



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



BİTKİSEL ÜRETİM VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ PROJEKSİYONLARINA GÖRE YONCADA (*Medicago sativa*
L. cv.) FARKLI BİÇİM DÖNEMLERİ VE VERİMİN LINTUL MULTI-CROP
MODELİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

FATMA BOZKURT

TEMMUZ 2024

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİTKİSEL ÜRETİM VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ PROJEKSİYONLARINA GÖRE YONCADA (*Medicago sativa*
L. cv.) FARKLI BİÇİM DÖNEMLERİ VE VERİMİN LINTUL MULTI-CROP
MODELİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

FATMA BOZKURT

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Tefide KIZILDENİZ GÜRBÜZ

Temmuz 2024

Fatma BOZKURT tarafından **Dr. Öğr. Üyesi Tefide KIZILDENİZ GÜRBÜZ** danışmanlığında hazırlanan “**İklim Değişikliği Projeksiyonlarına Göre Yoncada (*Medicago sativa* L. cv.) Farklı Biçim Dönemleri ve Verimin Lıntul Multi-Crop Modeli Kullanılarak Belirlenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Bitkisel Üretim ve Teknolojileri** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mustafa AVCI
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Tunahan ERDEM
Çukurova Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Tefide KIZILDENİZ GÜRBÜZ
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/...../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Prof. Dr. Mustafa KARATEPE
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

A large, light gray, stylized signature watermark is positioned diagonally across the lower half of the page. It appears to be a calligraphic representation of the name 'Fatma BOZKURT'.

İmza
Fatma BOZKURT

ÖZET

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ PROJEKSİYONLARINA GÖRE YONCADA (*Medicago sativa* L. cv.) FARKLI BİÇİM DÖNEMLERİ VE VERİMİN LINTUL MULTI-CROP MODELİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

BOZKURT, Fatma

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Tefide KIZILDENİZ GÜRBÜZ

Temmuz 2024, 48 sayfa

Bu çalışmada yonca bitkisinin (*Medicago sativa* L. cv. Nimet ve Bilensoy-80) farklı biçim dönemlerinde iklim değişikliği projeksiyonlarının (mevcut iklim koşulları, yüksek sıcaklık (2°C ve 4°C) ve yüksek atmosferik CO₂ seviyeleri (600, 800 ve 1000 ppm) verime etkilerinin belirlenmesi amacıyla LINTUL MULTI-CROP modeli ile ilk kez test etmek amaçlanmıştır. Konya ve Adana illerinde modelin uygulanabilirliği test edilmiş olup modelin doğruluğunu test etmek için, iklim koşullarına uyum sağlamış yonca çeşitleri (Bilensoy-80 ve Nimet) kullanılarak daha önce yapılmış olan kontrollü deneme verilerinden ve 30 yıllık iklim verilerinden yararlanılmıştır. Adana ili Nimet yonca çeşidinde, CO₂ artışında yeşil ot veriminde 3.950 kg da⁻¹ ile ikinci, kuru ot veriminde ise 1.480 kg da⁻¹ ile üçüncü biçimde en yüksek verimi sağlamıştır. Konya da ekilen yoncalardan ilk yıl verim alınamadığından ve verim değerleri ekildikten bir sonraki yıl elde edildiği için LINTUL MULTI-CROP modeli ile gerçekleştirilen iklim değişikliği senaryolarına dayalı Bilensoy-80 yonca çeşit verimi simülasyonları sağlıklı bir şekilde yürütülememiştir. Sonuç olarak Adana'da CO₂ artışı yonca verimini artırmış, sıcaklık artışları ise ikinci ve üçüncü biçimlerde verimi yükseltmiştir.

Anahtar Sözcükler: Bitki modelleme, CO₂ artışı, iklim değişikliği, LINTUL MULTI-CROP, verim artışı, yüksek CO₂, yüksek sıcaklık, yonca

SUMMARY

DETERMINATION OF DIFFERENT CROP PERIODS AND YIELD IN ALFALFA (*MEDICAGO SATIVA* L. CV.) ACCORDING TO CLIMATE CHANGE PROJECTIONS USING LINTUL MULTI-CROP MODEL

BOZKURT, Fatma

Nigde Omer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Plant Production and Technology

Supervisor : Dr. Assistant Professor Tefide KIZILDENİZ GÜRBÜZ

July 2024, 48 pages

In this study, the LINTUL MULTI-CROP model was tested for the first time to determine the effects of climate change projections (current climate conditions, high temperatures (2°C and 4°C), and elevated atmospheric CO₂ levels (600, 800, and 1000 ppm) on the yield of alfalfa (*Medicago sativa* L. cv. Nimet and Bilensoy-80) at different harvest stages. The applicability of the model was tested in the provinces of Konya and Adana, and to assess its accuracy, previously conducted controlled trial data and 30 years of climate data were used, along with alfalfa varieties (Bilensoy-80 and Nimet) that had adapted to local climate conditions. In the Nimet alfalfa variety from Adana, the highest green forage yield under increased CO₂ conditions was achieved in the second harvest, with 3,950 kg da⁻¹, while the highest dry forage yield was obtained in the third harvest, with 1,480 kg da⁻¹. Since no proper yield was obtained from the alfalfa planted in Konya during the first year and the yield data were collected in the following year, the simulations of the Bilensoy-80 alfalfa variety yield based on climate change scenarios using the LINTUL MULTI-CROP model could not be conducted accurately. In conclusion, the increase in CO₂ levels in Adana enhanced the alfalfa yield, while temperature increases boosted the yield in the second and third harvests.

Keywords: Alfalfa, climate change, CO₂ increase, high CO₂, high temperature, LINTUL MULTI-CROP, plant modeling, yield increase

ÖN SÖZ

Bu tez, İç Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde iklim değişikliğinin yonca tarımı üzerindeki etkilerini incelemektedir. Araştırmamız, iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki olası etkilerini anlamak ve bu etkilerle başa çıkmak için yöntemler geliştirmektir. Tez çalışmamda, LINTUL MULTI-CROP modelini kullanarak sıcaklığın 2°C ve 4°C arttırıldığı ve CO₂ seviyesinin 200 ppm, 400 ppm, 600 ppm yükseltildiği farklı senaryolar altında yonca verimini ve gelişim dönemini analiz ettim.

Bu çalışma sürecinde pek çok kişinin desteğini aldım. Öncelikle, tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Tefide KIZILDENİZ GÜRBÜZ'e, bana rehberlik ettiği ve değerli önerileriyle çalışmamı şekillendirdiği için içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, çalışmam boyunca bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan ve analizler sırasında yardımlarda bulunan değerli hocam Arş. Gör. Ali Kaan Yetik ve Arş. Gör. Furkan BAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim. Bu yüksek lisans tezini hazırlarken bana destek olan ve birlikte çalıştığımız tüm arkadaşlarıma teşekkür etmek istiyorum. Özellikle, tez çalışmalarımnda bana destek olan ve bilgilerini cömertçe paylaşan Bayram ASLAN'a teşekkür ediyorum.

Bu yüksek lisans tezimi, tüm hayatım boyunca yanımda olan ve bu çalışmaya teşvik eden sevgili annem Neziha BOZKURT'a ve babam Bilal BOZKURT'a ithaf ediyorum.

Son olarak, bu çalışmanın sonuçlarının, Türkiye'de tarım politikalarının geliştirilmesi ve iklim değişikliğine uyum sağlama stratejilerinin oluşturulmasına katkı sağlamasını umuyorum. İklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki etkilerini anlamak ve bu etkilerle başa çıkmak için gereken önlemlerin alınması, gelecekteki gıda güvenliğimizi korumak açısından hayati öneme sahiptir.

Bu çalışmanın, tarım sektörü paydaşları ve ilgili akademik çevreler için faydalı olmasını temenni ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGE VE KISALTMALAR	xi
BÖLÜM I	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM II	6
LİTERATÜR ÖZETİ	6
2.1 Yonca İle İlgili İklim Değişikliği Çalışmaları	6
2.2 LINTUL MULTI-CROP Model ile İlgili Çalışmalar	8
2.3 Yonca İle İlgili Bitki Modellemesi Çalışmaları	11
BÖLÜM III	14
MATERYAL VE METOT	14
3.1 Model Açıklaması	14
3.2 Çalışma Alanı	21
3.3 Bitki Materyali	22
3.4 İklim Değişikliği Senaryoları ve Simülasyonu	23
BÖLÜM IV	25
BULGULAR VE TARTIŞMA	25
4.1 Bulgular	25
4.2 Tartışma	33
BÖLÜM V	35
SONUÇ	35
KAYNAKLAR	36
ÖZ GEÇMİŞ	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Türkiye yonca üretim durumu	3
Çizelge 1.2. En fazla yonca üretimi yapılan şehirler	3
Çizelge 1.3. Türkiye’de yem bitkileri ekim alanları	4
Çizelge 3.1. Adana iklim verilerinin değerleri	14
Çizelge 3.2. Konya iklim verilerinin değerleri	15
Çizelge 3.3. Yonca bitkisi için LINTUL’da kullanılan bitki parametreleri (Konya, Adana)	16
Çizelge 3.4. LINTUL-MULTICROP modelinde kalibrasyon için kullanılan hasat indeksi (%) değerleri	17
Çizelge 3.5. Şehirlere göre ekim ve biçim tarihleri	17
Çizelge 3.6. Çukurova Tarımsal Araştırma Enstitüsü’nde 2008-2010 yılları arasında Adana ilinde Nimet yonca çeşidi için yapılan 7 farklı biçimin tarımsal değerleri ölçme denemelerinin verim sonuçları	18
Çizelge 3.7. 2014-2016 Yılları arasında Adana ilinde Nimet yonca çeşidi için yapılan tarımsal değerleri ölçme denemelerinin verim sonuçları	19
Çizelge 3.8. 2014-2016 Yılları arası Adana ilinde yonca yeşil ve kuru ot verimi.....	19
Çizelge 3.9. Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Müdürlüğü’nde 2006-2007 yılları arasında Konya ilinde Bilensoy-80 yonca çeşidi için yapılan 5 farklı biçimin tarımsal değerleri ölçme denemelerinin verim sonuçları	20
Çizelge 3.10. 2014-2016 Yılları arasında Konya ilinde Bilensoy-80 yonca çeşidi için yapılan tarımsal değerleri ölçme denemelerinin verim sonuçları.....	20
Çizelge 3.11. 2014-2016 Yılları arası Konya ilinde yonca yeşil ve kuru ot verimi	21
Çizelge 3.12. Çalışmada simüle edilecek iklim değişikliği senaryoları	24
Çizelge 4.1. Altı farklı iklim değişikliği senaryolarına göre Adana ili için Nimet yonca çeşidi yeşil ot veriminin LINTUL-MULTICROP simülasyon değerleri ve deneme verileriyle karıştırılması	25
Çizelge 4.2. Altı farklı iklim değişikliği senaryolarına göre Adana ili için Nimet yonca çeşidi kuru ot veriminin LINTUL-MULTICROP simülasyon değerleri ve deneme verileriyle karıştırılması	27

Çizelge 4.3. Adana ili için Nimet yonca çeşidi LINTUL-MULTICROP simülasyon yeşil ot verim değerlerinin mevcut iklim koşulları ve diğer iklim değişikliği senaryoları gerçekleştiğinde ortaya çıkacak değişim oranları	29
Çizelge 4.4. Adana ili için Nimet yonca çeşidi LINTUL-MULTICROP simülasyon kuru ot verim değerlerinin mevcut iklim koşulları ve diğer iklim değişikliği senaryoları gerçekleştiğinde ortaya çıkacak değişim oranları	31
Çizelge 4.5. Altı farklı iklim değişikliği senaryolarına göre Konya ili için Bilensoy-80 yonca çeşidi yeşil ot veriminin LINTUL-MULTICROP simülasyon değerleri ve deneme verileriyle karşılaştırılması	32
Çizelge 4.6. Altı farklı iklim değişikliği senaryolarına göre Adana ili için Nimet yonca çeşidi kuru ot veriminin LINTUL-MULTICROP simülasyon değerleri ve deneme verileriyle karşılaştırılması	33

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Çalışma alanları	22
-----------------------------------	----



SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

%	Yüzde
,	Dakika
°	Derece
°C	Santigrat derece
da	Dekar
ha	Hektar
kg da ⁻¹	Taze ürün verimi
kg	Kilogram
m	Metre
MJ m ⁻²	Güneş radyasyonu
mm	Milimetre
ppm	Milyonda bir
t ha ⁻¹	Hektar başına düşen ton

Kısaltmalar

ALF2LP	A alfalfa 2-Layer Photosynthesis (Yonca İki Katmanlı Fotosentez)
APSIM	Agricultural Production Systems Simulator (Tarımsal Üretim Sistemleri Simülatörü)
AquaCrop	Agricultural Water Management for Crop Production (Bitkisel Üretim için Tarımsal Su Yönetimi)
C	Karbon
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CCSM4	Community Climate System Model Version 4 (Topluluk İklim Sistemi Modeli Sürüm 4)
CO ₂	Karbondioksit
Crop-gro	Crop Growth (Bitki Büyüme Simülasyonu)

Cropgro-Pfm	Crop Growth and Development Model- Parameterized for Forage Management (Bitki Büyüme ve Gelişim Modeli - Yem Yönetimi İçin Parametrelendirilmiş)
CropSyst	Crop Simulation System (Bitki Simülasyon Modeli)
Csm-Cropgro-Pfm	Cropping Systems Model- CropSyst- Parameterized for Forage Management (Bitki Yetiştirme Sistemleri Modeli- Yem Yönetimi İçin Parametrelendirilmiş)
DadGEM	Dynamic Adaptation of the Global Earth Model (Küresel Dünya Modelinin Dinamik Adaptasyonu)
DadGEM2-AO	Dynamic Atmosphere and Dynamic General Circulation Model version 2- Atmospheric Ocean (Dinamik Atmosfer ve Dinamik Genel Dolaşım Modeli Sürüm 2- Atmosferik Okyanus)
DG	Derece-Gün
DNDC	Denitrification- Decomposition (Denitrifikasyon- Ayrışma)
DSSAT	Decision Support System for Agrotechnology Transfer (Tarımsal Teknoloji Transferi İçin Karar Destek Sistemi)
DSSAT-CSM	Decision Support System for Agrotechnology Transfer- Cropping System Model (Tarım Teknolojisi Transferi için Karar Destek Sistemi- Bitki Yetiştirme Sistemi Modeli)
ETP	Evapotranspirasyon
FAO	Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım örgütü)
GCM	Genel Dolaşım Modeli
INTERCOM	Integrated Terrestrial Ecosystem Model (Entegre Karasal Ekosistem Modeli)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükûmetler Arası İklim Değişikliği Paneli)
IPSL	Institut Pierre-Simon Laplace (Pierre-Simon Laplace Enstitüsü)
KA	Kuru Ağırlık

LINTUL	Light Interception and Utilization (Işık Yakalama ve Kullanımı)
LINTUL-Cassava-NPK	LINTUL-Cassava Nutrient, Phosphorus, and Potassium (LINTUL-Manyok Besin Maddesi, Fosfor ve Potasyum)
MaxEnt	Maximum Entropy (Maksimum Entropi)
MIROC5	Model for Interdisciplinary Research on Climate version 5 (İklim Üzerine Disiplinlerarası Araştırma Modeli Versiyon 5)
N	Azot
NPK	Azot-Fosfor-Potasyum
RCP 4.5	Radyatif Zorlamanın $4,5 \text{ W M}^{-2}$ 'ye Çıkmasını Senaryo Eden Temsili Konsantrasyon Rotası
RCP 6.0	Radyatif Zorlamanın 6 W M^{-2} 'ye Çıkmasını Senaryo Eden Temsili Konsantrasyon Rotası
RCP 8.5	Radyatif Zorlamanın $8,5 \text{ W M}^{-2}$ 'ye Çıkmasını Senaryo Eden Temsili Konsantrasyon Rotası
RCP	Representative Concentration Pathways (Temsilci Konsantrasyon Rotaları)
RMSE	Root Mean Square Error (Kök Ortalama Kare Hatası)
RUE	Radiation Use Efficiency (Radyasyon Kullanım Verimliliği)
Senaryo a	Mevcut durum
Senaryo b	Mevcut durum + 2°C
Senaryo c	Mevcut durum + 4°C
Senaryo d	Mevcut durum + 200 ppm
Senaryo e	Mevcut durum + 400 ppm
Senaryo f	Mevcut durum + 600 ppm
SimET	Simulation of Environmental and Technological Effects (Çevresel ve Teknolojik Etkilerin Simülasyonu)
SSM-iCrop2	Simple Simulation Model for Integrated Crop Modelling (Entegre Ürün Modellemesi İçin Basit Simülasyon Modeli)

STICS	Stochastic Integrated Climate and Crop Simulation (Stokastik Entegre İklim ve Ürün Simülasyonu)
SUCROS	Sucrose Crop Response Optimized Simulation (Sakkaroz Mahsulü Tepkisi Optimize Edilmiş Simülasyon)
TTSM	Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
WCSMO-CNN	Weighted Convolutional Spatial Multi-Objective Convolutional Neural Network (Ağırlıklı Evrişimli Uzaysal Çok Amaçlı Evrişimli Sinir Ağı)
WOFOST	World Food Studies (Dünya Gıda Çalışmaları)
Yp	Yield potential (Verim Potansiyeli)

BÖLÜM I

GİRİŞ

İklim değışikliğı, insan faaliyetlerinin etkisiyle dünya çapındaki iklim sistemlerinin doğal denge durumunun değışmesi sonucu gerçekleşen uzun vadeli değışimleri tanımlamaktadır. Atmosferdeki sera gazlarının konsantrasyonunun artması ve sonucunda dünya genelinde ortalama sıcaklıkların yükselmesi ile ilişkilendirilmektedir (Kurnaz, 2023). İklim değışikliğı, çağımızın önde gelen çevresel meselelerinden biri olarak belirmiş ve artan sıcaklıklarla dünya genelinde yaygın sonuçlara yol açmıştır. Sebep ne olursa olsun iklimin ortalama durumu ve/veya değışkenliğı üzerinde onlarca yıl veya daha uzun bir süre boyunca ortaya çıkan değışiklikler, iklim değışikliğı olarak bilinir. Önümüzdeki dönemde CO₂ ve diğeri sera gazı emisyonlarında önemli düşüşler olmadığı takdirde, 21. yüzyılda 1,5 °C ve 2 °C'lik küresel ısınma aşılabilecektir (Anonim, 2018i; Anonim, 2021m). Ekim 2018'de İklim Komitesi (IPCC), 1,5°C'lik küresel ısınmanın etkileri hakkında bir rapor yayınlarak ve özel bir rapor sunarak, küresel ısınmanın 1,5°C ile sınırlanması gerektiğini ve bunun için toplumun her sektöründe hızlı, kapsamlı ve benzeri görülmemiş değışikliklere ihtiyaç duyulduğunu açıkladı. İnsanlar ve doğal ekosistemler için pozitif sonuçları olan bu rapor, 2°C'ye kıyasla 1,5°C ile sınırlamanın daha sürdürülebilir ve eşitlikçi bir toplum oluşturmaının bir yolu olduğunu vurguladı. Sanayi öncesi döneme göre karbondioksit emisyonları, birincil olarak net arazi kullanımı değışikliklerinden ve fosil yakıt yanmasından kaynaklanmıştır. İklim değışikliğı ile mücadele için kapsamlı önlemler alınmazsa, raporda öngörülen senaryolar gerçekleşirse, ülkemiz gibi denizlerle çevrili bölgeler büyük risk altında kalacaktır (Anonim, 2014k; Anonim, 2018j). Dünya nüfusu sürekli artarken, sürdürülebilir tarım ve gıda güvencesi konuları giderek daha büyük bir önem taşımaktadır (Ray vd., 2019). İklim değışikliğı, tarım sektörünü etkileyen en hassas alanlardan biri olarak büyük bir etkiye sahiptir. Bu, özellikle değışen hava desenlerinin, özellikle aşırı hava olaylarının, yağış dalgalanmalarının ve sıcaklık değışikliklerinin tarımsal üretim ve gelişimi nasıl etkilediğine dair kaygıları yansıtmaktadır. Birçok alışma, bu etkinin mahsul türüne, coğrafi bölgeye ve iklim koşullarına bağılı olarak değıştiğini göstermektedir (Lobel vd., 2011). Hükümetler arası İklim Değışikliğı Paneli (IPCC), uzmanlardan oluşan bağımsız bir kuruluş olarak, iklim değışikliğı hakkında bilgi sunan bilimsel araştırmalara dayanan tahminler ve raporlar sunmaktadır. Bu

raporlarda, fosil yakıt kullanımının, ormanların tahrip edilmesinin, arazi kullanımının değiştirilmesinin ve endüstrileşmenin etkisiyle artan sera gazı emisyonlarının sonucunda dünya yüzeyinin ortalama sıcaklığının yükseldiği ve bu durumun mevsimsel değişikliklere neden olduğu vurgulanmaktadır (Özkaya, 2013). Bu değişiklikler, tarım ve bitki örtüsü üzerinde önemli etkilere yol açmaktadır.

Türkiye'de yem bitkileri ekim alanlarının artırılması ve kaliteli kaba yem ihtiyacının karşılanması için en uygun bitkilerden biri, yoncadır. Yonca (*Medicago sativa* L.), Fabaceae (baklagiller) familyasına ait çok yıllık bir yem bitkisidir (Tucker vd., 2024). Yüksek yem kalitesi ve çeşitli iklim koşullarına uyum sağlama yeteneği sayesinde, dünya genelinde en önemli yem bitkilerinden biri olarak kabul edilmektedir. Dünyada 80'den fazla ülkede yetiştirilen yoncanın, yaklaşık 35 milyon hektar alanda ekildiği ve yıllık 440 milyon ton bir üretim değeri sağladığı bildirilmektedir (Çarpıcı ve Erdel, 2015; Çağan ve Kökten, 2024). Yonca (*Medicago sativa* L.), yüksek besin değeri ve verimliliği ile bilinen bir yem bitkisidir. Bu bitki, Fabaceae (baklagiller) familyasına aittir ve çok yıllık bir bitki olarak yetiştirilir. Yonca, genellikle 50-100 cm arasında boylanır, ancak uygun koşullarda daha da uzayabilmektedir. Kök sistemi oldukça derindir ve bu sayede kuraklığa dayanıklıdır (Çoban ve Başaran, 2024). Yoncadan yüksek verim elde edebilmek için yılda birden fazla hasat yapılabilir. Türkiye'deki iklim koşullarına bağlı olarak, yonca yılda 4 ila 7 kez hasat edilebilir. Her biçim döneminde yüksek kaliteli kaba yem sağlar, bu da onu hayvan beslenmesinde vazgeçilmez kılmaktadır. Sonuç olarak, yonca hem besin değeri hem de verimliliği ile öne çıkan, hayvancılık sektöründe önemli bir rol oynayan çok yıllık bir yem bitkisidir (Sun vd., 2024; Liu vd., 2024).

Botanikte (*Medicago Sativa* L.), 87 çeşidi olan çok yıllık bir çiçekli bitkidir. En bilinen tıbbi bitkilerden biri, bir metreye kadar uzayabilen yeşil yaprakları ile yoncadır (Bagavathiannan ve Van Acker, 2009; Small, 2011; Gholami vd., 2014). Genetik olarak zengin ve çeşitli yapısı sayesinde, çeşitli çevre koşullarına ve geniş alana uyum sağlar. Dünya çapında en önemli baklagil yem bitkilerinden biri olan yonca, günümüzde 35 milyon hektarı aşan bir alanda 80'den fazla ülkede yetiştirilmektedir. Besin kalitesi, verim ve adaptasyon kabiliyeti nedeniyle çok popülerdir (Fang vd., 2024). Yonca hem hayvanlar hem de insanlar için iyidir. Geleneksel Hint tıbbında merkezi sinir sistemi bozukluklarının tedavisinde uzun süredir hasas kökleri ve kurutulmuş yapraklar

kullanılmaktadır. Bu yapraklar toz, tablet ve çay olarak satılmaktadır (Xu vd., 2024). Yonca, mineral maddeler ve vitaminler bakımından oldukça zengin olduğu için kaliteli yem kaynaklarının en onemlilerinden biridir. Ayrıca, yonca bal arıları için onemli bir polen ve nektar kaynağıdır (Motsinger vd., 2024). Yonca (*Medicago sativa* L.), Türkiye'nin hayvancılık sektöründe hayati bir rol oynamaktadır. Yüksek besin değeri, kaliteli kaba yem olarak kullanımı ve toprak verimliliğini artırma özellikleri nedeniyle, yonca üretimi ülkemizde onemli bir yere sahiptir (zkurt vd., 2019). Türkiye’de 2018-2023 yılları arasında yonca üretiminin ekim alanı, verim ve toplam üretim miktarını göstermektedir. TİİK (2023) yılına göre, Türkiye’de yonca üretim durumu incelendiğinde ekim alanı 600.404 ha, verim 3056 kg ha⁻¹, toplam üretim 18.296,282 ton’dur (izelge 1.1.). TİİK (2023) yılına göre, Türkiye’de en fazla yonca üretimi yapan şehirlere bakıldığında Konya ilinde ekim alanı 364.736 ha, verim 4547 kg ha⁻¹, toplam üretim 1.658,391 ton’dur (izelge 1.2.). Adana ilinde ekim alanı 17.307, verim 1856 kg ha⁻¹, toplam üretim 32.117,000 ton’dur (izelge 1.2.). Türkiye’de yem bitkileri ekim alanları incelendiğinde yonca 600.404,3 ha, korunga 146.128,7 ha, fiğ 46.118,5 ha, mısır 958.017,1 ha ve diğer yem bitkileri 2.681,7 ha’dır (izelge 1.3.).

Çizelge 1.1. Türkiye yonca üretim durumu (Anonim, 2023e)

Yıl	Ekim Alanı (ha)	Verim (kg ha ⁻¹)	Toplam retim (ton)
2018	635.105	2771	17.544,946
2019	641.212	2814	17.949,264
2020	662.888	2923	19.290,519
2021	673.047	2895	19.310,959
2022	643.592	2974	19.064,213
2023	600.404	3056	18.296,282

Çizelge 1.2. En fazla yonca üretimi yapılan ehirler (Anonim, 2023f)

Şehir	Ekim Alanı (ha)	Verim (kg ha ⁻¹)	Toplam retim (ton)
Konya	364.736	4547	1.658,391
Adana	17.307	1856	32.117,000
Aksaray	294.150	7753	2.280,675
Van	741.549	1409	1,020.805
Erzurum	356.538	2799	99.797,100

Çizelge 1.3. Türkiye’de yem bitkileri ekim alanları (Anonim, 2023g)

Ekim alanları (ha)	
Yonca	600.404,3
Korunga	146.128,7
Fiğ	46.118,50
Mısır	958.017,1
Diğer yem bitkileri	2.681,7

Yonca, Türkiye’de özellikle hayvancılık sektöründe büyük öneme sahiptir. Yoncanın yüksek besin değeri ve kolay sindirilebilirliği, hayvanların süt verimliliğini ve et kalitesini artırır. Bu nedenle, hayvancılığın yoğun olduğu bölgelerde yonca ekimi teşvik edilmektedir. Yonca üretimi, aynı zamanda toprak verimliliğini artırır ve erozyonu önlemeye yardımcı olur, bu da sürdürülebilir tarım uygulamaları için kritik bir rol oynamaktadır (Özkurt vd., 2019). Yonca, tarım sektöründe kritik bir rol oynayan bir bitki olup, yem bitkisi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, iklim değişikliğinin etkisi altında, yonca yetiştiriciliği önemli ölçüde olumsuz etkilenebilmektedir. Bu etkiler arasında verim azalması, su kıtlığına bağlı olarak kuraklık, hastalık ve zararlıların yayılması, yonca kalitesinde düşüş ve toprak erozyonu gibi faktörler yer almaktadır. Bu olumsuz etkiler, yonca yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliğini tehdit ederken, tarımsal üretim üzerinde genel bir etki yaratabilmektedir (Gökkaya ve Orak, 2021; Daş, 2024). Dolayısıyla, iklim değişikliğiyle mücadele ve tarımı bu değişikliklere uyumlu hale getirme çabaları, yonca gibi önemli tarım ürünlerinin geleceği için kritik öneme sahiptir. İklim değişikliğinin yonca yetiştiriciliğine olumsuz etkileri arasında, bitki ömründe azalma, toksin üretiminin artması, bitki hastalıklarının ve zararlıların yayılmasında artış, sulama gereksinimlerinde artış, mevsimlik yağışların düzensizleşmesi ve aşırı sıcak dalgaların sıklığında artış gibi faktörler de yer almaktadır. Bu olumsuz etkiler, yonca üretimini ve kalitesini ciddi şekilde etkileyerek tarımsal verimliliği düşürebilir ve çiftçilerin gelirlerinde azalmaya neden olabilmektedir (Özdemir ve Duru, 2023). Ayrıca, çiftçilerin ve toplumun gıda güvencesi üzerinde de olumsuz etkileri olabilir, çünkü yonca gibi önemli bir yem bitkisinin üretimindeki azalma hayvan besleme programlarını etkileyebilir ve hayvancılık sektörünü olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle, iklim değişikliğiyle mücadele ve tarımı bu değişikliklere uyumlu hale getirme çabaları,

yonca gibi kritik tarım ürünlerinin geleceğini güvence altına almak için hayati öneme sahiptir (Çaltı ve Somuncu, 2019).

Ürün modelleme, farklı çevresel ve iklim koşullarına yanıt olarak ürün büyümesi ve verimini tahmin etmek için matematiksel modellerin kullanılmasını içerir. Tarımsal sistemlerin karmaşıklığı ve mevcut bilgi eksiklikleri göz önünde bulundurulduğunda, tarımsal modeller, gerçekliği tam anlamıyla yansıtamayacakları sürece mahsul sistemlerinin tüm süreçlerini matematiksel olarak açıklamak zor görünmektedir (Wallach vd., 2014). LINTUL MULTI-CROP modeli, fotosentez, solunum ve terleme gibi çeşitli bitki işlemlerinin oranlarını simüle ederek bitki biyokütlesinin zaman içinde nasıl oluştuğunu tahmin etmek için geliştirilmiş bir modeldir. Bu basit model, büyümeyi ışığın yakalanması ve kullanılması ile kuru madde dağılımını hasat endeksi temelinde açıklar ve bitki biyokütlesinin gelişimini açıklamak için önemli bir araç sunmaktadır (Spitters ve Schapendonk, 1990). Bu bağlamda iklim değişikliğinin yonca üretimine potansiyel etkilerini anlamak için bilgisayar modellemesi dünya genelinde kullanılmaktadır (Daryanto vd., 2017). Yonca, dünya genelinde popüler birçok yıllık mahsul olarak kabul edilen son derece verimli ve uyum sağlayabilen bir bitkidir (Picasso vd., 2019). Ancak, yonca üretimi büyük ölçüde çevresel koşullara, özellikle sıcaklık ve yağışa bağlıdır. İklim değişikliği nedeniyle sıcaklıklar yükseldikçe ve yağış desenleri değiştikçe, yonca üretimi giderek daha savunmasız hale gelmektedir (Daryanto vd., 2017).

Bu çalışmanın amacı, yonca bitkisinin (*Medicago sativa* L. cv. Nimet ve Bilensoy-80) farklı biçim dönemlerinde iklim değişikliği projeksiyonlarının (mevcut iklim koşulları, yüksek sıcaklık (2°C ve 4°C) ve yüksek atmosferik CO₂ seviyeleri (600, 800 ve 1000 ppm) verime etkilerinin belirlenmesi amacıyla LINTUL MULTI-CROP modeli ile ilk kez test etmektir.

BÖLÜM II

LİTERATÜR ÖZETİ

İklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki etkileri, özellikle yonca gibi önemli tarım ürünleri açısından büyük bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu çalışmada, yoncanın farklı sıcaklık ve CO₂ seviyeleri altında verim, su ihtiyacı ve gelişim dönemleri incelenmiştir. Literatür taraması, mevcut çalışmaların özetlenmesi ve değerlendirilmesi yoluyla bu konudaki bilgi boşluklarını ve gelecekteki araştırma alanlarını belirlemeyi amaçlamaktadır.

2.1 Yonca İle İlgili İklim Değişikliği Çalışmaları

Gökkaya ve Orak (2021), Tekirdağ koşullarında gerçekleştirdikleri çalışmalarında susuz koşullarda yapılan çalışmada, yonca bitkisinin (*Medicago sativa* L.) Gözlü-1, Bilensoy 80, Prosementi, Plato ve Verko çeşitlerinin ot verimi ve kalite özelliklerini %10 ve %50 çiçeklenme dönemlerinde değerlendirilmiştir. Sonuçlar yıllar arasında farklılık göstermiştir. Bitki boyu 46,98-74,99 cm arasında değişmiş, en yüksek yeşil ot verimi Gözlü-1 çeşidinde 418.898 kg da⁻¹, en düşük Bilensoy 80 çeşidinde 354.371 kg da⁻¹ olarak bulunmuştur. %50 çiçeklenme döneminde ot verimi (435.324 kg da⁻¹), %10 çiçeklenme dönemine (319.067 kg da⁻¹) göre daha yüksek olmuştur.

Sanz-Sáez vd., (2012), yüksek CO₂, yüksek sıcaklık ve *Sinorhizobium meliloti* suşlarının (102F78, 102F34, 1032GMI) yonca verimi, yem kalitesi ve sindirilebilirliği üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmada, 102F34 suşu, 1032GMI'ye göre daha fazla kuru madde üretmiş, ancak 102F78 ile fark göstermemiştir. Yüksek CO₂ ve sıcaklık altında 102F34 ile aşıl原因an bitkilerde lif artmamış, sindirilebilirlik etkilenmemiştir. 102F78 ile aşıl原因an bitkiler, yüksek CO₂ ve sıcaklıkta daha yüksek ham protein içeriğine sahip olmuştur. Sonuç olarak, yüksek CO₂ ve sıcaklık yem kalitesini düşürmüş, sindirilebilirliği azaltmış ve lif içeriğini artırmıştır. 102F34 suşu, her koşulda daha yüksek sindirilebilirlik sağlayarak iklim değişikliği koşullarına daha uygundur.

Alemayehu vd., (2020), iklim değişikliğinin yonca üretimine etkilerini ve sulama gereksinimlerini inceleyen çalışmada, üç iklim modeli (CCSM4, DadGEM2-AO,

MIROC5) kullanılarak yağış ve sıcaklık değişiklikleri değerlendirilmiştir. CBS ile yapılan analizde yüksek uygunlukta 472.000 km², orta uygunlukta 397,000 km², marjinal uygunlukta ise 16.200 km² arazi belirlenmiştir. İklim değişikliği yaylalarda uygun arazileri artırırken, kurak alanlarda yağış açığına yol açmaktadır. Bu çalışma, Etiyopya'da yonca yetiştiriciliği için iklim ve ekolojik değişkenliklere göre yönergeler sunmaktadır.

Thivierge vd., (2016), gelecekteki iklim koşulları ve yüksek CO₂ konsantrasyonunun yonca (*Medicago sativa* L.) ve timothy (*Phleum pratense* L.) verimi üzerindeki etkileri, tek başına ve karışım halinde incelenen çalışmada, gelecekteki iklim koşulları ve yüksek CO₂ konsantrasyonunun yonca (*Medicago sativa* L.) ve timothy (*Phleum pratense* L.) verimi üzerindeki etkileri, tek başına ve karışım halinde incelenmiştir. Ayrıca, yonca-timothy karışımının verimi ve besin değeri üzerine adaptasyon stratejileri değerlendirilmiştir. Doğu Kanada'daki iki zıt iklim bölgesi için yem verimi ve besin değeri, üç iklim modeli ve iki sera gazı emisyon senaryosu (RCP 4.5 ve RCP 8.5) kullanılarak simüle edilmiştir. Adaptasyon olmadan, daha soğuk bölgelerde yıllık yem verimi artarken, daha sıcak bölgelerde azalmıştır. İlk kesim verimi artmış, ancak yeniden büyüme verimi azalmıştır. Yüksek CO₂ altında yıllık verim ve karışımdaki yonca oranı artmıştır. Adaptasyon stratejileri ile verim %5-35 artmış ve besin değeri korunmuştur.

Medina-García vd., (2020), iklim değişikliğinin Meksika'daki yonca üretimi üzerindeki etkisini tahmin edilen çalışmada, iklim değişikliğinin Meksika'daki yonca üretimi üzerindeki etkisini tahmin edilmektedir. 2021-2080 dönemi için sıcaklık ve yağış anormallikleri, iki sera gazı senaryosu (RCP 4.5 ve RCP 8.5) temelinde 11 genel sirkülasyon modeli kullanılarak yonca üretim alanlarında iklim değişikliği etkisi tahmin edilmiştir. Sonuçlar, artan sıcaklık nedeniyle yüksek üretkenlik potansiyeline sahip alanların azalacağını göstermektedir. 2070 yılına kadar, RCP 4.5 senaryosunda %24,7 azalma öngörülmektedir. RCP 8.5 senaryosu ise daha da büyük azalmalar öngörmektedir. Bu durum, bölgesel su talebi ve iklim koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Yonca, yüksek su talebi nedeniyle yerini mısır gibi daha az su isteyen bitkilere bırakabilmektedir. Bu bulgular, yonca üretiminin iklim değişikliğine uyum stratejilerinin tasarımı için kullanılabilmektedir.

Pourshirazi vd., (2022), iklim değişikliğinin yonca verimi ve sulama suyu ihtiyaçı üzerindeki etkilerini değerlendirmek için yapılan çalışmada iklim değişikliğinin yonca verimi ve sulama suyu ihtiyaçı üzerindeki etkilerini 2050 yılı için RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarında SSM-iCrop2 simülasyon modeli ve iki GCM (IPSL ve DadGEM) kullanılarak değerlendirilmiştir. Artan sıcaklık, ilkbaharda yeniden büyümenin hızlanması ve fotosentetik olarak aktif radyasyonun artması nedeniyle çoğu bölgede yonca veriminin artış göstereceği bulunmuştur. CO₂' nin fotosentez üzerindeki olumlu etkileri de bu artışı desteklemektedir. İklım değişiklikleri, yonca sulama suyu ihtiyaçıını önemli ölçüde etkilemektedir ve verimle doğrudan ilişkilidir. RCP 8.5 senaryosunda, DadGEM modelinde verimde en yüksek artış %32, en büyük düşüş ise %33 olarak öngörülmektedir. Sulama suyu ihtiyaçı DadGEM modelinde %36 artarken, IPSL modelinde %41 azalmaktadır. Bu nedenle, yüksek sıcaklığa dayanıklı çeşitler gibi uyum stratejileri, gelecekte İran'da yonca verimini artırmak için önemlidir.

Singer vd., (2018), yonca üzerine yaptıkları çalışmada, geviş getiren hayvanlara olan talebin artmasıyla birlikte yem bitkilerinin üretiminin öneminin giderek arttığını vurgulamaktadır. Tarım arazilerinin kentleşme, yoğun tarım uygulamaları ve iklim değişikliği gibi faktörler nedeniyle sınırlanması, daha üretken ve uyumlu yem bitkisi çeşitlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, yonca (*Medicago sativa* L.), çok yıllık yem bitkileri arasında en yaygın olanıdır ve biyoteknolojik yöntemlerle verimliliği, stres toleransını, besin kullanımını ve hastalık/zararlılara karşı direnci artırmak amacıyla önemli ilerlemeler kaydedilmiştir.

2.2 LINTUL MULTI-CROP Model ile İlgili alışmalar

Adiele vd., (2022), LINTUL-Cassava-NPK modelinin besin açısından sınırlı koşullar altında manyokun biyokütle büyümesi ve verimini simüle etme yeteneği geliştirilmiştir. Test edilen çalışmada, bitki besin gereksinimlerinin dinamiklerini ve topraktan alımını anlamak, etkili gübre nerileri ve besin kullanım verimliliği için kritik öneme sahiptir. Nijerya'daki üç tarım ekolojisinde yer alan altı tarladan 2016-2018 yılları arasındaki veriler kullanılmıştır. Model, besin stresi altında N, P ve K besin endekslerini birleştirerek ürün büyümesini simüle edilmiştir ve 2016'da Edo'da kalibre edilip 2017'de diğer bölgelerde test edilmiştir. Model, besin alımı ve verim tahminlerinde düşük hata oranları ve yüksek doğruluk sağlamıştır ($R^2 = 0,7 - 0,8$). Bu bulgular, manyok

büyümesi ve verimi üzerindeki besin etkileşimlerine dair anlayışımızı artırırken, modelin besin eksikliklerine ve farklı NPK miktarlarına uygun yanıt verdiğini göstermiştir.

Cedrez ve Hijmans, (2018), WOFOST ve LINTUL modelleri kullanılarak küresel bir hava durumu veri tabanında Yield potential (verim potansiyeli) tahmini yapılan bitkisel üretimin fırsat ve kısıtlamaları, bitki büyüme simülasyon modelleri ile değerlendirilebilir ve çoğu model günlük hava durumu verilerini gerektirmektedir. Ancak, bu veriler genellikle yüksek mekânsal çözünürlükte mevcut değildir. Günlük hava durumu verilerinin olmadığı yerlerde verim potansiyelini (Y_p) tahmin etmek için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu çalışmada, WOFOST ve LINTUL modelleri kullanılarak küresel bir hava durumu veri tabanında Y_p tahmini yapıldı. Beş ana yöntem kullanılarak (sekiz varyantla) tahmin edilen Y_p 'nin performansı değerlendirildiğinde hava durumu enterpolasyonu, en yakın komşu enterpolasyonu, ince levha spline enterpolasyonu, Rastgele Orman tabanlı meta modeller ve hava durumu üretimi şeklindedir. Biyoklimatik değişkenlere sahip meta model en iyi performansı göstermiştir ($RMSE = 667 \pm 111 \text{ kg da}^{-1}$), en yakın komşu enterpolasyonu ise en kötü performansı gösterdi ($RMSE = 1763 \pm 472 \text{ kg da}^{-1}$). Sonuçlar, Y_p tahmininde en yakın komşu enterpolasyonuna alternatiflerin önemli olduğunu göstermektedir.

Akansu ve Kızıldeniz, (2024) tarafından yapılan araştırmada, LINTUL MULTI-CROP modeli kullanılarak Konya'daki buğday verimi ve fenoloji değişiklikleri üzerindeki iklim değişikliğinin potansiyel etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada, iklim değişikliği günümüz dünyasının en önemli çevresel zorluklarından biri olarak tanımlanmakta ve buğdayın Anadolu'daki kritik ekonomik rolü nedeniyle önemli bir temel gıda ve enerji kaynağı olduğu vurgulanmaktadır. Konya'nın yerel ekolojik koşullarına adapte olan buğdayın değişen iklime tepkisini tahmin etmek büyük önem taşımaktadır. Mevcut durum, mevcut durum $+2^\circ\text{C}$, mevcut durum $+4^\circ\text{C}$ ve mevcut durum $+200 \text{ ppm CO}_2$ olmak üzere dört farklı senaryo karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, 2°C 'lik sıcaklık artışının buğday verimini $5,5 \text{ t da}^{-1}$ dan $6,9 \text{ t da}^{-1}$ ya, 4°C 'lik artışın ise $5,5 \text{ t da}^{-1}$ dan $8,0 \text{ t da}^{-1}$ ya çıkardığını göstermektedir. Ayrıca, CO_2 seviyelerinde 200 ppm artış verimi $7,1 \text{ t da}^{-1}$ ya yükseltmiştir. Ekim tarihi ve sulama düzenlemelerinin, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmada önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir.

Yetik vd., (2023), yaptıkları bu çalışmada, Türkiye tarımının önemli bir parçası olan şeker pancarının iklim değişikliğine uyum sağlama potansiyelini araştırmak amacıyla LINTUL MULTI-CROP modelini kullanmıştır. Konya gibi önemli bir üretim bölgesinde, mevcut koşulların yanı sıra artan sıcaklık ve CO₂ seviyelerinin, yeni ekim-hasat tarihleri gibi dört farklı senaryonun incelenmesiyle etkisi değerlendirilmiştir. Sonuçlar, yeni ekim-hasat tarihleri ve artan CO₂ ve sıcaklıkla en yüksek verimin elde edilebileceğini göstermektedir. Ayrıca, sulama gereksinimlerinin değiştiği ve şeker pancarı tarımının Konya'da farklılaşabileceği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, şeker pancarı yetiştiriciliğinde gelecekteki stratejilerin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Sabitova vd., (2024), yaptıkları çalışmada, LINTUL MULTI-CROP modeli kullanılarak üç farklı iklim değişikliği modeli incelenmiş ve Almatı'nın güneydoğusundaki belirli koşullar altında baharlık arpanın potansiyel uyumunu değerlendirmiştir. Bu modeller, farklı senaryolarda baharlık arpa verimini simüle etmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, baharlık arpanın gelecekteki değişen koşullara uyum sağlama eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, tarım sektöründe iklim değişikliğine uyum stratejilerinin belirlenmesine ve geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Lee vd., (2016), yaptıkları bu çalışmada, tarım sistemlerinde kullanılan ana ürün modellerinin (mahsul büyüme modeli, mahsul-toprak modeli ve mahsul-toprak-çevre modeli) basitleştirilmiş yapılarını ele almaktadır. LINTUL gibi modeller, çeşitli çevresel değişim senaryoları altında mahsul veriminin tahmin edilmesini sağlamaktadır. Mahsul büyüme modelleri, günlük büyüme, potansiyel üretim ve fotosentez gibi farklı fizyolojik aşamalara sahip organlara bölünmüş veriler sunarak mahsulün besin talebini değerlendirmektedir. Mahsul-toprak modelleri ise mahsullerin büyümesini, gelişmesini ve verimini simüle ederken toprak süreçlerini açıklamaktadır. Çeşitli ekim koşulları altında farklı mahsullerin parametrelendirilmesi ve çeşitli kaynak girdilerinin dikkate alınması, tarım arazileri için makul besin yönetimi yaklaşımlarının geliştirilmesine yardımcı olabilmektedir.

Van Ittersum vd., (2003), yapılan bu çalışmada, çeşitli mahsul ve mahsul-toprak modelleme yaklaşımlarını gözden geçirirken üretim durumlarına odaklanmaktadır. Modeller, araştırma, eğitim ve karar verme süreçlerini desteklemek için tasarlanmıştır. Özellikle LINTUL, SUCROS, WOFOST ve INTERCOM gibi modeller, farklı üretim

durumlarına uyum sağlamaktadır. Bu inceleme, entegre bir modelleme çerçevesinin geliştirilmesine katkıda bulunabilir ve tarım sistemlerinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olabilmektedir.

2.3 Yonca İle İlgili Bitki Modellemesi Çalışmaları

Bourgeois vd., (1990), tarafından yapılan çalışmada, ALF2LP adlı yonca büyüme simülasyon modeli, Québec bölgesinde üç aşamalı bir süreç olarak ele alınmıştır. Bu aşamalar; duyarlılık analizleri, kalibrasyon ve modelin doğrulanmasını içermektedir. Parametrelerin çeşitli değişiklikler karşısındaki hassasiyeti incelenmiş ve modelin daha iyi uyum sağlaması için kalibrasyonu yapılmıştır. Model, Alfa ve Vernal yonca çeşitlerinde yapılan gözlemlerle doğrulanmış ve ALF2LP'nin toplam kuru maddeyi doğru bir şekilde simüle ettiği, ayrıca verim ve ham lif yüzdesi tahminlerinin daha kesin olduğu gözlemlenmiştir.

AquaCrop'taki bir hesaplama süreci, yabancı otların istila ettiği alanlarda kanopi gelişiminin ve mahsul üretiminin simülasyonuna olanak tanımaktadır (Van Gaalen vd., 2016). AquaCrop, biyokütlenin çeşitli organlar arasında bölüştürülmesini simüle etmemektedir (Undersander vd., 2011).

Csm-Cropgro-Pfm modeli, yonca verim ve büyüme üzerindeki etkileri simüle etmek için mevcut bir mekanik model olan Cropgro-Pfm'in avantajlarından yararlanmaktadır. Cropgro-Pfm gibi mevcut bir mekanik modelin uyarlanması avantajları vardır çünkü birçok süreç türleri arasında benzerdir ve iyi simüle edilmiştir; bu da Cropgro'daki toprak su dengesini, toprak N dengesini, toprağın organik madde-kalıntı dinamiklerini, zararlıları simüle eden modüller alt programlardan yararlanmaya olanak tanımaktadır (Rymph vd., 2004). Modelin sağlamlığını artırmak için daha kapsamlı veri kümeleriyle daha fazla test yapılmasına ihtiyaç vardır (Malik vd., 2018).

Gaus Genlik modeli, yonca verimi ve büyümesini etkileyen çevresel faktörleri incelemek için yaygın olarak kullanılan bir biyolojik büyüme araştırma modelidir (Qin vd., 2023). Çok yıllık bitki biyokütlesindeki büyüme yaşı (yıl) ile değişiklikleri simüle etmek için Gauss fonksiyonunu kullanan az sayıda çalışma vardır (Qin vd., 2023). Çok yıllık gözlemlerin kullanılması hala gereklidir (Yang vd., 2022).

MaxEnt (Maximum Entropi) modeli, iklimsel uygunluğu ölçmek için Çin yoncasının iklim eşiklerini modelleyebilen bir algoritma ve simülasyon yöntemidir. MaxEnt'in küçük örnekler üzerindeki iyi performansı, eğitim verisi miktarı az olduğunda üretken yöntemlerin ayrımcı yöntemlere göre daha iyi tahminler verdiğini gösteren önceki çalışmalarla uyumludur (Ng ve Jordan, 2001). MaxEnt model performansını optimize etmek için daha fazla parametre ayarlaması gerekmektedir (Phillips ve Dudík, 2008).

WCSMO-CNN yoncada bitki kök hastalıklarının algoritma kullanılarak kategorize edilmesi, bitkilerin kök bölgelerindeki sorunları tanımlamak için büyük bir öneme sahiptir (Jayapalan vd., 2023). Ancak, otomatik sınıflandırma yaklaşımları kök hastalıklarının doğru bir şekilde sınıflandırılmasında bazen başarısız olabilmektedir (Wang vd., 2020). Bu tür hastalıklar, çiftçilerin ekimlerini olumsuz etkileyerek bitkilerin sağlıklı büyümesini ciddi şekilde engelleyebilmektedir. Bu sorunu çözmek için derin öğrenme yöntemleri tasarlanarak kök hastalıklarının tespiti daha etkili hale getirilebilmektedir (Zhao vd., 2010; Henry vd., 2012; He vd., 2016).

STICS adlı modelleme sistemi simülasyonla çalışmaktadır. Karbon, su ve hidrojen gibi önemli bileşenlerin yanı sıra iklim, toprak ve ürün yönetiminin tarımsal üretim (hem miktar hem de kalite açısından) ve çevre üzerindeki etkilerini modellenmesini amaçlamaktadır. Bu simülasyon modeli, günlük zaman dilimlerinde çalışır ve farklı ürünlerin mekânsal ve zamansal değişkenliklerini entegre etme yeteneğine sahiptir (Passioura, 1996). Ancak, STICS'in kullanımı şu anda belirli mahsul sistemleriyle sınırlıdır ve bazı önemli süreçleri (örneğin, amonyak buharlaşması, kuraklığa dayanıklılık, toprak anoksisi vb.) içermemektedir, bu nedenle daha geniş bir uygulama alanına yayılması için güncellemelere ihtiyaç duyulmaktadır (Brisson vd., 1998).

CropSyst, genel olarak mahsul yetiştirme sistemi simülasyonunda başarılıdır. 3 yıllık dönemler için yonca üst biyokütle ve toprak su içeriği simülasyonlarını başarılı bir şekilde gerçekleştirmektedir. Ancak, model yonca bitkisinin uyku dönemi, hasat sonrası yeniden büyüme ve taç ile köklerin rollerini eksik bırakır, ayrıca kesimlerin otomatik programlanmasında taç rezervlerinin etkisini ihmal etmektedir. Bu nedenle, yonca yetiştiriciliği ile ilgilenenler için daha kapsamlı ve detaylı simülasyon modellerinin geliştirilmesi gerekmektedir (Confalonieri ve Bechini, 2004; Malik vd., 2018).

SimET modeli, bitkilerin evapotranspirasyonunu (ETP) ve toprak su dengesini simüle etme amacı güden etkili bir algoritma olarak öne çıkmaktadır (Liu vd., 2023). Bu model, çoklu büyüme döngülerinde bitkilerin ETP ve toprak suyu dinamiklerini hızlı ve hassas bir şekilde tahmin etme yeteneği sunarak kullanıcıların veri hazırlama, model simülasyonu ve sonuç analizi süreçlerini basitleştirmektedir (Rosa, 2011). Ancak, mevcut yazılımın bazı eksiklikleri, özellikle karmaşık işlemler, sınırlı ölçülebilirlik, toplu işlem eksikliği ve yalnızca tek bir ETP modelini içermesi gibi, geliştirilmesi gereken noktaları işaret etmektedir (Liu vd., 2023). Bu eksikliklerin giderilmesi, SimET modelinin potansiyelini daha da artırabilir ve çeşitli uygulama alanlarında daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlayabilmektedir.

APSIM, tarım sistemlerinin biyofiziksel süreçlerini simüle etmek amacıyla geliştirilen bir simülasyon modelidir. Son zamanlarda, genel bir orman modülünün APSIM'e entegre edilmesi, tarım sistemlerinin çeşitliliğini genişletmiştir (Huth vd., 2001). Bu model, toprak yüzeyi kalıntı dinamikleriyle su ve besin süreçlerini başarılı bir şekilde ilişkilendirmektedir (Huth vd., 2001). Ancak, APSIM şu anda sadece meralara yönelik sınırlı kapasite sunmakta ve hayvansal üretim sistemleri, özellikle et, süt ve yün üretimini içeren konulara yeterince odaklanmamıştır (Jones ve Donnely, 1994). Ayrıca, pirinç gibi önemli mahsuller için de eksiklikler taşımaktadır (Jones ve Donnely, 1994). Bu nedenle, APSIM'in mevcut kapasitesinin genişletilmesi ve farklı tarım sistemlerini kapsayacak şekilde geliştirilmesi gerekmektedir.

BÖLÜM III

MATERYAL VE METOT

3.1 Model Açıklaması

Bu model, güneş ışınlarının engellenme oranı ve radyasyon kullanım verilerini kullanarak bitki kuru maddesinin birikimini hesaplamak için kullanılır. LINTUL (Light Interception and Utilization) modeli ilk olarak Hollanda'daki Wageningen Üniversitesi'ndeki Bitki Üretim Sistemleri grubu tarafından geliştirilmiştir. Model ilk olarak Goudriaan ve Laar, (1982) tarafından ışığın bitki tarafından kesilmesini ve kullanılmasını dikkate alan bir bitki büyüme modeli sunan bir yayında tanımlanmıştır. Model, denklemler kullanarak fotosentez, solunum ve terleme gibi çeşitli bitki işlemlerinin oranlarını simüle ederek bitki biyokütlesinin zaman içinde oluşumunu tahmin etmektedir. Girdi olarak, model üç ana veri setini (iklim, ürün, toprak verileri) gerektirmektedir. Minimum ve maksimum sıcaklık ortalamalarını ($^{\circ}\text{C}$), yağışı (mm), güneş ışınımını (MJ m^{-2}) içeren iklim verileri gün^{-1}) ve aylık evapotranspirasyon değerleri (ETP; mm), bu girdilerden ilkidir (Çizelge 3.1., Çizelge 3.2.).

Çizelge 3.1. Adana iklim verilerinin değerleri

Aylar	Ortalama Maksimum Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Ortalama Minimum Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Güneş Radyasyonu (MJ m^{-2})	Ortalama Yağış (mm)	ETP (mm)
Ocak	14,70	5,10	8,8	107,6	34
Şubat	16,10	5,90	11,5	90,0	43
Mart	19,30	8,10	16,4	65,40	72
Nisan	23,60	11,80	18,7	51,30	100
Mayıs	28,20	15,60	23,4	47,30	136
Haziran	31,70	19,60	26,4	20,40	157
Temmuz	33,80	22,80	25,8	6,30	169
Ağustos	34,60	23,20	23,0	5,60	152
Eylül	33,10	20,00	18,8	17,80	113
Ekim	28,90	15,50	14,09	42,10	76
Kasım	22,50	10,60	10,3	71,70	42
Aralık	16,70	6,80	8,08	119,10	31

Çizelge 3.2. Konya iklim verilerinin değerleri

Aylar	Ortalama Maksimum Sıcaklık (°C)	Ortalama Minimum Sıcaklık (°C)	Güneş Radyasyonu (MJ m ⁻²)	Ortalama Yağış (mm)	ETP (mm)
Ocak	4,6	-4,2	8,18	37,6	20
Şubat	7	-3,3	10,9	28,5	31
Mart	11,8	-0,2	16,5	28,9	64
Nisan	17,5	4,3	19,8	31,9	94
Mayıs	22,3	8,6	23,9	43,6	129
Haziran	26,6	12,6	25,8	25,5	161
Temmuz	30,1	15,8	25,6	6,3	186
Ağustos	30,2	15,6	22,6	4,6	164
Eylül	26	10,9	18,5	12,3	113
Ekim	20	5,9	13,4	30	64
Kasım	13	0,8	9,6	32	30
Aralık	6,6	-2,4	7,6	42,1	18

İkinci girdi mahsul tarih seti, mahsullerin ekim ve hasat tarihleri, ekim ve etkili köklenme derinliği (cm) hakkında bilgi içerir. Ayrıca kuru madde konsantrasyonu, hasat indeksi, bitki büyüme oranı ve çıkış ile %100 yer örtüsü gün-derecesi (dd) arasındaki etkin sıcaklık toplamı hakkındaki verileri içerir. Radyasyon kullanım etkinliği, fotosentez için minimum ve maksimum sıcaklıklar ve optimal fotosentezin gerçekleştiği sıcaklık (°C) da veri setinde mevcuttur (Çizelge 3.3.). Çizelge 3.4.'te Adana ve Konya illerinde yonca bitkisinin ekim ve biçim tarihlerini göstermektedir. Çizelgede, her iki şehirde de ekim tarihleri ve farklı biçim dönemleri verilmiştir. Çizelge 3.4'te, yonca tarımının her iki şehirde hangi dönemlerde yapıldığını belirlemeye yönelik tarımsal takvimi sunmaktadır.

Toprak girdisi için, modelin değişen hacim yoğunlukları, su kapasiteleri, solma noktaları ve mevcut su içerikleri ile dokuz farklı toprak türü için varsayılan bir seçeneği vardır. Kullanıcılar farklı varyasyonlar arasından kolayca seçim yapabilmektedir. Model, gün cinsinden büyüme periyodunu, dikim ile çıkış arasındaki günleri, çıkış ile % 100 toprak örtüsü arasında ve %100 toprak örtüsü ile hasat arasındaki günleri belirleyerek iklim değişikliğine uyum stratejileri önerebilmektedir (Çizelge 3.3-Çizelge 3.4). Sulama suyu gereksinimleri, yağış ve ETP verileri kullanılarak model tarafından hesaplanabilmektedir (Çizelge 3.3.). Çizelge 3.4.'te Adana ve Konya illerinde yonca bitkisinin ekim ve biçim tarihlerini göstermektedir. Çizelgede, her iki şehirde de ekim

tarihleri ve farklı biçim dönemleri verilmiştir. Çizelge 3.4'te, yonca tarımının her iki şehirde hangi dönemlerde yapıldığını belirlemeye yönelik tarımsal takvimi sunmaktadır.

Çizelge 3.3. Yonca bitkisi için LINTUL'da kullanılan bitki parametreleri (Konya, Adana)

Bitki Parametreleri	Değer	Referanslar
Ekim derinliği (mm)	1-2	Anonim, 2022c
Kök derinliği (mm)	60-90	Albayrak ve vd., 2015
Kuru Madde Konsantrasyonu (%)	92,42	Anonim, 2022c
Hasat indeksi (%)	30-55	Anonim, 2022c
Çıkış ile %100 örtü düzeyine ulaşma arasındaki DG değerleri	467,2	Ben-Younes vd., 1992
RUE (g MJ ⁻¹)	1,8	Mattera vd., 2013
Fotosentez için minimum sıcaklık	26	Al-Hamdani, 1990
Fotosentez için maksimum sıcaklık	34	Al-Hamdani, 1990
Optimum fotosentez için minimum sıcaklık	2	Al-Hamdani, 1990
Optimum fotosentez için maksimum sıcaklık	8	Al-Hamdani, 1990

Hasat indeksi (Harvest Index), bitkinin ürettiği toplam biyokütle içerisindeki ekonomik olarak faydalı kısmın oranını gösteren önemli bir tarımsal ölçüttür. Genellikle, bitki verimliliğini değerlendirmek için kullanılır ve Formül 3.1.'de gösterildiği gibi hesaplanır:

$$Hasat\ indeksi = \frac{\text{Ekonomik Ürün Verimi (örneğin tane)}}{\text{Toplam biyokütle verimi (örneğin tüm bitki)}} \quad (3.1.)$$

Hasat indeksi, bitkinin ürettiği biyokütlenin ne kadarının ekonomik ürün olarak kullanılabileceğini ifade eder. Örneğin, erken biçim dönemlerinde bitkide yeşil aksam oranı yüksek olduğundan hasat indeksi de daha yüksektir. Bu, bitkinin büyük bir kısmının ekonomik değere sahip olduğunu gösterir. Bu dönemlerde bitkinin yeşil aksamı daha genç, besleyici ve protein açısından zengindir. Ancak, bitki büyüdükçe ve sonraki biçimlere geçildikçe gövde kalınlaşır, yaprak-gövde oranı azalır, bu da hasat indeksinin düşmesine neden olur. Orta ve geç dönemlerde bitkinin biyokütlesinde gövde oranı artar, yapraklar yaşlanır ve besin değeri azalır. Bu yüzden hasat indeksinin düşük olması, biyokütlenin daha az ekonomik ürün içerdiğini ve verimliliğin azaldığını gösterir. Dolayısıyla, yonca gibi bitkilerde hasat zamanlaması verimlilik ve yem kalitesi açısından kritik öneme sahiptir. Erken biçimler yüksek verim sağlarken, geç biçimlerde hasat indeksi düşerek ürünün ekonomik değeri azalır.

Hasat indeksi, Çizelge 3.3.'te görüldüğü üzere 30 ile 55 arasında değişmektedir. Bu değerlerin kesin bir aralıkta olmamasının sebebi yonca bitkisinde verimin farklı yetiştirilme periyotları ile birlikte farklı sayıda biçimlerde gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır. Çizelge 3.3.'te görüldüğü üzere Adana ilinde ilk ekim 1 Mart tarihinde gerçekleşirken 1. Biçim 28 Nisan tarihinde görülmektedir ve bu süre 58 gün olmaktadır. Yonca bitkisinde biçime karar verebilmek için ilk çiçeklenme görüldüğünde biçime başlanmaktadır. Buna bağlı olarak 2. Biçim tarihi ise 2 Haziran'dır ve bu süreç daha da kısalmıştır. Her bir biçimde biçim süresi çiçeklenme zamanına bağlı olduğu için hasat indeksleri de değişiklik göstermektedir. Ayrıca iklim değişikliği senaryolarındaki sıcaklık ve CO₂ artışları da bitki fenolojisinde değişiklikler gösterdiği için özellikle çiçeklenme sürecini genel olarak kısaltmakta ve yine hasat indeksleri değişmektedir. Buna bağlı olarak TSSM'den elde edilmiş gerçek veriler kullanılarak LINTUL-MULTICROP modelinde kalibrasyon yapılmıştır (Anonim, 2017a). Adana ve Konya illeri için Çizelge 3.4'te hasat indeksleri girdi verileri olarak kullanılmıştır.

Çizelge 3.4. LINTUL-MULTICROP modelinde kalibrasyon için kullanılan hasat indeksi (%) değerleri

Hasat İndeksi %	
Adana	Konya
60	60
35	35
25	25
17	17
11	-

Çizelge 3.5. Şehirlere göre ekim ve biçim tarihleri

Çalışma Alanı	Bitki Parametreleri	Biçim Sayısı					Referans
		1	2	3	4	5	
Adana	Ekim Tarihi	1 Mart					Anonim, 2024b
	Biçim Tarihi	28 Nisan	2 Haziran	28 Haziran	26 Temmuz	16 Eylül	Anonim, 2024b
Konya	Ekim Tarihi	1 Mayıs					Anonim, 2024b
	Biçim Tarihi	20 Haziran	1 Temmuz	10 Eylül	9 Kasım		Anonim, 2024b

Çizelge 3.6. Çukurova Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nde 2008-2010 yılları arasında Adana ilinde Nimet yonca çeşidi için yapılan 7 farklı biçimin tarımsal değerleri ölçme denemelerinin verim sonuçları (Anonim, 2017h)

	Yıllar	1.Biçim	2.Biçim	3.Biçim	4.Biçim	5.Biçim	6.Biçim	7.Biçim	Toplam Biçimlerin Verimi
					kg da ⁻¹				
Yeşil Ot Verimi	2008	2.044,5	2.303	2.168	1.665,2	1.179,5	937,5	1.120,5	11.408,2
	2009	2.164,5	2.095,2	1.827,2	1.362	1.184,7	1.133,5	1.217,5	9.623,9
	2010	1.603	1.681,5	1.538,7	1.054,7	589,2	733	1.212,5	8.412,6
	Ortalama	1.937,3	2.026,5	1.844,6	1.360,6	984,4	934,6	1.183,5	9.814,9
Kuru Ot Verimi	2008	480	577,5	586,5	470	335	210	186,7	2.845,7
	2009	561,5	539,2	463,7	356,5	272,2	280,7	271	2.744,8
	2010	410	421	327,5	289,5	184,5	182	221,5	2.036
	Ortalama	483,8	512,5	459,2	372	263,9	224,2	226,4	2.542,1

Çizelge 3.6.'da, 2008-2010 yılları arasında Adana ilinde Çukurova Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nde Nimet yonca çeşidi üzerine yapılan 7 farklı biçimin tarımsal değerlerini gösterilmektedir. Yeşil ot ve kuru ot verimleri yıllık bazda hesaplanmış ve her yılın toplam biçim verimi ile ortalamaları sunulmuştur. LINTUL MULTI-CROP modelinde hesaplanan yoncadaki verim değerleriyle karşılaştırılmak için bir ölçüt olarak kullanılmıştır.

Çizelge 3.7. 2014-2016 Yılları arasında Adana ilinde Nimet yonca çeşidi için yapılan tarımsal değerleri ölçme denemelerinin verim sonuçları (Anonim, 2017a)

Yıllar	Yeşil ot verimi	Kuru ot verimi
		kg da ⁻¹
2014	7.460,0	2.027,3
2015	4.338,5	1.244,9
2016	3.146,3	1.002,9
Ortalama	4.981,6	1.425

Çizelge 3.7.'de yoncadaki verim değerlerine bakıldığında 2014-2016 yılları arasında Adana ilinde Nimet yonca çeşidi için yapılan tarımsal denemelerde elde edilen yeşil ve kuru ot verimlerini göstermektedir. LINTUL MULTI-CROP modelinde hesaplanan yoncadaki verim değerleriyle karşılaştırılmak için bir ölçüt olarak kullanılmıştır.

Çizelge 3.8. 2014-2016 Yılları arası Adana ilinde yonca yeşil ve kuru ot verimi (Anonim, 2024d)

Yıllar	Yeşil ot verimi	Kuru ot verimi
		kg da ⁻¹
2014	1852	-
2015	1333	-
2016	1580	-
Ortalama	1588,3	

Çizelge 3.8.'de, TÜİK'in 2014-2016 yılları arasında Adana ilinde yonca bitkisi için elde edilen yeşil ot verimlerinin değerlerini göstermektedir. TÜİK'de kuru ot verimi ile ilgili veri bulunmamaktadır.

Çizelge 3.9. Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Müdürlüğü'nde 2006-2007 yılları arasında Konya ilinde Bilensoy-80 yonca çeşidi için yapılan 5 farklı biçimin tarımsal değerleri ölçme denemelerinin verim sonuçları (Anonim, 2008n)

Yıllar		1.Biçim	2.Biçim	3.Biçim	4.Biçim	5.Biçim	Toplam Biçimlerin Verimi
		kg da ⁻¹					
Yeşil Ot Verimi	2006	3.229,2	2.661,5	2.114,6	1.609,4	-	9.614,6
	2007	3.072,9	3.317,7	2.750	2.411,4	-	11.552,1
	Ortalama	3.151,05	2.989,6	2.432,5	2.010,4	-	10.583,3
Kuru Ot Verimi	2006	979,2	791,7	593,8	354,2	-	2.718,7
	2007	989,6	1.052,1	833,3	723,9	-	3.598,9
	Ortalama	984,4	921,9	713,5	539,05	-	3.158,8

Çizelge 3.9'da, 2006-2007 yılları arasında Konya ilinde Bilensoy-80 yonca çeşidi için yapılan 5 farklı biçimin tarımsal değerleri sunulmaktadır. Yeşil ot ve kuru ot verimleri yıllık bazda hesaplanmış olup, her yılın toplam biçim verimi ve ortalamaları belirtilmiştir. Bu veriler, LINTUL MULTI-CROP modeli ile hesaplanan yonca verim değerleriyle karşılaştırma yapmak için bir ölçüt olarak kullanılmıştır.

Çizelge 3.10. 2014-2016 Yılları arasında Konya ilinde Bilensoy-80 yonca çeşidi için yapılan tarımsal değerleri ölçme denemelerinin verim sonuçları (Anonim, 2017a)

Yıllar	Yeşil ot verim	Kuru ot verim
	kg da ⁻¹	
2014	7.514,7	2.040,6
2015	6.183,3	1.722
2016	6.417	1.677,8
Ortalama	6.705	1.813,4

Çizelge 3.10.'da, 2014-2016 yılları arasında Konya ilinde Bilensoy-80 yonca çeşidi için yapılan tarımsal denemelerde elde edilen yeşil ve kuru ot verimleri sunulmaktadır. Veriler, yıllık bazda hesaplanmış olup, yıllık ortalamalar da belirtilmiştir. Bu veriler, LINTUL MULTI-CROP modelinde hesaplanan yonca verim değerleriyle karşılaştırma yapmak için bir ölçüt olarak kullanılmıştır.

Çizelge 3.11. 2014-2016 Yılları arası Konya ilinde yonca yeşil ve kuru ot verimi
(Anonim, 2024ı)

Yıllar	Yeşil ot verimi	Kuru ot verimi
	kg da ⁻¹	
2014	4.922	-
2015	5.014	-
2016	4.916	-
Ortalama	4.950	

Çizelge 3.11’de, 2014-2016 yılları arasında Konya ilinde yonca yeşil ve kuru ot verimlerini göstermektedir. Yeşil ot verimleri yıllık bazda belirtilmiş olup, kuru ot verimleri için veri bulunmamaktadır. Veriler yıllık ortalamalarla birlikte sunulmuştur.

3.2 Çalışma Alanı

İklim değişikliğinin etkilerinin yonca bitkisinin her bir biçiminde İç Anadolu ve Akdeniz iklimlerinde nasıl tepki verdiğini ve hangi biçimin iklim değişikliğinden en az etkilendiğini ortaya koymak için İç Anadolu’da ve Akdeniz bölgelerinde en çok yonca yetiştirilen Konya ve Adana illeri çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma alanları Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Bu iller, yonca üretiminde bu iklim koşullarında en çok üretimin yapıldığı ve bu iklim koşullarında yonca bitkisini diğer iller içinde temsil edebilecekleri düşünülmüş seçilmiştir. 2019 yılından bu yana Konya (37°52’K-32°29’D) Türkiye’nin en büyük yonca üreticisidir. 2020 yılında 1,7 milyon ton üretim yaparak Konya, Türkiye’nin toplam üretiminin %9’unu oluşturmuştur. Konya’nın iklimi yarı kurak, yazları sıcak ve kurak, kışları ise dondurucudur. Konya, iyi toprakları ve ekin ekimi için uygun ortamı ile tanınan, Türkiye’de önde gelen bir tarım bölgesidir. Bölgede iklim, kavurucu yazlar ve dondurucu kışlar ile yarı kuraktır. Konya’nın yıllık ortalama sıcaklığı 12,5°C ve yıllık yağış miktarı 387 mm’dir. Adana (36°59’K-35°17’D), Türkiye’nin güneyinde bulunan, yonca üretiminin Akdeniz bölgesinde incelenmesi için önemli bir şehirdir. 2020 yılında Adana, Türkiye’nin toplam yonca üretiminin yaklaşık %15’ini oluşturur ve 2,2 milyon ton yonca üretmiştir. Ülkedeki en yüksek yonca ekim alanına sahip ikinci bölge olup Konya’dan sonra gelir (Anonim, 2020). Adana’nın sıcak ve güneşli iklimi ile verimli toprakları, yonca yetiştirme için uygun bir konum oluşturur. Hayvansal üretimin en önemli bileşenlerinden biri olan kaba yemler, ekonomik hayvancılığın en önemli bileşenidir. Hayvancılık işletmeleri, sistemli bir kaba yem

tedarik planı olmadan karlı olamazlar. Kaba yemler, tarla tarımı sırasında yetiştirilen yem bitkileri ve bitkisel üretim hasat artıkları gibi doğal kaynaklardan gelir. Hayvanlar için yüksek üretimi ve besin değeri nedeniyle yonca, her iki bölgede de popüler bir yem bitkisidir. Çalışma, çeşitli iklim değişikliği senaryolarının Konya ve Adana'daki yonca verimi tepkileri üzerindeki potansiyel etkilerini incelemek için yapılmıştır. LINTUL MULTI-CROP modelini kullanarak, farklı biçimlerde yonca hasat aşamasında iklim değişikliği projeksiyonlarının yonca bitkisi (*Medicago sativa* L. cv.) üzerindeki etkilerinin belirlenmesi üzerindeki potansiyel etkileri değerlendirilmektedir.



Şekil 3.1. Çalışma alanları

3.3 Bitki Materyali

Yonca (*Medicago sativa* L.), saman, silaj ve mera için yaygın olarak yetiştirilen çok yıllık bir yem bitkisidir. Çiftlik hayvanları için önemli bir protein kaynağı olarak bilinir ve yüksek verim potansiyeli, besin kalitesi ve nitrojeni sabitleme yeteneğine sahiptir. Yonca, çok çeşitli topraklara ve iklim koşullarına iyi uyum sağlamıştır ve dünyanın birçok yerinde önemli bir mahsuldür (Çoban ve Başaran, 2024). Yonca, yüksek üretimi, besin içeriği, kuraklığa ve diğer çevresel zorluklara dayanıklılığı nedeniyle Konya bölgesinde yaygın olarak üretilen çok yıllık bir yem bitkisidir. Yonca, hayvan yemi için yüksek protein kaynağıdır ve bölgedeki süt inekleri, besi sığırları ve diğer çiftlik hayvanlarının beslenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Güngörmez, 2019).

Bilensoy-80 yonca çeşidi, dormansi derecesi 4 olan bu çeşit, sonbaharda yavaş büyüyerek sap uzatır ve İç Anadolu bölgesinin iklim koşullarına oldukça iyi uyum

sağlamaktadır. Bilensoy-80, bu özellikleri sayesinde yüksek kış direnci gösterir ve Orta Anadolu'nun iklimine iyi adapte olmuştur. Yüksek verim potansiyeline sahip olan bu çeşit, bir vejetasyon dönemi boyunca 4-6 hasat yapılabilir. Bitki boyu 70-80 cm arasında değişir ve kuru ot verimi, bölgeye bağlı olarak ortalama 1 ton olup, sıcak kıyı kuşağında 1,5 ton olabilmektedir. Çiçeklenme döneminde elde edilen kuru ot, toplamda %16-18 protein, %1-1,5 yağ, %9-11 mineral, %25-30 lif ve %5-6 su içermektedir. Hastalıklara karşı yüksek direnç gösterir ve hektar başına 25-30 kg tohum ekilmektedir. Bilensoy-80, karasal iklim koşullarında verimli bir şekilde yetişebilen ve kuraklık, soğuk gibi zorlu koşullara dayanıklı bir çeşittir (Kizildeniz, 2024).

Nimet yonca çeşidi, kıyı bölgelerine uygun, verimli bir yem bitkisidir ve sıcak iklimlere adapte olmuştur. Sonbaharda hızla büyüyen uzun ve sert sürgünler oluşturmaktadır. Dormansi derecesi 8 olup, sonbaharda hızla büyüyen uzun ve sert sürgünler oluşturmaktadır. Bu çeşit, kıyı bölgelerine uygun olup tarım alanında ot üretimi için kullanılabilir. Bitki boyu 90-100 cm olup, yılda 7 kez hasat yapılabilir. Taze ot verimi yüksektir ve kuru otun protein oranı da oldukça fazladır. Akdeniz ikliminde kuru madde ve protein veriminde en yüksek sonuçları verir. Akdeniz iklim koşullarında, Nimet çeşidi, diğer çeşitlerle kıyaslandığında en yüksek kuru madde ve toplam protein verimini sağlamaktadır (Kizildeniz, 2024).

3.4 İklim Değişikliği Senaryoları ve Simülasyonu

İç Anadolu ve Akdeniz Bölgesi'nde iklim değişikliğinin yonca tarımı üzerindeki etkilerini karşılaştırmak için bu bölgelerde en çok yonca üretimi yapılan Konya ve Adana illeri için 6 farklı iklim değişikliği senaryosu test edilmiştir (Çizelge 3.12.) Senaryo (a), Konya ve Adana illerindeki mevcut iklim koşullarına dayanmaktadır ve karşılaştırma için bir ölçüt olarak kullanılmıştır. Senaryo (b), gelecekteki beklentileri simüle etmek için atmosferik ortalama hava sıcaklığını 2°C artırmayı içermektedir (RCP 4.5). Senaryo (c), ortalama sıcaklığı 4 °C artırmayı içermektedir (RCP 8.5). Senaryo (d), gelecekte bitkilerin artan radyasyon kullanım etkinliğinin etkilerini simüle etmek için mevcut seviyeye 200 ppm atmosferik CO₂ eklemeyi içermektedir (RCP 6.0). Senaryo (e), mevcut seviyeye 400 ppm atmosferik CO₂ eklemeyi içermektedir. Senaryo (f), mevcut seviyeye 600 ppm atmosferik CO₂ eklemeyi içermektedir. İklim değişikliği projeksiyonlarına göre yoncada (*Medicago sativa* L. cv.) farklı biçim dönemleri ve

verimin belirlenmesi LINTUL MULTI-CROP modelinde yonca bitkisinde doğru çalışıp çalışmadığının test edilmesi ve gerekli kalibrasyonlarının yapılabilmesi için, Akdeniz ve Karasal iklim koşullarına uyum sağlamış Nimet ve Bilensoy-80 yonca çeşitlerinde, daha önce kontrollü koşullarda 400 ppm (normal atmosferik CO₂ koşullarında), 600 ppm yüksek atmosferik CO₂ koşullarında yapılan yayınlanmış denemelerden elde edilmiş veriler kullanılmıştır. Modelleme çalışması için 30 yıllık iklim verilerinin ortalaması kullanılmıştır (Kizildeniz, 2024).

Yoncanın farklı biçim dönemlerinde iklim değişikliği projeksiyonlarının yonca bitkisi (*Medicago sativa* L. cv.) üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla LINTUL MULTI-CROP modeli ile ilk kez test edilerek yonca bitkisinin iklim değişikliği etkileri konusunda Akdeniz ve İç Anadolu bölgelerine adapte olmuş Nimet ve Bilensoy-80 yonca çeşitlerindeki etkileri tespit etmek amaçlanmıştır..

Çizelge 3.12. Çalışmada simüle edilecek iklim değişikliği senaryoları

Senaryolar	Açıklamalar	Temsili Konsantrasyon Rotaları (Representative Concentration Pathways- RCP s)
a	Mevcut durum	-
b	Mevcut durum + 2°C	RCP 4.5
c	Mevcut durum + 4°C	RCP 8.5
d	Mevcut durum + 200 ppm	RCP 6.0
e	Mevcut durum + 400 ppm	
f	Mevcut durum +600 ppm	

BÖLÜM IV

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Bulgular

Çizelge 4.1. Altı farklı iklim değişikliği senaryolarına göre Adana ili için Nimet yonca çeşidi yeşil ot veriminin LINTUL-MULTICROP simülasyon değerleri ve deneme verileriyle karıştırılması

Adana ilinde yetiştirilen Nimet yonca çeşidi yeşil ot verim değerleri						
kg da ⁻¹						
	1.Biçim	2.Biçim	3.Biçim	4.Biçim	5.Biçim	Toplam Biçimlerin Verim
Deneme verileri (Çizelge 3.6.)	1.937	2.027	1.845	1.361	984	9.815
Senaryo a (Mevcut durum)	1.840	2.100	1.840	1.370	970	8.120
Senaryo b (Mevcut durum + 2°C)	1.940	2.170	1.860	1.360	990	8.320
Senaryo c (Mevcut durum + 4°C)	2.030	2.190	1.810	1.310	930	8.270
Senaryo d (Mevcut durum + 200 ppm CO ₂)	2.380	2.720	2.380	1.770	1.310	10.560
Senaryo e (Mevcut durum + 400 ppm CO ₂)	2.920	3.330	2.920	2.180	1.610	12.960
Senaryo f (Mevcut durum + 600 ppm CO ₂)	3.460	3.950	3.460	2.580	1.910	15.360

Adana bölgesinde Nimet yonca çeşidi için LINTUL MULTI-CROP modeli kullanılarak yapılan çalışmada yeşil ot verim değerleri verilmiştir. Mevcut durum koşullarında

(senaryo a) elde edilen verim değerleri incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, 1. biçimde 1.840 kg da⁻¹, 2. biçimde ise en yüksek verim olan 2.100 kg da⁻¹ olarak elde edilmiştir. nc biçim verimi 1.840 kg da⁻¹ ile 1. biçimle aynı düzeyde gerçekleşmiştir. Dördüncü biçimde 1.370 kg da⁻¹, beşinci biçimde ise en düşük verim olan 970 kg da⁻¹ elde edilmiştir (izelge 4.1.). Mevcut duruma 2°C sıcaklık artışında koşullarında (senaryo b), 1. biçim verimi 1.940 kg da⁻¹ olarak gerçekleşirken, en yüksek verim yine 2. biçimde 2.170 kg da⁻¹ olarak kaydedilmiştir. 3. biçimde 1.860 kg da⁻¹, 4. biçimde 1.360 kg da⁻¹ ve 5. biçimde ise 990 kg da⁻¹ verim alınmıştır (izelge 4.1.). Mevcut duruma 4°C sıcaklık artırıldığı koşullarında (senaryo c)'de 1. biçimde verim 2.030 kg da⁻¹ ile en yüksek seviyeye ulaşırken, 5. biçimde en düşük verim olan 930 kg da⁻¹ kaydedilmiştir. 2. biçimde 2.190 kg da⁻¹ verim elde edilirken, 3. biçimde 1.810 kg da⁻¹, 4. biçimde ise 1.310 kg da⁻¹ verim alınmıştır (izelge 4.1.). Mevcut duruma 200 ppm CO₂ artırıldığı koşullarında (senaryo d), 1. ve 3. biçimlerde 2.380 kg da⁻¹ verim elde edilmiştir. 2. biçimde en yüksek verim 2.720 kg da⁻¹ olarak elde edilmiş olup, 4. biçimde 1.770 kg da⁻¹ ve 5. biçimde en düşük verim olan 1.310 kg da⁻¹ gözlemlenmiştir (izelge 4.1.). Mevcut duruma 400 ppm CO₂ artırıldığı koşullarında (senaryo e), 1. biçimde 2.920 kg da⁻¹, 2. biçimde ise en yüksek verim olan 3.330 kg da⁻¹ elde edilmiştir. 3. biçimde 2.920 kg da⁻¹ verim gözlemlenirken, 4. biçimde 2.180 kg da⁻¹ ve 5. biçimde 1.610 kg da⁻¹ verim alınmıştır (izelge 4.1.). Son olarak, mevcut duruma CO₂ seviyesinin 600 ppm artırıldığı koşullarında (senaryo f), 2. biçimde 3.950 kg da⁻¹ ile en yüksek verim elde edilmiştir. 1. biçimde 3.460 kg da⁻¹ verim elde edilmiş, 4. biçimde 2.580 kg da⁻¹ ve 5. biçimde 1.910 kg da⁻¹ ile en düşük verim gözlemlenmiştir (izelge 4.1.). Bu sonuçlar, CO₂ artışıyla birlikte verimin belirgin şekilde arttığını, sıcaklık artışının ise ilk biçimlerde olumlu etkiler sağladığını göstermektedir. Adana bölgesinde LINTUL MULTI-CROP modeli kullanılarak yapılan çalışmada, toplam biçimlerin verimi mevcut duruma 600 ppm CO₂ artırıldığı koşullarda (senaryo f) koşullarında, en yüksek verim 15.360 kg da⁻¹ olarak elde edilmiştir. Buna karşılık, mevcut durum (senaryo a) koşullarında en düşük toplam verim 8.120 kg da⁻¹ olarak gerçekleşmiştir. Bu veriler, CO₂ seviyesindeki artışın toplam verimde önemli bir artış sağladığını göstermektedir (izelge 4.1.).

Çizelge 4.2. Altı farklı iklim değişikliği senaryolarına göre Adana ili için Nimet yonca çeşidi kuru ot veriminin LINTUL-MULTICROP simülasyon değerleri ve deneme verileriyle karıştırılması

Adana ilinde yetiştirilen Nimet yonca çeşidi kuru ot verim değerleri						
kg da ⁻¹						
	1.Biçim	2.Biçim	3.Biçim	4.Biçim	5.Biçim	Toplam Biçimlerin Verim
Deneme verileri (Çizelge 3.6.)	484	513	459	372	264	2.092
Senaryo a (Mevcut durum)	490	750	790	690	620	3.340
Senaryo b (Mevcut durum +2°C)	520	780	800	690	630	3.420
Senaryo c (Mevcut durum +4°C)	540	790	780	660	590	3.360
Senaryo d (Mevcut durum + 200 ppm CO ₂)	630	980	1020	890	840	4.360
Senaryo e (Mevcut durum + 400 ppm CO ₂)	780	1.200	1.250	1.090	1.030	5.350
Senaryo f (Mevcut durum + 600 ppm CO ₂)	920	1.420	1.480	1.300	1.220	6.340

Adana ilinde Nimet yonca çeşidi için LINTUL MULTI-CROP modeli kullanılarak yapılan çalışmada kuru ot verim değerleri verilmiştir. Mevcut durum koşullarında (senaryo a) elde edilen verim değerleri incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, 1. biçimde 490 kg da⁻¹, 2. biçimde 750 kg da⁻¹, 3. biçimde 790 kg da⁻¹, 4. biçimde 690 kg da⁻¹ ve 5. biçimde 620 kg da⁻¹ verim elde edilmiştir (Çizelge 4.2.). Toplam biçimlerin verimi 3.340 kg da⁻¹ olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.2.). Mevcut duruma 2°C sıcaklık

artışında koşullarında (senaryo b), 1. biçim verimi 520 kg da⁻¹ olarak gerçekleşirken, 2. biçimde 780 kg da⁻¹ 3. biçimde 800 kg da⁻¹, 4. biçimde 690 kg da⁻¹ ve 5. biçimde 630 kg da⁻¹ verim elde edilmiştir (Çizelge 4.2.). Toplam biçimlerin verimi 3.420 kg da⁻¹ olarak kaydedilmiştir (Çizelge 4.2.). Mevcut duruma 4°C sıcaklık artırıldığı koşullarında (senaryo c), 1. biçimde verim 540 kg da⁻¹, 2. biçimde 790 kg da⁻¹, 3. biçimde 780 kg da⁻¹, 4. biçimde 660 kg da⁻¹ ve 5. biçimde 590 kg da⁻¹ olarak gözlemlenmiştir (Çizelge 4.2.). Toplam biçimlerin verimi 3.360 kg da⁻¹ olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.2.). Mevcut duruma 200 ppm CO₂ artırıldığı koşullarında (senaryo d), 1. biçimde 630 kg da⁻¹, 2. biçimde 980 kg da⁻¹, 3. biçimde 1.020 kg da⁻¹, 4. biçimde 890 kg da⁻¹ ve 5. biçimde 840 kg da⁻¹ verim elde edilmiştir (Çizelge 4.2.). Toplam biçimlerin verimi 4.360 kg da⁻¹ olarak kaydedilmiştir (Çizelge 4.2.). Mevcut duruma 400 ppm CO₂ artırıldığı koşullarında (senaryo e), 1. biçimde 780 kg da⁻¹, 2. biçimde 1.200 kg da⁻¹, 3. biçimde 1.250 kg da⁻¹, 4. biçimde 1.090 kg da⁻¹ ve 5. biçimde 1.030 kg da⁻¹ verim elde edilmiştir (Çizelge 4.2.). Toplam biçimlerin verimi 5.350 kg da⁻¹ olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.2.). Son olarak, mevcut duruma CO₂ seviyesinin 600 ppm artırıldığı koşullarında (senaryo f), 1. biçimde 920 kg da⁻¹, 2. biçimde 1.420 kg da⁻¹, 3. biçimde 1.480 kg da⁻¹, 4. biçimde 1.300 kg da⁻¹ ve 5. biçimde 1.220 kg da⁻¹ verim elde edilmiştir (Çizelge 4.2.). Toplam biçimlerin verimi 6.340 kg da⁻¹ olarak gözlemlenmiştir (Çizelge 4.2.). Bu sonuçlar, CO₂ artışıyla birlikte verimin belirgin şekilde arttığını ve sıcaklık artışının ilk biçimlerde olumlu etkiler sağladığını göstermektedir. Adana ilinde LINTUL MULTI-CROP modeli kullanılarak yapılan çalışmada, toplam biçimlerin verimi mevcut duruma 600 ppm CO₂ artırıldığı koşullarda (senaryo f), 6.340 kg da⁻¹ olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.2.). En yüksek kuru ot verim değerleri mevcut duruma 600 ppm CO₂ artırıldığı koşullarda (senaryo f)'de elde edilmiştir. Bu senaryoda, 1. biçimde 920 kg da⁻¹ 2. biçimde 1.420 kg da⁻¹, 3. biçimde 1.480 kg da⁻¹, 4. biçimde 1.300 kg da⁻¹ ve 5. biçimde 1.220 kg da⁻¹ kuru ot verimi elde edilmiştir (Çizelge 4.2.). Toplam biçimlerin kuru ot verimi 6.340 kg da⁻¹ olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.2.). Bu sonuçlar, kuru ot verimlerinin CO₂ artışı ile önemli ölçüde yükseldiğini, mevcut durum koşullarında ise en düşük verim değerlerinin gözlemlendiğini göstermektedir. Buna karşılık, mevcut durum koşullarında (senaryo a) en düşük toplam verim 3.340 kg da⁻¹ olarak gerçekleşmiştir. Bu veriler, CO₂ seviyesindeki artışın toplam verimde önemli bir artış sağladığını göstermektedir (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.3. Adana ili için Nimet yonca çeşidi LINTUL-MULTICROP simülasyon yeşil ot verim değerlerinin mevcut iklim koşulları ve diğer iklim değişikliği senaryoları gerçekleştiğinde ortaya çıkacak değişim oranları

Adana ilinde yetiştirilen Nimet yonca çeşidi yeşil ot verim değerleri değişim oranları (%)						
	1.Biçim	2.Biçim	3.Biçim	4.Biçim	5.Biçim	Toplam Biçimlerin Verim
Senaryo a (Mevcut durum)	-	-	-	-	-	
Senaryo b (Mevcut durum + 2°C)	5,43	3,33	1,08	-0,72	2,06	11,18
Senaryo c (Mevcut durum + 4°C)	10,32	4,28	-1,63	-4,37	-4,12	4,48
Senaryo d (Mevcut durum +200 ppm CO ₂)	29,34	29,52	29,34	29,19	35,05	152,44
Senaryo e (Mevcut durum + 400 ppm CO ₂)	58,69	58,57	58,69	59,12	65,97	301,04
Senaryo f (Mevcut durum + 600 ppm CO ₂)	88,04	88,09	88,04	88,32	96,90	449,39

Adana ilinde yetiştirilen Nimet yonca çeşidinin yeşil ot verim değerleri farklı senaryolar altında analiz edilmiştir. Mevcut duruma 2°C artırıldığı koşullarda, 1. biçimde %5,43, 2. biçimde %3,33, 3. biçimde %1,08, 4. biçimde %-0,72 ve 5. biçimde %2,06 değerleri gözlemlenmiş olup, toplam biçimlerin verim artışı %11,18 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.3.). Mevcut duruma 4°C artırıldığı koşullarda, 1. biçimde %10,32, 2. biçimde %4,28 artış, 3. biçimde %-1,63, 4. biçimde %-4,37 ve 5. biçimde %-4,12 azalma yaşanmış, toplam biçimlerin verim artışı %4,48 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3.). Mevcut duruma 200 ppm CO₂ artırıldığı koşullarda, 1. biçimde %29,34, 2. biçimde %29,52, 3. biçimde %29,34, 4. biçimde %29,19 ve 5. biçimde %35,05 artış gözlemlenmiş ve toplam biçimlerin verim artışı %152,44 olarak hesaplanmıştır (Çizelge

4.3.). Mevcut duruma 400 ppm CO₂ artırıldığı koşullarda, 1. biçimde %58,69, 2. biçimde %58,57, 3. biçimde %58,69, 4. biçimde %59,12 ve 5. biçimde %65,97 artış yaşanmış olup, toplam biçimlerin verim artışı %301,04 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3.). Mevcut duruma 600 ppm CO₂ artırıldığı koşullarda ise, 1. biçimde %88,04, 2. biçimde %88,09, 3. biçimde %88,04, 4. biçimde %88,32 ve 5. biçimde %96,90 artış gözlemlenmiş ve toplam biçimlerin verim artışı %449,39 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.3.). Bu sonuçlar, CO₂ artışlarının yonca bitkisinin yeşil ot verimini belirgin bir şekilde artırdığını, sıcaklık artışlarının ise daha sınırlı bir etkide bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Mevcut duruma 2°C artırıldığı koşullarda, en yüksek artış %5,43 ile 1. biçimde, en düşük artış ise %-0,72 ile 4. biçimde gözlemlenmiştir. Mevcut duruma 4°C artırıldığı koşullarda, en yüksek artış %10,32 ile 1. biçimde, en düşük azalma ise %-4,37 ile 4. biçimde yaşanmıştır. Mevcut duruma 200 ppm CO₂ artırıldığı koşullarda, en yüksek artış %35,05 ile 5. biçimde, en düşük artış ise %29,19 ile 4. biçimde gözlemlenmiştir (Çizelge 4.3.). Mevcut duruma 400 ppm CO₂ artırıldığı koşullarda, en yüksek artış %65,97 ile 5. biçimde, en düşük artış ise %58,57 ile 2. biçimde yaşanmıştır (Çizelge 4.3.). Mevcut duruma 600 ppm CO₂ artırıldığı koşullarda, en yüksek artış %96,90 ile 5. biçimde, en düşük artış ise %88,04 ile 1. ve 3. biçimlerde gözlemlenmiştir (Çizelge 4.3.). Bu veriler, CO₂ artışlarının yeşil ot verimini artırırken, sıcaklık artışlarının etkisinin daha sınırlı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.4. Adana ili için Nimet yonca çeşidi LINTUL-MULTICROP simülasyon kuru ot verim değerlerinin mevcut iklim koşulları ve diğer iklim değişikliği senaryoları gerçekleştiğinde ortaya çıkacak değişim oranları

Adana ilinde yetiştirilen Nimet yonca çeşidi kuru ot verim değerleri değişim oranları (%)						
	1.Biçim	2.Biçim	3.Biçim	4.Biçim	5.Biçim	Toplam Biçimlerin Verim
Senaryo a (Mevcut durum)	-	-	-	-	-	
Senaryo b (Mevcut durum +2°C)	6,12	4	1,26	0	1,61	12,99
Senaryo c (Mevcut durum +4°C)	10,2	5,33	-1,26	-4,37	-4,83	5,07
Senaryo d (Mevcut durum + 200 ppm CO ₂)	28,57	30,66	29,11	28,98	35,48	152,8
Senaryo e (Mevcut durum + 400 ppm CO ₂)	59,18	60	58,22	57,97	66,12	301,49
Senaryo f (Mevcut durum + 600 ppm CO ₂)	87,75	89,33	87,34	88,04	96,77	449,23

Adana ilinde yetiştirilen Nimet yonca çeşidinin kuru ot verim değerleri farklı senaryolar altında analiz edilmiştir. Mevcut duruma 2°C artırıldığı koşullarda, 1. biçimde %6,12, 2. biçimde %4, 3. biçimde %1,26, 4. biçimde %0 ve 5. biçimde %1,61 artış gözlemlenmiş olup, toplam biçimlerin verim artışı %12,99 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.4.). Mevcut duruma 4°C artırıldığı koşullarda, 1. biçimde %10,20, 2. biçimde %5,33 artış, 3. biçimde %-1,26, 4. biçimde %-4,37 ve 5. biçimde %-4,83 azalma yaşanmış, toplam biçimlerin verim artışı %5,07 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4.). Mevcut duruma 200 ppm CO₂ artırıldığı koşullarda, 1. biçimde %28,57, 2. biçimde %30,66, 3. biçimde %29,11, 4. biçimde %28,98 ve 5. biçimde %35,48 artış gözlemlenmiş ve toplam

biçimlerin verim artışı %152,80 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.4.). Mevcut duruma 400 ppm CO₂ artırıldığı koşullarda, 1. biçimde %59,18, 2. biçimde %60, 3. biçimde %58,22, 4. biçimde %57,97 ve 5. biçimde %66,12 artış yaşanmış olup, toplam biçimlerin verim artışı %301,49 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4.). Mevcut duruma 600 ppm CO₂ artırıldığı koşullarda ise, 1. biçimde %87,75, 2. biçimde %89,33, 3. biçimde %87,34, 4. biçimde %88,04 ve 5. biçimde %96,77 artış gözlemlenmiş ve toplam biçimlerin verim artışı %449,23 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.4.). Bu sonuçlar, CO₂ artışlarının yonca bitkisinin kuru ot verimini belirgin bir şekilde artırdığını, sıcaklık artışlarının ise daha sınırlı bir etkide bulunduğunu ortaya koymaktadır. Mevcut duruma +2°C artırıldığı koşullarda, en yüksek artış %6,12 ile 1. biçimde, en düşük artış ise %0 ile 4. biçimde gözlemlenmiştir (Çizelge 4.4.). Mevcut duruma 4°C artırıldığı koşullarda, en yüksek artış %10,20 ile 1. biçimde, en düşük azalma ise %-4,83 ile 5. biçimde yaşanmıştır (Çizelge 4.4.). Mevcut duruma 200 ppm CO₂ artırıldığı koşullarda, en yüksek artış %35,48 ile 5. biçimde, en düşük artış ise %28,57 ile 1. biçimde gözlemlenmiştir (Çizelge 4.4.). Mevcut duruma 400 ppm CO₂ artırıldığı koşullarda, en yüksek artış %66,12 ile 5. biçimde, en düşük artış ise %57,97 ile 4. biçimde yaşanmıştır (Çizelge 4.4.). Mevcut duruma 600 ppm CO₂ artırıldığı koşullarda ise, en yüksek artış %96,77 ile 5. biçimde, en düşük artış ise %87,34 ile 3. biçimde gözlemlenmiştir (Çizelge 4.4.). Bu veriler, CO₂ artışlarının kuru ot verimini artırırken, sıcaklık artışlarının etkisinin daha sınırlı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.5. Altı farklı iklim değişikliği senaryolarına göre Konya ili için Bilensoy-80 yonca çeşidi yeşil ot veriminin LINTUL-MULTICROP simülasyon değerleri ve deneme verileriyle karşılaştırılması

Konya ilinde yetiştirilen Bilensoy-80 yonca çeşidi						
yeşil ot verim değerleri						
kg da ⁻¹						
	1.Biçim	2.Biçim	3.Biçim	4.Biçim	5.Biçim	Toplam Biçimlerin Verimi
Deneme verileri (Çizelge 3.9.)	3.151,05	2.989,6	2.432,5	2.010,4	-	10.583,3
Senaryo a (Mevcut durum)	940	920	790	980		6140

Konya ilinde yetiştirilen Bilensoy-80 yonca çeşidine ait yeşil ot verim değerleri, deneme verileri ile mevcut durum (senaryo) koşullarında, karşılaştırıldığında belirgin bir uyumsuzluk göstermektedir. Deneme verilerinde elde edilen sonuçlar, mevcut durum senaryosu ile tutarlı olmamış ve biçim dönemleri arasında önemli farklar gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.6. Altı farklı iklim değişikliği senaryolarına göre Adana ili için Nimet yonca çeşidi kuru ot veriminin LINTUL-MULTICROP simülasyon değerleri ve deneme verileriyle karşılaştırılması

Konya ilinde yetiştirilen Bilensoy-80 yonca çeşidi						
kuru ot verim değerleri						
kg da⁻¹						
	1.Biçim	2.Biçim	3.Biçim	4.Biçim	5.Biçim	Toplam Biçimlerin Verimi
Deneme verileri (Çizelge 3.9.)	984,4	921,9	713,5	539,05	-	3.158,8
Senaryo a (Mevcut durum)	260	380	410	710	-	3.540

Konya ilinde yetiştirilen Bilensoy-80 yonca çeşidine ait kuru ot verim değerleri, deneme verileri ile mevcut durum (senaryo a) koşullarında, karşılaştırıldığında belirgin bir uyumsuzluk göstermektedir. Deneme verilerindeki sonuçlar ile mevcut durum senaryosunda elde edilen verim arasında farklılıklar gözlemlenmiş ve biçim dönemlerinde tutarlılık sağlanamamıştır. Bu durum, iklim koşulları ve diğer tarımsal faktörlerin verim üzerinde farklı etkiler yarattığını ortaya koymaktadır.

4.2 Tartışma

Yonca hem ekonomik hem de ekolojik açıdan önemli bir tarım bitkisidir. Yoncanın farklı biçim dönemlerinde iklim değişikliği projeksiyonlarının yonca bitkisi (Medicago sativa L. cv.) üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla LINTUL MULTI-CROP modeli ile ilk kez test edilerek, iklim değişikliğinin Akdeniz ve İç Anadolu bölgelerine adapte olmuş Nimet ve Bilensoy-80 yonca çeşitlerindeki etkileri tespit edilmek istenmiştir. Adana ve Konya illerinde yonca verimi çeşitli iklim senaryoları altında

incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, her iki bölgenin sıcaklık ve CO₂ artışlarına farklı tepkiler verdiğini ve bu sonuçların yonca verimi üzerindeki bölgesel tarım stratejilerinin optimize edilmesinde önemli olduğunu göstermektedir.

Adana ilinde nimet yonca çeşidi yeşil ot verim değerleri incelendiğinde, mevcut duruma 600 ppm CO₂ artırıldığı koşullarda (senaryo f) en yüksek verim 2. biçimde 3.950 kg da⁻¹ olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.1.). Gökkaya ve Orak, (2021) yaptıkları çalışmada yeşil ot veriminde 1. biçimde düşük verim elde edilirken, 2. biçimde verimin arttığı gözlemlenmiştir. Mevcut duruma 600 ppm (1000 ppm) CO₂ artışı ile nimet yonca çeşidinde yapılan Kizildeniz, (2024) çalışmasında ise yeşil ot veriminin arttığı gözlemlenmiştir.

Adana ilinde nimet yonca çeşidi kuru ot verim değerleri incelendiğinde, mevcut duruma 600 ppm CO₂ artırıldığı koşullarda (senaryo f) en yüksek verim 3. biçimde 1.480 kg da⁻¹ olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.2.). Milic ve vd., (2014) yaptıkları çalışmada kuru ot veriminde 3. biçimde elde edilmiştir. Mevcut duruma 600 ppm (1000 ppm) CO₂ artışı ile nimet yonca çeşidinde yapılan Kizildeniz, (2024) çalışmasında kuru ot veriminin arttığını göstermektedir.

Adana ilinde yetiştirilen Nimet yonca çeşidi yeşil ot verim değerleri değişim oranları incelendiğinde, mevcut duruma 4°C sıcaklık artırıldığı koşullarda (senaryo c), en düşük verim 4. biçimde -4,37 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.3.). Sıcaklık artışlarının verim üzerindeki olumsuz etkisi, Thivierge vd., (2016) yaptığı çalışmada da sıcaklık arttıkça yonca veriminde belirgin bir azalma gözlemlenmiştir, bu durum sıcaklık stresinin yonca verimine olumsuz etkisini göstermektedir.

Adana ilinde yetiştirilen Nimet yonca çeşidi kuru ot verim değerleri değişim oranları incelendiğinde, mevcut duruma 4°C sıcaklık artırıldığı koşullarda (senaryo c), en düşük verim 5. biçimde -4,83 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.4.). Isaacson vd., (2024) yaptıkları çalışmada artan sıcaklıkların yonca verimini belirgin şekilde etkilediği ve bu etkinin bölgesel iklim koşullarına göre değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir. Isaacson vd., (2024) çalışması, yaptığımız çalışmayla uyumlu olup, gelecekteki iklim değişikliği ve sıcaklık artışlarının yonca üretimi üzerindeki etkilerini daha iyi anlamamıza yardımcı olmakta ve sürdürülebilir yonca verimi için önemli rehberlik sağlamaktadır.

BÖLÜM V

SONUÇ

Bu çalışmada, LINTUL MULTI-CROP modeli ilk kez yonca bitkisinde kullanılarak Adana ve Konya illerinde yonca üretimi üzerindeki farklı iklim senaryolarının etkileri analiz edilmiştir. Konya da ekilen yoncalardan ilk yıl verim alınamadığından ve verim değerleri ekildikten bir sonraki yıl elde edildiği için LINTUL MULTI-CROP modeli ile gerçekleştirilen iklim değişikliği senaryolarına dayalı yonca verimi simülasyonları sağlıklı bir şekilde yürütülememiştir. Bu sebepten, Konya'da birinci yıl yeterli verim alınamaması ve esas verimin ikinci yılda elde edilmesi nedeniyle, LINTUL MULTI-CROP modelinde ekim ve hasat tarihleri programa girildiğinde yeşil ot ve kuru ot veriminde tutarlılık sağlanamamıştır. Bununla beraber, CO₂ seviyelerindeki artışın, Adana'da yonca veriminde olumlu bir artışa yol açtığı tespit edilmiştir. Adana'nın bu sonuçlara verdiği olumlu tepki, bölgedeki tarım stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemli bulgular sunmaktadır. CO₂ artışına dayalı verim artışı, bölgenin iklim değişikliği senaryolarına daha dayanıklı olabileceğini göstermektedir. Bu da, CO₂ artışının etkilerinden daha fazla yararlanabilmek için modern tarım tekniklerinin ve gübreleme stratejilerinin daha da optimize edilmesi gerektiğine işaret etmektedir. . Yılda birden fazla verim alınan Akdeniz iklim kuşağındaki Adana ili için ekim ve hasat tarihlerindeki tutarlılıktan dolayı LINTUL MULTI-CROP modeli etkili bir şekilde kullanılabilir durumdadır.

KAYNAKLAR

Adiele, J.G., Schut, A. G. T., Ezui, K. S., ve Giller, K. E., LINTUL-Cassava-NPK: A simulation model for nutrient-limited cassava growth. *Field crops research*, 281, 108488, 2022.

Akansu, A.F ve Kizildeniz, T., Buğday Verim Tepkilerinin Değerlendirilmesi ve Çeşitli İklim Değişikliği Senaryolarına Göre Büyüme Aşamalarındaki Değişiklikler. *Avrasya Tarımsal Araştırma Dergisi*, 8 (1), 85-95, 2024.

Albayrak, S. ve Yavuz, T. Yonca (Medicago sativa L.) çeşitlerinin verim ve kalite özellikleri. *Türk Mera ve Yem Bilimi Dergisi* , 1 (1), 1-6, 2020.

Albayrak, S., Türk, M., ve Sevimay, C.S., “Türkiye’nin Göller Bölgesi’ndeki yonca (Medicago sativa L.) populasyonlarının bazı özellikleri”, *Tarım Bilimi*, 58, 354-356, 2015.

Alemayehu, S., Ayana, E.K., Dile, Y.T., Demissie, T., Yimam, Y., Girvetz, E., ... ve Worqlul, A. W., Evaluating land suitability and potential climate change impacts on alfalfa (Medicago sativa) production in Ethiopia. *Atmosphere*, 11(10), 1124, 2020.

Al-Hamdani, S., “Effect of temperature regimes on photosynthesis, respiration, and growth in alfalfa”, *In Proceedings of the Oklahoma academy of science* (pp. 1-4), 1990.

Alvaro S.S., Erice G., Aguirreolea J., Muñoz F., Manuel S.D. ve Juan J. Alfalfa Forage Digestibility, Quality and Yield Under Future Climate Change Scenarios Vary with Sinorhizobium Meliloti Strain. *Journal of Plant Physiology*, 169, 782- 788, 2012.

Anonim, “Hükümetler arası İklim Değişikliği Raporu Paneli (2018)” <https://www.ipcc.ch/2018/>, 2023i.

Anonim, “Hükümetler arası İklim Değişikliği Raporu Paneli (2018)”
<https://www.ipcc.ch/2018/>, 2023j.

Anonim, IPCC, Climate Change, AR5 Synthesis Report
<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>, (2014), 2023k.

Anonim, Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü (2008)
<https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Belgeler/Yay%C4%B1nlar/19992014%20Tescil%20Raporlar%C4%B1/%C3%87e%C5%9Fit%20Tescil%20Raporlar%C4%B1%202008.pdf>, 2024n.

Anonim, Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü (2008),
<https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Belgeler/Yay%C4%B1nlar/19992014%20Tescil%20Raporlar%C4%B1/%C3%87e%C5%9Fit%20Tescil%20Raporlar%C4%B1%202008.pdf>, 2024ı.

Anonim, Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü
<https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Menu/114/Yayinlar> , 2024b.

Anonim, Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü
<https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Belgeler/Yay%C4%B1nlar/2017%20Faliyet/Yem%20Bitkileri%202017%20Tescil%20Raporu.pdf> , 2017a.

Anonim, Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü
<https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Belgeler/Yay%C4%B1nlar/2017%20Faliyet/Yem%20Bitkileri%202017%20Tescil%20Raporu.pdf> , 2017h.

Anonim, Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü, (2007)
<https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Belgeler/Yay%C4%B1nlar/19992014%20Tescil%20Raporlar%C4%B1/%C3%87e%C5%9Fit%20Tescil%20Raporlar%C4%B1%202007.pdf>, 2024.

Anonim, Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü, (2017) <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Belgeler/Yay%C4%B1nlar/2017%20Faliyet/Yem%20Bitkileri%202017%20Tescil%20Raporu.pdf>, 2024.

Anonim, Türkiye İstatistik Kurumu <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>, 2024d.

Anonim, Türkiye İstatistik Kurumu <https://data.tuik.gov.tr/Search/Search?text=verim>, 2020g.

Anonim, TÜİK Türkiye İstatistik Kurumu Yonca Verimi, <https://data.tuik.gov.tr/Search/Search?text=verim>, 2023e.

Anonim, Türkiye İstatistik Kurumu, <https://data.tuik.gov.tr/Search/Search?text=verim>, 2023f.

Anonim, Türkiye Tarım ve Orman Bakanlığı, <https://www.tarimorman.gov.tr/Sayfalar/PageNotFoundError.aspx?requestUrl=https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Belgeler/Yay%C3%84%C2%B1nlar/Tescil%20Raporlar%C3%84%C2%B1/2022/Tarla%20Bitkileri%20T%C3%83%20%C2%BCrleri/%C3%83%E2%80%A1ay%C3%84%C2%B1r%20Mera%20ve%20Yem%20Bitkileri/Yonca%20Tescil%20Raporu%202022.pdf>, 2022c.

Anonim, IPCC, “Climate change widespread, rapid, and intensifying (2021)” <https://www.ipcc.ch/2021/08/09/ar6-wg1-20210809-pr/>, 2023m.

Anonim, Adana İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Yıllık Faaliyet Raporu. 49 s. <https://adana.tarimorman.gov.tr>, 2019.

Avcı, M.A., Ozkose, A., ve Tamkoc, A., “Determination of yield and quality characteristics of alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties grown in different locations”, *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 12(4), 487-490, 2013.

Bagavathiannan, M.V., ve Van Acker, R. C., The biology and ecology of feral alfalfa (*Medicago sativa* L.) and its implications for novel trait confinement in North America. **Critical Reviews in Plant Sciences**, 28(1-2), 69-87, 2009.

Ben-Younes, M., Hannaway, D.B., ve Ballerstedt, P.J., “Büyümeye Dayalı Bir Yonca Büyüme Aşaması Modeli Doğrulaması”, **Gizlilik için Düzenlendi**, 76, 1992.

Bourgeois, G., Savoie, P., ve Girard, J.M. Evaluation of an alfalfa growth simulation model under Quebec conditions. **Agricultural Systems**, 32(1), 1-12, 1990.

Brisson, N., Mary, B., Ripoche, D., Jeuffroy, M.H., Ruget, F., Nicoullaud, B., ... ve Delécolle, R., STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. **Agronomie**, 18(5-6), 311-346, 1998.

Cedrez, C.B., ve Hijmans, R. J., Methods for spatial prediction of crop yield potential. **Agronomy Journal**, 110(6), 2322-2330, 2018.

Confalonieri, R., ve Bechini, L., A preliminary evaluation of the simulation model CropSyst for alfalfa. **European Journal of Agronomy**, 21(2), 223-237, 2004.

Çaçan, E., ve Kökten, K., Bingöl ve Muş İllerinde Yetiştiriciliği Yapılan Yonca Popülasyonlarının Makro Element İçerikleri Açısından İncelenmesi. **Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi**, 11(1), 80-89, 2024.

Çaltı, N., ve Somuncu, M., İklim değişikliğinin Türkiye’de tarım üzerindeki etkisi ve çiftçilerin iklim değişikliğine yönelik tutumları [The impact of climate change on agriculture in Turkey and farmers’ attitudes towards climate change]. In *Gonencgil B., Ertek TA, Akova I, Elbasi E (eds.). 1st Istanbul International Geography Congress Proceedings Book* (pp. 890-912), 2019.

Çarpıcı, E.B., ve Erdel, B., Bazı yonca çeşitlerinde (*Medicago sativa* L.) kuraklık stresinin çimlenme özellikleri üzerine etkisi. **Derim**, 32(2), 201-210, 2015.

Çoban, Ö., ve Başaran, U. Yoncanın (Medicago sativa L.) Erken Dönemde Gelişimi ve Bazı Kimyasal Özellikleri Üzerine Bitkisel Kaynaklı Duman Solüsyonlarının Etkisi. **Bozok Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi**, 3(1), 47-54, 2024.

Daryanto, S. Wang, L. ve Jacinthe, P.A., “Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review”, **Agricultural Water Management**, 179, 18-33, 2017.

Daş, B.D., Yonca Silajına Raf Ömrü Biten Makarna İlavesinin Silaj Kalitesi Üzerine Etkisi. **Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi**, 11(1), 279-283, 2024.

Dong, J., Gruda, N., Lam, S. K., Li, X., ve Duan, Z. Effects of elevated CO₂ on nutritional quality of vegetables: a review. **Frontiers in plant science**, 9, 924, 2018.

Donnelly, J.R., Freer, M., ve Moore, A.D., Evaluating pasture breeding objectives using computer models. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, 37(3), 269-275, 1994.

Fang, L., Liu, T., Li, M., Dong, X., Dan, Y., Xu, C., ... ve Liu, Z., MODMS: a multi-omics database for facilitating biological studies on alfalfa (Medicago sativa L.). **Horticulture Research**, 11(1), uad245, 2024.

Goudriaan, J. Potential production processes. **In Simulation of plant growth and crop production** (pp. 98-113). Pudoc, 1982.

Gholami, A., De Geyter, N., Pollier, J., Goormachtig, S., ve Goossens, A., Natural product biosynthesis in Medicago species. **Natural product reports**, 31(3), 356-380, 2014.

Gökkaya, G. ve Orak, A., “Bazı Yonca Çeşitlerinde (Medicago sativa L.) Biçim Zamanının Ot verimi ve Kalitesi Üzerine Etkilerinin Saptanması”, **Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Bilimleri Dergisi**, 31 (2), 434-452, 2018.

Gökkaya, G., ve Orak, A., Bazı Yonca Çeşitlerinde (Medicago sativa L.) Biçim Zamanının Ot Verimi ve Kalitesi Üzerine Etkilerinin Saptanması. *Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 31(2), 434-452, 2021.

Güngörmez, M. Yonca üretiminde enerji kullanım etkinliğinin belirlenmesi: Tekirdağ ili örneği (Master's thesis), *Namık Kemal Üniversitesi*, 2019.

Hatipoğlu, R., Serbest, U., Avcı, M., ve Dönmez, B. Present status and development possibilities of forage production in Adana province. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(7), 1497-1501, 2020.

He, D. C., Zhan, J. S., ve Xie, L. H., Problems, challenges and future of plant disease management: from an ecological point of view. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(4), 705-715, 2016

Henry, A., Cal, A. J., Batoto, T.C., Torres, R.O. and Serraj, R., Root attributes affecting water uptake of rice (Oryza sativa) under drought. *Journal of Experimental Botany*, 63 (13), 4751-4763, 2012.

Huth, N. I., Snow, V.O. and Keating, B. A., Integrating a forest modelling capability into an agricultural production system modelling environment-current applications and future possibilities, <https://www.mssanz.org.au/MODSIM01/Vol%204/Huth.pdf>, 2001

Isaacson, A., Contosta, A., Smith, R.G., Stamplis, C. and Lowry, C.J. Effect of increasing temperature and temperature fluctuations on alfalfa and orchardgrass in the establishment year. *Ecosphere*, 15(6), e4905, 2024.

Jayapalan, D.F.S., ve Ananth, J.P., Internet of Things-based root disease classification in alfalfa plants using hybrid optimization-enabled deep convolutional neural network. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 35(3), e7504, 2023.

Jayapalan, D.F.S., ve Ananth, J.P., Root disease classification with hybrid optimization models in IoT. *Expert Systems with Applications*, 226, 120150, 2023.

Jones, M.B., ve Donnelly, A., Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO₂. **New Phytologist*, 164*(3), 423-439, 2014.

Kizildeniz, T., Assessing the growth dynamics of alfalfa varieties (Medicago sativa cv. Bilensoy 80 and Nimet) response to varied carbon dioxide (CO₂) concentrations. *Heliyon*, 10(7), 2024.

Kurnaz, M.L., “İklim Değişikliği ve Uyum Süreçlerinde Türkiye”, *Resilience*, 7(1), 199-208, 2023.

Lee, S.B., Lim, J. E., Lee, Y. J., Sung, J. K., Lee, D.B., ve Hong, S. Y., Analysis of components and applications of major crop models for nutrient management in agricultural land. *Korean Journal of Agricultural Science*, 43(4), 537-546, 2016.

Liu, M., Yang, M., ve Yang, H., SimET: An open-source tool for estimating crop evapotranspiration and soil water balance for plants with multiple growth cycles. *The Crop Journal*, 2023.

Liu, R., Lu, L., Ge, Y., Dong, L. ve Zhou, J., Yoncada çift dallı birleştirilmiş modele dayalı çok derinlikli toprak nemi tahmini için bir yaklaşım. *Tarımda Bilgisayar ve Elektronik* , 222 , 109038, 2024.

Lobell, D.B., Schlenker., W. ve Costa-Roberts, J., “Climate trends and global crop production since 1980”, *Science*, 333(6042), 616-620, 2011.

Malik, W., Boote, K.J., Hoogenboom, G., Caverro, J., ve Dechmi, F., Adapting the CROPGRO model to simulate alfalfa growth and yield. *Agronomy Journal*, 110(5), 1777-1790, 2018.

Mattera, J., Romero, L.A, Cuatrín, A.L., Cornaglia, P.S., ve Grimoldi, A.A., “Yoncanın (*Medicago sativa* L.) verim bileşenleri, ışığın kesilmesi ve radyasyon kullanım etkinliği, sıra aralığına tepki olarak”, *Avrupa Tarla Bitkileri Dergisi* , 45 , 87-95, 2013.

Medina-García, G., Ecdavarría-Cháirez, F.G., Ruiz-Corral, J.A., Rodríguez-Moreno, V.M., Soria-Ruiz, J., ve Mora-Orozco, C.D.L., Global warming effect on alfalfa production in Mexico. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11, 34-48, 2020.

Milić, D., Katić, S., Katanski, S., Dugalić, G., Bokan, N., ve Vasiljević, S. Effect of genotype and applied management on alfalfa yield and quality. *Ratarstvo i povrtarstvo/Field and Vegetable Crops Research*, 51(2), 91-99, 2014.

Motsinger, L.A., Young, A. Y., Feuz, R., Larsen, R., Brady, T.J., Briggs, R.K., ... ve Thornton, K.J., Replacing alfalfa hay with a novel alfalfa leaf pellet product (ProLEAF MAX) and/or alfalfa stems (ProFiber Plus) in the diet of developing dairy heifers alters dry matter intake, but does not negatively impact growth or development. *Translational Animal Science*, 8, txae038, 2024.

Ng, A., ve Jordan, M., On discriminative vs. generative classifiers: A comparison of logistic regression and naive bayes. *Advances in neural information processing systems*, 14, 2001.

Özdemir, A., ve Duru, A.A., Partikül Boyutunun Yonca Silajlarının Kalitesine Etkisi. *Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(2), 82-89, 2023.

Özkaya, S.Y., “İklim değişikliği ve etik prensipler”, *Ulusal Ekonomik Sorunlar Dergisi*, 46, 123-132, 2013.

Özkurt, M., Saygılı, İ., ve Dirik, K.Ö., Bazı yonca çeşitlerinin erken gelişme dönemindeki kuraklık toleransının belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(4), 557-562, 2019.

Passioura, J.B. (1996). Simulation models: science, snake oil, education, or engineering? *Agronomy Journal*, 88(5), 690-694, 1996.

Phillips, S.J ve Dudík, M., Maxent ile tür dağılımlarının modellenmesi: yeni uzantılar ve kapsamlı bir değerlendirme. *Ekografi* , 31 (2), 161-175, 2008.

Picasso, V.D., Casler, M.D., ve Undersander, D., “Resilience, stability, and productivity of alfalfa cultivars in rainfed regions of North America”, *Crop Science*, 59(2), 800-810, 2019.

Pourshirazi, S., Soltani, A., Zeinali, E., Torabi, B., ve Arsdad, A., Assessing the sensitivity of alfalfa yield potential to climate impact under future scenarios in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(40), 61093-61106, 2022.

Qin, R., Xu, J., Harrison, M.T., Liu, K., Li, F.M., Sun, G., ve Zhang, F., Assessing perennial alfalfa yield by incorporating physiologically lucid function into DeNitrification-DeComposition model. *Field Crops Research*, 298, 108966, 2023.

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., ve Fereres, E., Aquacrop reference manual. *FAO*, Rome, Italy, 218, 2009.

Ray, D.K., West, P.C., Clark, M., Gerber, J.S., Prishchepov, A.V., ve Chatterjee, S., “Climate change has likely already affected global food production”, *PloS one*, 14(5), e0217148, 2019.

Rosa R., İkili Ürün Katsayısı Yaklaşım Kullanarak Su Dengesi Hesaplama ve Sulama Planlaması için Yazılım Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Lizbon Teknik Üniversitesi*, Portekiz, 2011.

Rymph, S.J., Boote, K.J., Irmak, A., Mislevy, P., ve Evers, G.W., Adapting the CROPGRO model to predict growth and composition of tropical grasses: *developing physiological parameters. In Proceedings*, 2004.

Sabitova, A., Suleimanova, G., Kizildeniz, T., ve Yetik, A.K., Modeling Climate Change Scenarios for Spring Barley in Southeast of Almaty in Kazakhstan Using the LINTUL Approach. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 7(3), 19-20, 2024.

Sanz-Sáez, Á., Erice, G., Aguirreolea, J., Muñoz, F., Sánchez-Díaz, M., & Irigoyen, J.J., Alfalfa forage digestibility, quality and yield under future climate change scenarios vary

with Sinorhizobium meliloti strain. *Journal of Plant Physiology*, 169(8), 782-788, 2012.

Singer, S.D., Dannoufa, A., ve Accdarya, S., Molecular improvement of alfalfa for enhanced productivity and adaptability in a changing environment. *Plant, cell & environment*, 41(9), 1955-1971, 2018.

Small, E., Alfalfa and relatives: evolution and classification of Medicago. *NRC research press*, 2011.

Spitters, C.J.T. ve Schapendonk, A.H.C.M., “Patateste kuraklık toleransı için ıslah stratejilerinin mahsul büyüme simülasyonu ile değerlendirilmesi” *Bitki ve Toprak* , 123, 193-203, 1990.

Sun, Q., Zhang, S., Peng, X., Ge, X., Wen, B., Jiang, Z., ... ve Zhang, B., Alternating Partial Root-Zone Subsurface Drip Irrigation Enhances the Productivity and Water Use Efficiency of Alfalfa by Improving Root Characteristics. *Agronomy*, 14(4), 849, 2024.

Thivierge, M.N., Jégo, G., Bélanger, G., Bertrand, A., Tremblay, G.F., Rotz, C.A., ve Qian, B., Predicted yield and nutritive value of an alfalfa–timothy mixture under climate change and elevated atmospheric carbon dioxide. *Agronomy Journal*, 108(2), 585-603, 2016.

Tucker, J.J., Mullenix, M.K., Rios, E., Basigalup, D., ve Bouton, J.H., Systems management strategies for increasing alfalfa use in warm-humid regions. *Grassland Research*, 2024.

Turan, N. Alt Akdeniz ekolojik koşullarında farklı tarihlerde ekilen yonca (Medicago sativa) çeşitlerinin verim ve kalite performansları. *Uygulamalı Ekoloji ve Çevresel Araştırma*, 17 (6), 2019.

Turan, N., Celen, A.E., ve Özyazıcı, M.A., “Yield and quality characteristics of some alfalfa (Medicago sativa L.) varieties grown in the eastern Turkey”, *Turkish Journal of field crops*, 22(2), 160-165, 2017.

Undersander, D., Cosgrove, D., Cullen, E., Grau, C., Rice, M.E., Renz, M., ... ve Sulc, M., Alfalfa management guide. American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, Inc., **Soil Science Society of America**, Inc., Madison, WI, 2011.

Van Gaelen, H., Delbecq, N., Abrda, B., Tsegay, A., ve Raes, D., Simulation of crop production in weed-infested fields for veri-scarce regions. **The Journal of Agricultural Science**, 154(6), 1026-1039, 2016.

van Ittersum, M.K., Leffelaar, P.A., Van Keulen, H., Kropff, M.J., Bastiaans, L. ve Goudriaan, J., Wageningen mahsul modellerinin yaklaşımları ve uygulamaları üzerine. **Avrupa tarım bilimi dergisi**, 18 (3-4), 201-234, 2003.

Wallach, D., Makowski, D., Jones, J.W., ve Brun, F., “Working with dynamic crop models: methods, tools and examples for agriculture and environment. **Academic Press**, 2018.

Wang, J., Wang, C., Chen, N., Xiong, Z., Wolfe, D., ve Zou, J. Response of rice production to elevated [CO₂] and its interaction with rising temperature or nitrogen supply: a meta-analysis. **Climatic Change**, 130, 529-543, 2015.

Wang, T., Thomasson, J.A., Yang, C., Isakeit, T., ve Nichols, R.L., Automatic classification of cotton root rot disease based on UAV remote sensing. **Remote Sensing**, 12(8), 1310, 2020.

Xu, Y., Duan, X., Wu, Y., Huang, H., Fu, T., Chu, H., ve Xue, S. Carbon sequestration potential and its main drivers in soils under alfalfa (*Medicago sativa* L.). **Science of The Total Environment**, 173338, 2024.

Yan, M., Yang, D., He, Y., Ma, Y., Zhang, X., Wang, Q. ve Gao, J., Yoğun Toprak Sıkıştırma Yoncanın Tepkileri: Bitki ve Kök Büyümesi, Fitohormonlar ve Dahili Gen İfadesi Üzerindeki Etkiler. **Bitkiler**, 13 (7), 953, 2024.

Yang, Y., Zong, Y., Qin, R., Wei, H., Ma, Y., ve Zhang, F., Impact of planting *Lycium barbarum* L. on the carbon–land–water nexus of a *Daloxylon ammodendron* nature

reserve in the Qaidam basin, China. *Land Degradation & Development*, 33(12), 2142-2154, 2022.

Yetik, A.K., Kızıldeniz, T., ve Ünal, Z., Simulating The Yield Responses of Sugar Beet to Different Climate Change Scenarios by LINTUL MULTI-CROP Model. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 6(2), 53-59, 2023.

Zhao, J.C., Zhang, J.F., Feng, Y., ve Guo, J.X. “The study and application of the IOT technology in agriculture”, *In 2010 3rd International Conference on Computer Science and Information Technology 2*, s. 462-465, 9-11 July 2010.



ÖZ GEÇMİŞ

tarihinde 'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini İlköğretim Okulunda tamamladı. yılında girdiği Erciyes Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü'nden 'de mezun oldu. yılından bu yana Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümünde Yüksek Lisans çalışmalarını sürdürmektedir.



