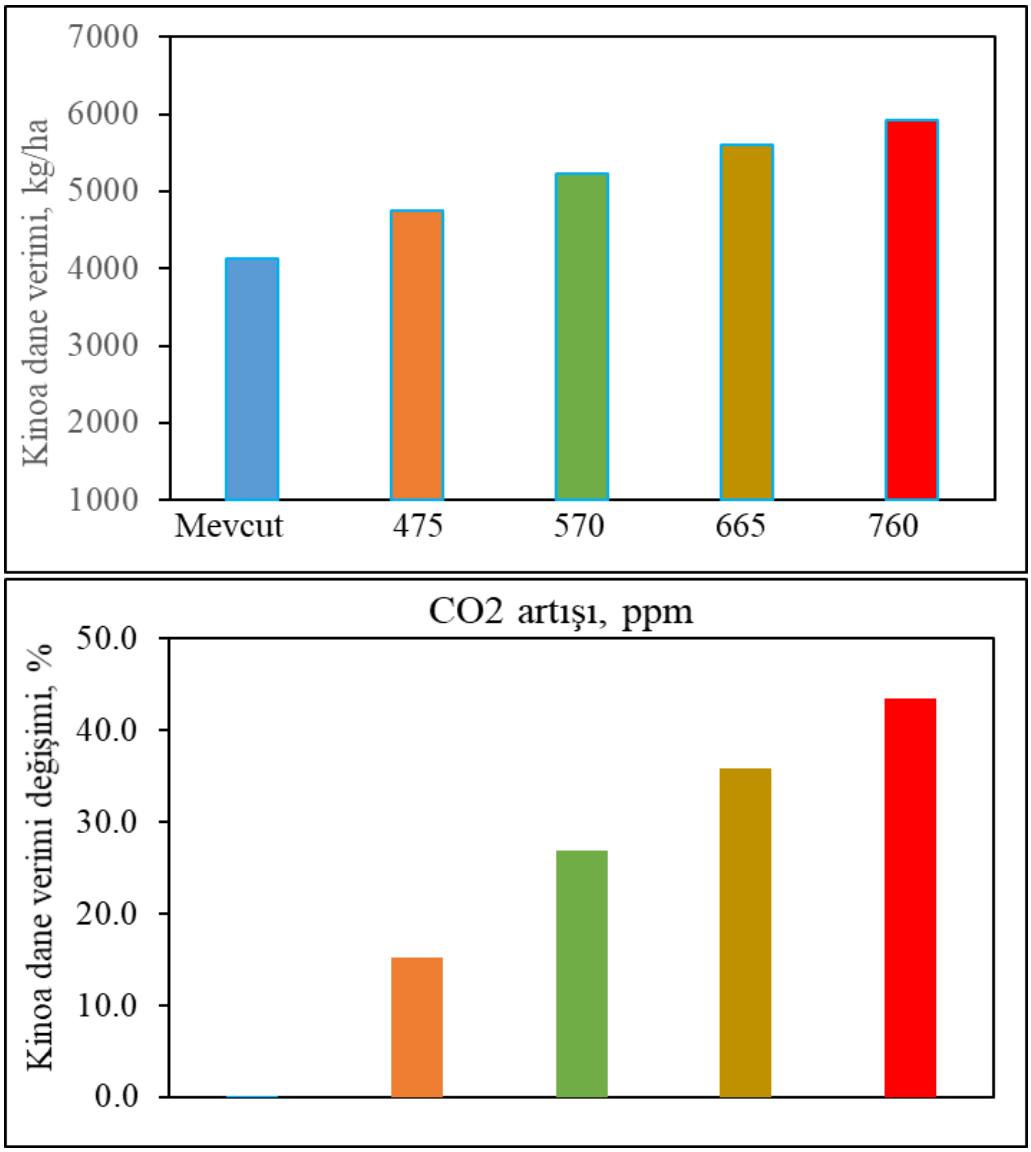
Şekil 4.15. Olası Sıcaklık Artışının Kinoa Dane Verimi Üzerine Etkisinin Duyarlılık Analizi ile Belirlenmesi

Yağışın %-10, -20 ve -30 azalması kinoa veriminde önemsiz düşüşlere (%-0.1-0.3) neden olurken, yağışlarda %10, 20 ve 30 artışlar ise önemsiz verim artışı (%+0.1-0.3) ile sonuçlanmıştır. CO_2'nin sırasıyla %25, 50, 75 ve 100 arttırılması kinoa veriminde %15.3, 26.8, 35.9 ve 43.5 artış ile sonuçlanmıştır (Çizelge 4.19) (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Olası Yağış Değişiminin Kinoa Dane Verimi Üzerine Etkisinin Duyarlılık Analizi ile Belirlenmesi

CO_2 değerlerinin mevcut koşullar olan 380 ppm üzerinde %25 %50 %75 ve 100 oranında arttırılarak 475, 570, 665, 760 ppm CO_2 düzeylerinin etkisi CROPGRO-kinoa modeli ile duyarlılık analizine tabi tutulmuştur. Sonuçta, 475, 570, 665, 760 ppm CO_2 düzeylerinin artışı kinoa veriminde sırasıyla %+15.3, +26.8, +35.9 ve +43.5 oranında artış olmaktadır (Çizelge 4.19) (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Olası CO_2 Artışının Kinoa Dane Verimi Üzerine Etkisinin Duyarlılık Analizi ile Belirlenmesi

Duyarlılık analizinde ikili kombinasyonlar incelendiğinde, artan CO_2 oranlarının kinoa bitkisinde karbondioksit gübrelemesi etkisi yaptığı ve bitkide fotosentezi arttırıcı etkisiyle kinoa veriminde önemli derecede artışa katkıda bulunmasıdır. Aynı sıcaklık değerlerinde yağış değerlerinin azalması veya artması verimdeki azalma oranında fark etmezken, +3 ve +4 sıcaklık değerlerindeki verimde azalma oranları %-23.3-30.4'e ulaşmıştır (Çizelge 4.19). Aynı CO_2 oranlarında yağış değerlerinde %-10, -20 ve -30 azalması veya %10, 20 ve 30 artışı kinoa veriminde etki göstermezken, herbir yağış senaryosunda artan CO_2 oranları önemli verim artışları ile sonuçlanmıştır. Aynı sıcaklık değerlerinde CO_2 oranlarında artış genelde kinoa veriminde önemli olumlu katkı sağlarken, +3 ve +4 ^oC'deki CO_2 oranlarında artışlar verim azalma oranını düşürmüştür(Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19. Farklı İklim Parametrelerinin Teksel ve İkili Kombinasyonlarda Kinoa Verimine Etkisinin Duyarlılık Analizi ile Belirlenmesi

Değişim %	Duyarlılık analizi ve Senaryolar																
	T	T +1	T +2	T +3	T +4	R	-%10 R	-%20 R	-%30 R	+%10 R	+%20 R	+%30 R	CO_2	CO_2x 1.25	CO_2x 1.50	CO_2x 1.75	CO_2x 2.00
T	0	-7.3	-15.2	-23.5	-30.3	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	0.1	0.2	0.3	0.0	15.3	26.8	35.9	43.5
T+1	-7.3	-7.8	-	-	-	-7.3	-7.4	-7.4	-7.5	-7.2	-7.1	-6.9	-7.3	6.3	17.7	26.2	33.1
T+2	-15.2	-	-26.9	-	-	-15.2	-15.4	-15.5	-15.7	-15.2	-15.1	-15.0	-15.2	-1.7	8.8	17.1	23.8
T+3	-23.5	-	-	41.6	-	-23.5	-23.5	-23.7	-23.8	-23.4	-23.3	-23.2	-23.5	-10.8	-1.0	6.7	12.9
T+4	-30.3	-	-	-	-30.3	-30.3	-30.5	-30.5	-30.6	-30.3	-30.2	-30.0	-30.3	-18.8	-9.7	-2.5	3.4
R	0.0	7.3	-15.2	-23.5	-30.3	0.0	-	-	-	-	-	-	0.0	15.3	26.9	35.9	43.5
-%10 R	-0.1	-7.4	-15.4	-23.5	-30.5	-	-0.1	-	-	-	-	-	-0.1	15.2	26.8	35.8	43.3
-%20 R	-0.2	-7.4	-15.5	-23.7	-30.5	-	-	-0.2	-	-	-	-	-0.2	15.0	26.7	35.7	43.2
-%30 R	-0.3	-7.5	-15.7	-23.8	-30.6	-	-	-	-0.3	-	-	-	-0.3	15.5	27.2	36.2	43.0
+%10 R	0.1	-7.2	-15.2	-23.4	-30.3	-	-	-	-	0.1	-	-	0.1	15.9	27.4	36.4	43.6
+%20 R	0.2	-7.1	-15.1	-23.3	-30.2	-	-	-	-	-	0.2	-	0.2	15.9	27.4	36.4	43.8
+%30 R	0.3	-6.9	-15.0	-23.2	-30.0	-	-	-	-	-	-	0.3	0.3	16.0	27.5	36.5	43.8
CO_2	0.0	7.3	-15.2	-23.5	-30.3	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	0.1	0.2	0.3	0.0	-	-	-	-
CO_2x1.25	15.3	6.3	-1.7	-10.8	-18.8	15.3	15.2	15	15.5	15.9	15.9	16.0	-	15.3	-	-	-
CO_2x1.50	26.8	17.7	8.8	-1.0	-9.7	26.9	26.8	26.7	27.2	27.4	27.4	27.5	-	-	26.8	-	-
CO_2x1.75	35.9	26.2	17.1	-6.7	-2.5	35.9	35.8	35.7	36.2	36.4	36.4	36.5	-	-	-	35.9	-
CO_2x2.00	43.5	33.1	23.8	12.9	-3.4	43.5	43.3	43.2	43	43.6	43.8	43.8	-	-	-	-	43.5

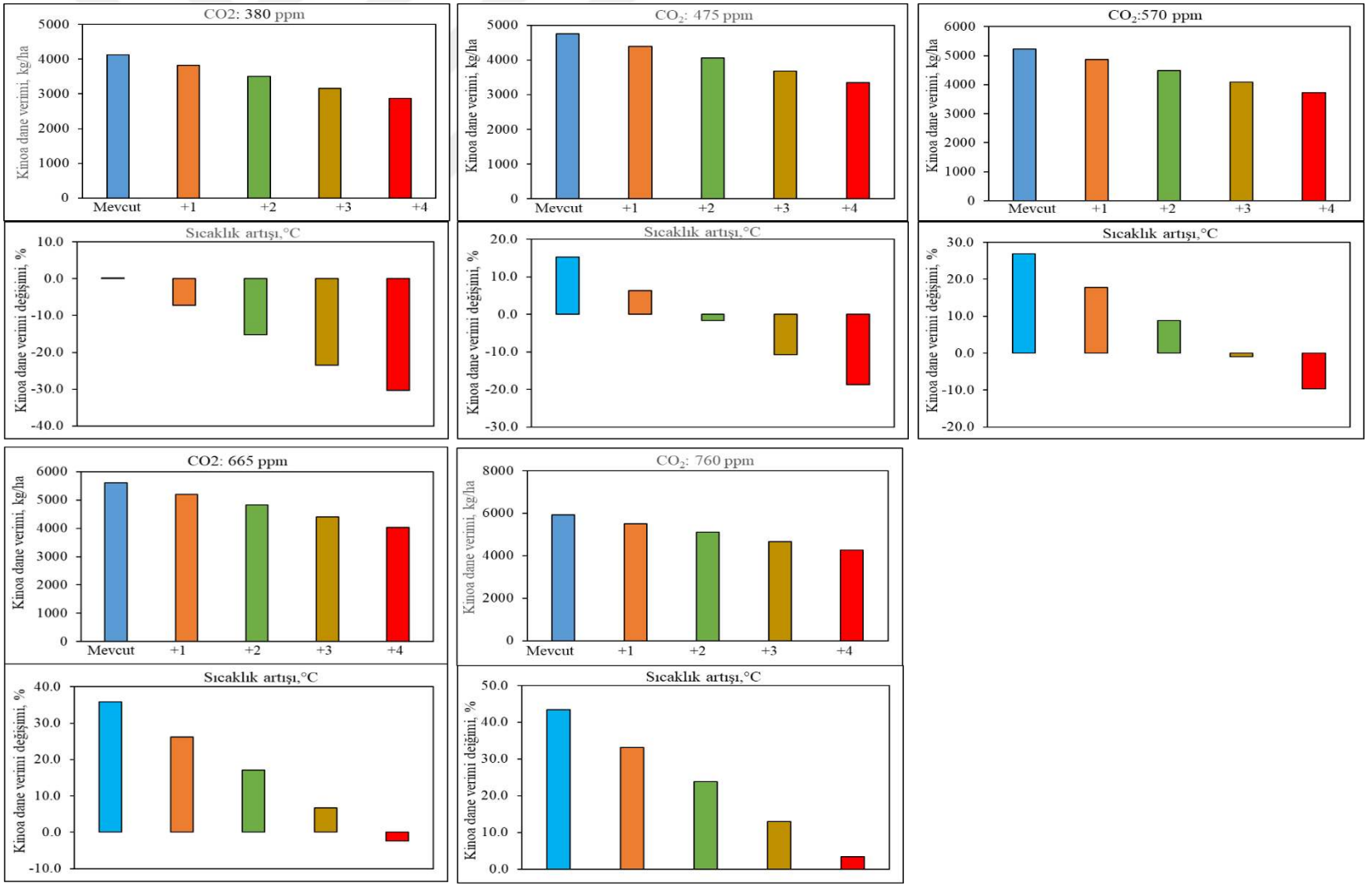
Duyarlılık analizinde meteorolojik parameterlerin üçlü kombinasyonları incelendiğinde aynı sıcaklık ve yağış değerlerinde artan CO_2 oranları ile kinoa veriminde artış göstermiştir (Çizelge 4.20). Ancak, bu artış değerleri +3 ve +4 sıcaklık değerlerinde belirgin azalmıştır. En yüksek verim artışı %33.4 ile sıcaklığın +1° C arttığı, yağışın % +30 arttığı ve CO_2 oranının 760 ppm olduğu durumda belirlenmiştir. Sıcaklığın +4C arttığı, tüm yağış ve CO_2 düzeylerinde kinoa veriminde önemli düşmelerin yaşanabileceği görülmüştür. Diğer kombinasyonlarda genelde kinoa verimlerindeki artışın en büyük payı CO_2 oranlarındaki artıştan kaynaklanmaktadır (Şekil 4.18-4.19).

Çizelge 4.20. Farklı İklim Parametrelerinin Üçlü Kombinasyonlarda Kinoa Verimine Etkisinin Duyarlılık Analizi ile Belirlenmesi

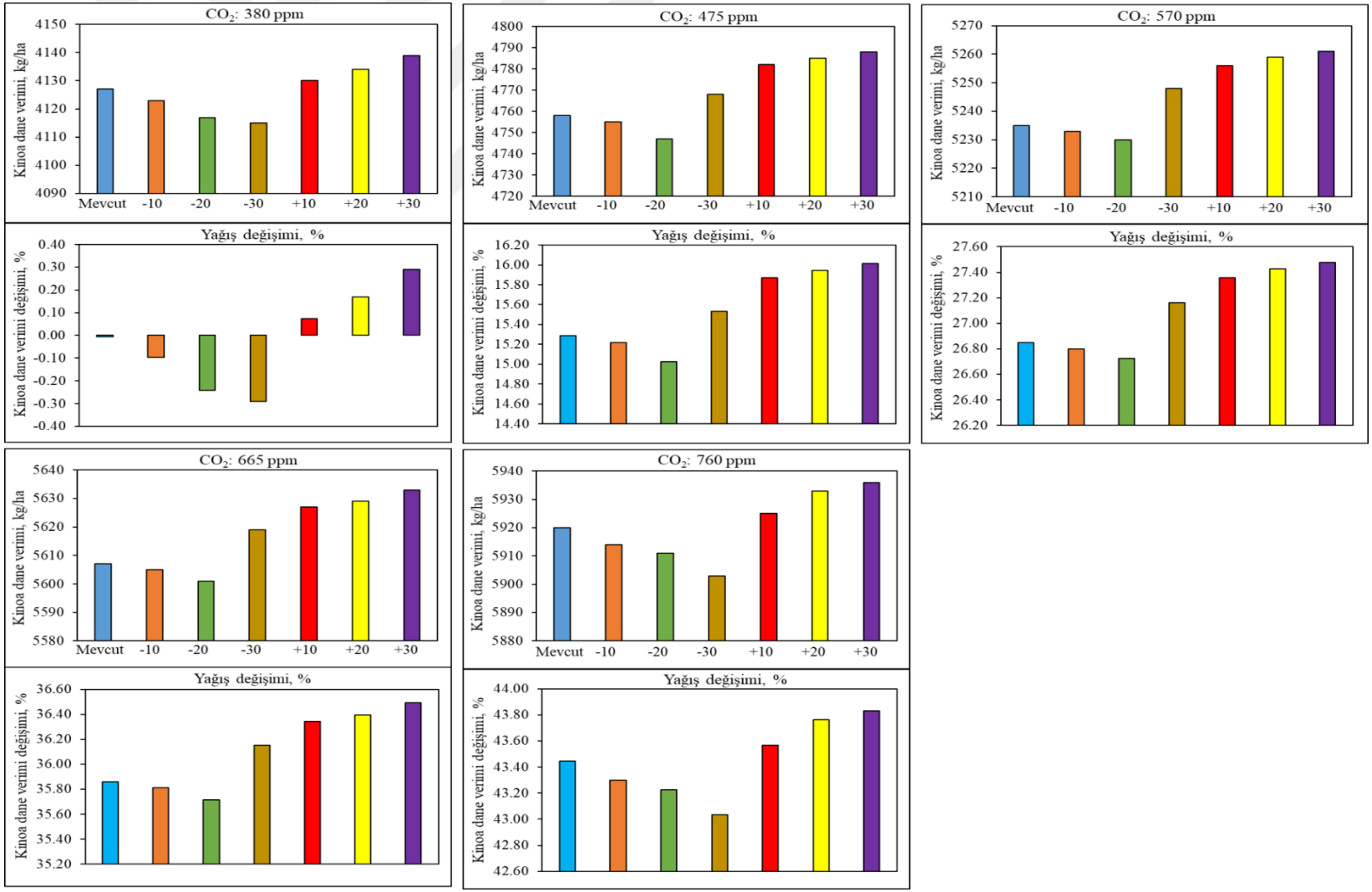
No	İklim Parametreleri			Kinoa veriminde değişim, %	No	İklim Parametreleri			Kinoa veriminde değişim, %
	Sıcaklık (T), °C,	Yağış (R), %	CO_2, ppm			Sıcaklık (T), °C,	Yağış (R), %	CO_2, ppm	
1	+1	-10	380	-7.8	31	+2	-10	380	-15.2
2			475	6.5	32			475	-2.2
3			570	17.7	33			570	8.9
4			665	26.2	34			665	17.1
5			760	33.1	35			760	23.7
6		-20	380	-7.9	36		-20	380	-15.2
7			475	6.3	37			475	-1.7
8			570	17.3	38			570	8.8
9			665	26.1	39			665	17.1
10			760	33.3	40			760	23.8
11		-30	380	-7.9	41		-30	380	-15.2
12			475	6.3	42			475	-1.6
13			570	17.2	43			570	8.9
14			665	25.7	44			665	17.1
15			760	32.6	45			760	23.8
16		+10	380	-7.7	46		+10	380	-15.0
17			475	6.7	47			475	-2.0
18			570	17.9	48			570	9.3
19			665	26.4	49			665	17.5
20			760	33.3	50			760	23.9
21		+20	380	-7.7	51		+20	380	-14.6
22			475	6.7	52			475	-1.4
23			570	18.0	53			570	9.5
24			665	26.4	54			665	17.9
25			760	33.3	55			760	24.8
26		+30	380	-7.6	56		+30	380	-14.2
27			475	6.8	57			475	-1.0
28			570	17.9	58			570	9.7
29			665	26.4	59			665	17.9
30			760	33.4	60			760	24.9

Çizelge 4.21. Farklı İklim Parametrelerinin Üçlü Kombinasyonlarda Kinoa Verimine Etkisinin Duyarlılık Analizi ile Belirlenmesi (devam)

No	İklim Parametreleri			Kinoa veriminde değişim, %	No	İklim Parametreleri			Kinoa veriminde değişim, %
	Sıcaklık (T), ºC,	Yağış (R), %	CO_2, ppm			Sıcaklık (T), ºC,	Yağış (R), %	CO_2, ppm	
61	+3	-10	380	-23.6	91	+4	-10	380	-30.3
62			475	-10.8	92			475	-18.9
63			570	-1.1	93			570	-9.7
64			665	6.6	94			665	-2.4
65			760	12.8	95			760	3.4
66		-20	380	-23.5	96		-20	380	-30.3
67			475	-10.8	97			475	-18.9
68			570	-1.1	98			570	-9.8
69			665	6.5	99			665	-2.6
70			760	12.8	100			760	3.4
71		-30	380	-23.5	101		-30	380	-30.2
72			475	-10.8	102			475	-18.9
73			570	-1.0	103			570	-9.8
74			665	6.9	104			665	-2.6
75			760	13.2	105			760	3.3
76		+10	380	-23.2	106		+10	380	-30.2
77			475	-10.2	107			475	-18.8
78			570	-0.9	108			570	-9.7
79			665	6.9	109			665	-2.4
80			760	13.2	110			760	3.5
81		+20	380	-23.0	111		+20	380	-30.2
82			475	-9.9	112			475	-18.8
83			570	-0.8	113			570	-9.7
84			665	7.2	114			665	-2.5
85			760	13.7	115			760	3.3
86		+30	380	-22.6	116		+30	380	-30.0
87			475	-9.3	117			475	-18.0
88			570	-0.5	118			570	-9.4
89			665	7.6	119			665	-2.2
90			760	13.9	120			760	3.7



Şekil 4.18. Artan CO_2 Konsanstrasyonları ile Sıcaklık Artışı Kombinasyonlarında Kinoa Verimine ait Değişimin Duyarlılık Analizi ile Belirlenmesi



Şekil 4.19. Artan CO_2 Konsanstrasyonları ile Yağış Değişimi Kombinasyonlarında Kinoa Verimine ait Değişimin Duyarlılık Analizi ile Belirlenmesi

4.12.9. DSSAT CROPGRO -Kinoa modelinde verim ve bitki büyüme dönemi projeksiyonları

Olası iklim değişikliğinin kinoa dane verimine ve bitki büyüme dönemi uzunluğuna etkilerinin belirlenebilmesi için RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryoları ile HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, GFDL-ESM2M küresel iklim modelllerinden yararlanılmıştır. Kinoa dane verimi tahmininde gelecek dönemler yakın periyot:2016-2045, orta periyot:2046 2075 ve uzak periyot:2076-2098 olarak değerlendirilmiştir. Analizlerde I_{100}, I_{50} ve I_0 susuz konularındaki kinoa dane verimi ve bitki gelişme dönemlerindeki farklılıklar ortaya konmuştur (Çizelge 4.22-4.27).

Çizelge 4.22. CROPGRO-Kinoa Modelinde Farklı İklim Modelleri ve İklim Senaryolarında Tam Sulama Koşulunda Dane Verimi Değişimi

Parametre	Kinoa dane verimi değişimi (%)					
Konu	Tam sulama (I_{100})					
Senaryo	RCP4.5			RCP8.5		
İklim modeli	2016-2045	2046-2075	2076-2098	2016-2045	2046-2075	2076-2098
HADGEM2-ES	-6.1	-3.2	-5.5	-6.4	-10.1	-12.2
GFDL-ESM2M	8.8	12	-6.2	5.1	-1.7	-10.8
MPI-ESM-MR	9.1	17	-2.2	10.8	-9.3	-18.0
Dönemlik ort.	3.9	8.6	-4.6	3.1	-7.0	-13.7

Çizelge 4.23. CROPGRO-Kinoa Modelinde Farklı İklim Modelleri ve İklim Senaryolarında Kısıntılı Sulama Koşulunda Dane Verimi Değişimi

Parametre	Kinoa dane verimi değişimi (%)					
Konu	Kısıntılı sulama (I_{50})					
Senaryo	RCP4.5			RCP8.5		
İklim modeli	2016-2045	2046-2075	2076-2098	2016-2045	2046-2075	2076-2098
HADGEM2-ES	-8.3	-10.3	-11.6	-7.2	-11.6	-26.6
GFDL-ESM2M	7.6	11.5	-6.3	4.2	-2.3	-11.3
MPI-ESM-MR	8.4	16.8	-4.5	8.0	-10.2	-22.2
Dönemlik ort.	2.6	6.0	-7.5	1.7	-8.0	-20.0

I_{100} tam sulama şartlarında RCP4.5 koşulunda verim değişiminin yakın periyotta ortalama %+3.9, orta periyotta ortalama %+.8.6 artış sağlanırken, uzak periyotta ortalama % -4.6 oranında azalma saptanmıştır. RCP8.5 koşulunda verim değişiminin yakın, orta ve uzak periyotta sırasıyla ortalama %+3.1 artış %-7.0 -13.7 oranında azalma belirlenmiştir (Çizelge 4.22). I_{50} kısıntılı sulamada RCP4.5 koşulunda verim değişiminin yakın, orta ve uzak periyotta sırasıyla ortalama %+2.6 +6.0 artış ve -7.5 azalma belirlenmiştir. RCP8.5 koşulunda verim değişimleri yakın, orta ve uzak periyotta sırasıyla ortalama %+1.7 artış, -8.0 -20.0 oranında azalma saptanmıştır (Çizelge 4.23). Bolivya'da

gerçekleştirilen bir çalışmada kinoa bitkisinin veriminin, yüksek iklimsel değişkenliğe rağmen, kısıntılı sulama koşullarında olumsuz etkilenmediğini belirtmiştir (Fajardo ve ark., 2016).

Çizelge 4.24. CROPGRO-Kinoa Modelinde Farklı İklim Modelleri ve İklim Senaryolarında Susuz Konu koşulunda dane verimi değişimi

Parametre	Kinoa dane verimi değişimi (%)					
Konu	Susuz konu (I_0)					
Senaryo	RCP4.5			RCP8.5		
İklim modeli	2016-2045	2046-2075	2076-2098	2016-2045	2046-2075	2076-2098
HADGEM2-ES	-11.1	-13.6	-14.8	-9.5	-14.2	-29.4
GFDL-ESM2M	6.5	11.4	-7.0	3.4	-3.1	-18.1
MPI-ESM-MR	7.0	15.2	-5.6	9.2	-11.6	-36.0
Dönemlik ort.	0.8	4.3	-9.1	1.0	-9.6	-27.8

Susuz (I_0) koşullarda RCP4.5 şartlarında verim değişiminin yakın, orta ve uzak periyotta sırasıyla ortalama %+0.8, +4.3 artış ve -9.1 azalma saptanırken, RCP8.5 şartlarında sırasıyla %+1.0 artış, -9.6 ve -27.8 azalma belirlenmiştir (Çizelge 4.24). Sonuçta tüm periyotlarda en negatif değerlerin hem RCP4.5, hem de RCP8.5 iklim senaryolarında HADGEM2-ES modelinde oluştuğu belirlenmiştir.

Bitki gelişme dönemi uzunluğu I_{100} tam sulama koşullarında RCP4.5 şartlarında yakın periyotta (2016-2045) ortalama %-4.5, orta periyotta (2046-2075) ortalama % -5.1, uzak periyotta (2076-2098) ortalama % -6.3 oranında azalma olacağı belirlenmiştir. Aynı konu RCP8.5 şartlarında bitki gelişme dönemi uzunluğu yakın periyotta ortalama %-6.6, orta periyotta ortalama % -7.7, uzak periyotta ortalama % -8.4 oranında azalma olacağı belirlenmiştir (Çizelge 4.25).

Çizelge 4.25. CROPGRO-Kinoa modelinde farklı iklim modelleri ve iklim senaryolarında tam sulama koşulunda bitki gelişme dönemi değişimi

Parametre	Kinoa bitki gelişme dönemi değişimi (%)					
Konu	Tam sulama (I_{100})					
Senaryo	RCP4.5			RCP8.5		
İklim modeli	2016-2045	2046-2075	2076-2098	2016-2045	2046-2075	2076-2098
HADGEM2-ES	-6	-6.3	-6.7	-6.2	-8.5	-9.2
GFDL-ESM2M	-2.1	-3.2	-6.1	-6.3	-7..3	-8.5
MPI-ESM-MR	-5.3	-5.9	-6.2	-7.3	-7.4	-7.6
Dönemlik ort.	-4.5	-5.1	-6.3	-6.6	-7.7	-8.4

I_{50} kısıntılı sulama koşullarında RCP4.5 şartlarında bitki gelişme dönemi uzunluğu yakın periyotta ortalama %-6.4, orta periyotta ortalama % -7.0, uzak periyotta ortalama % -8.2 oranında

azalma olacağı belirlenmiştir. Aynı konu RCP8.5 şartlarında bitki gelişme dönemi uzunluğu yakın periyotta ortalama %-8.4, orta periyotta ortalama %-8.8, uzak periyotta ortalama %-9.3 oranında azalma olacağı belirlenmiştir (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.26. CROPGRO-Kinoa Modelinde Farklı İklim Modelleri ve İklim Senaryolarında Kısıntılı Sulama Koşulunda Bitki Gelişme Dönemi Değişimi

Parametre	Kinoa bitki gelişme dönemi değişimi (%)					
Konu	Kısıntılı sulama (I_{50})					
Senaryo	RCP4.5			RCP8.5		
İklim modeli	2016-2045	2046-2075	2076-2098	2016-2045	2046-2075	2076-2098
HADGEM2-ES	-6.5	-7.4	-7.9	-8.1	-8.6	-9.6
GFDL-ESM2M	-5.9	-6.4	-8.3	-8.5	-8.8	-9.1
MPI-ESM-MR	-6.7	-7.3	-8.4	-8.6	-8.9	-9.2
Dönemlik ort.	-6.4	-7.0	-8.2	-8.4	-8.8	-9.3

Susuz (I_0) koşullarda RCP4.5 şartlarında bitki gelişme dönemi uzunluğu yakın, orta ve uzak periyotta sırasıyla ortalama %-7.3, -8.2 ve -8.5 oranında anında azalma olacağı saptanmıştır. Aynı konu RCP8.5 şartlarında bitki gelişme dönemi uzunluğu yakın, orta ve uzak periyotta sırasıyla ortalama %-9.0, %-9.6 ve %-10.8 oranında azalma ile sonuçlanmıştır (Çizelge 4.27). CROPGRO-Kinoa modeli ile olası iklim değişikliğinin kinoa büyüme dönemi uzunluğu üzerine sıcaklıklarda artışa bağlı olarak azalacağı saptanmıştır. Kinoa büyüme dönemi uzunluğu ortalama olarak RCP4.5 ve, RCP8.5 senaryolarında sırasıyla %-8.0 ve %-9.8 oranında azalacaktır.

Çizelge 4.27. CROPGRO-Kinoa Modelinde Farklı İklim Modelleri ve İklim Senaryolarında Susuz Konuda Bitki Gelişme Dönemi Değişimi

Parametre	Kinoa bitki gelişme dönemi değişimi (%)					
Konu	Susuz konu (I_0)					
Senaryo	RCP4.5			RCP8.5		
İklim modeli	2016-2045	2046-2075	2076-2098	2016-2045	2046-2075	2076-2098
HADGEM2-ES	-6.6	-8.3	-8.6	-9.1	-10.0	-11.2
GFDL-ESM2M	-7.5	-8.1	-8.4	-8.9	-9.3	-10.8
MPI-ESM-MR	-7.9	-8.2	-8.6	-9.2	-9.4	-10.5
Dönemlik ort.	-7.3	-8.2	-8.5	-9.0	-9.6	-10.8

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında DSSAT-CROPGRO Kinoa V.8.2 bitki simülasyon modeli ile 2014 ve 2015 yıllarında Tarsus koşullarında kinoa bitkisinde yürütülen arazi denemesine ait verilerden yararlanılmıştır. Kinoa bitkisine kimi büyüme periyotlarında (erken vegetatif, geç vegetatif, çiçeklenme ve dane dolum) uygulanan farklı sulama düzeylerinin kinoa bitkisinin kimi bitki gelişim dönemlerine (çiçeklenme ve olgunluk) ulaşma zamanını, verim ve verim bileşenleri tahmin edebilme potansiyeli ile mevcut ve gelecekte öngörülen iklim senaryolarında olası iklim değişiminin etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Duyarlılık analizi ile mevcut ve geleceğe ait meteorolojik parametreler (sıcaklık, yağış ve CO_2) olası aralıkta değiştirilerek, bu farklılıkların kinoa dane verimi ve bitki gelişim dönemi üzerine etkileri varyasyon katsayısı (% CV) hesaplanarak incelenmiştir.

Ayrıca, kinoa verimini farklı sulama miktarlarında mevcut ve gelecekte öngörülen iklim senaryolarında tahmin etmede CROPGRO-kinoa V4.7.8 modelinin performansının ve duyarlılığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Olası iklim değişikliğinin Doğu Akdeniz koşullarında kinoa yetiştiriciliğinde tehdit oluşturma potansiyelinden dolayı gelecekte kinoa dane verimini yakın periyot (YP):2016-2045, orta periyot (OP):2046-2075 ve uzak periyotta (UP):2076-2098 tahmininde bulunmak amaçlanmıştır. Bu kapsamda RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryoları ile HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL_ESM2M küresel iklim modellerinden yararlanılmıştır. Analizlerde I_{100} (tam sulama), I_{50} (kısıntılı sulama) ve I_0 (susuz) konularına iklim değişikliğinin olası etkilerini ortaya konulmuştur. Bu amaçla Tarsus'ta 2014 ve 2015 yıllarında yürütülen projeye ait veriler ve sonuçlardan CROPGRO-Kinoa V4.8.2 modelinde yararlanılmıştır. Tarsus'ta yağmurlama sulama sistemiyle sulanan kinoa Titicaca çeşidinde yürütülen araştırma sonuçları, CROPGRO-Kinoa V4.8.2 modeli ile kestirilmeye çalışılmıştır. Kinoa dane verimi, yaprak alan indeksi (LAI), toprak su içeriğinin zamansal değişimi, bitki gelişme dönemlerine ulaşma zamanlarının benzeşimi sağlanarak, gerçek deneme sonuçları ile modelden elde edilen tahmini değerler çıktıları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. CROPGRO-Kinoa modelinin kalibrasyonunda 2014 yılı proje verileri, değerlendirmesinde ise 2015 yılı verileri kullanılmıştır. Kinoa bitkisinin gelecekte beklenen olası iklim değişikliği duyarlılığı diğer deyişle kinoa verimi ve gelişme dönemlerine etkisi yakın, orta ve uzak periyotta tam sulama (I_{100}) kısıntılı sulama (I_{50}) ve susuz (I_0) konuda belirlenmiştir. Ayrıca, yağmurlama sulama yöntemiyle sulanan kinoada 5 farklı sulama düzeyinde (I_{100}, I_{75}, I_{50}, I_{25} ve I_0) kinoa bitkisinin gelişme dönemleri, verim, verim bileşenleri (bindane, hasat indeksi, bitki boyu, LAI, vb.), sulama suyu ve evapotranspirasyon, sulama suyu-verim ve su tüketimi-verim ilişkileri, verim tepki etmeni (ky), en uygun sulama programı, WUE ve IWUE değerlendirilmiştir.

Araştırma çizgi kaynaklı yağmurlama sulama metoduna göre tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme deseninde yürütülmüştür. Çizgi kaynaklı yağmurlama sistemi kullanılarak farklı sulama düzeyleri oluşturulmuştur. Laterale en yakın konu tam sulama konusunu (I_{100}) oluştururken,

en uzak konu ise (I_0) susuz konuyu oluşturmuştur. Her iki konu arasında ise kısıntılı sulama düzeyleri I_{75}, I_{50} ve I_{25} yer almıştır.

Sulama düzeylerinde WUE değerleri bakımından istatistiksel olarak önemli farklar belirlenirken, ilk yıl WUE değerleri 0.90-1.03 kg/m^3, ikinci yıl 0.848-0.983 kg/m^3 arasındadır. Maksimum WUE değerleri I_{50} ve I_{25} sulama düzeylerinde hesaplanmıştır. Sulama düzeylerinde IWUE değerleri bakımından istatistiksel olarak önemli farklar belirlenirken, ilk deneme yılında IWUE değerleri 1.43-3.69 kg/m^3, ikinci deneme yılında ise 1.09-2.52 kg/m^3 arasındadır. Maksimum IWUE değeri 2014 ve 2015'de I_{25} konusundan elde edilmiştir.

Önerilen I_{100} konusuna kinoa bitkisinin 4 farklı gelişme döneminde toplam sulama suyu miktarı 330 - 388 mm, ET değerleri 523 ile 490 mm arasında değişmiştir. Sulama suyunun kıt ve yetersiz olduğu koşullarda su kullanım ve sulama suyu kullanım değerleri göz önüne alındığında I_{75} konusuna ait sulama programı uygulanabilir.

Su tüketimi-dane verimi ilişkilerinde 2014 ve 2015'de doğrusal ilişkiler belirlenmiştir. Artan su tüketimi ile kinoa veriminde artış belirlenirken, daha düşük sulama düzeylerini oluşturan kısıntılı sulama parsellerinde su tüketim değerleri azalmıştır. Sulama suyu- kinoa verimi ilişkisi 2014 ve 2015'de ikinci dereceden önemli ilişkiler elde edilmiştir. Verim tepki etmeni (ky) değerleri 2014 yılı verilerine göre 0.91, 2015 yılı verilerine göre ise 0.88 olarak hesaplanmıştır.

Yaprak alan indeksi (LAI) değerleri sulama düzeylerinden istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilenirken, en yüksek LAI değerleri 2014 ve 2015 yılında I_{100}, en düşük LAI değerleri ise susuz konuda ölçülmüştür.

Sulamalar çizgi kaynaklı yağmurlama sistemiyle kinoa bitkisinin erken vegetatif, geç vegetatif, çiçeklenme ve dane dolum periyotlarında I_{100} konusunda 60 cm toprak derinliğindeki eksik nemin tarla kapasitesine tamamlanması şeklinde yapılmıştır.

Farklı sulama düzeyleri kinoa verim ve verim bileşenlerini istatistiksel olarak %1 hata seviyesinde önemli etkilemiştir. Maksimum kinoa verimleri 2014 ve 2015'de I_{100} (4700-4230 kg/ha) konusundan, minimum verimler susuz konuda (I_0) elde edilmiştir (2500 ve 1930 kg/ha). Sonuçta; I_{100} konusuna ait sulama programı yüksek kinoa verimi elde etmek için önerilebilir. Kinoa verim bileşenlerinden HI, bindane ağırlığı, LAI ve bitki boyu değerleri I_{100}'de en yüksek değerler saptanmıştır. Her iki deneme yılında da gerek kinoa verimi, gerekse verim bileşenlerinde azalan sulama miktarı ile azalma belirlenmiştir.

Araştırmanın model bölümünde öncelikle CROPGRO-Kinoa modelinde Titicaca kinoa çeşidine ait olan genetik katsayıların saptanması, diğer bir deyişle kalibrasyon safhasında GLUE programı ve "deneme-yanılma" yönteminden yararlanılmıştır. Tahmini ve ölçülen bitki büyüme dönemleri (çiçeklenmeye ve olgunlağa ulaşma zamanı), kinoa dane verimi, toprak su içeriği ve yaprak alan indeksi (LAI) değerlerinin mevsim içerisindeki zamansal değişimi arasındaki benzer uyum (±% 10) test edilerek, kinoa genetik katsayıları belirlenmiştir. Kalibrasyon işleminde 2014 yılı verilerinden, validasyon işleminde ise 2015 yılına ait verilerden yararlanılmıştır.

CROPGRO-Kinoa modelinin performansının istatistiksel olarak değerlendirmesinde, determinasyon katsayısı (r^2), hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE), normalleştirilmiş hata kareler ortalamasının karakökü ($RMSE_n$) ve uyum indeksi (d) parametreleri kullanılmıştır.

Ölçülen ve tahmin edilen çiçeklenmeye ulaşma zamanları (ÇUZ) arasındaki hata oranının 2014 yılında % -13.9 ile % +3.9, 2015 yılında ise % -13.3 ile % +3.8 arasında değiştiği görülmüştür. RMSE ve $RMSE_n$ değerleri 2014 yılı için sırasıyla 3.77 gün ve %8.16, 2015 yılında ise sırasıyla 3.49 gün ve %7.09 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.13).

Ölçülen ve tahmin edilen olgunluğa ulaşma zamanı (OUZ) günleri arasında % hata 2014 yılı için % -8.2 ile % 3.7, 2015 yılında ise % -9.72 ile % +1.23 arasında hesaplanmıştır. RMSE ve $RMSE_n$ değeri 2014 yılı için 3.42 gün ve %4.46, 2015 yılı için 4.09 gün ve %5.32 olarak saptanmıştır. CROPGRO-Kinoa modelinin kinoada çiçeklenmeye varış süresini kestirimde mükemmel bir performans gösterdiği söylenebilir.

Ölçülen ve tahmin edilen kinoa dane verim değerleri arasında 2014 yılında % hata değeri % -25.9 ile % +7.1, 2015 yılında ise %-11.3 ile +14.2 arasında değişmiştir. RMSE ve $RMSE_n$ değeri 2014 yılı için 350.6 kg/ha ve %9.4, 2015 yılı için ise 400.5 kg/ ha ve %11.8 olarak belirlenmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen kinoa yaprak alan indeksi (LAI) değerleri 2014 yılına ait farklı sulama düzeylerinde RMSE değerleri 0.7 ile 0.93 arasında değişirken, d-Stat (standart sapma) değerleri ise 0.81 ile 0.88 arasında belirlenmiştir. 2015 yılında ise ölçülen ve tahmin edilen kinoa LAI değerlerine ilişkin RMSE değerleri 0.61 ile 1.74 arasında değişirken, d-Stat (standart sapma) değerleri 0.72 ile 0.91 arasında belirlenmiştir. Her iki deneme yılında da farklı sulama düzeylerinde ölçülen ve tahmini LAI değerleri iyi düzeyde birbirine benzerdir.

CROPGRO-Kinoa modelinde duyarlılık analizinde önerilen tam sulama (I_{100}) konusunda meteorolojik parametrelerden sıcaklık, yağış ve CO_2'de olası iklim değişikliğindeki senaryolar gözönüne alınarak yapılmıştır. Duyarlılık analizinde öncelikle her bir meteorolojik parametre teksel, ardından ikili ve üçlü kombinasyonlarının uygulanarak kinoa verimi üzerindeki etkisi ortaya konulmuştur. Sıcaklığın mevcut koşullar üzerinde sırasıyla 1, 2, 3 ve 4° C artışı kinoa veriminde %-7.3, -15.2, %-23.5 ve %-30.3 oranında azalmaya neden olmaktadır. Yağışın %-10, -20 ve -30 azalması kinoa veriminde önemsiz düşüşlere (%-0.1-0.3) neden olurken, yağışlarda %10, 20 ve 30 artışlar ise önemsiz verim artışı (%+0.1-0.3) ile sonuçlanmıştır. CO_2'nin sırasıyla %25, 50, 75 ve 100 arttırılması kinoa veriminde %15.3, 26.8, 35.9 ve 43.5 artış ile sonuçlanmıştır. Bu durum artan CO_2 oranlarının karbondioksit gübrelemesi etkisi yaptığı ve bitkide fotosentezi arttırıcı etkisiyle kinoa veriminde önemli derecede artışa katkıda bulunmasıdır. Aynı sıcaklık değerlerinde yağış değerlerinin azalması veya artması verimdeki azalma oranında fark etmezken, +3 ve +4 sıcaklık değerlerindeki verimde azalma oranları %-23.3-30.4'e ulaşmıştır. Aynı CO_2 oranlarında yağış değerlerinde %-10, -20 ve -30 azalması veya %10, 20 ve 30 artışı kinoa veriminde etki göstermezken, herbir yağış senaryosunda artan CO_2 oranları önemli verim artışları ile sonuçlanmıştır. Aynı sıcaklık değerlerinde CO_2 oranlarında artış genelde kinoa veriminde önemli olumlu katkı sağlarken, +3 ve +4

°C'deki CO_2 oranlarında artışlar verim azalma oranını düşürmüştür. Meteorolojik parameterlerin üçlü kombinasyonları incelendiğinde aynı sıcaklık ve yağış değerlerinde artan CO_2 oranları ile kinoa veriminde artış göstermiştir. Ancak, bu artış değerleri +3 ve +4 sıcaklık değerlerinde belirgin azalmıştır. En yüksek verim artışı %33.4 ile sıcaklığın +1° C arttığı, yağışın % +30 arttığı ve CO_2 oranının 760 ppm olduğu durumda belirlenmiştir. Sıcaklığın +4C arttığı, tüm yağış ve CO_2 düzeylerinde kinoa veriminde önemli düşmelerin yaşanabileceği görülmüştür. Diğer kombinasyonlarda genelde kinoa verimlerindeki artışın en büyük payı CO_2 oranlarındaki artıştan kaynaklanmaktadır.

Doğu Akdeniz'de HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, GFDL-ESM2M küresel iklim modelleri ve RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryoları ile projeksiyon sonuçlarına göre yıllık sıcaklıkların yakın, orta ve uzak dönemde artış saptanırken, yağışlarda ise azalma eğilimi hesaplanmıştır. RCP4.5 ve RCP4.8 senaryolarına göre 2016-2098 tüm periyotta sırasıyla sıcaklıkların ortalama olarak 1.8°C ve 2.8°C artması beklenilmektedir. Aynı dönemde yağışların ise RCP4.5 ve RCP4.8 senaryolarına göre ortalama %-3.9 ve %-7.4 azalması tahmin edilmektedir.

RCP4.5 senaryosunda, 2016-2098 periyodunda yağış projeksiyonları incelendiğinde HadGEM2-ES'de %-16.4, MPI-ESM-MR'de %-18.4, GFDL_ESM2M modelinde ise %-9.72'lik bir azalma öngörülmektedir. Yağış projeksiyonları RCP4.8 senaryosunda ise sırasıyla oranlar %-18.3, %-22.1 ve %-18.6 olarak tahmin edilmektedir. Bu durumda susuz ve kısıntılı sulama şartlarında kinoa verim değerlerinin yağış miktarındaki azalmalara bağlı olarak önemli oranda etkilenecektir.

Kinoa dane verimi ve bitki büyüme dönemi uzunluğundaki değişimler tam sulama (I_{100}), kısıntılı sulama (I_{50}) ve susuz (I_0) koşullarda HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, GFDL-ESM2M küresel iklim modelleri ve RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryolarına göre yakın, orta ve uzak periyotta önemli farklılıklar göstermiştir. I_{100} tam sulama şartlarında RCP4.5 koşulunda verim değişiminin yakın periyotta ortalama %+3.9, orta periyotta ortalama %+.8.6 artış sağlanırken, uzak periyotta ortalama % -4.6 oranında azalma saptanmıştır. RCP8.5 koşulunda verim değişiminin yakın, orta ve uzak periyotta sırasıyla ortalama %+3.1 artış, %-7.0, %-13.7 oranında azalma belirlenmiştir. I_{50} kısıntılı sulamada RCP4.5 koşulunda verim değişiminin yakın, orta ve uzak periyotta sırasıyla ortalama %+2.6, +6.0 artış ve -7.5 azalma belirlenmiştir. RCP8.5 koşulunda verim değişimleri yakın, orta ve uzak periyotta sırasıyla ortalama %+1.7 artış, %-8.0, %-20.0 oranında azalma saptanmıştır. Susuz (I_0) koşullarda RCP4.5 şartlarında verim değişiminin yakın, orta ve uzak periyotta sırasıyla ortalama %+0.8, +4.3 artış ve %-9.1 azalma saptanırken, RCP8.5 şartlarında sırasıyla %+1.0 artış, %-9.6 ve % -27.8 azalma belirlenmiştir. Sonuçta tüm periyotlarda en negatif değerlerin hem RCP4.5, hem de RCP8.5 iklim senaryolarında HADGEM2-ES modelinde oluştuğu belirlenmiştir.

Bitki gelişme dönemi uzunluğu I_{100} tam sulama koşullarında RCP4.5 şartlarında yakın periyotta (2016-2045) ortalama %-4.5, orta periyotta (2046-2075) ortalama % -5.1, uzak periyotta (2076-2098) ortalama % -6.3 oranında azalma olacağı belirlenmiştir. Aynı konu RCP8.5 şartlarında bitki gelişme dönemi uzunluğu yakın periyotta ortalama %-6.6, orta periyotta ortalama % -7.7, uzak

periyotta ortalama % -8.4 oranında azalma olacağı belirlenmiştir. I_{50} kısıntılı sulama koşullarında RCP4.5 şartlarında bitki gelişme dönemi uzunluğu yakın periyotta ortalama %-6.4, orta periyotta ortalama % -7.0, uzak periyotta ortalama % -8.2 oranında azalma olacağı belirlenmiştir. Aynı konuda RCP8.5 şartlarında bitki gelişme dönemi uzunluğu yakın periyotta ortalama %-8.4, orta periyotta ortalama %-8.8, uzak periyotta ortalama %-9.3 oranında azalma olacağı belirlenmiştir. Susuz (I_0) koşullarda RCP4.5 şartlarında bitki gelişme dönemi uzunluğu yakın, orta ve uzak periyotta sırasıyla ortalama %-7.3, %-8.2 ve %-8.5 oranında anında azalma olacağı saptanmıştır. Aynı konu RCP8.5 şartlarında bitki gelişme dönemi uzunluğu yakın, orta ve uzak periyotta sırasıyla ortalama %-9.0, % -9.6,ve %-10.8 oranında azalma ile sonuçlanmıştır. CROPGRO-Kinoa modeli ile olası iklim değişikliğinin kinoa büyüme dönemi uzunluğu üzerine sıcaklıklarda artışa bağlı olarak azalacağı saptanmıştır. Kinoa büyüme dönemi uzunluğu ortalama olarak RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarında sırasıyla %-8.0 ve %-9.8 oranında azalacaktır.

CROPGRO-Kinoa modeli ile çiçeklenmeye ulaşma zamanı ve kinoa dane verimi tahmininde iyi, olgunluğa ulaşma zamanı, LAI'nin ve toprak su içeriğinin zamansal değişimi tahmininde mükemmel performans göstermiştir. Sonuçta, CROPGRO-Kinoa modeli Doğu Akdeniz iklim koşullarında Titicaca kinoa çeşidinin bitki gelişme dönemlerini, kinoa dane verimini ve verim bileşenlerini tahminde güvenle kullanılabilir. İklim değişikliğinin olası etkilerinin kinoa bitkisinde yakın, orta ve uzak dönemde tahminin yapılması ve detaylı olarak sunulması gelecekte bu konuda araştırma yapacak araştırıcılara, planlayıcılara katkı açısından oldukça önem taşımaktadır.

Ülkemizde kinoa yetiştiriciliğinin değişik iklim, bitki çeşidi ve toprak şartlarında gelişimini sağlamak amacıyla yeni projeleri arazide yapmak, sonuçları yorumlamak ve sulu ve kuru koşullarda kinoa verimini kısıtlayacak parametreleri saptamak ve açıklamak oldukça işgücü ihtiyacı gerektirecek, zaman alacak ve giderleri arttıracaktır. Bu koşullarda diğer bir seçenek birçok araştırmada kabul görmüş DSSAT-Cropgro-Kinoa gibi modeller ile değişik stratejileri karşılaştırmak mümkündür. Bununla birlikte, mevcut koşulların gelecekteki durumu modele tanımlanarak, olası iklim değişiminin neticesindeki verim tahminleri gerçekleştirilebilemektedir.

KAYNAKLAR

Adnan, A, A., Jibrin, J, M., Kamara, A, Y., Abdulrahman, B, L., Shaibu, A, S., Garba, I, I., 2017. CERES–Maize model for determining the optimum planting dates of early maturing maize varieties in northern Nigeria. Front. Plant Science, 8:1118. doi: 10.3389/fpls.2017.01118.

Adolf, V, I., Shabala, S., Andersen, M, N., Razzaghi, F., Jacobsen, S.E., 2012. Varietal differences of kinoa's tolerance to saline conditions. Plant Soil, 357: 117–129.

Agarwal, A., Rizwana, T., Tripathi, A. D., Kumar, T., Sharma, K, P., Patel, S, K, S., 2023. Nutritional and functional new perspectives and potential health benefits of quinoa and chia seeds. Antioxidants, 12:1413. doi: 10.3390/antiox12071413.

Ahmad, A., Ali, A., Khaliq, T., Wajid, S., Iqbal, Z., Ibrahim, M., Javeed, H, M, R., 2013. OILCROP-SUN model relevance for evaluation of nitrogen management of sunflower hybrids in sargodha, punjab. American Journal of Plant Science, 04:731-1735. 10.4236/ajps.2013.49212.

Akçakaya, A., Sümer, U. M., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Gürkan, H., Yazıcı, B., Kocatürk, A., Şensoy, S., Bölük, E., Arabacı, H., Açar, Y., Ekici, M., Yağan, S., Çukurçayır, F., 2015. Yeni senaryolarla Türkiye iklim projeksiyonları ve iklim değişikliği-TR2015-CC. Meteoroloji Genel Müdürlüğü yayını149 s., Ankara.

Akçay, E., Tan, M., 2021. Farklı sulama seviyelerinin bazı kinoa (chenopodium quinoa willd.) çeşitlerinde kök ve sürgün gelişmesine etkileri. Journal of The Institute of Science and Technology, 3203-3212. doi:10.21597/jist.937385.

Algosaibi, A, M., Badran, A, E., Almadini, A, M., EL-Garawany, M., 2017. The effect of irrigation intervals on the growth and yield of quinoa crop and its components. Journal of Agricultural Science, 9(9): 182–191.

Alvar-Beltrán, J., Saturnin, C., Dao, A., Dalla, M, A., Sanou, J., Orlandini, S., 2019. Effect of drought and nitrogen fertilisation on quinoa. (chenopodium quinoa willd.) under field conditions in Burkina Faso. Italia. Journal. Agrometeorol, 1: 33–44.

Alvar-Beltrán , J., Verdi, L., Dalla Marta, A., Vivoli, R., Casini, P., Sanou, J., Orlandini, S., 2020. The effect of heat stress on quinoa (cv. Titicaca) under controlled climatic conditions. The Journal of Agricultural Science, 158:255–261.

Alvar-Beltrán, J., Gobin, A., Orlandini,S., Dao, A., Marta, D,A., 2021. Climate resilience of irrigated quinoa in semi-arid west Africa. Clımate Research, 97-111. doi:https://doi.org/10.3354/cr01660.

Anonymous. 2022. Food security and climate change in 2021. 1https://unfoundation.org/blog/post/climate-issues-to-watch-in-ayear-for-more-action-and-bigger-ambition.

Anothai, J., Patrothai, A.,Jogloy, S.,Pannagpeth, K., Boote, K, J., Hoogenboom, G., 2008. A sequential approach for determining the cultivar coefficients of peanut lines using an end of season data of crop performance trials, Field Crop Research, 108:169–178.

Arslan, B., 2024. "İklim değişikliğinin bursa koşullarında yetiştirilen soya fasulyesi (Glycine max (L.) merril) tane verimine ve su kullanım verimliliğine olan etkileri". Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Ana Bilim Dalı, s110, Bursa.

Awasthi, R., Bhandari, K., Nayyar, H., 2015. Temperature stress and redox homeostasis in agricultural crops. Front. Environmental. Science, 3, 11.

Aydoğdu, M., Yildiz, H., Gürkan, H., Sirli, B., Tuğaç, MG., 2023. Evaluation of Yield Prediction Performance of DSSAT CSM-CERES-Wheat Model in Some Bread Wheat Varieties, International Journal of Environment and Geoinformatics (IJEGEO), 10(1):051-066. doi. 10.30897/ijegeo.1087591.

Babur, E, Dindaroğlu T, Yilmaz C, Sünbül, M., 2021. Effects of organic materials obtained from different tree species on some chemical parameters of water quality: study case of Andirin-Akifiye forest management unit. Aquatic Sciences and Engineering, 36(1):15-21. doi.org/10.26650/ase2020714556.

Bazile, D., Bertero, H.D., Nieto, C., 2015. State of the art report on kinoa around the world in 2013; FAO: Santiago, Chile., CIRAD. Montpellier, France, p. 603.

Bazile, D., Baudron, F., Bossio, D., Vogt, G., 2016a. The world of quinoa: An overview of challenges and opportunities. In State of the art report of quinoa in the world in 2013 FAO & CIRAD. pp. 1-13.

Bazile, D., Jacobsen, S-E., Verniau, A., 2016b. The global expansion of quinoa trends and limits. Frontiers in Plant Science, 7, 622. doi.org/10.3389/fpls.00622.

Bazile, D., Pulvento, C., Verniau, A., Al-Nusairi, M, S., Ba, D., Breidy, J., Hassan, L., Mohammed, M.I., Mambetov, O., Otambekova, M., 2016c. Worldwide evaluations of kinoa: Preliminary results from post International Year of Kinoa FAO projects in nine countries. Front. Plant Science, 7, 850.

Beadle, C, L., 1985. Plant growth analysis techniques in bioproductivity and photosynthesis. Edited by J. Coombs, D.O. Hall, S.P. Long and J.M.O. Scurlock. Pergoman Press Oxford, England, Chapter 2, pp: 20-25.

Bertero, H, D., King, R.W., Hall, A.J., 1999. Modelling photoperiod and temperature responses of flowering in kinoa (Chenopodium kinoa Willd.). Field Crop. Research, 63: 19–34.

Bertero, H, D., De la Vega, A.J., Correa, G., Jacobsen, S.E., Mujica, A., 2004. Genotype and genotype-by-environment interaction effects for grain yield and grain size of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) as revealed by pattern analysis of international multienvironment trials, Field Crops Research, 89:299–318.

Bertero, H.D., De La Vega, A.J., Correa, G., 2011. Response of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) to soil water availability and sowing date in a desert environment. Field Crops Research, 129: 218-228. doı: 10.1016/j.fcr.03.013.

Bhargava, A, Shukla S, Ohri, D., 2006. Chenopodium quinoa—an Indian perspective. Industrial Crops Products, 23:73–87.

Bhargava, A., Shukla, S., Ohri, D., 2007. Genetic variability and ınterrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (chenopodium quinoa willd.). Field Crop Research, 101:104–116.

Bhupinderdhir, S., 2018. Crop productivity in changing climate chapter. Sustain Agriculture Review, 27:213–41. doi.org/10.1007/978-3-319-75190-0.

Boote, K, J., Jones, J, W., Hoogenboom, G., Pickering, N, B., 1998. The CROPGRO model for grain legumes, in: g.y. tsuji, g. hoogenboom, p.k. thornton (eds.), understanding options for agricultural production. systems approaches for sustainable agricultural development, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 99–128.

Boote, K.J., Mínguez, M, I., Sau, F., 2002. Adapting the CROPGRO-legume model to simulate growth of faba bean. Agronomy. Journal, 94: 743–756.

Boote, K.J., Hoogenboom, G., Ale, S., Adams, C., Shrestha, R., Mvuyekure, R.F., Himanshu, S.K., Grover, K., Angadi, S., 2023. Adapting the CROPGRO model to simulate growth and yield of guar, Cyamopsis tetragonoloba L, an industrial legume crop. Industrial Crops and Products, 197:1-17. doi.org/10.1016/j.indcrop.116596.

Bosque, Sanchez, H., Lemeur, R., Van, Damme, P., Jacobsen, S-E., 2003. ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (chenopodium quinoa willd.). Food Reviews International, Vol. 19:111-119.

Bouman, B.A.M., Van Laar, H.H., 2006. Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. Agricultural Systems, 87:249-273.

Buckland, R.K., Earl, Creech, J., Cardon, E.G., Monaco, A.T., Reeve, R.J., 2019. Quinoa response to line-source sprinkler irrigation. Journal of Crop Improvement, 649-668. doi:0.1080/15427528.

Buddhaboon, C., Jintrawet, A., Hoogenboom, G., 2018. Methodology to estimate rice genetic coefficients for the CSM-CERES-Rice model using GENCALC and GLUE genetic coefficient estimators. The Journal of Agricultural Science, 156(4):482-492. doi:10.1017/S0021859618000527.

Bunce, J, A., 2017. Variation in yield responses to elevated CO_2 and a brief high-temperature treatment in kinoa. Plants, 6(4), 26.

Cakmakci ,T., 2023. Assessment of growth, seed yield, and water productivity of two Chenopodium quinoa cultivars under different irrigation levels in semiarid conditions. Zemdirbyste-Agriculture, 139–148. doi:10.13080/z-a.2023.110.017.

Campbell, B, M., Vermeulen, S, J., Aggarwal, P, K., Corner-Dolloff, C., Girvetz, E., Loboguerrero, A, M., Ramirez-Villegas, J, Rosenstock, T., Sebastian, L., Thornton, P, K., Wollenberg, E., 2016. Reducing risks to food security from climate change. Glob Food Security, 11:34–43.

Casini, P., 2002. Possibilità di Introdurre la Quinoa Negli Ambienti Mediterranei. L'Informatore Agrario, 58:29-34.

Ccama, I., Santoro, B., Semino, J., 2022. Model predictive control for precision irrigation of a Quinoa crop. Open Chemistry, 20:1622-1631.

Chisanga, C, B., Phiri, E., Chinene, V., 2021. Evaluating APSIM and DSSAT-CERES-Maize models under rainfed conditions using zambian rainfed maize cultivars. Nitrogen, 2(4):392–414.

Choudhary, M., Tetarwal, P, J., Ram, B., Kumar , R., Bijarnia, A., Kumawat, R., 2022. Effect of land configuration and irrigation scheduling on productivity and water use of quinoa (Chenopodium quinoa) under south-eastern ecologies of Rajasthan. Indian Journal of Agronomy, 108-112.

Choukr-allah, R., Rao, N.K., Hirich, A., Shahid, M., Alshankiti, A., Toderich, K., Gill, S., Butt, K, U, R., 2016 . Kinoa for marginal environments: toward future food and nutritional security in Mena and Central Asia regions. Frontiers in Plant Science, 7 (346):1–11.

Cusicanqui, J., Dillen, K., Garcia, M ,Geerts, S., Raes, D., Mathijs, E, 2013. Economic assessment at farm level of the implementation of deficit irrigation for quinoa production in the Southern Bolivian Altiplano. Spanish Journal of Agricultural Research, 894-907. doi:10.5424/sjar/2013114-4097.

Çağlar, K, Ö., 1949. Toprak Bilgisi. A.Ü. Zir. Fak. Yayınları No:10, 230s, Ankara.

Çaygaracı, A., Kuşçu, H., 2019. Farklı sulama suyu miktarı ve besin çözeltisi uygulamalarının kinoa (chenopodium quinoa willd.) verim, bazı verim bileşenleri ve su kullanım etkinliği üzerine etkisi. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi, 370-380. doi: 10.18016/ksutarimdoga.vi.509829.

Çolak, B, Y., Yazar ,A., Gönen, E., 2021. Çukurova bölgesinde farklı damla sulama yöntemleriyle yetiştirilen kinoa bitkisinin sulama ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi. Soil Water Journal, 35-42. doi:10.21657/topraksu.770874.

Danielsen, S., Ames, T., Echegaray, J,. Jacobsen, S-E., 2000. Correlación entre métodos de evaluation y Perdida de pentimentoen el portosystemicquinau-mildiu. Fitopatologia, 35:242–248.

Danielsen, S., Bonifacio, A., Ames, T., 2003. Diseases of quinoa (Chenopodium quinoa). Food Reviews International, 19:43–59.

Danielsen, S., Munk, L., 2004. Evaluation of disease assessment methods in quinoa for their ability to predict yield loss caused by downy mildew. Crop Protection 23(3):219–228.

Dao, A., Guira, A., Alvar-Beltran, ´ J., Gnanda, A., Nebie, L., Sanou, J., 2020. Quinoa's response to different sowing periods in two agro-ecological zones of Burkina Faso. Italian. Journal. Agrometeorol, 1: 63–72.

Delgado, P, A, I., Palacios, C, J, H., Betancourt, G, C., 2009. Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (Chenopodium Quinoa Willd.) en el Municipio de Iles, Nariño, Colombia. Journal. Agronomia Colombiana, 27(2):159-167.

Demircan, M., Arabacı, H., Akçakaya, A., Gensoy, S., Bölük, E., Coskun, M., 2017. iklim ve Şehirleşme: Minimum Sıcaklık Trendleri. IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, 5- 7 Temmuz, İstanbul.

Dent, J, B., Blackie, M, J., 1979. Systems Simulation in Agriculture. Applied Science, London.

Dinç, U., Sarı, M., Şenol, S., Kapur, S., Sayın, M., 1990. Çukurova Bölgesi Toprakları, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Yardımcı Ders Kitabı No: 26, Adana, 171s.

Dokoohaki, H., Gheysari, M., Mousavi, S., Zand-Parsa, S., Miguez, F., Archontoulis, S., Hoogenboom, G., 2016. Coupling and testing a new soil water module in DSSAT CERES-Maize model for maize production under semi-arid conditions. Agricultural. Water Management. 163:90–99. https://doi.org/10.1016/j.agwat..09.002.

Doorenbos, J., Kassam, A. K., 1986. Yield response to water. FAO United Nations, Irrigation and Drainage paper, no: 33, Rome, pp:193.

Eisa, S.S., Eid, M.A., Abd, E.S., Hussin, S.A., Abdel-Ati, A.A., El-Bordeny, N.E., Ali, S.H., Al-Sayed, H, M.A., Lotfy, M.E., Masoud, A.M., 2017. Chenopodium kinoa Willd. A new cash crop halophyte for saline regions of Egypt. Aust. Journal. Crop Science, 11:343–351.

El-harty, H.A., Khan, A.M., Seleiman, F, M., Afzal, M., Alghamdi, S.S., 2023. Water use efficiency (WUE) and productivity of promising quinoa (Chenopodium quinoaWild.) genotypes grown under three water regimes. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca journa, 13209.

English, M., 1990. Deficit Irrigation. I. Analytical Framework. Journal. Irrigation. Drainage Engineering ASCE, 116:399-412.

Fajardo, H., García, M., Raes D., Van, Gaelen, H., 2016. Validación del modelo Aquacrop para diferentes niveles de fertilidad en el cultivo de quinua en el Altiplano Boliviano. Revista CINTEX, 21:31–52.

FAO. 2011. Kinoa an Ancient Crop to Contribute to World Food Security; FAO Regional Office for Latin America and the Caribbean: Santiago, Chile,. 22.

FAO. 2013. Climate-smart agriculture sourcebook. http://www.fao.org/3/a-i3325e

FAOSTAT. 2023. Total production and yield of quinoa in 1961–2017. FOA . Http://www.fao.org/faostat/en/#data.

Feleke, H, G., Savage, M, J., Tesfaye, K., 2021. Calibration and validation of apsım–maize, dssat ceres–maize and aquacrop models for ethiopian tropical environments. South African Journal of Plant and Soil, 38(1):36–51. doi.org/10.1080/02571862. 2020.1837271.

Fghire, R., Wahbi, S., Anaya, F., AlI, O, I., Benlhabib, O., Ragab, R., 2015. Response of quinoa to different water management strategies: field experiments and saltmed model application results. Irrigation and Drainage, 64: 29-40.

Fghire, R., Anaya F., Issa Ali O., Lamnai K., Foughali B., Faghire M., Benlhabib O., Wahbi S. 2022. Effects of deficit irrigation and fertilization on quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) water status and yield productions. Gesunde Pflanzen, 74 (1): 97–110. doi.org/10.1007/s10343-021-00591-1.

Field, C, B., Barros, V, R., Dokken, D., Mach, K., Mastrandrea, M., Bilir, T., Chatterjee, M., Ebi, K, L., Estrada, Y, O., Genova, R.C., 2014. Impacts adaptation, and vulnerability. part a: global and sectoral aspects. contribution of working group ıı to the fifth assessment report of the ıntergovernmental panel on climate change; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA, Available online: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5.

Galvez, A, V., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., Martinez, E, A., 2010. Nutrition facts and functional potential of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.), an ancient Andean grain: a review. Journal. Science. Food Agriculture, 90, 2541–2547. doi: 10.1002/ jsfa.4158.

Garcia, M., 2003a. Agroclimatic study and drought resistance analysis of quinoa for an ırrigation strategy in the bolivian altiplano. Dissertationes de Agricultura 556. Faculty of Applied Biological Sciences, Leuven, Belgium.

Garcia, M., Raes, D., Jacobsen, S-E., 2003b. Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (Chenopodium quinoa) in the Bolivian highlands. Agricultural Water Management, 60:119–134.

Garcia, M., Raes, D., Jacobsen S.-E., Michel, T., 2007. Agroclimatic constraints for rainfed agriculture in the Bolivian Altiplano. Journal. Arid Environment, 71: 109–121.

Garcia M, Condori B, Castillo, CD., 2015. Agroecological and agronomic cultural practices of quinoa in south america. Quinoa: improvement and sustainable production. 25-46.

Garcia-Parra, M, A., Roa-Acosta, D, F., Stechauner-Rohringer, R., García-Molano, F., Bazile, D., Plazas-Leguizamón, N., 2020. Effect of temperature on the growth and development of quinoa plants (Chenopodium quinoa Willd.): A review on a global scale. Sylwan, 164, 411–423.

Garrity, P.D., Watts, D.G., Sullivan, C.Y., Gilley, J.R., 1982. Moisture deficits and grain sorghum performance. Evapotranspirasion yield relationships. Agronomy Journal, 74:815-820.

Geerts, S., Mamani, R.S., Garcia, M., Raes, D., 2006. Response of Quinoa (Chenopodium quinoa Willd) to Differential Drought Stress in the Bolivian Altiplano: Towards a Deficit Irrigation

Strategy within a Water Scarce Region. In: Proceedings of the 1st International Symposium on Land and Water Management for Sustainable Irrigated Agriculture, 4- 8 April , Çukurova Univ., Adana, Turkey.

Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Vacher, J., Mamani, R., Mendoza, J., Huanca, R., Morales, B., Miranda, R., Cusicanqui, J., Taboada, C., 2008a. Introducing Deficit Irrigation to Stabilize Yields of Quinoa (Chenopodium Quinoa Willd.). European Journal of Agronomy, 28:427–436.

Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Condori, O., Mamani, J., Miranda, R., Cusicanqui, J., Taboada, C., Vacher, J., 2008b. Could deficit irrigation be a sustainable practice for quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) in the Southern Bolivian Altiplano? Agricultural. Water Management, 95:909–917.

Geerts, S., Raes, D., Garcia M., Mendoza, J., Huanca, R., 2008c. Crop Water Use Indicators to Quantify the Flexible Phenology of Quinoa (Chenopodium Quinoa Willd.) in Response to Drought Stress. Field Crop Research, 108:150-156.

Geerts, S., Raes, D., 2008. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural. Water Management, 96:1275–1284.

Geren, H., Geren, H., 2016. A preliminary study on the effect of different irrigation water on the grain yield and related characters of quinoa (Chenopodium quinoa). Works of Fecity of Agriculture and Food Science, 61(66–1): 269–272.

Gęsiński, K., 2008a. Evaluation of the development and yielding potential of Chenopodium quinoa Willd. under the climatic conditions of Europe, Part One: Accomodation of Chenopodium quinoa (Willd.) to different conditions, Acta Agrobotanica, 61(1):179 184.

Gęsiński, K., 2008b. Evaluation of the development and yielding potential of Chenopodium quinoa Willd. under the climatic conditions of Europe, Part Two: Yielding potential of Chenopodium quinoa under different conditions, Acta Agrobotanica, 61(1):185- 189.

González, J, A., Eisa, S, S., Hussin, S, A, E, S., Prado, F, E., 2015. Quinoa: An Incan crop to face global changes in agriculture. Quinoa Improv. Sustainable Production, 1–18.

Gürkan, H., 2019. Konya havzasında iklim değişikliğinin ayçiçeği (Helianthus annuus L.) verimine olası etkilerinin tahmin edilmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, 118s, Ankara.

Gürkan, H., Shelia, V., Bayraktar, N., Yildirim, Y, E., Yesilekin, N., Gunduz, A., Boote, K., Porter, C., Hoogenboom, G., 2020. Estimating the potential impact of climate change on sunflower yield in the Konya province of Turkey. The Journal of Agricultural Science, 158(10):806-818. doi:10.1017/S0021859621000101.

Hartkamp, A, D., Hoogenboom, G., White, J, W., 2002. Adaptation of the CROPGRO growth model to velvet bean (Mucuna pruriens): I. Model development. Field Crop Research, 78:9–25.

Hirich, A., El Omarı, H., Lamaddelana, N., Hamdy, A., Jacobsen, S. E., Jelloul, A., Choukr-Allah, R., 2013. Quinoa and chickpea responses to ırrigation water salinity. Swup-Med Project Final Conference.Morocco. Proceeding Ebook, 417-440.

Hirich, A., Choukr-Allah, R., Jacobsen, S-E., 2014a. Quinoa İn Morocco- Effect of sowing dates on development and yield. Journal of Agronomy and Crop Science, 200 (5):371-377.

Hirich, A., Choukr-Allah, R., Jacobsen, S.E., 2014b. Deficit irrigation and organic compost ımprove growth and yield of quinoa and pea. Journal of Agronomy and Crop Science, 200 (5):390-398.

Hinojosa, L., González, J., A., Barrios-Masias, F, H., Fuentes, F., Murphy, K.M., 2018. Kinoa abiotic stress responses: A review. Plants, 8(7): 240. doı: 10.3390/plants8070240.

Hinojosa, L., Matanguihan, J.B., Murphy, K.M., 2019. Effect of high temperature on pollen morphology, plant growth and seed yield in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). Journal of Agronomy and Crop Science, 205(1): 33-45.

Hodges, B., Tagert, M.L. Paz, J.O. 2022. Use of a crop model and soil moisture sensors for estimating soil moisture and irrigation applications in a production soybean field. Irrigation Science, 40:925–939. https://doi.org/10.1007/s00271-022-00802-1

Hoogenboom, G., White, J. W., & Messina, C. D., 2004. From genome to crop: integration through simulation modeling. Field Crops Research, 90(1): 145-163. doi.org/10.1016/j.fcr.2004.07.014.

Hoogenboom, G., Jones, J.W., Wilkens, P.W., Porter, C.H., Boote , K.J., Hunt, L., Singh, U., Lizaso, J., White, J, W., Uryasev, O., Royce, F, S., Ogoshi, R., Gijsman, A, J., Tsuji, G, Y., Koo, J., 2012. Decision support system for Agrotechnology transfer: version 4.5. Honolulu: University of Hawaii.

Hoogenboom, G., Porter, CH., Shelia, V., Boote, K,J., Singh , U., White, J, W., 2017. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7. https://DSSAT.net. DSSAT Foundation, Gainesville, Florida.

Hoogenboom, G, Porter, CH., Shelia, V, Boote, K, J., Singh, U., White, J, W., Hunt, L, A., Ogoshi, R., Lizaso, J,I,. Koo, J., Asseng, S., Singels, A., Moreno, L, P., Jones, J, W., 2019. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Version 4.7.5 (https://DSSAT.net). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, U.S.A.

Howell, T.A., Cuenca, R, H., Solomon, K, H., 1990. Crop Yield Response, In: Management of Farm Irrigation Systems. (Eds.: Hoffman GJ, Howell TA, Solomon KH). An ASAE Monog. St. Joseph, MI pp. 93-124.

Howell, T.A., Yazar, A., Schneider, A.D., Dusek, D.A., Copeland, K.S., 1994. Yield and Water Use Efficiency of Corn in Response to LEPA Irrigation. ASAE Transactions of the ASAE, 38(6):1737-1747

Huang, J., Yu, H., Guan, X., Guo, R., 2015. Accelerated dryland expansion under climate change. Nature Climate Change, 6:166-171.

Hunt, L.A., Pararajasingham, S., Jones, J.W., Hoogenboom G., Imamura, D.T., Ogoshi, R, M., 1993. Gencalc: Software to facilitate the use of crop models to analyse field experiment. – Agronomy Journal, 85: 1090-1094.

Hunt, L.A., Boote K.J., 1998. Data for model operation, calibration, and evaluation. In: Impact of climate change on the rice–wheat cropping system of Pakistan. In: Rosenzweig, C., Hillel, D. (Eds.), Handbook of climate change and agroecosystems: the agricultural model inter comparison and improvement project (AgMIP). ICP Series on Climate Change Impacts, Adaptation, and Mitigation. Imperial College Press London, 219-258.

International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer (IBSNAT), 1989. Decision support system for agrotechnology transfer v2.1 (DSSAT v2. 1). Department of Agronomy and Soil Science, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, USA.

IPCC, 2013. Climate Change 2013: The physical science basis. contribution of working group ı to the fifth assessment report of the ıntergovernmental panel on climate change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 1535 pp.

İncekaya, Ç., 2010. Akdeniz bölgesinde damla sistemiyle tatlı ve tuzlu su kullanılarak uygulanan farklı sulama stratejilerinin quinoa bitkisinin verimiyle toprakta tuz birikimine etkileri ve saltmed modelinin test edilmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı (Yüksek Lisans Tezi), 122s.

İncekaya, Ç., 2015. Akdeniz koşullarında farklı tuzluluk ve sulama düzeylerinde quinoa (Chenopodium quinoa Wild.) bitkisinin verim fizyolojik tepkilerinin araştırılması ve Saltmed modelinin test edilmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı (Doktora Tezi), 213s.

Jacobsen, S-E., Stølen, O., 1993. Quinoa-Morphology, Phenology and Prospects for Its Production as a New Crop in Europe. European Journal of Agronomy, 2:19-26.

Jacobsen, S-E., 2003a. The worldwide potential for quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). Food Reviews International, 19(1-2): 167-177.

Jacobsen, S-E., Mujıca, A., Jensen, C.R., 2003b. The Resistance Of Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) to Adverse Abiotic Factors. Food Reviews International, 19: 99-109.

Jacobsen, S-E., C. Monteros, J, L., Christiansen, L, A., Bravo, L, J., Corcuera, A. Mujica, 2005. Plant responses of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) to frost at various phenological stages. Eur. Journal Agronomy, 22: 131–139.

Jacobsen, S-E., C. Monteros, L.J., Corcuera, L.A, Bravo, J.L., Christiansen,A., Mujica, 2007: Frost resistance mechanisms in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). Eur. Journal Agronomy, 26: 471–475.

Jacobsen, S-E., Liu, F., Jensen, C.R., 2009a. Does Root-Sourced ABA Play a Role for Regulation of Stomata under Drought in Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). Scientia Horticulturae, 122:281-287.

Jacobsen, S-E., Monteros, C., Corcuera, L.J., Bravo, L.A., 2009b. Quinoa Adaptation to climates and improvement of conditions of cultivation. In The Future of Drylands pp. 205-220. doi: 10.1007/978-1-4020-8821-1_23.

Jacobsen, S-E., 2011. The situation for quinoa and its production in southern Bolivia: from economic success to environmental disaster. Journal Agronomy Crop Science, 197(5): 390-399. doi: 10.1111/j.1439-037x.2011.004 75.x.

Jacobsen, S-E., 2014. New Climate-Proof Cropping Systems in Dry Areas of the Mediterranean Region, Journal. Agronomy. Crop Science, doi:10.1111/jac.12080.

Jacobsen, S-E., 2017. The scope for adaptation of quinoa in northern latitudes of Europe. Journal. Agronomy Crop Science, 03: 603–613.

Jaikishun, S., Li, W., Yang, Z., Song, Sh., 2019. Quinoa: In Perspective of Global Challenges. Agronomy, 9: 176. doi:10.3390/agronomy9040176.

Jamieson, P.D., Porter, J.R., Wilson, D.R., 1991. A test of the computer simulation model ARC-wheat on wheat crops grown in New Zealand. Field Crops Research, 27: 337–350.

Jan, N., Hussain, S, Z., Naseer, B., Bhat, T, A., 2023. Amaranth and quinoa as potential nutraceuticals: a review of anti-nutritional factors, health benefits and their applications in food, medicinal and cosmetic sectors. Food Chemistry X, 18:100687. doi: 10.1016/j.fochx.2023.100687.

Jancurová, M., Minarovicova, L., Dandár, A., 2009. Quinoa—a review. Czech J Food Sci 27:71–79.

Jensen, C.R., Jacobsen, S.E., Andersen, M.N., Nunez, N., Andersen, S.D., Rasmussen, L., Mogensen, V, O., 2000. Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (ChenopodiumquinoaWilld.) during soil drying. European Journal of Agronomy, 13(1): 11-25. doi.org/10.1016/S1161-0301 (00)00055-1.

Jiang, R., He, W., He, L., Yang, J.Y., Qian, B., Zhou, W., He, P., 2021. Modelling adaptation strategies to reduce adverse impacts of climate change on maize cropping system in Northeast China. Scientifc Reports, 11(1):810. doi.org/10.1038/s41598-020-79988-3.

Jinghua, W., Erda, L., 1996. The impacts of potential climate change and climate variability on simulated maize production in China. Water, Air and Soil Pollution, 92: 75/85.

Jones, J.W., Ritchie J.T., 1990. Crop growth models. In: Hoffman GJ, Howel TA, Solomon KH (Ed.). Management of Farm Irrigation Systems, The American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 9:63–89.

Jones, J.W., Tsuji, G, Y., Hoogenboom, G., Hunt, L, A., Thornton, P, K., Wilkens, P, W., Imamura, D, T., Bowen, W, T., Singh, U., 1998. Decision support system for agrotechnology transfer; DSSAT v3. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K. (Eds.), Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 157-177.

Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P, W., Singh, U., Gijsman, A.J., Ritchie, J.T., 2003. The DSSAT cropping system model. European Journal of Agronomy, 18(3–4):235–265. doi.org/10.1016/s1161-0301(02)00107-7 .

Jones, J.W., Antle, J.M., Basso, B., Boote, K.J., Conant, R.T., Foster, H., Godfray, C.J., Herrero, M., Howitt, R.E., Janssen, S., Keating, B.A., Munoz-Carpena, R., Porter, C.H., Rosenzweig, C., Wheeler, T, R., 2017. Brief history of agricultural systems modeling. Agricultural System, 155:240–254. doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.014.

Kadiyala, M.D.M., Nedumaran, S., Singh, P., Chukka, S., Irshad, M.A., Bantilan, M, C.S., 2015. An integrated crop model and GIS decision support system for assisting agronomic decision making under climate change. Science Total Environment, 521:123–134.

Kadiyala, M.D.M., Nedumaran, S., Padmanabhan, J., Gumma, M, K., Gummadi, S., Srigiri, S.R., Robertson, R., Whitbread, A., 2021. Modeling the potential impacts of climate change and adaptation strategies on groundnut production in India. Science Total Environment, 776:145996.

Kapur, B. 2010. Çukurova bölgesinde buğday veriminde artan CO_2 ve küresel iklim değişikliği etkileri. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sullama Anabilim Dalı Doktora Tezi, Adana, Türkiye, 198s.

Karunaratne, A.S., Hoogenboom, G., Boote, K.J., 2024. Adapting the CROPGRO model to simulate growth, development, and yield of Bambara groundnut (Vigna subterranea L. Verdc), an underutilized crop.European Journal of Agronomy, 159: 127279. doi.org/10.1016/j.eja.2024.127279.

Kephe, P.N., Ayisi, K.K., Petja, B.M., 2021. Challenges and opportunities in crop simulation modelling under seasonal and projected climate change scenarios for crop production in South Africa. Agriculture and Food Security 10:10. doi.org/10.1186/s40066- 020-00283-5.

Khaled, Sh., Abdel-Nasser, G.A., Hussein, H.A., Darwish, M, KH., Ibrahim, M, O., 2021. Impact Irrigation Deficit on Yield, and Water. Journal of the Advances in Agricultural Researches, pp 3. doi:10.21608/jalexu.2021.188848.

Kır, E, A., Temel, S., 2017. Sulu koşullarda farklı kinoa (Chenopodium quinoa Willd.) genotiplerinin tohum verimi ile bazı tarımsal özelliklerinin belirlenmesi. Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü. Dergisi, 353-361.

Koziol, M.J., 1993. Quinoa: a potential new oil crop. In: New Crops. J. Janick and J.E.Simon (Eds.), Wiley, New York, 328-336.

Kumar, A., Joshi, P., Kumar, V., 2019. Nutritional quality of kinoa (Chenopodium kinoa) under elevated atmospheric CO_2 conditions. Journal of the Science of Food and Agriculture, 99(13): 5906-5914. doi:10.1002/jsfa.9774.

Kuşçu, S., 2021. "İklim değişikliğinin Konya ilinde buğday (Triticum) verimine olası etkilerinin tahmin edilmesi". Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, s99,Ankara.

Lavini, A., Pulvento, C., Dandria, R., Riccardi, M., Choukr-Allah, R., Belhabib, O., Yazar, A., Ince Kaya, Ç., Sezen, S.M., Qadir, M., Jacobsen, S-E., 2014. Quinoa's Potential in the Mediterranean Region. Journal of Agronomy and Crop Science, 200 (5):344-360.

Lesjak, J., Calderini, D, F., 2017. Increased night temperature negatively affects grain yield, biomass and grain number in Chilean quinoa. Frontiers in Plant Science, 8, 352.

Li, Y., Huang, H., Ju, H., Lin, E., Xiong, W., Han, X., Wang, H., Peng, Z., Wang, Y., Xu, J., Cao, Y., Hu, W., 2015. Assessing vulnerability and adaptive capacity to potential drought for winter-wheat under the RCP 8.5 scenario in the Huang-Huai-Hai Plain. Agriculture, Ecosystems and Environment, 209: 125–131.

Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B, M., Baedeker, T, Braimoh, A., Bwalya, M., Caron, P., Cattaneo, A., Garrity, D., Henry, K., Hottle, R., Jackson, L., Jarvis, A., Kossam, F., Mann, W., McCarthy, N., Meybeck, A., Neufeldt, H., Remington, T., Sen, P, T., Sessa, R., Shula, R., Tibu, A., Torquebiau, E, F., 2014. Climate-smart agriculture for food security. Nature Climate Change, 4:1068–1072.

Loague, K., Green, R, E., 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. Journal Contaminate. Hydrology, 7:51–73.

Lobell, D.B., Asseng, S., 2017. Comparing estimates of climate change impacts from process-based and statistical crop models. Environmental Research Letters, 12(1):015001. Doi 10.1088/1748-9326/aa518a.

Lomeling, D., Silvestro, M, G., Kenyi, C, M., Lodiong, A, M., Kenyi, S, M., Yieb, L, J., 2016. Assessing the Spatial-Temporal Variability of Soil Moisture Content on Cowpea Phenology using the CROPGRO Cowpea Model, International Journal of Research in Agriculture and Forestry, pp 6-18.

López-Cedrón, X, F., Boote, K, J., Piñeiro, J., 2008. Improving the CERES-Maize Model Ability to Simulate Water deficit Impact on Maize Production and Yield Components. Agronomy Journal, 100: 296–307.

Maamri, K., Zidane, O, .D., Chaabena, A., Fiene, G., Bazile, D., 2022. Adaptation of Some Kinoa Genotypes (Chenopodium kinoa Willd.), Grown in a Saharan Climate in Algeria. Life, 12: 1854. doi.org/10.3390/life12111854.

Mack, L., Boote, K, J., Munz, S., Phillips, T, D., Graef-Hönninger, S., 2020. Adapting the CROPGRO model to simulate chia growth and yield. Agronomy Journal 112(5):3859–3877.

Malik, W., Dechmi, F., 2019. DSSAT modelling for best irrigation management practices assessment under Mediterranean conditions. Agricultural Water Management, https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.01.017.

Martinez, E.A., Veas, E., Jorquera, C., San Martin, R., Jara, P., 2009. ReIntroduction of quinoa into arid chile: cultivation of two lowland races under extremely low ırrigation. Journal of Agronomy and Crop Science, 195:1-10.

Mirsaf, S, M., Sepaskhah, R, A., Ahmedi, H ,S., 2024. Quinoa growth and yield, soil water dynamics, root growth, and water use indicators in response to deficit irrigation and planting methods. Journal of Agriculture and Food Research, 100970. doi:10.1016/j.jafr.2024.100970.

Morales, A., Ordenes, M., Madariaga, R., Peralta, G., Silva, H., 2020. Growth and physiological responses of quinoa to elevated CO_2 concentration, salinity, and drought. Journal of Agronomy and Crop Science, 206(4): 428-439. doi.org/10.1111/jac.12382.

Myers, S.S., Zanobetti, A., Kloog, I., Huybers, P., Leakey, A.D., Bloom, A.J., Schwartz, J., 2014. Increasing CO_2 threatens human nutrition. Nature, 510(7503): 139-142. doı: 10.1038/nature13179.

Nasim, W., Ahmad, A., Belhouchette, H., Fahad, S., 2016a. Evaluation of the OILCROP-SUN model for sunflower hybrids under different agro meteorological conditions of Punjab—Pakistan. Field Crops Research, 188. 10.1016/j.fcr.2016.01.011.

Nasim, W., Belhouchette, H., Ahmad, A., Habib-ur-Rahman, M., Jabran, K., Ullah, K., Fahad, S., Shakeel, M., Hoogenboom, G., 2016b. Modelling climate change impacts and adaptation strategies for sunflower in Pakistan Outlook Agriculture., 45 pp. 39-45.

Olsen, S.R., Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. In: A.L. Page, R.H. Miller (Eds). Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Agronomy Monograph 9, ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 403-430.

Partap, T., Galwey, N.W., 1995. Chenopods. Chenopodium spp. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 22. IPGRI:63.

Payero, J.O., Melvin, S.R., Irmak, S., Tarkalson, D., 2006. Yield Response of Corn to Deficit Irrigation in a Semiarid Climate. Agricultural Water Management, 84:101–112.

Pereira, L.S., Oweis, T., Zairi, A., 2002. Irrigation management under water scarcity. Agricultural Water Management, 57: 175–206.

Peterson, A., Murphy, K.M., 2015. Kinoa cultivation for temperate North America: Considerations and areas for investigation. In Kinoa: Improvement and Sustainable Production; Murphy, K., Matanguihan, J., Eds.; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA, pp. 173–192, ISBN 978-1-118-62804-1.

Pires, J.L., 2017. Avaliação do Comportamento Agronómico da Kinoa (Chenopodium kinoa Willd.), em Diferentes Regimes Hídricos e Níveis de Fertilização Azotada, nas Condições Agroecológicas de Trás-os-Montes. Master's Thesis, Instituto Politecnico de Bracanca Escola Superior Agraria, Bragança, Portugal.

Präger, A., Boote, K.J., Munz, S., Graef-Hönninger, S., 2019. Simulating growth and development processes of Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): adaptation and evaluation of the CSM-CROPGRO model. Agronomy, 9(12):832.

Prasad, V., Bheemanahalli, R., Jagadish, S.V.K., 2017. Field crops and the fear of heat stress—Opportunities, challenges and future directions. Field Crop. Research, 200: 114–121.

Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., D'andria, R., Iafelice, G., Marconi, E., 2010. Field Trial Evaluation of Two Chenopodium quinoa Genotypes Grown Under Rain-Fed Conditions in a Typical Mediterranean Environment in South Italy. Journal of Agronomy and Crop Science, 196 (6):407-411.

Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., Iafelice, G., Marconi, E., D'andria, R., 2012. Yield and Quality Characteristics of Quinoa Grown in Open Field Under Different Saline and Non-Saline Irrigation Regimes. Journal of Agronomy and Crop Science, 198 (4):254-263.

Rana, M., Singh, K.K., Kumari, N., Sanjay, J., Gohain, G.B., Kalra, N., 2019. Climate change impact and response of rice yield. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, https:// 10.5194/ isprs-archives-XLII-3-W6-245.

Razzaghi, F., Plauborg, F., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R., Andersen, M.N., 2011. Effect of Nitrogen and Water Availability of Three Soil Types on Yield, Radiation Use Efficiency and Evapotranspiration in Field-Grown Quinoa. Agricultural Water Management, 109: 20-29.

Razzaghi, F., Ahmadi, S. H., Jacobsen S-E., Jensen C.R., Andersen M. N., 2012. Effects of Salinity and Soil-Drying on Radiation Use Efficiency, Water Productivity and Yield of Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). Journal of Agronomy and Crop Science, 198 (3):173-184**.**

Razzaghi, F., Bahadori-Ghasroldashti, R, M., Henriksen, S., Sepaskhah, R, A., Jacobsen, E, S., 2020a. Physiological characteristics and irrigation water productivity of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) in response to deficit irrigation imposed at different growing stages—A field study from Southern Iran. Journal of Agronomy and Crop Science, 390-404. doi:10.1111/jac.12392.

Razzaghi, F., Ahmadi, S, H., Jacobsen, S, E., Andersen, M, N., 2020b. Elevated atmospheric CO_2 concentration improves photosynthesis and biomass production in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) under different water regimes. Journal of Agronomy and Crop Science, 206(1): 10-21. doı: 10.1111/jac.12445.

Richards, L.A., 1954. Diagnosis And Improvement Of Sahne And Alkali Soils. Usda Agriculture Handbook, No:60.

Risi, J., Galwey, N.W., 1991. Effects of sowing date and sowing rate on plant development and grain yield of quinoa (Chenopodium quinoa) in a temperate environment, The Journal of Agricultural Science, 117(3):325-332.

Rinaldi, M., Losavio, N., Flagella, Z., 2003. Evaluation and application of the OILCROP–SUN model for sunflower in southern Italy. Agricultural Systems, 78: 17-30. 10.1016/S0308-521X(03)00030-1.

Ritchie, J., Otter, T., 1985. A user-orientated model of the soil water balance in wheat models in wheat agronomy. Wheat Growth and Modelling. Edit. W. Day, R.K. Atkins, Vol. 86(27): 293-307.

Rogers, A., Humphries, S.W., 2016. The impact of elevated carbon dioxide on kinoa (Chenopodium kinoa) growth and development. Global Change Biology, 22(4): 1248-1259. doi:10.1111/gcb.13134.

Rötter, R.P., Palosuo, T., Kersebaum, K.C., Angulo, C., Bindi, M.,Ewert, F., Ferrise, R., Hlavinka, P., Moriondo, M., Nendel, C., Olesen,J. E., Patil, R. H., Ruget, F., Takáč, J., Trnka, M., 2012. Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe A comparison of nine crop models. Field Crops Research, 133: 23–36.

Sajjad, A., Munir, H., Ahmed, A.S., Tanveer, M., Rehman, A., 2014. Growth and development of chenopodium quinoa genotypes. Journal of Agricultural Research, 52(4): 535- 546.

Salmerón, M., Cavero, J., Isla.R., Porter, C.H., Jones, J.W., Boote, K.J., 2014. DSSAT Nitrogen Cycle Simulation of Cover Crop–Maize Rotations under Irrigated Mediterranean Conditions. Agronomy Journal, 106: 1283-1296.

Salvacion, A., 2011. Simulating ımpact of climate change in crop productivity using future climate projections and DSSAT crop simulation models - Guide Module, School of Science and Management University of the Philippines Los Baños College 4031, Laguna, Philippines.

Samutoğlu, N., Baştuğ, R., Karaca, C., Büyüktaş, D., 2020. Farklı düzeylerdeki sulama uygulamalarının kinoa bitkisi üzerine etkileri I Bitki su tüketimi ve bitki katsayıları. medıterranean, 63-69. doi:10.29136/mediterranean.733764.

Schoups, G., Hopmans, J.W., Young, C.A., Vrugt, J.A., Wallender, W.W., Tanjı, K.K., Panday, S., 2005. Sustainability of Irrigated Agriculture in the San Joaquin Valley, California. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 102:15352–15356.

Sezen, S.M., 1993. Çukurova Koşullarında Buğdayda Su-Verim İlişkilerinin Belirlenmesi ve CERES-Wheat Bitki Büyüme Modelinin Test Edilmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Adana. 106 s.

Sezen, S.M., A. Yazar, R. Kanber, M. Koç. 1998. CERES-Wheat V3 Bitki Büyüme Modelinin Çukurova Koşullarında Değerlendirilmesi. Tarım ve Orman Meteorolojisi'98 Sempozyumu, İstanbul, 21-23 Ekim 1998, s. 301-309.

Sezen, S.M., Yazar, A., 2006. Wheat Yield Response to Line-Source Sprinkler Irrigation in the Arid Southeast Anatolia Region of Turkey. Agricultural Water Management, 81 (1-2):59-76.

Sezen, S.M., Yazar, A., Tekin, S., 2013. Gıda Güvenliğinde Yüzyılın Bitkisi: Quinoa. Agromedya Bitkisel Üretim Dergisi Şubat-Mart, (1):2:44-50.

Sezen, S.M., Yazar, A., Özer, S., Akça, H., Yıldız, M., Günaçtı, H., Bozkurt Çolak, Y., Madanoğlu, O., 2016. Çizgi kaynaklı yağmurlama sulama sistemi ile uygulanan drenaj ve kanal suyunun quinoa bitkisinin verim, verim bileşenleri ile su kullanım randımanı üzerine etkileri. TAGEM-TSK/13/A13/P-02/05 Proje Sonuç Raporu, Tarsus/Mersin, 108s.

Sezen, S.M., Ahmad, I., Habib-Ur-Rahman, M., Amiri, E., Tekin, S., Oz, K.C., Maambo, C.M., 2022. Growth and productivity assessments of peanut under different irrigation water management practices using CSM CROPGRO-Peanut model in Eastern Mediterranean of Turkey. Environmental Science and Pollution Research International, 2021 Dec 3. doi: 10.1007/s11356-021-17722-w.

Shams, A., Zaeimzadeh, M., Tohidi-Moghadam, H, R., Jahan, M., 2020. Response of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) to different levels of nitrogen and phosphorus fertilization in semi-arid environments. Agricultural Water Management, 240: 106271. doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106271.

Sheboygan, W., 2015. New funds flow to quinoa irrigation project to support small family farmers.Thebusinessjournal.http://www.bizjournals.com/prnewswire/press.

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 and Software, 115(February), 144–154.

Singh, K.K., Kalra, N., 2016. Simulating the impact of climatic variability and extreme climatic events on crop production. Mausam, 67(1):113–130.

Singh, S., Boote, K.J., Angadi, S.V., Grover, K., Begna, S., Auld, D., 2016. Adapting the CROPGRO model to simulate growth and yield of spring safflower in semiarid conditions. Agronomy Journal, 108: 64–72.

Singh, S., Boote, K.J., Angadi, V.S., Grover, K.K., 2017. Estimating water balance, evapotranspiration and water use efficiency of spring safflower using the CROPGRO model, Agricultural Water Management, 185: 137–144.

Singh, U., Praharaj, C, S., Ram, D., Jat, N, K., Kumar, M., 2021. Agronomic Manipulations for Cultivation of Kinoa (Chenopodium kinoa Willd.). In: Varma, A. (eds) Biology and Biotechnology of Kinoa. Springer, Singapore, 10.1007/978-981-16-3832-9_6.

Soil Survey Staff, 1975. Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Soil Conservation Service, U.S. Dept. Agricultural. Handbook, 436,Washington.

Soler, C.M.T., Maman, N., Zhang, X., Mason, S.C., Hoogenboom, G., 2008. Determining optimum planting dates for pearl millet for two contrasting environments using a modeling approach. Journal Agricultural Science, 146: 445–459.

Sosa-Zuniga ,V., Brito, V.,, Fuentes, F., Steinfort, U., 2017. Phenological growth stages of quinoa (chenopodium quinoa) based on the BBCH scale. Annals of Applied Biology, 2017: 171(1):117-124.

Spinoni, J., Vogt, J.V., Naumann, G., Barbosa, P., Dosio, A., 2018. Will drought events become more frequent and severe in Europe? International Journal Climatology, 38:1718–1736.

Stegman, E, C., Musick, J.R., Stewart, J.I., 1980. Irrigation water management, p. 763-816. In: m.e. jensen (ed.). Design and operation of farm irrigation systems. American. Social. Agricultural. Engineer, st. Joseph, Mich.

Stewart, J.I., Hagan, R.M., Hail, W.A., 1976. Water Production Functions and Predicted Irrigation Programs for Principal Crops as Required for Water Resources Planning and Increased Water Use Efficiency. Technology Bureau Reclamation, No:14-06-D. 7329, USA, 80p.

Taboada, C., Mamani, A., Raes, D., Mathijs, E., Garcia, M., Geerts, S., Gilles, J., 2011. Farmer's Willingness to Adopt Irrigation For Quinoa (chenopodium quinoa willd) in Communities of the Central Altiplano of Bolivia. Documento de trapoja, Instituto De İnvestigaciones Socio-Economicas NO 08/11: 15.

Tan, M., Temel, S., 2019. Her yönüyle kinoa. Önemi. Kullanılması ve Yetiştiriciliği. İksad Yayınevi. Ankara, 177.

Tapia, M., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A., Otazú, V., Ortiz, R., Rea, J., Salas, B., Zanabria, E., Mujica, A., 1979. La Quinua y La Kañiwa: Cultivos Andinos, p. 142-147. Oficina Regional para América Latina. Bogotá, CO.

Tekinel, O., 1989. Aşağı Seyhan Ovası sulaması ve çözüm önerileri, Adana'nın Türk ekonomisine katkıları ve çözüm önerileri sempozyumu. Adana Ticaret Odası, Adana.

Thomson, A., M., Calvin, K, V., Smith, S, J., Kyle, G, P., Volke, A., Patel, P., Delgado-Arias, S., Bond-Lamberty, B., Wise, M, A., Clarke, L, E., Edmonds, J, A., 2011. RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. Climate change, 109:77-94.

Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Abi Saab, M, T., Stöckle, C., Steduto, P., 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. Agronomy Journal, 101: 509–521.

Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K., 1998. Understanding options for agricultural production. Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p.400.

Tüfenkçi, Ş., 2021. Farklı Düzeylerde Su Kısıntısı Uygulamalarının Kinoa Bitkisinin Bazı Verim Parametreleri Üzerine Etkisi. Ereğli Tarım Bilimleri Dergisi, 27-37. doi:10.54498/etbd.2021.3.

Tüzüner, A., 1990. Toprak ve su analiz laboratuvarları el kitabı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü yayınları, Ankara.

Tyagi, N.K., Sharma, D.K., Luthpa, S.K., 2000. Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. Agricultural Water Management, 45: 41-54.

United Nations. 2019. Convention to Combat Desertification. Policy Brief No. 3: Sustainable Land Management Solutions. Available online: http://catalogue.unccd.int/SER_SPIPB_3_ENG_WEB.

USSL, 1954. United States Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, Agriculture Handbook, No: 60. USDA, 160s.

Vanlı, Ö., 2019. "DSSAT bitki simülasyon modeli ve uzaktan algılama verilerinden elde edilen indisler kullanılarak buğday verim tahmini: İslahiye ve Nurdağı örneği". Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Bilişim Uygulamaları Ana Bilim Dalı Coğrafi Bilgi Teknolojileri Bilim Dalı, s124, İstanbul.

Villalobos, F.J., Hall, A.J., Ritchie, J.T., Orgaz, F., 1996. OILCROP-SUN: A development, growth, and yield model of the sunflower crop. Agronomy Journal, 88: 403–415.

Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., Foolad, M, R., 2007. Heat tolerance in plants: An overview. Environmental. Experimental. Botany, 61: 199–223.

Walters, H., Carpenter-Boggs, L., Desta, K., Yan, L., Matanguihan, J., Murphy, K., 2016. Effect of irrigation, intercrop, and cultivar on agronomic and nutritional characteristics of quinoa. Agroecol. Sustain. Food System, 40: 783–803.

Wang, J., Wang, Y., Qi, Z., 2024. Remote Sensing Data Assimilation in Crop Growth Modeling from an Agricultural Perspective: New Insights on Challenges and Prospects. Agronomy, 14: 1920. doi.org/10.3390/agronomy14091920.

Ward, S.M., 2000. Response to selection for reduced grain saponin content in quinoa (chenopodium quinoa willd.). Field Crop. Research, 68:157–163.

Wheeler, T, Von-Braun, J., 2013. Climate change impacts on global food security. Science, 341 (6145):508–513.

Wiebe, K., Robinson, S., Andrea, C., 2019. Climate change, agriculture and food security: impacts and the potential for adaptation and mitigation. In Clayton C, Shivaji P (eds) Sustainable food and agriculture: an integrated approach. Academic, pp 55–74.

Willmott, C.J., Akleson, G.S., Davis, R.E., Feddema, J.J., Klink, K.M., Legates, D.R., Odonnell, J., Rowe, C, M., 1985. Statistics for the evaluation and comparison of models. Journal Geophys Research, 90: 8995–9005.

Yakoub, A., Lloveras, J., Biau, A., Lindquist, J.L., Lizaso, J.I., 2017. Testing and improving the maize models in DSSAT: development, growth, yield, and N uptake. Field Crops Research, 212:95–106.

Yang, A., Akhtar, S.S., Amjad, M., Iqbal, S., Jacobsen, S.E., 2016. Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress. Journal of Agronomy and Crop Science, 202(6): 445-453.

Yazar, A., Ince Kaya, Ç., Sezen, S.M., 2012. Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Bitkisinin damla sistemiyle tatlı ve tuzlu su kullanılarak uygulanan farklı sulama stratejilerine verim tepkisi ve toprakta tuz birikimi. II. Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu, E.Ü. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, İzmir.

Yurtsever, N., 1984. Deneysel İstatistik Metotlar. (Mülga) Köy Hizm. Gen. Müd. Toprak ve Gübre Araşt. Enst. Müd. Yay. No: 121, Teknik Yay. No: 56, Ankara.

Zhang, H., Oweis, T., 1999. Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. Agricultural Water Management, 38: 195–211.

Zhao, C., Liu, B., Piao, S., 2017. Effects of elevated CO_2 on the growth and water use efficiency of kinoa under different water availability conditions. Environmental and Experimental Botany, 137: 14-23. doi:10.1016/j.envexpbot.2017.02.011.

Zhao J., Chu, Q., Shang, M., Meki, M.N., Norelli, N., Jiang, Y., Yang, Y., Zang, H., Zeng, Z., Jeong, J., 2019. Agricultural policy environmental extender (APEX) simulation of spring peanut management in the North China Plain. Agronomy, 9(443):21. doi. org/ 10. 3390/ agronomy9080443.

ÖZGEÇMİŞ

Abdiwahid Ali DHAKANE, ilk, orta ve lise eğitimini Somali'de tamamladıktan sonra, 2020 yılında Zamzam Üniversitesinde Ziraat Fakültesi lisans eğitimini tamamladı ve 2021 yılında Çukurova Üniversitesinde Türkçe hazırlık programına katıldı ve Çukurova Üniversitesinde Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim dalında Yüksek Lisans programına başladı. Halen Yüksek Lisans eğitimlerine devam etmektedir.

EKLER

Ek Şekil 1. Dikim yapılacak Kinoa fideleri

Ek Şekil 2. Kinoa fidesi I

Ek Şekil 3. Kinoa fidesi II

Ek Şekil 4. Kinoa dikim işlemleri

Ek Şekil 5. Fidelere can suyu uygulaması

Ek Şekil 5. Deneme alanından görünüm-I

Ek Şekil 6. Toprak örneklerinin alınma işlemi

Ek Şekil 7. Vegetatif dönem

Ek Şekil 8. Deneme alanından görünüm- II

Ek Şekil 9. Deneme alanından görünüm- III

Ek Şekil 10. Kinoa bitkisinin sulanması

Ek Şekil 11. Yabancı otların alınma işlemi

Ek Şekil 12. Hasada gelmiş kinoa bitkisi

Ek Şekil 13. Hasattan görünüm

Ek Şekil 14. Tohumların temizlenmesi

Ek Şekil 15. Hasat edilmiş kinoa tohumları