

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
İŞLETME ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE KONTROLLÜ DİKEY TARIM İÇİN
KARAR DESTEK SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ:
HİBRİT AFRIKA MENEKŞESİ ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

**Hamid Asım ÇÖKREN
ORCID: 0000-0003-3366-2492**

**Enstitü Anabilim Dalı : Yönetim Bilişim Sistemleri
Enstitü Bilim Dalı : Yönetim Bilişim Sistemleri**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Numan ÇELEBİ
ORCID: 0000-0001-7489-9053**

EKİM - 2024

Hamid Asım ÇÖKREN tarafından hazırlanan “evre Kontrollü Dikey Tarım İçin Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi: Hibrit Afrika Menekşesi Örneği” başlıklı bu tez, 23/07/2024 tarihinde Sakarya Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Numan ÇELEBİ

Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Taki DEMİR

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Doç. Dr. İhsan Hakan SELVİ

Sakarya Üniversitesi

Doç. Dr. Emrah AYDEMİR

Sakarya Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YILMAZ

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

 SAKARYA ÜNİVERSİTESİ	T.C. SAKARYA ÜNİVERSİTESİ İŞLETME ENSTİTÜSÜ TEZ SAVUNULABİLİRLİK VE ORJİNALLİK BEYAN FORMU	Sayfa: 1/1
Öğrencinin		
Adı Soyadı	:	Hamid Asım ÇÖKREN
Öğrenci Numarası	:	D176054001
Enstitü Anabilim Dalı	:	YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ
Enstitü Bilim Dalı	:	YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ
Programı	:	DOKTORA
Tezin Başlığı	:	Çevre Kontrollü Dikey Tarım İçin Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi: Hibrit Afrika Menekşesi Örneği
Benzerlik Oranı	:	%2
Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü Lisansüstü Tez Çalışması Benzerlik Raporu Uygulama Esaslarını inceledim. Enstitünüz tarafından Uygulama Esasları çerçevesinde alınan Benzerlik Raporuna göre yukarıda bilgileri verilen tez çalışmasının benzerlik oranının herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim. / / 20.... İmza Öğrenci		
Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü Lisansüstü Tez Çalışması Benzerlik Raporu Uygulama Esaslarını inceledim. Enstitünüz tarafından Uygulama Esasları çerçevesinde alınan Benzerlik Raporuna göre yukarıda bilgileri verilen öğrenciye ait tez çalışması ile ilgili gerekli düzenleme tarafımda yapılmış olup, yeniden değerlendirilmek üzere gsbtez@sakarya.edu.tr adresine yüklenmiştir. Bilgilerinize arz ederim. / / 20.... İmza Danışman		
Uygundur Danışman Unvanı / Adı-Soyadı: Prof. Dr. Numan ÇELEBİ Tarih: / / 20.... İmza:		
☐ Kabul Edilmiştir ☐ Reddedilmiştir EYK Tarih ve No: / / 20.... /	Enstitü Birim Sorumlusu Onayı	

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması boyunca maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Numan ÇELEBİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tezin fikri altyapısı ve gelişimi sürecinde bana sürekli destek olan değerli dostum Doç. Dr. Halil İbrahim CEBECİ'ye, rengarenk hibrit Afrika menekşeleri ile tanışmama vesile olan kıymetli dostum Dr. Öğr. Üyesi Fatih ÇALLI'ya, en çok ihtiyaç duyduğum bir zamanda sihirli dokunuşuyla tezimi tamamlamak için ufkumu açan kıymetli arkadaşım Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk SEYMEN'e teşekkürü bir borç bilirim. Tez süresince değerli katkılarından dolayı Dr. Öğr. Üyesi Bahadır ŞİN'e ve tezin bilişim altyapısının mimarı değerli dostum Dr. Öğr. Üyesi Baran KAYNAK'a da teşekkür ediyorum.

Uzun tez yazma sürecinde nazımı çeken, maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim sevgili eşim Esmâ ÇÖKREN'e, sevgili oğlum Yusuf ÇÖKREN'e ve sevgili kızım Zehra ÇÖKREN'e ve tezin bitmesini dört gözle bekleyen biricik kızım Azra ÇÖKREN'e şükranlarımı sunarım.

Bugünlere kadar gelmemi sağlayan ve her zaman dualarını üzerimde hissettiğim sevgili annem Emine ÇÖKREN'e müteşekkirim. Son olarak bu tez çalışmasını; yeteneklerimin, hayat felsefemin ve vizyonumun medârı babam merhum Salih ÇÖKREN'e ithaf ediyorum.

Hamid Asım ÇÖKREN

23.07.2024

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR.....	vi
TABLolar.....	ix
ŞEKİLLER	x
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT	xv

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 1. TEMEL KAVRAMLAR ve LİTERATÜR TARAMASI	11
--	----

1.1. Çevre Kontrollü Tarım.....	11
1.2. Dikey Tarım	12
1.2.1. Tarihçe ve Örnek Uygulamalar	14
1.2.2. Dikey Tarım Yöntemleri	16
1.2.2.1. Hidroponik Tarım	16
1.2.2.2. Akuaponik Tarım.....	18
1.2.2.3. Aeroponik Tarım	19
1.2.3. Dikey Tarım Türleri.....	20
1.2.3.1. Bina Tabanlı Dikey Çiftlik	20
1.2.3.2. Konteyner Dikey Çiftlik.....	20
1.2.3.3. Derin Çiftlik	21
1.3. Seracılık (Örtü Altı Yetiştiriciliği)	21
1.4. Dijital Tarım Türleri	22
1.4.1. Hassas Tarım	23
1.4.2. Akıllı Tarım	23
1.4.3. Tarım 4.0	24
1.4.4. Tarım 5.0	24

BÖLÜM 2. ÇEVRE KONTROLLÜ TARIM	27
--------------------------------------	----

2.1. Çevre Kontrollü Tarım ve Bilişim Sistemleri.....	28
2.1.1. Çevre Kontrollü Tarımda Bilişim ve Üretim Altyapısı	29
2.1.1.1. Çevre Kontrollü Tarım Bilişim Sistemi ve Veri Yönetimi.....	29
2.1.1.2. Çevre Kontrollü Tarımda Bilişim Sistemleri ve Üretim Destek Sistemi	31
2.1.1.3. Çevre Kontrollü Tarımda Üretim Sistemi	32

2.1.1.4. Çevre Kontrollü Tarımda IoT Sistemi - Veri Kaynakları	34
2.2. Çevre Kontrollü Tarımda Faydalar ve Zorluklar	35
2.3. Çevre Kontrollü Tarım ve Karar Destek Sistemleri	38
2.3.1. Karar Verme Süreci	38
2.3.1.1. Karar Destek Sistemleri	40
2.3.1.2. Karar Destek Sistemleri Yöntem ve Teknolojiler..	42
2.3.1.3. Yönetim Bilişim Sistemleri ve Karar Destek Sistemleri.....	44
2.3.1.4. Karar Destek Sistemlerindeki Zorluklar ve Sorunlar	44
2.3.1.5. Karar Destek Sistemlerinin Geliştirme ve Kullanımında Etik Konular	46
2.3.1.6. Karar Destek Sistemleri Gelecek Çalışmaları ve Yönelimler.....	47
2.3.2. Tarımda Karar Destek Sistemlerinin Kullanımı.....	49
2.3.3. Çevre Kontrollü Tarımda Karar Destek Sistemlerinin Kullanımı	50
2.3.3.1. Süs Bitkiciliği ve Karar Destek Sistemi Uygulamaları	50
2.3.4. Çevre Kontrollü Tarım ve Karar Destek Sistemleri, Faydalar .	59
2.3.5. Çevre Kontrollü Tarım ve Karar Destek Sistemleri, Zorluklar ve Kısıtlar	60
2.3.6. Çevre Kontrollü Tarım ve Karar Destek Sistemleri Gelecek Çalışmaları.	62
2.4. Afrika Menekşesi.....	64
2.4.1. Tarihçe	64
2.4.2. Sınıflandırma.....	65
2.4.3. Fiziksel Özellikler	65
2.4.4. Hibrit Afrika Menekşesi.....	66
2.4.4.1. Tarihçe	66
2.4.4.2. Amerika Afrika Menekşesi Derneği.....	66
2.4.4.3. Ekonomik Değer	67
BÖLÜM 3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	68
3.1. Bitki Yetiştirme Sistemi	69
3.1.1. Bitki Çoğaltma	69
3.1.1.1. Bitki Çoğaltma Yöntemleri	69

3.1.2. Denemenin Kurulması	71
3.1.2.1. Fidelerin anaç yapraklardan ayrılması.....	71
3.1.2.2. Bitki Yetiştirme Karışımı.....	72
3.1.2.3. Bitki Yetiştirme Karışımı Sterilizasyonu.....	72
3.1.2.4. Bitki Yetiştirme Karışımı pH Düzenleme Denemesi	72
3.1.2.5. Bitki Yetiştirme Karışımı pH Ölçümleri	74
3.1.2.6. Denemede Kullanılan Çeşitler Ve Farklı pH Değerlerinin Bitki Gelişimine Etkisi.....	75
3.1.2.7. Bitki Yetiştirme Rafları	78
3.1.2.8. İklimlendirme	78
3.1.2.9. Aydınlatma	79
3.1.2.10. Sulama.....	79
3.1.2.11. Ana Stok Besin Solüsyonu	79
3.1.2.12. Deneme Deseni	80
3.2. Bilişim Sistemi	81
3.2.1. Bitki Görüntüleme Sistemi.....	81
3.2.2. Bitki Görüntü Kütüphanelerinin Oluşturulması.....	85
3.2.3. Sunucu.....	87
3.2.3.1. Donanım	87
3.2.3.2. Sanallaştırma	87
3.2.3.3. Depolama	88
3.2.3.4. İşletim Sistemleri.....	89
3.2.4. Network.....	90
3.2.5. Yazılım	92
3.2.5.1. Otomasyon Kontrol Yazılımı ve Postgresql Veri Tabanı	92
3.2.6. Nesnelerin İnterneti	94
3.2.6.1. Mikrokontrolcüler	94
3.2.6.2. Sensörler ve Sensör Düğümleri.....	96
3.2.6.3. IoT Cihazlarının Kontrolü	98
3.3. Görüntü İşleme Sistemi	102
3.3.1. Bilgisayarlı Görü ve Görüntü İşleme ile İlgili Temel Kavramlar.....	103
3.3.1.1. Görüntü İşleme Teknikleri.....	103
3.3.1.2. Görüntü Sınıflandırma (Image Classification)	103

3.3.1.3. Nesne Tespiti (Object Detection) :	105
3.3.1.4. Yolov8 Mimarisi (Yolov8 Architecture).....	107
3.3.2. Temel Performans Metrikleri	112
3.3.2.1. Kesinlik (Precision).....	112
3.3.2.2. Duyarlılık	112
3.3.2.3. F1 Puanı (Score).....	113
3.3.2.4. Doğruluk.....	114
3.3.2.5. Kesişim ve Birleşim Değeri-Intersection over Union ((IoU)).....	114
3.3.3. Hibrit Afrika Menekşesi Görüntülerinden Veri Seti Oluşturulması	115
3.3.3.1. Bitkilerin Etiketlenmesi İşlemi.....	116
3.3.3.2. Model Eğitimi	117
3.3.3.3. Model Doğrulanması.....	118
3.3.3.4. Bitkilerin Tespit Edilmesi.....	119
3.3.3.5. Bitki Yapraklarının Bölümlenmesi (Segmentation)	119
3.3.4. Hibrit Afrika Menekşesi Görüntü İşleme Sistemi Modelinin Eğitimi ve Doğrulanması	124
3.3.4.1. Bogema Çeşidi Yaprak Segmentasyonu.....	125
3.3.4.2. Lilon Çeşidi Yaprak Segmentasyonu	126
3.3.5. Hibrit Afrika Menekşesi Görüntü İşleme Sistemi Modelinin Uygulanması	128
3.3.5.1. Günlük Görüntü Toplama ve Bitki İzleme	128
3.3.5.2. Günlük Yaprak Sayılarının Hesaplanması.....	128
3.3.5.3. Yaprak ve Çiçek Alanlarının Hesaplanması	130
3.3.6. Hibrit Afrika Menekşesi Görüntü İşleme Sistemi Modelinin Başarı Ölçütleri	132
3.3.6.1. Model Eğitimi Performans Ölçütleri.....	132
3.3.6.3. Model Doğrulama Performans Ölçütleri.....	134
BÖLÜM 4. VERİ ANALİZLERİ VE BULGULAR	136
4.1. Denemeye Dahil Edilen Bitkilerin İdeal Büyüme Kriterleri	136
4.1.1. Süreye Bağlı Kriterler	136
4.1.2. Bitki Gelişimine Bağlı Kriterler.....	137
4.2. Denemeye Dahil Edilen Bitkilerin İdeal Büyüme Kriterleri ile Gerçek Büyüme Analizlerinin Karşılaştırılması.....	139

4.2.1. Bogema Çeşidi Ortalama Yaprak Sayılarının Karşılaştırılması	139
4.2.2. Lilon Çeşidi Ortalama Yaprak Sayılarının Karşılaştırılması	140
4.2.3. Bogema Çeşidi Ortalama Çiçek Sayılarının Karşılaştırılması	141
4.2.4. Lilon Çeşidi Ortalama Çiçek Sayılarının Karşılaştırılması	142
4.2.5. Bogema Çeşidi Ortalama Yaprak Alanlarının Karşılaştırılması	143
4.2.6. Lilon Çeşidi Ortalama Yaprak Alanlarının Karşılaştırılması	145
4.2.7. Bogema Çeşidi Ortalama Çiçek Alanlarının Karşılaştırılması	145
4.2.8. Lilon Çeşidi Ortalama Çiçek Alanlarının Karşılaştırılması	146
4.3. Karar Destek Sistemi Geliştirme	147
4.3.1. Bitkilerin Büyüme Parametrelerinin Uzman Görüşü ile Karar Destek Sistemine Tanımlanması	147
4.3.1.1. Bitki Künyesi.....	148
4.3.1.2. Bitki İzleme	148
4.3.1.3. Bitki Semptom Listesi	149
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	152
KAYNAKÇA.....	159
EKLER.....	184
ÖZGEÇMİŞ.....	185

KISALTMALAR

ADC	: Analog Dijital Dönüştürücü
AGRIDSS	: Tarımsal Karar Destek Sistemleri
AI	: Yapay Zekâ
AMD	: Advanced Micro Devices
ANN	: Yapay Sinir Ağları
API	: Uygulama Programlama Arayüzü
AR	: Artırılmış Gerçeklik
AVSA	: Amerika Afrika Menekşesi Topluluğu
BDA	: Büyük Veri Analitiği
BİT	: Bilgi ve İletişim Teknolojileri
CBR	: Vaka Tabanlı Akıl Yürütme
CE	: Kapsayıcı Motor
CNNS	: Evrişimli Sinir Ağları
COAP	: Kısıtlı Uygulama Protokolü
COCO	: Bağlam İçinde Ortak Nesneler
CPU	: Merkezi İşlem Birimi
CSM	: Takvime Bağlı Püskürtme Yönetimi
CUDA	: Birleşik Cihaz Mimarisi Hesaplama
ÇKT	: Çevre Kontrollü Tarım
DB	: Veri Tabanı
DL	: Derin Öğrenme
DM	: Veri Madenciliği
DSS	: Karar Destek Sistemleri
DT	: Dikey Tarım
EC	: Elektriksel İletkenlik
EFF	: Etiyopya Meyve Sineği
ESP	: Espresso Systems
FTP	: Dosya Aktarım Protokolü
GDPR	: Avrupa Birliği Genel Veri Koruma Tüzüğü
GIS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
GPS	: Küresel Konumlandırma Sistemi
GPU	: Grafik İşlem Birimi
HA	: Home Assistant

HAOS	: Home Assistant İşletim Sistemi
HDD	: Sabit Disk Sürücüsü
HTTP	: Hiper-Metin Transfer Protokolü
I2C	: Entegre Devreler Arası Protokol
ID	: Kimlik
IDSS	: Akıllı Karar Destek Sistemleri
IO	: Giriş Çıkış
IOT	: Nesnelerin İnterneti
IOU	: Kesişim ve Birleşim Değeri
IPCS	: Akıllı Proses Kontrol Sistemi
ITC	: Uluslararası Ticaret Merkezi
KDS	: Karar Destek Sistemleri
KDSAT	: Tarım Teknolojilerinde Karar Destek Sistemi
LAN	: Yerel Alan Ağı
LCA	: Yaşam Döngüsü Değerlendirme
LED	: Aydınlatma Elemanı
LIFEPO4	: Lityum Demir Fosfat Batarya
LR	: Doğrusal Regresyon
MCU	: Mikrodenetleyici Ünitesi
MFEP	: Çok Faktörlü Değerlendirme Süreci
ML	: Makine Öğrenmesi
MQTT	: Mesaj Kuyrukları Telemetri Aktarım Protokolü
MVL	: Hibrit Afrika Menekşesi Ana Çeşit Listesi
NAS	: Ağa Bağlı Depolama
NFS	: Ağ Dosya Sistemi
PAIOT	: Fotovoltaik Tarımsal Nesnelerin İnterneti
PCI	: Çevresel Bileşen Ara Bağlantısı
PNN	: Olasılıksal Sinir Ağları
R-CNN	: Bölge Tabanlı Evrişimsel Sinir Ağı
RAM	: Rastgele Erişimli Bellek
RBR	: Kural Tabanlı Akıl Yürütme
RDF	: Kaynak Tanımlama Çerçevesi
RFR	: Rastgele Orman Regresyonu
RH	: Bağlı Nem
SCM	: Tedarik Zinciri Yönetimi

SMB	: Sunucu İleti Bloğu
SQL	: Yapılandırılmış Sorgu Dili
SSD	: Katı Hâl Sürücüsü
SSD	: Tek Atışlı Çoklu Kutu Dedektörü
SSFC	: Akıllı Algılama Tabanlı İşlevsel Kontrol
SVR	: Destek Vektör Regresyonu
TAM	: Teknoloji Kabul Modeli
TB	: Terabayt
TDK	: Türk Dil Kurumu
TDS	: Toplam Çözülmüş Katılar
TZY	: Tedarik Zinciri Yönetimi
US	: Uzman Sistemler
USB	: Evrensel Seri Veri Yolu
ÜYDS	: Üst Yönetici Destek Sistemleri
VM	: Veri Madenciliği
VPN	: Sanal Özel Ağ
VR	: Sanal Gerçeklik
WAN	: Geniş Alan Ağı
WD	: Western Digital
WSN	: Kablosuz Sensör Ağları
XAI	: Açıklanabilir Yapay Zekâ
YAML	: YAML İşaretleme Dili Değildir
YBS	: Yönetim Bilişim Sistemleri
YOLO	: Derin Öğrenme Algoritması (You Look Only Once)
ZFS	: Zettabyte Dosya Sistemi

TABLÖLAR

Tablo 1: Çevre Kontrollü Tarımda Farklı Alanlardaki KDS'lere Ait Başarılı Çalışmalar, Projeler ve Örnek Vakalar (1/6)	53
Tablo 2: Çevre Kontrollü Tarımda Farklı Alanlardaki KDS'lere Ait Başarılı Çalışmalar, Projeler ve Örnek Vakalar (2/6)	54
Tablo 3: Çevre Kontrollü Tarımda Farklı Alanlardaki KDS'lere Ait Başarılı Çalışmalar, Projeler ve Örnek Vakalar (3/6)	55
Tablo 4: Çevre Kontrollü Tarımda Farklı Alanlardaki KDS'lere Ait Başarılı Çalışmalar, Projeler ve Örnek Vakalar (4/6)	56
Tablo 5: Çevre Kontrollü Tarımda Farklı Alanlardaki KDS'lere Ait Başarılı Çalışmalar, Projeler ve Örnek Vakalar (5/6)	57
Tablo 6: Çevre Kontrollü Tarımda Farklı Alanlardaki KDS'lere Ait Başarılı Çalışmalar, Projeler ve Örnek Vakalar (6/6)	58
Tablo 7: Yetiştirme Ortamı Ph Düzenleme İçin Kireçleme Malzemeleri ve Analiz Sonuçları	74
Tablo 8: YOLO8 Nesne Tespit Modelleri	109
Tablo 9: Segmentasyon için Kullanılan YOLO8 Modeli	109

ŞEKİLLER

Şekil 1: Çevre Kontrollü Tarım'ın Sınıflandırması	11
Şekil 2: Tarım Yöntemlerinin Sürdürülebilirliğinin Karşılaştırılması.....	13
Şekil 3: Sky Greens Singapur- Dünyanın İlk Düşük Karbonlu Hidrolik Ticari Tarım Sistemi	15
Şekil 4: Hidroponik Tarım Sistemi Temel Bileşenleri.....	17
Şekil 5: Akuaponik Tarım Sistemi Temel Bileşenleri	18
Şekil 6: Aeroponik Tarım Sistemi Temel Bileşenleri.....	19
Şekil 7: Dijital Tarım Türleri	22
Şekil 8: Geçmişten Günümüze Tarımsal Kalkınma Eğilimi	25
Şekil 9: ÇKT Veri Yönetim Sistemi Temel Bileşenleri	29
Şekil 10: ÇKT Üretim Destek Sistemi Temel Bileşenleri	31
Şekil 11: ÇKT Üretim Sistemi Temel Bileşenleri.....	32
Şekil 12: ÇKT IoT Sistemi Veri Kaynakları	35
Şekil 13: Karar Verme Sürecinin Aşamaları	39
Şekil 14: Karar Destek Sisteminin Bileşenleri	41
Şekil 15: Karar Verme Sürecindeki Aşamalarda Kullanılan Karar Destek Sistemleri Yöntem ve Teknolojileri	42
Şekil 16: Doğal Ortamında Saintpaulia intermedia B.L.Burt (solda) ve Hibrit Çeşitlerden VaT-Tsar' Gorokh (sağda).....	65
Şekil 17: Uygulama Modeli.....	68
Şekil 18: Afrika Menekşesi Yaprak Çeliği ile Çoğaltma	70
Şekil 19: Afrika Menekşesi Yetiştirme Karışımı pH Değerinin Bitki Büyümesine Etkisi	73
Şekil 20: 3 Farklı Çeşit için Başlangıç ve 90 Günlük pH Değişim Değerleri	75
Şekil 21: Çeşit 1. Happy Harold - Grup 1, 90 Gün Sonunda pH Test Sonuçları ve Bitki Gelişimi	76
Şekil 22: Çeşit 1. Happy Harold - Grup 2, 90 Gün Sonunda pH Test Sonuçları ve Bitki Gelişimi	76
Şekil 23: Çeşit 2. Mac's Strawberry Sundae - Grup 1, 90 Gün Sonunda pH Test Sonuçları ve Bitki Gelişimi	77
Şekil 24: Çeşit 3. LE-Avgustina - Grup 1, 90 Gün Sonunda pH Test Sonuçları ve Bitki Gelişimi	77
Şekil 25: Çeşit 4. LE-Scarlett - Grup 1, 90 Gün Sonunda pH Test Sonuçları ve Bitki Gelişimi	77
Şekil 26: Bitki Yetiştirme Rafları	78

ŞEKİLLER DEVAMI

Şekil 27: Deneme Deseni Raf Dizilim Şeması	80
Şekil 28: Teste Dahil Edilen Hibrit Afrika Menekşesi Grupları ve Görüntüleme Sistemi	81
Şekil 29: Bitki Görüntüleme Sistemi Bileşenleri	82
Şekil 30: Görüntü Alma Sistemi Yapılandırma Şeması	83
Şekil 31: Görüntü Alma Akış Diyagramı	84
Şekil 32: Görüntü Alma Sistemi Kamera ve end-stop Yapılandırma Şeması.....	84
Şekil 33: Uzaktan Görüntü Alma Arayüzü	85
Şekil 34: Bitki Görüntü Kütüphanesi	86
Şekil 35: Görüntü Kütüphanesi Örnek Bitki Fotoğrafı	86
Şekil 36: Bilişim Sistemi Ağ Altyapısı	91
Şekil 37: Home Assistant Veri Tabanı Yapılandırması	92
Şekil 38: Home Assistant Arayüzü.....	93
Şekil 39: Home Assistant Yazılımı Genel Yapı.....	93
Şekil 40: Home Assistant Arayüzü Ortam ve Bitki Nem Değerleri	94
Şekil 41: ESP8266 ve ESP32 Mikrokontrolcü Modülleri	95
Şekil 42: Kullanılan Sensörler ve Home Assistant Entegrasyon Şeması	96
Şekil 43: Gravity SEN0308 Analog Su Geçirmez Kapasitif Toprak Nem Sensörü	97
Şekil 44: Gravity I2C BME680 Gaz, Basınç, Sıcaklık ve Nem Sensörü Modülü	98
Şekil 45: ESPHome Konfigürasyon Akış Diyagramı	99
Şekil 46: Görüntü Alma Sistemi Kamera ve end-stop Yapılandırma Şeması.....	99
Şekil 47: BME680 Ortam Sensörü Dijital Veri Tanımlamaları	101
Şekil 48: ESP32 Derin Uyku Tanımlamaları	101
Şekil 49: Toprak Nem Sensörü Yüzdelik Değer Formülü	102
Şekil 50: Görüntü Sınıflandırma.....	104
Şekil 51: Görüntü Algılama	105
Şekil 52: Yolov8 Mimarisi.....	108
Şekil 53: IoU Değerinin Elde Edilmesi	115
Şekil 54: Bitki Etiketleme Arayüzü.	117
Şekil 55: Model Eğitim Başarım Ölçütleri	118
Şekil 56: Model Doğrulanma Başarım Ölçütleri	118
Şekil 57: Bitkilerin Tespit Edilmesi.....	119
Şekil 58: Yaprak Verisi Etiketleme Arayüzü.....	120

ŞEKİLLER DEVAMI

Şekil 59: Yaprak Verisine Ait Eğitimin Başarım Ölçütleri	121
Şekil 60: Yaprak Verisi İçin Model Doğrulanma Başarım Ölçütleri	121
Şekil 61: Bitki Yapraklarının Tespit ve Bölümlemesi	122
Şekil 62: Bitki Yapraklarının Tespit ve Bölümlemesi	124
Şekil 63: Bogema Çeşidi Bitki Yapraklarının Tespiti ve Bölümlemesi.....	126
Şekil 64: Lilon Çeşidi Bitki Yapraklarının Tespiti ve Bölümlemesi.....	127
Şekil 65: Bogema Çeşidi Sınırlayıcı Kutu Tespiti	129
Şekil 66: Bogema Çeşidi Yaprak ve Çiçek Sayılarının Belirlenmesi	130
Şekil 67: Hibrit Afrika Menekşesi Görüntü İşleme Sistemi Model Eğitimi Performans Ölçütleri	133
Şekil 68: Hibrit Afrika Menekşesi Görüntü İşleme Sistemi Model Doğrulama Performans Ölçütleri.....	134
Şekil 69: Hibrit Afrika Menekşesi Çelik Dikimi, Fide Şaşırtma, Görüntü Alma ve Satış Süreci	136
Şekil 70: Bogema ve Lilon Çeşitlerinin Bitki Başına İdeal Ortalama Yaprak Sayıları	137
Şekil 71: Bogema ve Lilon Çeşitlerinin Bitki Başına İdeal Ortalama Çiçek Sayıları ..	138
Şekil 72: Bogema ve Lilon Çeşitlerinin Bitki Başına İdeal Ortalama Yaprak Alanları	138
Şekil 73: Bogema ve Lilon Çeşitlerinin Bitki Başına İdeal Ortalama Çiçek Alanları .	139
Şekil 74: Bogema Çeşidinin Besin Gurubu Başına İdeal Toplam Yaprak Sayıları ile Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	140
Şekil 75: Lilon Çeşidinin Besin Gurubu Başına İdeal Toplam Yaprak Sayıları ile Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	141
Şekil 76: Bogema Çeşidinin Besin Gurubu Başına İdeal Toplam Çiçek Sayıları ile Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	142
Şekil 77: Lilon Çeşidi 200ppm Besin Gurubu 30 Hafta Sonunda Çiçeklenme Durumu	143
Şekil 78: Lilon Çeşidinin Besin Gurubu Başına İdeal Toplam Çiçek Sayıları ile Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	143
Şekil 79: Bogema Çeşidinin Besin Gurubu Başına İdeal Toplam Yaprak Alanları ile Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	144
Şekil 80: Bogema Çeşidinde Çiçeklenmenin Yaprak Alanlarına Etkisi	144
Şekil 81: Lilon Çeşidinin Besin Gurubu Başına İdeal Toplam Yaprak Alanları ile Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	145
Şekil 82: Bogema Çeşidinin Besin Gurubu Başına İdeal Toplam Çiçek Alanları ile Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	146
Şekil 83: Lilon Çeşidinin Besin Gurubu Başına İdeal Toplam Çiçek Alanları ile Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	147

ŞEKİLLER DEVAMI

Şekil 84: Hibrit Afrika Menekşesi Karar Destek Sistemi Bitki Takip Ekranı	148
Şekil 85: Hibrit Afrika Menekşesinde Aşırı Yan Sürgün Örneği.....	150
Şekil 86: Hibrit Afrika Menekşesinde Kök Çürüklüğü	151



ÖZET

Çökren, H.A. (2024). *Çevre kontrollü dikey tarım için karar destek sistemi geliştirilmesi: Hibrit Afrika menekşesi örneği* (Yayımlanmamış doktora tezi). Sakarya Üniversitesi.

Geleneksel tarım uygulamaları, artan küresel nüfus, değişen iklim ve kaynak kıtlığı gibi birçok zorlukla karşı karşıyadır. Kuraklık, seller ve öngörülemeyen hava koşulları hasatları tehdit ederken, değerli toprak aşınır, haşereler ve hastalıklar mahsullere zarar verir. Bu kritik noktada, tarımsal üretimde devrim niteliğinde bir yaklaşım ortaya çıkmıştır: Çevre Kontrollü Tarım (ÇKT). ÇKT, geleneksel sera yetiştiriciliği kavramının ötesine geçerek bitki büyümesi için sadece kapalı bir ortama geçişi değil, aynı zamanda optimum fotosentez için güneşin spektrumunu taklit eden hassas bir şekilde kalibre edilmiş LED aydınlatma ile bitkilere hayat veren bir yaklaşımdır. ÇKT sistemlerinde sıcaklık ve nem titizlikle dengelenerek ideal yetiştirme koşulları taklit edilir. Gelişmiş sulama sistemleri su ve besin maddelerini doğrudan köklere ulaştırarak kaynak israfını ortadan kaldırır ve verimliliği en üst düzeye çıkarır. Sensörler ortamdaki bütün büyüme parametrelerini sürekli izleyerek çiftçilerin veya üreticilerin her bir ürün için üretim ve yetiştirme koşullarına ince ayar yapmasına olanak tanır. Bu kontrol seviyesi, ÇKT'yi 21. yüzyılda gıda güvenliğini, verimliliği ve sürdürülebilirliği sağlamak için güçlü bir araca dönüştürür. ÇKT yalnızca gıda ürünleri üretiminde değil aynı zamanda yüksek katma değerli süs bitkileri üretiminde de uygulanabilir teknikler sunmaktadır.

Bu çalışmada Hibrit Afrika menekşelerini yıl boyunca yetiştirmek için titizlikle kontrol edilen bir kapalı alan sunularak, bitkilerin canlılıklarını ve sağlıklarını en üst düzeye çıkaran dönüştürücü bir çözüm önerisi sunulmuştur. Çalışma aynı zamanda süs bitkisi üretiminde karar vericilerin hızlı ve doğru karar almalarına yardımcı olabilecek, hataları, kayıpları ve maliyetleri minimize edebilecek ve karlılığı artırabilecek yapay zekâ, makine öğrenmesi, görüntü işleme ve uzman görüşü temelli bir karar destek sistemi modeli önerilmiştir.

Bu sistem düşük ölçekli bir pilot çalışma olarak ele alındığında, sistemin büyük ölçekli projeler veya tesislere de uygulanabilir olacağı öngörülmektedir. Çalışmadan elde edilen “know-how” gerek kapalı gerekse açık alanda yapılacak farklı bitki kültürü yetiştiriciliğinde de karar vericilere bitki yetiştiriciliğinde hızlı ve doğru karar alma konularında destek olabilecek ve ufuk açabilecek temel çalışmaları içermektedir.

Çalışmamızın sonucunda geliştirdiğimiz karar destek sistemi denemeye dahil edilen bitkilerde erken çiçeklenme, gelişim eksikliği, kök çürüklüğü gibi kritik büyüme semptomları tespit etmiştir. Bu sayede gerekli izolasyon veya ilaçlama tedbirleri alınarak diğer bitkilerdeki kayıplar önlenmiştir. Ayrıca çeşide özel veri tabanı oluşturularak ilerde yapılacak üretim çalışmaları için yetiştiricilere referans olacak bilgiler sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çevre Kontrollü Tarım, Dikey Tarım, Akıllı Tarım, Hibrit Afrika Menekşesi, Karar Destek Sistemleri

ABSTRACT

Çökren, H.A. (2024). *Development of a decision support system for controlled environment vertical farming: The case of hybrid African violet* (Unpublished doctoral thesis). Sakarya University.

Traditional agricultural practices face many challenges such as increasing global population, changing climate and resource scarcity. Droughts, floods and unpredictable weather threaten harvests, while valuable soil erodes and pests and diseases damage crops. At this critical juncture, a revolutionary approach to agricultural production has emerged: Controlled Environment Agriculture (CEA). It is an approach that goes beyond the traditional concept of greenhouse cultivation, bringing plants to life with precisely calibrated LED lighting that not only transitions to a closed environment for plant growth, but also mimics the sun's spectrum for optimal photosynthesis. Temperature and humidity are meticulously balanced in CEA systems to mimic ideal growing conditions. Advanced irrigation systems deliver water and nutrients directly to the roots, eliminating wasted resources and maximizing efficiency. Sensors continuously monitor all growth parameters in the environment, allowing farmers or growers to fine-tune production and growing conditions for each individual crop. This level of control turns the CEA into a powerful tool to ensure food safety, efficiency and sustainability in the 21st century. CEA offers techniques that can be applied not only in the production of food crops but also in the production of high value-added ornamentals.

In this study, we propose a transformative solution for growing hybrid African violets year-round in a meticulously controlled indoor environment that maximizes the vigor and health of the plants. This study also proposes a decision support system model based on artificial intelligence, machine learning, image processing and expert opinion that can help decision makers in ornamental plant production to make fast and accurate decisions, minimize errors, losses and costs, and increase profitability.

When this system is considered as a low-scale pilot study, it is expected that the system will be applicable to large-scale projects or facilities. The ‘know-how’ obtained from the study includes basic studies that can support decision makers in making fast and correct decisions in plant cultivation and can provide guidance to decision makers in different plant culture cultivation to be carried out both indoors and outdoors.

As a result of our study, the decision support system we developed detected critical growth symptoms such as early flowering, lack of growth and root rot in the plants included in the test. In this way, necessary isolation or treatment measures were taken and losses in other plants were prevented. In addition, a variety-specific database was created, providing reference information to growers for future production studies.

Keywords: Controlled Environment Agriculture, Vertical Farming, Smart Agriculture, Hybrid African Violet, Decision Support Systems

GİRİŞ

İnsanlığı binlerce yıldır ayakta tutan bereketli tarlalar ve geniş araziler, eşi benzeri görülmemiş zorluklarla karşı karşıyadır. Artan küresel nüfus, değişen iklim ve kaynak kıtlığı ile birleştiğinde geleneksel tarım uygulamalarımız tehdit altındadır. Değişken hava koşulları hasadı sekteye uğratmakta, değerli üst toprak aşınmakta, haşereler ve hastalıklar mahsullere zarar vermektedir. Bu kritik noktada, tarımsal üretimde devrim niteliğinde bir yaklaşım ortaya çıkmıştır: Çevre Kontrollü Tarım (ÇKT). ÇKT geleneksel sera yetiştiriciliği kavramının ötesine geçiyor. Bu, en son teknolojilerin bitki büyümesi için sadece kapalı bir ortama geçişten ibaret bir yaklaşım değildir. Aynı zamanda optimum fotosentez için güneşin spektrumunu taklit eden, hassas bir şekilde kalibre edilmiş LED aydınlatma ile bitkilere hayat veren bir yaklaşımdır. ÇKT sistemlerinde sıcaklık ve nem titizlikle dengelenerek ideal yetiştirme koşullarını taklit eder. Gelişmiş sulama sistemleri su ve besin maddelerini doğrudan köklere ulaştırarak kaynak israfını ortadan kaldırır ve verimliliği en üst düzeye çıkarır. Sensörler ortamdaki bütün büyüme parametrelerini sürekli izleyerek çiftçilerin veya üreticilerin her bir ürün için üretim ve yetiştirme koşullarına ince ayar yapmasına olanak tanır. Bu kontrol seviyesi, çok sayıda avantajın kilidini açarak ÇKT'yi 21. yüzyılda gıda güvenliğini, verimliliği ve sürdürülebilirliği sağlamak için güçlü bir araca dönüştürür.

Geleneksel tarım, aşırı doğa koşullar karşısında savunmasız durumdadır. Kuraklık, seller ve öngörülemeyen hava koşulları hasada zarar verebilir veya tamamen ortadan kaldırabilir. ÇKT bu belirsizliği ortadan kaldırma potansiyeline sahiptir. Çiftçiler, çevreyi titizlikle kontrol ederek, mevsim veya konumdan bağımsız olarak yıl boyunca ideal yetiştirme koşullarında tarım yapabilirler. Bu da tutarlı ve öngörülebilir verim anlamına gelir ve daha küçük karbon ayak izi bırakarak tarımsal üretimi en üst düzeye çıkarabilir. Tüm yıla yayılan, bölge, mevsim ve mekân fark etmeksizin üretimin devam ettiği tarım uygulamaları ÇKT sayesinde yapılmaktadır. Mevcut tarım uygulamalarımız önemli ölçüde çevresel ayak izleri bırakmaktadır. Geleneksel tarım yöntemleri büyük ölçeklerde su kullanımına dayanır, bu da genellikle aşırı su tüketimine ve değerli kaynakların hızla tükenmesine yol açar. ÇKT, sofistike sulama sistemleri kullanarak su tüketimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Her damla doğrudan köklere iletilerek buharlaşma ve gereksiz su kullanımı ortadan kaldırılır. Ayrıca ÇKT, zararlı pestisit ve herbisit ihtiyacını da en aza indirir. Çevreyi kontrol ederek ve zararlıları izole ederek, zararlı mücadelesinde

kullanılan kimyasallara olan bağımlılık önemli ölçüde azalır. Bu sayede toprağımızı ve su yollarımızı zararlı kirlenmeden korur. Kapalı döngü sistemine doğru bu geçiş, ÇKT'yi çevresel sürdürülebilirlik konusunda önemli bir tarım yöntemi haline getirmektedir.

Gıda kaynaklı hastalıklar halk sağlığı için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Açık tarlalar, mahsulleri böcekler ve kemirgenlerden bakterilere ve havadaki patojenlere kadar çok sayıda kirleticiye maruz bırakır. Ancak kontrollü bir ortamda kontaminasyon riski önemli ölçüde azalır. Çevre üzerindeki titiz kontrol, zararlıları ve hastalıkları uzak tutarak doğal olarak daha güvenli gıda üretimini teşvik eder. Ayrıca ÇKT, pestisit kullanılmadan mahsul yetiştirilmesine olanak tanıyarak tüketiciler için daha temiz ve sağlıklı gıdalar elde edilmesini sağlar. Geleneksel tarım belirli iklimlere, mevsimlere veya bölgelere bağlı kalmıştır. Bu coğrafi sınırlama, belirli bir bölgede yetiştirilebilecek ürün çeşitliliğini kısıtlamaktadır. ÇKT bu zincirleri kırmakla birlikte çiftçiler, kontrollü bir alanda ideal yetiştirme koşullarını kopyalayarak dünyanın herhangi bir yerinde çok çeşitli ürünler yetiştirebilirler. Kalabalık bir şehir merkezinde taze çilek hasadı yapabilir veya terk edilmiş bir AVM'de yüksek teknoloji kullanarak süs bitkisi yetiştirilebilir. Aynı zamanda ÇKT, gıdaları tüketildikleri yere daha yakın yerlerde yetiştirmesini sağlayarak ulaşım ihtiyaçlarını ve buna bağlı karbon ayak izlerini de azaltmaktadır.

ÇKT'nin kullanıldığı alanlardan biri de süs bitkiciliğidir. Verimin birincil odak noktası olduğu gıda ürünlerinin aksine, süs bitkisi yetiştiriciliği gibi tarım alanlarında belirli estetik niteliklere öncelik verilir. Canlı çiçek renkleri, göz alıcı yeşillik gelişimi ve etkileyici bitki formları başarılı bir süs bitkisinin ayırt edici özellikleridir. Bu özelliklerde istenilen sonuçların elde edilmesi, kontrollü bir ortamda ışık spektrumu, sıcaklık, nem ve besin maddesi dağıtımı gibi çevresel faktörlerin hassas bir şekilde manipüle edilmesine bağlıdır. Modern ÇKT tesisleri, bu parametreleri sürekli olarak izleyen ve gerçek zamanlı bir veri akışı oluşturan bir sensör ağı ile donatılmıştır. Bu veri akışı, üreticilere çok sayıda bilgi sunabilir. Farklı süs bitkisi türlerinin optimum çiçek üretimi, yeşillik gelişimi ve genel büyüme için farklı ışık gereksinimleri vardır. Işık sensörlerinden gelen veriler, bitkilere iletilen spesifik spektrum ve yoğunluk seviyeleri hakkında önemli bilgiler sağlayarak sağlıklı büyümeyi ve görsel nitelikleri artırmak için ayarlamalar yapılmasına olanak tanır.

20. Yüzyılın başından itibaren dünyada süs bitkileri üretimi giderek önem kazanmaya başlamıştır. Sektörün her geçen gün sürekli büyümesi ile birlikte ekonomiye olan katkısı

da artmaktadır. Dünyada 50'den fazla ülkede süs bitkileri üretimi yapılmakta ve 2023 verilerine göre yaklaşık 50 milyar dolardan fazla bir ekonomik hacim oluşturmaktadır. Ülkemizde ise süs bitkileri sektöründe 2022 yılı itibarıyla 137 milyon dolarlık ihracat yapılmıştır. (2023 Dünya Süs Bitkileri Sektörü Raporu, 2023). Süs bitkileri dört farklı grupta incelenebilir, kesme çiçekler, iç mekân (saksılı) bitkileri, dış mekân bitkileri ve doğal çiçek soğanları. Süs bitkisi denildiğinde ilk akla gelen iç mekân bitkilerinden biri olan Afrika menekşesi, yetiştirme ve üretim kolaylığı, yaşam alanlarına kolay uyum sağlaması ve yıl boyunca yeşil kalarak çiçek açması nedeniyle en çok tercih edilen süs bitkilerinin başında gelir. Çalışmaya konu olan Hibrit Afrika menekşesi ise Afrika menekşesinin farklı çeşitlerinin çaprazlanması sonucu elde edilir. Yaprak ve çiçek formları zaman içinde oldukça zenginleşmiş ve günümüzde yaklaşık 20.000'e yakın isimlendirilmiş varyeteye ulaşmıştır (Look, b.t). Hibrit Afrika menekşesi, klasik Afrika menekşesine göre ticari olarak çok daha değerli (4-5 kat) ve görsel çeşitlilik olarak da zengin bir türdür. Hibrit Afrika menekşesi dış etkenlere ve zararlılara karşı daha duyarlı olduğundan üretim ve bakım maliyetleri Afrika menekşesine nazaran daha yüksektir. Ayrıca ışık, sulama, besin, nem ve sıcaklık gibi üretim parametrelerine karşı da oldukça hassas ve özel bakım isteyen bir bitkidir. Bu sebeple bu parametrelerin sürekli kontrol edilebildiği ÇKT uygulamaları için ayrıca yatay yönde büyümesi ve yapay koşullara kolay uyum sağlaması ile dikey tarım uygulamaları için de oldukça elverişli bir bitkidir. Hibrit Afrika menekşesi üretiminde ÇKT uygulamalarının geleneksel tarıma göre bazı avantajları bulunmaktadır.

Mikro iklim yönetimi ile hassas sıcaklık ve nem kontrol verileri, ÇKT tesisi içinde özelleştirilmiş mikro iklimlerin oluşturulmasına olanak tanır. Bu, farklı bitki çeşitlerinin ideal ortamında gelişmesini sağlayarak bitki formunu ve estetiğini etkileyebilecek stres faktörlerini en aza indirerek optimum büyüme koşullarını sağlar.

Besin çözeltisi bileşiminin ve dağıtımının gerçek zamanlı olarak izlenmesi, bitkilerin belirli büyüme aşamasına ve gereksinimlerine göre ayarlamalar yapılmasına olanak tanır. Bu veriler, doğrudan nihai ürünün sağlığı, canlılığı ve görsel çekiciliğine dönüşen optimum besin alımını sağlamak için çok önemlidir.

Geleneksel üretim ortamlarında optimum büyüme için zorluklar ortaya çıkabilir. Dalgalandıran sıcaklıklar, tutarsız ışık seviyeleri ve ideal nemin korunması gibi zorluklar çiçeklenmeyi ve genel bitki sağlığını etkileyebilir. ÇKT, bu parametreler üzerinde hassas

kontrol sağlayarak yıl boyunca ideal bir yetiştirme ortamı yaratabilir. Bu sayede aşağıdaki avantajlar sağlanmaktadır.

Yıl Boyu Üretim: ÇKT mevsimsel sınırlamaları ortadan kaldırarak yıl boyunca bitkilerin tutarlı bir şekilde üretilmesini sağlar. Bu da tüketiciler için sürekli canlı çiçek arzı sağlayarak mevsimden bağımsız olarak pazar taleplerini karşılar.

Geliştirilmiş Bitki Sağlığı: ÇKT, ortamı hassas bir şekilde kontrol ederek geleneksel ev ortamlarıyla ilişkili stres faktörlerini en aza indirir. Bu, bitkilerin gelişimine etki edebilecek hastalık ve zararlı riskini azaltarak genel bitki sağlığının iyileştirilmesine ve kimyasal kontrol önlemlerine olan bağımlılığın azalmasını sağlar.

Geliştirilmiş Estetik: Işık, sıcaklık ve nem üzerindeki hassas kontrol, canlı çiçek renklerine, daha gür yapraklara ve gelişmiş genel estetiğe sahip daha güçlü bitkilerin üretilmesine yol açar. Bu, tüketiciler için daha yüksek kaliteli ürün anlamına gelir ve potansiyel olarak bitkiler için ayrıcalıklı fiyatlandırmaya imkân tanır.

Sürdürülebilir Uygulamalar: ÇKT sistemleri genellikle su tasarruflu sulama teknikleri kullanır ve kimyasal pestisit ihtiyacını en aza indirir. Bu, geleneksel yöntemlere kıyasla çevresel etkiyi azaltarak daha sürdürülebilir bir üretim modelini teşvik eder.

ÇKT ortamlarında üretime bağlı olarak ortam ve bitkilerden yoğun veri akışı elde edilir. Bu veriler kontrollü ortamın mevcut durumu hakkında değerli bilgiler sunarken, çok büyük hacimde üretim ve veri akışı yetiştiriciler için karar süreçlerini karmaşık hale getirebilir. Bu noktada yöneticilerin karar vermesine yardımcı olan Karar Destek Sistemleri (KDS) veriler ve eyleme dönüştürülebilir içgörüler arasında önemli bir köprü vazifesi görür. İyi tasarlanmış bir KDS, gerçek zamanlı sensör verilerini ÇKT'de süs bitkisi yetiştiriciliğine özgü geçmiş eğilimlerle entegre eden bir destek merkezi görevi görür. Bu, yalnızca mevcut tesisin geçmiş performans verilerini değil, aynı zamanda farklı tür bitkiler için optimum büyüme parametrelerine ilişkin geniş bir yerleşik bilgi havuzunu da içerir. Gelişmiş veri madenciliği, makine öğrenmesi, yapay zekâ ve istatistiksel analiz teknikleri sayesinde KDS, karar vericilerin gözünden kaçabilecek örüntüleri, kalıpları ve korelasyonları belirleyebilir. Bu ilişkilerin belirlenmesi, ÇKT'deki süs bitkisi yetiştiricileri için çok sayıda fayda sağlayabilir.

KDS, ham verileri sunmak yerine, verileri süs bitkilerinin estetik niteliklerini geliştirmek için özel olarak uyarlanmış eyleme geçirilebilir önerilere dönüştürür. Canlı çiçek renklerini ve gösterişli bitki yetiştirmeyi teşvik etmek için ışık spektrumunda veya

yoğunluğunda otomatik olarak ayarlamalar öneren veya optimum bitki gelişimini teşvik etmek için besin dağıtım programlarında değişiklikler öneren bir sistem, yetiştiricilere hibrit Afrika menekşesinin görsel çekiciliğini artıran bilinçli, veriye dayalı kararlar alma konusunda yardımcı olur.

Bir KDS'nin yetenekleri reaktif yönetimin ötesine geçer ve sistem geçmiş verileri hibrit Afrika menekşesi için oluşturulmuş büyüme modelleriyle birleştirilerek öngörü yetenekleri geliştirebilir. Geliştirilecek bir KDS çiçek rengini veya formunu etkileyebilecek yaklaşan bir besin eksikliğine işaret eden bir eğilim belirleyebilir veya geçmiş verilere ve mevcut çevresel koşullara dayanarak potansiyel haşere salgınlarını tahmin edebilir. Böylelikle, KDS besin dağıtım programlarında ayarlamalar veya önleyici haşere kontrol stratejileri gibi proaktif önlemlere olanak tanıyarak kesintisiz büyüme ve optimum estetik nitelikler sağlar.

Karar Destek Sistemlerinin hibrit Afrika menekşesi yetiştiriciliği operasyonlarına entegrasyonu önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir. Veri analizi ve yapay zekanın gücünden yararlanan KDS, yetiştiricilere kontrollü ortamların karmaşıklığını aşma, estetik mükemmellik için üretim süreçlerini optimize etme ve nihayetinde süs bitkisi endüstrisi için daha verimli ve sürdürülebilir bir gelecek inşa etme olanağı sağlamaktadır. Araştırma ve geliştirme çalışmaları devam ettikçe, KDS'nin yeteneklerinin daha da gelişmesi ve çevre kontrollü tarımın gelişen dünyasında süs bitkisi yetiştiriciliği için yol gösterici bir güç olarak rolünü sağlamlaştırması beklenmektedir.

ÇKT, hibrit Afrika menekşesi üretimi için umut verici bir gelecek sunabilir. Titizlikle kontrol edilen bir yetiştirme ortamı sağlayarak ve geleneksel ev ortamlarının veya seraların sınırlamalarını ortadan kaldırarak ÇKT, sektörde devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Tutarlı üretim, gelişmiş bitki sağlığı, gelişmiş estetik ve sürdürülebilir uygulamalar ÇKT'ye özgü temel faydalardır. Bununla birlikte, ilk yatırım maliyetleri, teknik uzmanlık gereksinimleri ve uzun vadeli genetik çeşitliliğe yönelik potansiyel sınırlamalar, daha fazla araştırma ve geliştirme yapılmasını gerektirmektedir. ÇKT teknolojisi gelişmeye ve daha uygun maliyetli hale gelmeye devam ettikçe ve kontrollü ortamlarda hibrit Afrika menekşesi üretimini optimize etme konusundaki ilerlemelerle birleştiğinde, bu yenilikçi üretim yönteminde bir artış görülmesi beklenmektedir. Bu durum, tüketiciler için yıl boyunca sağlıklı, canlı bitki tedarikine yol açarken, daha sürdürülebilir ve verimli bir tarım endüstrisini de teşvik edecektir.

Tezin Amacı ve Hedefleri

Tez çalışmasının amacı, çevre kontrollü dikey tarım ile hibrit Afrika menekşelerini yıl boyunca yetiştirmek için titizlikle kontrol edilen bir kapalı alanda, canlılıklarını ve sağlıklarını en üst düzeye çıkaran dönüştürücü bir çözüm sunmaktır. Bu çalışma, hibrit Afrika menekşesi üretimi için ÇKT'nin potansiyelini araştırmakta, hali hazırda gelişmekte olan ÇKT uygulamaları için faydaları, zorlukları ve güncel eğilimleri incelemekte ve özellikle bu süreci optimize etmede Karar Destek Sistemlerinin (KDS) rolüne odaklanmaktadır.

Tez çalışmasının 3 ana hedefi bulunmaktadır

- Hibrit Afrika Menekşesi yetiştirmek için çevre kontrollü dikey tarım Bitki Yetiştirme Sistemi geliştirmek.
- Bitkilerin büyüme-gelişim-hastalık verilerinin kaydedilmesi, analizi ve Bitki Görüntü Kütüphanelerinin oluşturulması amacıyla bir “Bilişim Sistemi” geliştirmek.
- Uzman Görüşü ve bitki görüntüleri ve semptomlarının birlikte analiz edilerek görselleştirildiği bir karar Destek Sistemi mimarisinin geliştirilmesi amacıyla bir Görüntü İşleme Sistemi oluşturmak.
- Bu ana hedeflerin gerçekleştirilmesi amacıyla geliştirilecek karar destek sistemi mimarisinin geçerliliğinin test edilmesi bir pilot çalışmanın uygulanması.

Tezin Yöntemi ve Araştırma Soruları,

Tez sürecinde “yaprak çeliği yöntemi” ile çoğaltılan hibrit Afrika menekşesi bitkisi örneklerinin görüntülerinin alınması kapsamında yapılmış olan denemede, tesadüf parselleri deneme desenine göre 2x2 düzeninde 4 grup şeklinde çeşit başına toplam 16 benzer bitki denemeye dahil edilmiştir. Toplamda 2 farklı varyete 2 rafa yerleştirilerek deneme gerçekleştirilmiştir. Her bir deneme gurubuna; 0ppm kontrol, 100ppm, 200ppm ve 300ppm olacak şekilde 4 farklı besin dozu içeren solüsyon, bitkilerin pazarlanabilecek boya gelmesi öngörülen 8 aylık sürede sulama suyu aracılığı ile uygulanmıştır. Tezin araştırma soruları aşağıdaki gibidir:

- İlgili karar destek sistemi modeli hangi karar alanlarında destek sağlayacaktır? (Hastalık takibi, büyüme, besin takibi, kontrollü ortam değişkenleri sıcaklık, ışık, nem)

- Uzman görüşlerine bağlı olarak hangi kriterler karar destek amaçlı değerlendirmeye alınacaktır?
- Ortaya konulacak karar destek sistemi hangi çıktıları, nasıl bir biçimde sunmalıdır? (Görsel, tablo, grafik, gösterge paneli vb.)
- Belirlenen kriter alanlarına ilgili çıktıları ulaşmak için hangi veri kaynaklarına ihtiyaç duyulacaktır?

Tezin Önemi,

Çalışmanın yapıldığı Sakarya ili bulunduğu bölge ve iklim koşulları itibarıyla iç/dış mekân süs bitkileri üretiminde önemli bir yere sahiptir. Ancak genel üretim ve uzmanlaşma dış mekân peyzaj bitkileri üzerine yoğunlaşmıştır (Dellal vd., 2018). Bu çalışmanın bölgemizde iç mekân süs bitkisi yetiştiriciliğine önemli katkılar sağlamasının yanı sıra geliştirilecek karar destek sisteminin diğer bitkilere de entegre edilmek suretiyle çevre kontrollü dikey tarıma yönelik yetiştiriciliğe yol göstereceği öngörülmektedir.

Tezin Literatüre ve Pratik Uygulamalara Katkısı,

Çalışmanın gerçekleşmesi durumunda beklenen çıktılar şunlardır: Kapalı ortamlarda dikey tarım uygulamalarında karar vericilerin hızlı ve doğru karar almalarına yardımcı olabilecek, hataları, kayıpları ve maliyetleri minimize edebilecek, karlılığı artırabilecek yapay zekâ, makine öğrenmesi, görüntü işleme ve uzman görüşü temelli bir karar destek sisteminin ortaya çıkarmaktır. Bu sistemin, yapacağımız pilot çalışma ile düşük ölçekli bir projeden büyük ölçekli tesislere kadar uygulanabilir olması öngörülmektedir. Çalışmadan elde edilecek know-how gerek kapalı gerekse açık alanda yapılacak farklı bitki kültürü yetiştiriciliğinde de karar vericilere bitki büyümesi, hastalık-zararlı takibi, hızlı ve doğru karar alma konularında destek olabilecek ve ufuk açabilecek temel çalışmaları içermektedir.

Sakarya ve yakın bölgemizde uzman iş gücü gerektiren mevsime ve iklime bağlı olarak belirli dönemlerde yetiştirilen çilek ve domates bitkilerinde gittikçe artan talebi karşılamak için özellikle tüm yıla yayılabilen üretim tekniklerine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu ihtiyaca binaen kapalı ve kontrollü ortamlarda bu bitkilerin yetiştirilmesi için üreticilere hızlı ve doğru karar alabilecekleri ar-ge çalışmalarına ihtiyaç vardır. Çalışmanın bu konudaki ihtiyaçlara da katkıda bulunacağı beklenmektedir.

Tezin Ar-Ge Niteliği ve Özgün Değeri,

Çalışmaya konu olan başlıklar ile ilgili olarak yapılan literatür araştırmasında, ÇKT uygulamalarının teknolojideki ilerlemelerden ve veri odaklı karar alma süreçlerinden faydalanabileceği gösterilmiştir. Nesnelerin İnternetine (IoT) dayalı hassas tarımsal bilgi sistemleri uygulamak operasyonel verimliliği ve sürdürülebilirliği artırabilir (HanHui vd., 2015; Odera ve Karanja, 2019). Bu teknolojik müdahaleler, ÇKT’de kaynak kullanımını optimize etmeye, ürün kalitesini iyileştirmeye ve üretim süreçlerini kolaylaştırmaya yardımcı olabilir. Bununla birlikte KDS'nin karar vericinin yerini almadan onu desteklemesi, sistemin kullanıcının kontrolünde kalmasını, etkileşimli ve kullanıcı dostu olmasının sağlanması gerekmektedir (Kviesis, b.t).

Karar destek sistemlerini ÇKT’ye etkili bir şekilde entegre etmek için, endüstriye ait özel ihtiyaçların ve gereksinimlerin dikkate alınması gerekmektedir. (Mei vd., 2020) ve (Z. Yang, 2023) gibi çalışmalar derin öğrenme algoritmaları, çok kriterli karar verme ve yapay zekaya dayalı akıllı karar destek sistemlerinin kullanımına ışık tutarken, bu tür çalışmalar ÇKT’nin karmaşıklıklarına göre uyarlanmış KDS'lerin geliştirilmesine katkıda bulunabilir. Gelişmiş algoritmalar ve akıllı sistemlerden yararlanmak, kontrollü ortamlarda ürün yönetimi, kaynak tahsisi ve çevresel kontrol ile ilgili karar verme süreçlerini geliştirebilir.

(Tsiropoulos, 2022) tarafından tarımda ilaçlama uygulama verimliliğini artırmak için yenilikçi bir Karar Destek Sisteminin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışma, optimize edilmiş karar destek sistemleri aracılığıyla pestisit kullanımını azaltma potansiyelini vurgulamaktadır. Bu konsept, hassas ve verimli kaynak yönetiminin gerekli olduğu ÇKT uygulamalarına uyarlanabilir. Su, besin maddeleri ve enerji gibi kaynak kullanımını optimize eden KDS'lerin uygulanması, ÇKT ortamlarında sürdürülebilirliğin ve verimliliğin artmasını sağlayabilir.

(Chiaranunt ve White, 2023) tarafından yapılan araştırma, ÇKT'de ışık yoğunluğu, hava kalitesi ve su parametreleri gibi temel değişkenlerin izlenmesi ve kontrol edilmesinin önemini vurgulamaktadır. ÇKT için uyarlanmış karar destek sistemleri, yetiştiricilerin mahsuller için en uygun yetiştirme koşullarını oluşturmak üzere bu değişkenleri etkili bir şekilde izlemelerini ve ayarlamalarını sağlamalıdır. ÇKT uygulayıcıları, çevresel parametreler hakkında gerçek zamanlı veri sağlayan ve karar verme için içgörüler sunan KDS'leri entegre ederek mahsul kalitesini ve verimini artırabilir.

Karar destek sistemlerinin çevre kontrollü süs bitkisi yetiştiriciliğine entegre edilmesi, sektörün kendine özgü zorluklarını ve gereksinimlerini dikkate alan özel bir yaklaşım gerektirmektedir. ÇKT uygulayıcıları, ileri teknolojiler, gelişmiş algoritmalar, akıllı sistemler, optimizasyon teknikleri ve özel karar verme yöntemlerine odaklanan çalışmalardan elde edilen bilgilerden ve içgörülerden yararlanarak, kontrollü ortamlarda ürün yönetimini, kaynak kullanımını ve çevresel kontrolü optimize etmek için özelleştirilmiş KDS'ler geliştirebilirler. Bu sayede, hassas izleme, verimli kaynak kullanımı ve veriye dayalı karar verme sağlayan karar destek sistemlerinin entegre edilmesi, çevre kontrollü tarım sistemlerinin performansını ve sonuçlarını önemli ölçüde artırabilir.

(Despommier, 2013) prensipte herhangi bir mahsulün dikey bir tarım serasında yetiştirilebileceğini iddia ediyor. Ancak global dikey tarım pazarında süs bitkileri uygulamaları oldukça sınırlı olup üretimin büyük kısmının hızlı hasat alınabilen sebzeler, mikro sebzeler, yeşil yapraklı sebzeler, meyveler ve az bir kısmının da aromatik bitkiler ve diğer bitkiler olduğunu görmekteyiz (Beacham vd., 2019). Yukarıda sözü geçen bitkilerin bir mahsul olarak çok popüler olmasının nedeninin, mahsul türlerinde herhangi bir doğal sınırlamadan ziyade, yüksek bir kâr marjı sağlamaları olduğunu bildirilmiştir (Fraizer, 2017). Bu bağlamda yüksek ticari değerinden dolayı Hibrit Afrika Menekşesinin kapalı mekanlarda dikey tarım teknikleri ile üretilebilmesi ve geliştirilecek karar destek sistemi ile üreticiye verimlilik ve karlılık artışı sağlayacağına ve benzer çalışmalara ışık tutacak potansiyele sahip olabilir.

Tezin Kapsamı

Hibrit Afrika menekşesi yetiştiriciliğinde çevre kontrollü dikey tarım tekniklerinin kullanılması ve bir karar destek sistemi geliştirilmesi kapsamında üç bölümden oluşan bu çalışma aşağıdaki biçimde organize edilmiştir.

1. Bölümde çalışmanın ana konusu olan Çevre Kontrollü Tarım' kısa bir giriş yapılmış, Dikey Tarım ve buna bağlı temel kavramlar, Dijital Tarım türleri ve genel literatür taraması ve literatürden önemli vaka çalışmalarına yer verilmiştir.

2. Bölümde çalışmanın teknik yönünü detaylı bir biçimde ortaya koyan çevre kontrollü tarım ve çevre kontrollü tarımda bilişim sistemlerinin kullanımı incelenmiştir. Ayrıca karar verme süreçleri, karar destek sistemleri ve çevre kontrollü tarımda karar destek sistemlerinin kullanımı ile ilgili başlıklar ayrı ayrı incelenerek çalışmaya temel

oluşturacak detaylı bilgilere yer verilmiştir. Bölüm sonunda ise Afrika menekşesi ve teze konu olan hibrit Afrika menekşesi hakkında temel bilgiler ile birlikte araştırma için niçin bu bitkinin seçildiğine dair sorulara cevap verilmiştir..

3. *Bölümde* çalışmanın materyal ve yöntem kısmı incelenmiş, Bitki Yetiştirme Sistemi, Bilişim Sistemi ve Görüntü İşleme sistemi ile ilgili teknik konular incelenmiştir. Bölüm sonunda ise çalışmamızın ana amacı olan Karar Destek Sistemi geliştirilmesi ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın sonunda ise Veri Analizi ve Bulgular kısmında elde edilen veri analizleri ve geliştirilen karar destek sistemi modelin başarısı değerlendirilmiş, Sonuç ve Öneriler kısmında ise tez konusuyla benzer çalışmalar yapmak isteyen araştırmacılara yol gösterebilecek sonuçlar, öneriler, faydalar, kısıtlar ve gelecek çalışmaları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

BÖLÜM 1. TEMEL KAVRAMLAR ve LİTERATÜR TARAMASI

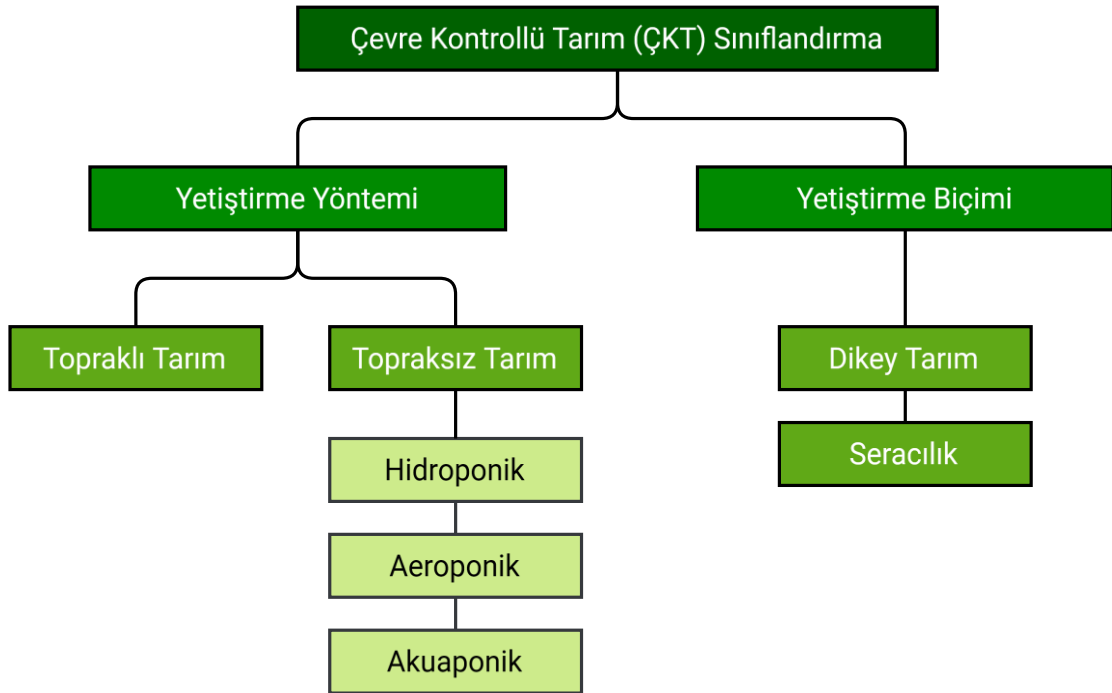
Bu bölümde, tezin uygulama kısmını içeren ve literatürde oldukça kapsamlı çalışmalar bulunan Çevre Kontrollü Tarım'ın (ÇKT) kısa bir tanımı yapılacaktır. ÇKT'nin önemli alt başlıklarından Dikey Tarım'ın (DT) çerçevesi ve DT türleri, Dijital Tarım ile ilgili temel kavramlar ve genel terminoloji literatür örnekleri kapsamında incelenecektir. Tezin ana çalışma konusunu oluşturan ÇKT ve buna bağlı temel kavramlar ve uygulama örnekleri 2. Bölüm'de detaylı olarak incelenecektir.

1.1. Çevre Kontrollü Tarım

Çevre Kontrollü Tarım, temel olarak yetiştirme yöntemi ve yetiştirme biçimine göre sınıflandırılabilir. Yetiştirme yöntemlerine, topraklı tarım ve topraksız tarımın alt tekniği olan hidroponik, aeroponik, akuaponik yetiştiriciliği dahildir. Sera ve Dikey Tarım ise iki farklı yetiştirme biçimidir (What Is CEA In Agriculture, 2024). Çevre kontrollü tarım sınıflandırması Şekil 1'de görülmektedir.

Şekil 1

Çevre Kontrollü Tarım'ın Sınıflandırması



Kaynak: What Is CEA In Agriculture (2024)

Çevre Kontrollü Tarım, bitki büyümesini optimize etmek ve üretim verimliliğini artırmak için çevresel faktörlerin hassas kontrolünü içeren modern bir tarım yaklaşımıdır (Niu ve Masabni, 2018). Bu yöntem aynı zamanda Kontrollü Ortam Bitki Üretim Sistemleri (Controlled Environment Plant Production Systems-CEPPS) olarak da bilinmektedir (Shamshiri vd., 2018). ÇKT, sıcaklık, ışık, nem ve besin maddeleri gibi faktörlerin dikkatlice düzenlendiği bir ortam yaratarak mahsul verimini, kalitesini ve üretkenliğini artırmayı amaçlamaktadır (Niu ve Masabni, 2018). Bu değişkenleri kontrol ederek ÇKT, artan üretim verimliliği, optimize edilmiş bitki verimi ve iyileştirilmiş ürün kalitesi gibi avantajlar sağlar (Gómez vd., 2019).

ÇKT sistemleri seralar, bitki fabrikaları ve kentsel tarım ortamları da dahil olmak üzere çeşitli ortamlarda uygulanabilir. Bu sistemler, bitkiler için en uygun yetiştirme ortamını oluşturmak üzere otomasyon ve ileri teknolojileri entegre eden bütünsel bir yaklaşım olarak çalışır (Shamshiri vd., 2018). Ayrıca, ÇKT tesisleri geleneksel tarla tarımı yöntemlerine kıyasla daha iyi kaynak verimliliği ve üretkenlik elde etme potansiyeline sahiptir (Azzaretti ve Schimelpfenig, 2022).

Çevre kontrollü tarım, çevresel etkiyi en aza indirirken mahsul üretimini en üst düzeye çıkarmak için teknolojiden ve hassas çevresel kontrolden yararlanan son teknoloji bir tarım yaklaşımını temsil etmektedir. Otomasyon, ileri teknolojiler ve sürdürülebilir uygulamaları entegre eden ÇKT, artan gıda talebini kaynak verimli ve çevre dostu bir şekilde karşılamak için umut verici bir çözüm sunmaktadır.

1.2. Dikey Tarım

Dikey tarım, mahsullerin kontrollü ve kapalı ortamda dikey olarak istiflenmiş katmanlar halinde yetiştirilmesini içeren sürdürülebilir bir tarım uygulamasıdır. Daha yüksek sulama ve besin verimliliği, daha az pestisit kullanımı ve daha az tarımsal kirlilik gibi çeşitli faydalar sunmaktadır (Oh ve Lu, 2023; Zhu ve Marcelis, 2023). Dikey tarım, bitki yetiştirme alanı başına verimi en üst düzeye çıkararak gıda ve mahsul üretimini önemli ölçüde artırma potansiyeline sahiptir ve nüfus artışı nedeniyle artan gıda talebini karşılamaya yardımcı olabilir (Sharma vd., 2023). Dikey tarım ayrıca mahsulleri iç mekânda yetiştirerek mahsul üretimini çevresel etkilerden korur, ışık, sıcaklık ve nem gibi çevresel parametreleri optimize eder (Schulman vd., 2023). Bununla birlikte, dikey tarım yüksek kapasitede tarımsal gıda üretimi, güvenli ve sürdürülebilir gıda tedariki ve küresel gıda güvenliğini artırma yeteneği sunabilir. Gıda bulunabilirliğini artırmak ve

çevresel etkileri azaltmak için teknolojiden yararlanan çevre kontrollü bir tarım biçimidir (Blake, 2023).

Şekil 2

Tarım Yöntemlerinin Sürdürülebilirliğinin Karşılaştırılması

	Açık Alan Tarımı	Seracılık	Dikey Tarım
 Su Kullanımı (1kg Marul)	250L	20L	1L
 Hasat Miktarı (m ² Başına Marul)	3.9kg	41kg	100kg
 Nakliye Mesafesi	3200km	800 1600km	70km
 Enerji Kullanımı	0	0-30 kWh/kg	30-176 kWh/kg
 CO₂ Emisyon	0	%100	%8-33

Kaynak: T. Naus (2018)

Dikey tarımın sürdürülebilirlik parametrelerinin diğer tarım yöntemleriyle kıyaslanması Şekil 2’de verilmiştir. (Benke ve Tomkins, 2017a) yaptıkları çalışmada geleneksel tarımla 1kg marul üretmek için kullanılan su miktarının yaklaşık 250L olduğunu göstermiştir. Seralarda ise aynı miktarda marul üretmek için 20L kadar yani geleneksel tarıma göre %92 daha az su kullanılıyor (Barbosa vd., 2015). Dikey çiftlikler ise su kullanımını 1L’ye kadar düşürebiliyor (Graamans vd., 2018). Bu kadar düşük su kullanımının sebebi sisteminden eksilen tek suyun, hasat sırasında mahsulün içinden kalan su olmasıdır.

Dikey çiftlikler aynı zamanda daha yüksek mahsul verimi sağlar. 1m² tarım arazisinde her yıl yaklaşık 4kg marul elde edilebilir. Aynı alanda bir serada marul yetiştirildiğinde ise 41kg ürün hasat edilebilmektedir (Barbosa vd., 2015). Dikey çiftlikler ise tarım arazilerine kıyasla yirmi kat daha fazla marul üretebilmektedir (Bayley vd., 2011).

Geleneksel tarım yöntemleriyle üretilen gıda tüketiciye ulaşana kadar yaklaşık 3000 km yol kat eder, çünkü çiftçiler tüketiciye yakın olmak yerine gıda üretimi için en iyi doğal koşullar neredeyse oraya yerleşirler. Buna karşılık dikey çiftlikler iklim veya coğrafi koşullarından bağımsız her yere yerleşebilirler. Böylece tüketicilerin ikamet ettiği yerlere

yakın konumlandırılabilirler. Ürünlerin yerel olarak üretilmesi ve hasat edilmesi, nakliye maliyetlerini ve karbon ayak izini olumlu yönde etkileyen ve gıdanın üretildiği yerden tüketiciye kadar nakliyesini içeren 'gıda kilometresi' miktarını büyük ölçüde azaltır. Bu durum özellikle taze gıdaların taşınması sırasında kendini göstermektedir, zira soğutma yöntemleriyle muhafaza edilmeleri çok fazla karbondioksit emisyonu üretmektedir (Kozai vd., 2020). Bu durum, dikey tarım için güçlü bir yön olsa da, dikey çiftliklerde üretim sırasında ortaya çıkan emisyonlar nakliye emisyonlarından daha kötü olabilir (Molin ve Martin, 2018). Bazen büyük miktarlarda gıdayı tek seferde ithal etmek, küçük miktarlarda karbon ağırlıklı ürünü kısa mesafelerde taşımaktan daha sürdürülebilir olabilir. Bu dezavantaja rağmen araştırmalar, dikey çiftliklerin seralara kıyasla toplam karbondioksit üretimini %67-92 oranında azalttığını ortaya koymuştur (Graamans vd., 2018). Tarla bitkileriyle aradaki fark daha da büyüktür (Kozai vd., 2020).

Dikey çiftliklerin en büyük dezavantajı, mahsul yetiştirmek için harcanan büyük miktardaki enerjidir: Bu miktar seralara göre kg başına 30-176 kWh arasında daha fazladır. Ancak dikey çiftliklerde kullanılan enerji boşa harcanmaz ve enerji verimliliği seralara göre oldukça yüksektir (Graamans vd., 2018) . Şehirlerin daha yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesiyle birlikte dikey çiftlikler kendi temiz enerjilerini satın alarak veya üreterek karbon ayak izlerini daha da azaltabilirler.

1.2.1. Tarihçe ve Örnek Uygulamalar

Dikey tarım 20. yüzyılın başlarında ortaya çıkmış bir kavramdır ve modern şekli 2000'li yılların başında Columbia Üniversitesi'nde çevre bilimleri profesörü olan Dickson Despommier tarafından popüler hale getirilmiştir. Despommier ve öğrencileri 50.000 kişiye yiyecek sağlayabilecek 30 katlı bir dikey çiftlik konsepti geliştirmiştir. Bu konsept 2001 yılında üst katlarda 100 çeşit sebze ve meyve yetiştirebilecek, alt katlarda ise bitki atıkları ile beslenen tavuk ve balıkların barındığı, yenilenebilir enerji kullanan yapay ışıklar ve taşıma bantları gibi teknolojileri içeren bir projeye dönüşmüştür. Despommier'in gökdelen çiftliği fikri dünyanın dört bir yanından bilim insanları ve yatırımcıların ilgisini çekmiştir. (Cooper, 2009).

Dikey tarımın ilk girişimcilerinden biri olan NASA ise uzayda insan yaşamının desteklenmesi için bitkilerin kullanılması konusunda çalışmalar yürütmüş ve dikey tarım, mahsul verimliliği ve sistem maliyetlerini optimize etmek için çözüm bulmaya çalışmıştır (Wheeler, 2023).

Kozai ise “Bitki Fabrikası” kavramını, mevcut gıda arzını tehdit eden olağandışı hava koşulları, arazi ve doğal kaynak kıtlığı gibi sorunlara çözüm olarak sunulan bir dikey tarım uygulamaları bütünü olarak ortaya atmıştır (Kozai vd., 2020).

Şekil 3

Sky Greens Singapur- Dünyanın İlk Düşük Karbonlu Hidrolik Ticari Tarım Sistemi



Kaynak: Sky Greens (b.t)

2012 yılında Singapur Tarımsal Gıda ve Veterinerlik Kurumu ile Sky Greens arasında kentsel tarımı geliştirmek için yapılan iş birliği sonucu dikey tarım ve çatı bahçeleri aracılığıyla kentsel tarıma getirdiği yenilikçi yaklaşımı dünyanın ilk ticari dikey çiftliğini ortaya çıkarmıştır (Seneviratne, b.t). Skygreens örnek bir dikey tarım uygulaması Şekil 3’te gösterilmiştir.

2017 yılında Japonya'daki Mirai şirketi, iç mekân çok seviyeli çiftlikler geliştirmiş ve pazarlamasını yapmıştır (Benke ve Tomkins, 2017b). Başka bir Japon çiftliği ise 25.000 metrekareden oluşmakta ve açık alanlara göre, %99 daha az su kullanımı, %80 daha az gıda atığı ve %40 daha az enerji ile günde 10.000 baş marul (geleneksel yöntemlere göre metrekare başına 100 kat daha fazla) üretmektedir (Kohlstedt, 2015).

Singapur ve Japonya gibi sınırlı tarım arazisine ve yüksek nüfus yoğunluğuna sahip ülkeler, sakinlerini beslemek için bir çözüm olarak dikey kentsel tarıma başvurmaktadır.

Halihazırda yerel olarak yetiştirilen gıdanın yalnızca küçük bir yüzdesine sahip olan Singapur, 2030 yılına kadar besin ihtiyacının %30'unu yerel olarak üretmeyi hedeflemektedir (Wood vd., 2020).

Dikey tarım uygulamaları, bitki büyümesi için kontrollü ortamlar yaratmak amacıyla hidroponik, akuaponik, aeroponik gibi bazı teknikler kullanmaktadır.

1.2.2. Dikey Tarım Yöntemleri

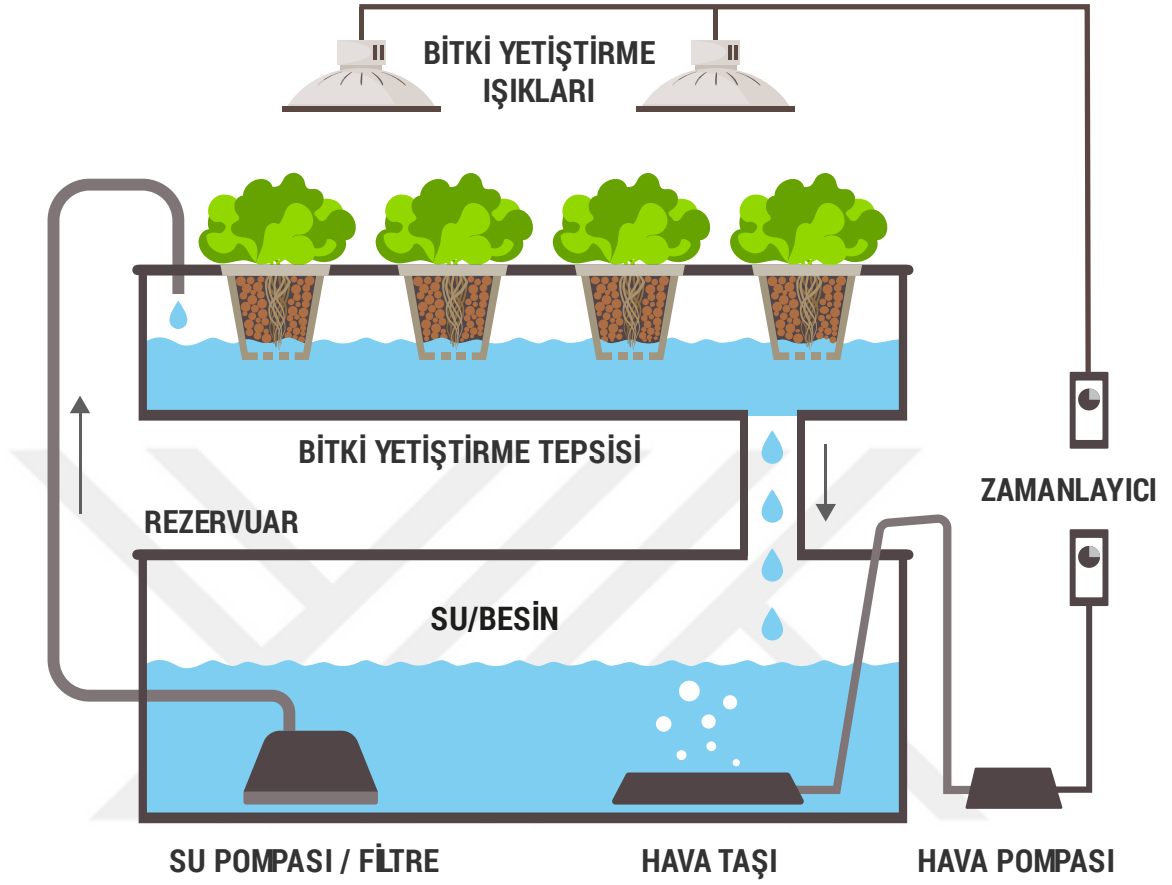
Literatürde dikey tarım yöntemleri veya dikey tarım teknikleri konusunda yapılan araştırmada karşılaşılan 3 ana teknik bulunmaktadır. Bunlar ilerleyen başlıklarda ele alınacaktır.

1.2.2.1. Hidroponik Tarım

Hidroponik tarım topraksız bitki yetiştirme yöntemlerinden biridir. Besin açısından zengin bir çözeltinin doğrudan bitkilerin köklerine verilmesini içerir. Topraksız tarımın, artan mahsul verimi, su ve besin maddelerinin verimli kullanımı ve ekilebilir araziye sınırlı erişimi olan alanlarda bitki yetiştirme yeteneği dahil olmak üzere çeşitli avantajları bulunmaktadır. Araştırmalar, topraksız tarımı geleneksel tarım yöntemleriyle karşılaştırmış ve daha yüksek tahıl verimi, tahıl ürünlerinde daha yüksek protein konsantrasyonları ve abiyotik kaynakların (su, gün ışığı, sıcaklık vb.) daha iyi kullanılmasını sağlayabileceğini ortaya koymuştur (Gattinger vd., 2012). Ayrıca, topraksız tarım sentetik azotlu gübre kullanımını ve buna bağlı fosil enerji tüketimini azaltma potansiyeline de sahiptir (Bedoussac vd., 2015). Topraksız tarımda hidroponik yöntemlere alternatif olarak sürdürülebilir ve verimliği daha yüksek farklı teknikler de kullanılmaktadır.(Nussbaumer vd., 2021b)

Şekil 4

Hidroponik Tarım Sistemi Temel Bileşenleri



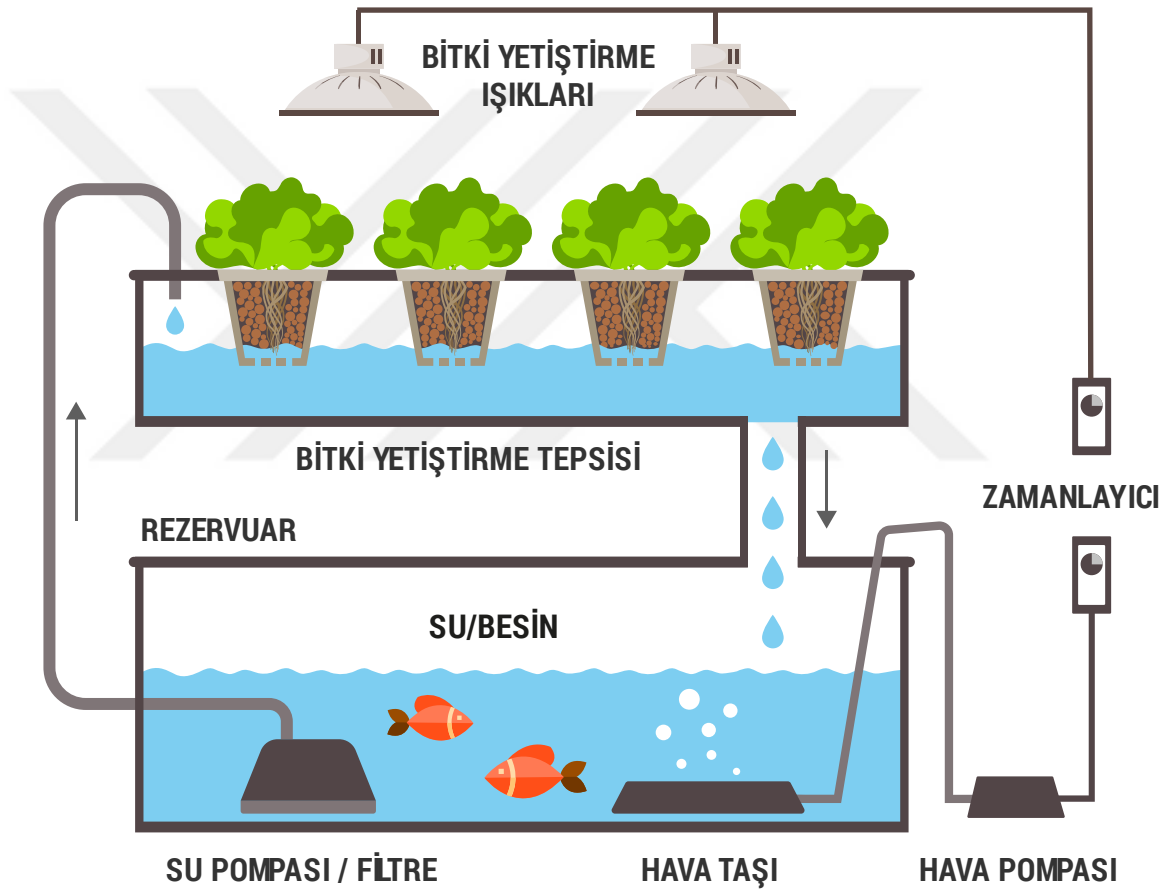
Hidroponik tarım sistemindeki temel bileşenler Şekil 4’te görülmektedir. Bitkiler, kökleri hidroton, taş yünü vb. topraksız tarım materyallerine tutunacak şekilde saksılara alınmıştır. Bitkiler bitki yetiştirme tepsisi üzerindeki yuvalara oturtularak kökleri tepsi içinden geçen besinli suya temas edecek şekilde yerleştirilmiştir. Besinli su karışımı pompa yardımı ile bitki yetiştirme tepsisine aktarılır ve bütün bitkilerin besin alması sağlandıktan sonra besinli su rezervuara geri döner. Hava taşı besinli suya sürekli oksijen sağlayarak rezervuarda yosun ve bakteri üremesini engeller. LED bitki yetiştirme ışıkları, bitkilerin ihtiyacı olan dalga boyunda ve şiddette ışığı sağlamak üzere günün belirli saatlerinde açık kalacak şekilde programlanmıştır.

1.2.2.2. Akuaponik Tarım

Akuaponik tarım hem balık hem de sebze üretmek için akuakültür (balık yetiştiriciliği) ve hidroponiği (topraksız yetiştirilen bitkiler) birleştiren bir tekniktir. Balık atıklarını bitkiler için besin olarak kullanan ve ikisi arasında simbiyotik bir ilişki yaratan biyo-entegre bir tarım sistemidir (N. Ahmad vd., 2022). Akuaponik tarım sistemi temel bileşenleri Şekil 5'te gösterilmiştir.

Şekil 5

Akuaponik Tarım Sistemi Temel Bileşenleri



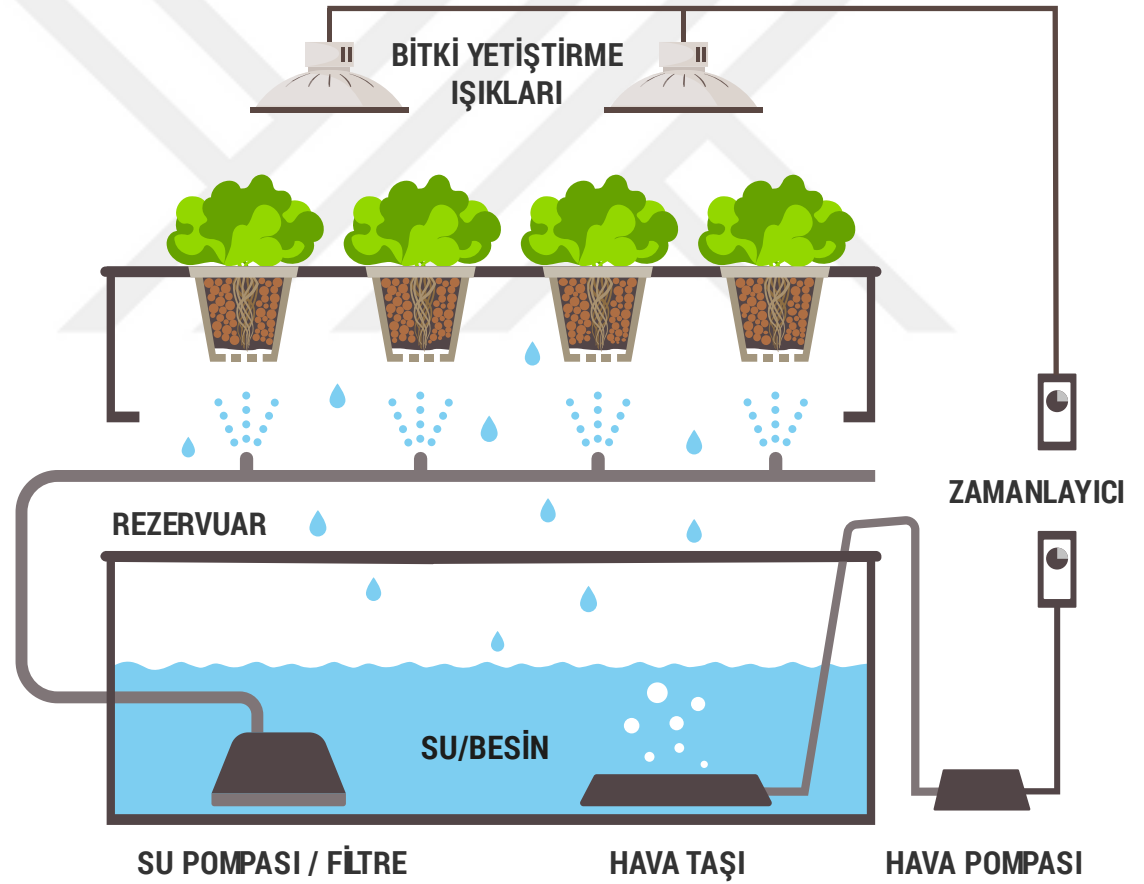
Akuaponik tarım teknikleri, su-alan verimliliğinin artırılması, gübre-pestisit kullanımının azaltılması, sürdürülebilir ve ölçeklenebilir gıda üretimi potansiyeli gibi çeşitli avantajlar sunmaktadır (N. Ahmad vd., 2022; Calone ve Orsini, 2022; Okomoda vd., 2022). Bu tarım yöntemi, kirlilikten veya gıda kıtlığından etkilenen alanlar da dahil olmak üzere çeşitli ortamlarda uygulanabilir ve sosyal, ekonomik ve çevresel kalkınmaya katkıda bulunabilir (Alam vd., 2023). Güneş enerjisinin kullanımı, akuaponiklerin sürdürülebilirliğini daha da artırabilir ve elektriğe erişimi olmayan uzak bölgelerde çalışmaya izin verebilir (Jothiprakash ve Sezhan, 2023).

1.2.2.3. Aeroponik Tarım

Aeroponik tarım, hidroponik yetiştiriciliğe göre daha fazla bitki verimliliğine yol açabilen bir besin aerosolünün köklere uygulanmasını içerir (Eldridge vd., 2020). Aeroponik tarım sistemi bileşenleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Aeroponik teknikler geleneksel tarımdaki çeşitli zorluklara birer çözüm olarak uygulanmaktadır. Aeroponik tarım, verimli su kullanımı, toprakla ilgili hastalık ve zararlıların önlenmesi ve tarım dışı arazilerde veya kapalı alanlarda ürün yetiştirme yeteneği gibi faydalar sunmaktadır (Dhanasekar vd., 2023).

Şekil 6

Aeroponik Tarım Sistemi Temel Bileşenleri



Nesnelerin İnterneti (IoT) tarafından etkinleştirilen akıllı tarımda aeroponik kullanımı, çiftçilerin LED aydınlatma sistemleri kullanarak sıcaklık ve nem gibi tarım parametrelerini uzaktan izlemelerine ve kontrol etmelerine olanak tanır (Roffi ve Jamhari, 2023). Bu yöntem, en son bilgi teknolojilerini kullanarak tarımsal verimliliği ve üretkenliği artırma potansiyeline sahiptir (Rivera vd., 2022). Ayrıca aeroponik tarım, geleneksel tarım sistemlerine kıyasla çevresel etkileri azaltma potansiyeline sahiptir ve

bu da onu gıda üretimi için sürdürülebilir bir seçenek haline getirmektedir (Chittibomma ve Yadav, 2023). Bununla birlikte, özel yapı ve ekipman ihtiyacının yanı sıra satın alınabilirlik sorunları gibi ele alınması gereken bazı zorluklar da mevcuttur (Simanungkalit vd., 2023). Genel olarak, aeroponik tarım, gıda güvenliği ve sürdürülebilirlik endişelerini gidermek için uygulanabilir ve yenilikçi bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

1.2.3. Dikey Tarım Türleri

Dikey tarım fiziksel olarak dikey olarak istiflenmiş üretim tekniklerinin genel tanımı olmakla birlikte bu tarım türüne ait binalar, konteyner ve yer altı çiftlikleri gibi farklı üretim ortamları kullanılmaktadır. Devam eden başlıklarda dikey tarıma ait bu çalışmalar kısaca ele alınacaktır.

1.2.3.1. Bina Tabanlı Dikey Çiftlik

Bina tabanlı dikey çiftlikler, gıda güvenliğini artırmanın ve kentsel alanlarda karbon ayak izini azaltmanın bir yolu olarak dikkat çekmiştir (Martin vd., 2022). Bu çiftlikler, halihazırda inşa edilmiş yüzeyleri ve güneş ışığını kullanarak konut, ofis ve ticari binalara entegre edilebilir (Zaręba vd., 2021). Şehirlerde yeni ve değerli bir ekolojik, sosyal ve ekonomik merkez yaratılması da dahil olmak üzere çeşitli sosyal, ekonomik ve çevresel faydalar sunarlar (Sengodan, 2022). Dikey çiftlikler, kentsel tarımı desteklemek için bodrum katları gibi az kullanılan kentsel alanları da kullanabilir (Tablada ve Kosorić, 2022). Dikey çiftliklerin bina enerji sistemleri ile entegrasyonu sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir (Rehman, 2022).

1.2.3.2. Konteyner Dikey Çiftlik

Nakliye konteyneri dikey çiftlikleri, yetiştirme ortamı olarak yenilenmiş nakliye konteynerlerini kullanan bir tür dikey tarım sistemidir. Bu çiftlikler sıcaklık, nem ve aydınlatma gibi kontrollü koşullar sağlayarak bitki büyümesini optimize etmek için tasarlanmıştır (Ciuta vd., 2022; Wee; vd., 2022). Genellikle hidroponik, akuaponik ve aeroponik gibi topraksız tarım tekniklerini kullanırlar (Saraswat ve Jain, 2021). Nakliye konteynerlerinin kullanımı, konum esnekliği sağlayarak tarım dışı veya sınırlı tarım alanına sahip bölgelerde çiftliklerin kurulmasını mümkün kılmaktadır (Su, 2020). Nakliye konteyneri dikey çiftlikler, gıda kıtlığını gidermek ve artan ürün talebini çevre dostu bir şekilde karşılamak için sürdürülebilir bir çözüm olarak görülmektedir.

1.2.3.3. Derin Çiftlik

Derin çiftlikler, tarihi-kültürel mirasın zenginliğini modern yetiştirme modelleriyle birleştiren yenilikçi tarım biçimlerini ifade etmektedir. Bunun bir örneği, İtalya'nın Varese kentinde bir hafıza mekanını restore etmeyi ve yeni yetiştirme yöntemleri hakkında kamu bilincini artırmayı amaçlayan bir yeraltı dikey çiftliğinin (Derin Çiftlik) inşa edilmesidir (Devecchi vd., 2023). Derin Çiftlik kavramının fiziksel olarak yeraltı çiftliklerini ifade etmesinin yanında, literatürde Derin Öğrenme (DL) kavramından yola çıkan derin çiftlik örnekleri de bulunmaktadır. Özellikle aşırı hava olayları ve siber saldırılar gibi olaylar sırasında tarımsal çiftlik üretimindeki belirsizlikleri tahmin etmek ve yönetmek için derin öğrenme modellerini kullanan yapay zekâ destekli bir çerçeve olan DeepFarm'dır (Wang vd., 2022). Aynı zamanda, hayvan sağlığı ve üretkenliği için uygun ortamları korumak amacıyla otomatik akıllı çiftliklerin kullanıldığı hayvancılıkta da derin çiftlikler uygulanabilir. Bu çiftlikler çeşitli ekipmanlar kullanmakta ve arızaları hızlı bir şekilde tespit etmek ve mahsul için en uygun koşulları sağlamak amacıyla anomali tespit mekanizmaları kullanmaktadır (Kass, 2021).

1.3. Seracılık (Örtü Altı Yetiştiriciliği)

Tarım literatüründe Seracılık veya Sera Tarımı “Örtü Altı Yetiştiriciliği” olarak da anılır. Seralar, ürün yetiştirmek ve sert hava koşullarına karşı bitkilere barınak sağlamak gibi çeşitli amaçlar için kullanılan kapalı yapılardır. Geleneksel olarak fosil yakıtlar veya elektrikli ısıtıcılar kullanılarak veya güneş enerjisini termal enerjiye dönüştüren güneş panelleri kullanılarak ısıtılabilirler (Hasan ve Hriczó, 2022). Bununla birlikte seralarda havanın nemini alma ve farklı alanlar arasında ısı alışverişi de dahil olmak üzere iç iklimi düzenlemek için iklim kontrol sistemleri bulunur (Jan, 2020). Seraları kaplamak için polietilen filmler, akrilik filmler, polyester filmler ve PVC filmler gibi farklı malzemeler kullanılabilir (Geun, 2020). Seracılık, yıl boyunca, daha yüksek kalite ve miktarda bitki üretimine olanak tanıyan ve tarım sektörüne önemli katkılar sağlayan tarım tekniklerinden biridir (Brunetti, 2022). Seralar, çevre kontrollü tarım tekniklerine altyapı sağlayabilirler. Ancak, enerji tüketimi, yüksek maliyetler, kapalı ortamın olumsuz etkileri ve biyolojik çeşitliliğin eksikliği gibi bazı zorluklar bulunmaktadır. Seralar, ısıtma veya soğutma için büyük miktarlarda enerjiye ihtiyaç duyar ve bu durum üretim maliyetlerini artırabilir. Ayrıca, sera etkisi nedeniyle sera içinde oluşabilecek yüksek sıcaklıklar ve mikro iklim koşullarının değişmesi bitkilerin büyümesini olumsuz etkileyebilir. Aynı

zamanda, seralar açık alanlar kadar büyük bir biyolojik çeşitlilik sağlayamazlar ve bitkiler için doğal ve çeşitli bir ekosistem sunma yetenekleri sınırlı olabilir.

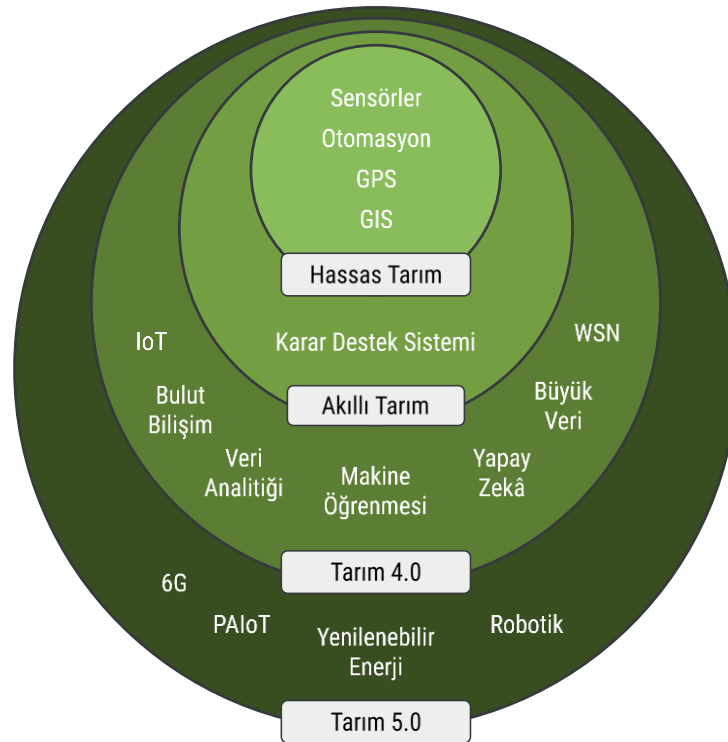
1.4. Dijital Tarım Türleri

Literatürde Dijital Tarım ile eşanlamlı olarak kullanılan terimler, Hassas Tarım, Akıllı Tarım veya Tarım 4.0 ve Tarım 5.0 olup, bu terimler teknoloji kullanımına göre evrimsel olarak değerlendirilmelidir. Şekil 7’de görüleceği üzere (Griepentrog, 2017) bu terimler arasında ayrımı aşağıdaki gibi yapmaktadır:

- *Hassas Tarım*, büyüme koşullarının sensörler ve uygulama teknolojisi aracılığıyla optimize edildiği sahaya özel işlemlere odaklanır.
- *Akıllı Tarım*, bilgilerin birleştirilmesi ve analizi yoluyla bir karar destek seviyesi ekler.
- *Dijital Tarım (Tarım 4.0 veya Çiftçilik 4.0)*, Nesnelerin İnternetinin yanı sıra Bulut Bilişim, Yapay Zekâ, Makine Öğrenmesi, Veri Analitiği ve Büyük Veriyi içerir.
- *Tarım 5.0*, Yenilenebilir Enerji, Robotik, 6G teknolojilerini içerir.

Şekil 7

Dijital Tarım Türleri



Kaynak: H. W., Griepentrog (2017)

1.4.1. Hassas Tarım

Hassas tarım, çiftlik yönetimi için iletişim ve bilgi teknolojilerini kullanan bir yönetim stratejisidir. En iyi tarımsal uygulamaları ve kaynakların optimum kullanımını sağlayarak verimliliği artırmayı amaçlamaktadır (R. K. Singh vd., 2021). Hassas tarımın amacı, tek tek bitkilerin veya bir tarla içindeki alanların özel ihtiyaçlarına göre gübre, sulama veya ilaçlama gibi girdilerin değişken oranda uygulanmasını sağlamak, böylece kaynak kullanımını optimize etmek ve israfi azaltmaktır (Saha vd., 2023). Ürüne özgü ihtiyaçları belirlemek ve ele almak için veri analizi, uydu görüntüleri ve diğer araçları kullanarak israfi en aza indirmeyi ve çevresel faktörlerin etkilerini azaltmayı amaçlamaktadır (Ingle vd., 2023). Hassas tarım teknolojisi son yıllarda önemli ilerlemeler kaydetmiş ve çiftçilerin mahsullerini uzaktan izlemelerine ve yönetmelerine olanak tanıyan hassas tarım uygulamalarının geliştirilmesiyle sonuçlanmıştır. Hassas tarım, verileri elde etmek, iletmek ve işlemek için, toprak ve ortam sensörleri, Kablosuz Sensör Ağları (Wireless Sensor Networks - WSN) teknolojisinin uygulanması, Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System - GPS), Coğrafi Bilgi Sistemleri (Geographic Information Systems - GIS), insansız hava araçları, otonom araçlar, Yapay Zeka (Artificial Intelligence - AI) ve Makine Öğrenmesi (Machine Learning - ML) gibi çiftçilerin çevresel hususlar, mahsul gelişimi ve sağlığı, toprak kalitesi ve besin içeriği ile ilgili gerçek zamanlı bilgilerin toplanmasını sağlamıştır (Nath, 2023; Roma vd., 2023). Bu bilgiler tahmine dayalı analitikler kullanılarak analiz edilir ve çiftçilerin hassas sulama, haşere yönetimi, gübre yönetimi, hastalık yönetimi, hayvancılık yönetimi ve mahsul verimi optimizasyonu hakkında bilinçli kararlar almasına olanak tanır (Finco vd., 2023; Simanca Herrera vd., 2023).

Hassas tarım, işgücü maliyetlerinin azalmasına ve verimliliğin artmasına yol açabilir. Bununla birlikte hassas tarım, sahaya özel yönetim uygulamalarına olanak tanıyarak tarım uygulamalarını toprak verimliliği, mahsul ihtiyaçları ve çevresel koşullarla eşleştirerek sürdürülebilir gıda üretim sistemleri sağlar. Geniş bir ifadeyle hassas tarım, gelişmiş karlılık, çevre yönetimi ve sürdürülebilir tarım uygulamaları için potansiyel sunmaktadır.

1.4.2. Akıllı Tarım

Akıllı tarım, tarımsal uygulamaları iyileştirmek ve sürdürülebilir tarım ve gıda arzı sağlamak için gelişmiş bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanan bir yaklaşımdır.

Hayvanların, bitkilerin ve çevrenin koşulları hakkında veri toplamak için IoT cihazlarının kullanılmasını içerir; bunlar daha sonra bir bulut ortamında işlenir, depolanır ve analiz edilir. Veri odaklı akıllı izleme sistemleri, çiftçilerin toplanan verilerden anlamlı bilgiler çıkarmasına ve bilinçli kararlar vermesine olanak tanır. Akıllı tarım aynı zamanda tarım arazilerindeki görevlerin otomasyonunu, mahsullerin gerçek zamanlı izlenmesini ve tahmine dayalı analiz için makine öğrenmesi modellerinin kullanılmasını da içerir. Sensörler, ağ iletişimi, büyük veri ve aktüatörler gibi teknolojilerin entegrasyonu, akıllı tarım sistemlerinde çok önemli rol oynamaktadır. Akıllı tarım uygulamaları verimliliğin artmasına, daha yüksek hasat, iyileştirilmiş kalite ve çevresel etkilerin azalmasına yol açabilir (Alshehri, 2023; Choi ve Shin, 2023; Dineva ve Atanasova, 2022; Thilakarathne vd., 2023). Akıllı tarım kavramı, teknolojik açıdan daha gelişmiş ve sürdürülebilir bir tarım yaklaşımına doğru bir geçişi temsil etmektedir.

1.4.3. Tarım 4.0

"Yeşil Devrim 4.0" olarak da bilinen Tarım 4.0, verimliliği artırmak, kaynakları optimize etmek, iklim değişikliğine uyum sağlamak ve gıda israfını azaltmak için yapay zekâ, büyük veri analitiği, bulut bilişim ve nesnelerin interneti gibi gelişmiş dijital teknolojileri entegre eden tarımdaki teknolojik bir devrimdir (Gkogkos vd., 2023; Mohammed Abu Basim ve Ajit, 2023; Rabhi vd., 2023). Tarımdaki bu yeni dönem, tarımsal süreçlerin dijitalleştirilmesini, tarım arazilerinin akıllı ve optimum yönetimini sağlamak için yenilikçi teknolojilerin kullanılmasını içermektedir. karar destek sistemleri, çiftçilere eyleme geçirilebilir içgörüler sağlamak için çeşitli kaynaklardan veri toplama ve analiz etmede önemli bir rol oynamaktadır (El Moutaouakil vd., 2022). Tarım 4.0, hassas tarım, bilgi ve iletişim teknolojisi, robotik ve büyük veri gibi yenilikçi teknolojileri birleştirerek katma değer yaratılmasını sağlamakta, sürdürülebilir tarım uygulamalarına ve mahsul veriminin artmasına yol açmaktadır.

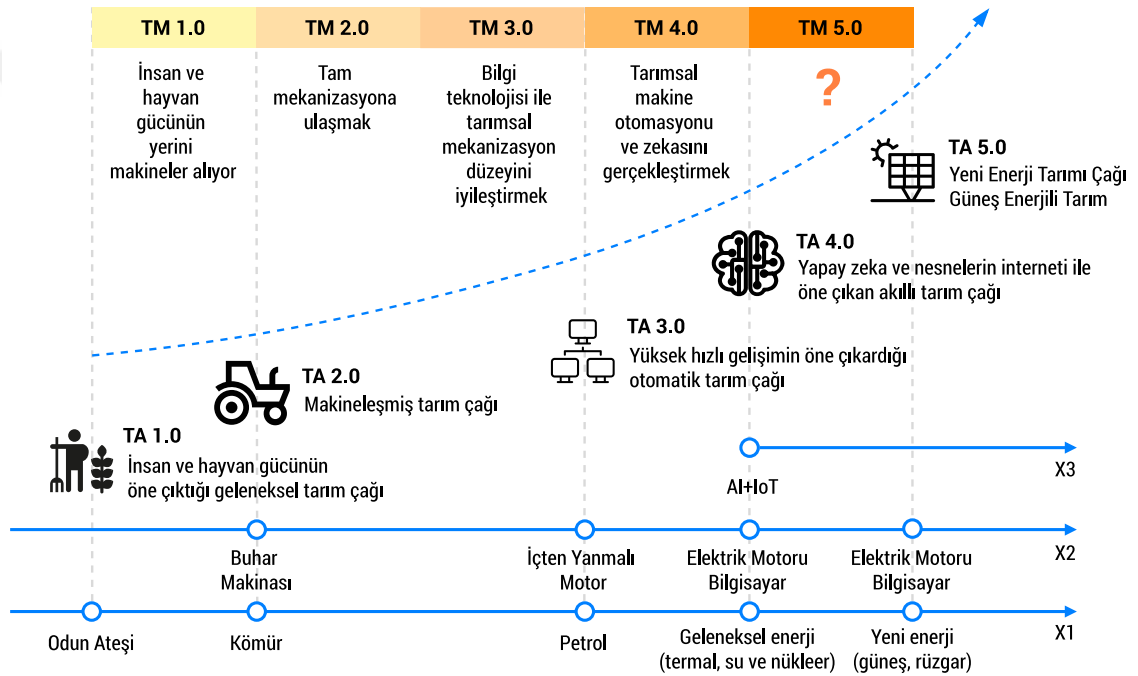
1.4.4. Tarım 5.0

(Huang vd., 2020) ifade ettiğine göre tarih boyunca, insanların enerjiyi kullanma biçimindeki değişiklikler tarımsal üretimi dönüştürmüştür. Şekil 8’de, TM: Tarımsal Mekanizasyon, TA: Tarım’ı ifade etmek üzere bu durum üç eksen kullanılarak görselleştirilmiştir: X1: Enerji Kaynakları, X2: Teknolojik Devrimler ve X3: Yapay Zekâ ve Nesnelerin İnterneti uygulamaları olarak ifade edilebilir. Gelecekteki zorlukları ele almak için yapılan bu çalışmada, Fotovoltaik Tarım (Photovoltaic Agriculture - PA) dahil

olmak üzere yeni enerji kaynaklarını vurgulayan bir model olan "Tarım 5.0" önerilmektedir. Akıllı tarımın hızla büyümesi, nesnelerin interneti gibi teknolojileri gerekli kılmaktadır. Nesnelerin internetinin geniş kapsama alanı, onu fotovoltaik tarım ile entegrasyon için ideal hale getirmiştir. Adı geçen çalışmada kablosuz sensör ağlarını kullanarak, araştırma ve uygulama için büyük bir potansiyel sunan Fotovoltaik Tarımsal Nesnelerin İnterneti (Photovoltaic Agriculture Internet of Things - PAIoT) yenilebilir enerjiler bağlamında değerlendirilmiştir.

Şekil 8

Geçmişten Günümüze Tarımsal Kalkınma Eğilimi



Kaynak: K. Huang vd., (2020)

Tarım 5.0, akıllı çiftlikler için finansmana, hava durumu güncellemelerine, uzaktan izlemeye ve gelecekteki enerji çözümlerine uygun maliyetli erişim sağlamak için çiftçilikte yeni teknolojilerin ve alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasını ifade eder. Tarım 5.0, büyüyen 5G ağ altyapısını temel olarak kullanabilir, ancak yalnızca 6G-IoT ağlarının Tarım 5.0'ı tam olarak genişletebileceği öngörülmektedir (Ragazou vd., 2022). Enerji verimli ve sürdürülebilir çiftlikler oluşturmak için yenilenebilir enerji, nesnelerin interneti, robotik, yapay zekâ, kuantum algılama ve dört boyutlu iletişim gibi teknolojiler ve emisyon kontrolünün entegrasyonunu içeren yeni bir akıllı tarım biçimidir (Ragazou vd., 2022; Polymeni vd., 2023). Tarım 5.0'da yararlanılacak temel özellikler ve teknolojiler, çok beklenen 6G-IoT iletişim sistemlerinde geliştirilmektedir (Ferreira vd.,

2021). Bu teknolojiler, girdileri ve azotlu gübreler, pestisitler, hidrokarbonlar, nanomalzemeler, hayvan gübresi, mineral gübreler ve tarım girdilerinden kaynaklanan kimyasallar gibi çeşitli kirleticileri en aza indirirken tarımsal verimliliği daha da otomatikleştirmeyi ve artırmayı amaçlamaktadır (Miseckaite, 2022; Pérez-Álvarez vd., 2023). Tarım 5.0'ın pandemi sonrası dönemde önemli bir rol oynaması, çiftçilerin refahına ve enerji akıllı çiftliklere kademeli geçişe katkıda bulunması beklenmektedir (L. Ahmed ve Nabi, 2021). Tarım 5.0, gelişmiş çiftlik yönetim sistemlerini, veri odaklı tarımı ve yapay zekâ tekniklerini bir araya getirerek kaynakların yanlış kullanımını ve çevre kirliliğini en aza indirmeyi hedeflemektedir. Aynı zamanda üretkenliği ve sürdürülebilirliği en üst düzeye çıkarırken, nüfus artışı, doğal tehlikeler ve gıda tercihlerindeki değişiklikler gibi zorluklar karşısında daha verimli tarım ihtiyacını karşılamayı ve gıda güvenliğini sağlamayı amaçlamaktadır. (Latino vd., 2021; Marris, 2008).

Tarım 5.0 uygulamalarında bazı zorlukların da ele alınması gerekmektedir. Bunlardan bazıları; çiftçiler arasında farkındalık eksikliği, yüksek maliyetler ve çözümlerin karmaşıklığı, teknik uzmanlık eksikliği, veri gizliliği ve güvenliği endişeleri ve uyumluluk sorunları şeklinde özetlenebilir. Bu engelleri aşmak için teknoloji sağlayıcıları, araştırma kurumları, devlet kurumları ve tarım toplulukları arasındaki iş birliği önemlidir. Genel olarak, Tarım 5.0 teknolojilerinin Endüstri 5.0 teknolojileriyle entegrasyonu, tarımın daha verimli, sürdürülebilir ve üretken hale gelmesini sağlayabilir. Bu potansiyel, gelecekte artan gıda talepleri ve çevresel baskıların ele alınmasında önemli bir rol oynayacaktır (Victor vd., 2024).

BÖLÜM 2.ÇEVRE KONTROLLÜ TARIM

Bu bölümde tez çalışmasının uygulama kısmındaki en geniş alan olan Çevre Kontrollü Tarım (ÇKT) ve Tarımda Karar Destek Sistemleri'nin (KDS) temel kavramları ve tanımlarına ve tarımsal üretimde KDS kullanımına dair yazında bulunan çalışma örneklerine yer verilmiştir. ÇKT bağlamında KDS kullanımının vaka örnekleri üzerinden değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu kapsamda, ÇKT'de KDS kullanımının sunduğu faydalar, karşılaşılan zorluklar ve mevcut kısıtlamalar ele alınmış ve bölüm sonunda genel bir değerlendirmeye yer verilmiştir.

Çevre Kontrollü Tarım (ÇKT), kontrollü ortamlar için geliştirilen tarım tekniklerinin kentsel tarıma uygulanmasını ifade eder (Gómez vd., 2019). ÇKT sistemleri, doğal ortamdan büyük ölçüde ayrılabilirdikleri, çevresel koşullara bağımlılığı azalttıkları ve kirliliğin daha iyi kontrol edilmesini sağladıkları için geleneksel tarım yöntemlerine göre avantajlar sunmaktadır (Cowan vd., 2022). ÇKT, 365 gün üretim, kaynak kullanımı, verimliliğini optimize etme ve kentsel ortamlarda yüksek üretim maliyetleriyle ilişkili zorlukları ele alma konusunda benzersiz fırsatlar sunmaktadır (Garcia vd., 2023). ÇKT, yüksek veya derin tüneller, seralar, kapalı alanda dikey tarım, hidroponik, aeroponik ve akuaponik gibi çeşitli üretim sistemlerini içerir (Goodspeed vd., 2020). Bu sistemler, yetiştiricilerin daha verimli ve yüksek kaliteli ürün için yetiştirme ortamını manipüle etmelerine olanak tanır (Niu ve Masabni, 2018). ÇKT'nin önemli bir yönü de , tarım kimyasallarının dikkatli bir şekilde test edilmesi, risk değerlendirmesi ve ruhsatlandırılması gibi halk sağlığını ve çevreyi korumak için gelişmiş uygulamaların kullanılmasıdır (Carvalho, 2017). Ayrıca, kontrollü salınlı pestisit formülasyonlarındaki gelişmeler, entegre haşere yönetimi uygulamalarını geliştirme ve sürdürülebilir tarımı teşvik etme potansiyeline sahiptir (A. Singh vd., 2020). Ayrıca, ÇKT'da dijital ikiz mimarilerin kullanılması, bitki büyümesini ve çevresel koşulları simüle ve analiz ederek verimliliği daha da optimize edebilir (Chaux vd., 2021).

Dikey tarım ve bitki fabrikaları gibi kapalı alan tarım sistemleri, maliyeti hala yüksek olmasına rağmen dünya çapında giderek daha fazla benimsenmektedir. Kentsel gıda üretimi için ÇKT'nin geleceği, kaynak yönetimi, ekonomik uygulanabilirlik, gıda güvenliği endişeleri ve sosyal faydaları ele alabileceği için büyük bir potansiyele sahiptir. Çevre kontrollü tarımda bilişim sistemlerinin kullanımı çiftçilerin veya karar vericilerin

daha etkin ve hızlı karar almalarına, sürdürülebilir ve verimli tarım uygulamalarının geliştirilmesine imkân verebilir.

2.1. Çevre Kontrollü Tarım ve Bilişim Sistemleri

Bilişim sistemleri, tarımsal ürünler için en uygun yetiştirme ortamını oluşturmak amacıyla teknoloji ve verileri kullanarak çevre kontrollü tarımda giderek önem kazanmaktadır (Udartseva, 2023). Bu sistemler, tarımsal süreçlerin çeşitli yönlerini izlemek ve yönetmek için Büyük Veri Analitiği (Big Data Analytics - BDA), Robotik, Yapay Zekâ ve Nesnelerin İnterneti gibi ileri teknolojileri kullanmaktadır (Sigrimis vd., 2001). Bilgi sistemleri, sıcaklık, nem ve hava kalitesi gibi çevresel koşulları gerçek zamanlı olarak izlemek ve kontrol etmek için sensör ağlarının kullanılmasını içerir (P. J. Tan, 2022). Bu sensörlerden toplanan veriler bir veri tabanında saklanır ve analiz ve karar verme için web uygulamaları veya yerel yazılımlar aracılığıyla bu verilere erişilebilir (D'souza ve Bhalla, 2022).

ÇKT ve bilgi sistemleri, otomatik karar verme sistemleri ve matematiksel modeller gibi bitki izleme ve karar verme için akıllı sistemler geliştirmek için kullanılabilir. Bununla birlikte, sulama rejimlerini ayarlamak, bitki sağlığını izlemek ve bitkisel üretimi optimize etmek için de bilişim sistemlerinden yararlanılır (Babenko, 2022). Bilişim sistemleri, bitki büyümesini, üretim verimini ve su tüketimini izlemek için yakın sensörler kullanmakta, bu da üretim sürecini sürekli izlemeye ve mikro iklim değişikliklerine göre mahsul tepkisini tahmin etmek için matematiksel modellerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Amitrano vd., 2020).

ÇKT ile bilgi sistemlerinin kullanımı, verilerin; tablolar, diyagramlar ve grafikler aracılığıyla görselleştirilmesini ve iletilmesini sağlayarak bilgilerin kolay yorumlanmasına ve aktarılmasına olanak tanır (Y. Huang ve Zhang, 2021). Çiftçiler bilgi sistemlerini ÇKT ile entegre ederek, verimliliği artırabilir, kaynak israfını azaltabilir ve tarımsal faaliyetlerde başarı sağlamak için bilinçli kararlar verebilirler (Udartseva, 2022).

Bilişim sistemlerinde odaklanılan bir diğer alan ise üretim yönetimini optimize etmek ve çevresel belirsizlikleri telafi etmek için bilgi ve kontrol teknolojilerinin uygulandığı hassas tarımdır (Niu ve Masabni, 2018). Bilgi sistemleri; üretim yönetimini optimize etmek, maliyetleri en aza indirmek, mahsul verimini ve kalitesini en üst düzeye çıkarmak, kaynak israfını önlemek, sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmek, üretim süreçlerini

iyileştirmek ve doğru zamanda doğru kararlar alabilmek için temel araçlardır (Babenko, 2022; Rajput, 2023; Tkachenko vd., 2022).

2.1.1. Çevre Kontrollü Tarımda Bilişim ve Üretim Altyapısı

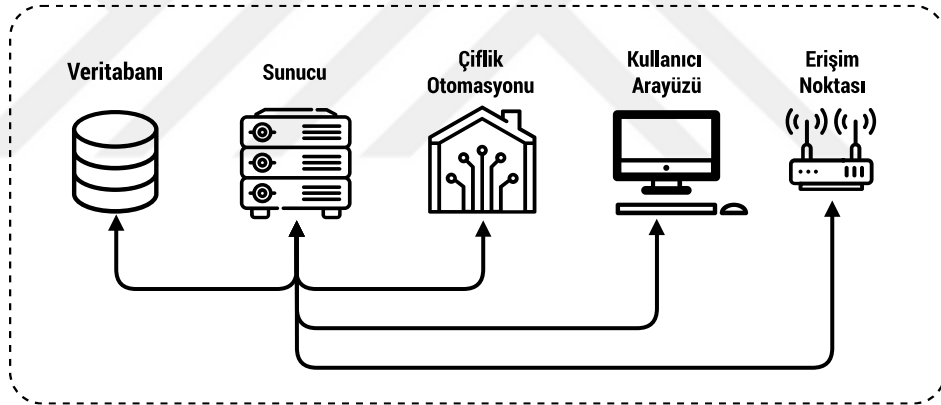
Çevre kontrollü tarımda güncel bilişim sistemleri ve veri yönetimi konuları ile ilgili başlıklar aşağıdaki şekildedir.

2.1.1.1. Çevre Kontrollü Tarım Bilişim Sistemi ve Veri Yönetimi

Çevre kontrollü tarımda bilişim sistemi ve veri yönetimi, tarımsal üretimde veri odaklı bir yaklaşımı teşvik ederek verimliliği ve sürdürülebilirliği artırmayı amaçlayan bir sistemdir. Bu sistem, veri toplama, depolama, analiz ve görselleştirme için çeşitli bileşenleri entegre ederek kapsamlı bir çözüm sunar.

Şekil 9

ÇKT Veri Yönetim Sistemi Temel Bileşenleri



Şekil 9’da görülen ÇKT veri yönetim sisteminin temel bileşenleri şunlardır:

Veri Tabanı: Sistemdeki tüm ortam, sulama, gübreleme, iklimlendirme sensörlerinden gelen veriler ile bitki izleme veya görüntüleme sistemlerinden gelen veriler burada depolanır.

Sunucu: Depolanan veriler, sunucu üzerinde bulunan uygun yazılımlar tarafından analiz edilir ve işlenerek görselleştirilir.

Çiftlik Otomasyon Yazılımları: İşlenmiş veriler kullanılarak otomatik kontrollü sulama, gübreleme ve iklimlendirme gibi işlemleri gerçekleştirir.

Kullanıcı arayüzü: Görselleştirilmiş veriler ve analiz sonuçları, kullanıcı dostu bir arayüz aracılığıyla çiftlik yöneticilerine veya ilgili kullanıcılara sunulur.

Ağ bileşenleri: Kablolu veya kablosuz ağ altyapısı, tüm sistem bileşenleri arasında bağlantıyı ve veri akışını sağlar.

Veri İşleme Süreci

- i. *Veri Toplama*: Sensörler ve diğer veri kaynakları aracılığıyla ortam, bitki ve üretim parametreleri hakkında veriler toplanır.
- ii. *Veri Depolama*: Toplanan veriler, merkezi bir veri tabanında güvenli bir şekilde depolanır.
- iii. *Veri Analizi*: Sunucu üzerinde bulunan yazılımlar, verileri analiz ederek anlamlı bilgiler ve öngörüler üretir.
- iv. *Veri Görselleştirme*: Analiz sonuçları, grafikler, tablolar ve diğer görsel araçlar aracılığıyla izlenebilir ve yorumlanabilir.
- v. *Karar Desteği*: Görselleştirilmiş veriler ve analiz sonuçları, çiftlik yöneticilerinin ve kullanıcıların bilinçli ve veri odaklı kararlar vermelerine yardımcı olur.

Çevre Kontrollü Tarımda Kullanılan Veri Teknolojileri

Çevre kontrollü tarım, sürdürülebilirliği ve karlılığı artırmak için çeşitli veri teknolojilerini kullanır. Bu teknolojiler arasında Büyük Veri Analitiği (BDA), Robotik, Yapay Zekâ (AI), Nesnelerin İnterneti (IoT) yer almaktadır (Engler ve Krarti, 2021) (Lokers vd., 2016). Ayrıca Derin öğrenme (DL), mahsul izleme, stres algılama, sulama ve enerji tasarruflu kontroller gibi çeşitli uygulamalar için çevre kontrollü tarımda uygulanmıştır (P. Huang vd., 2023). Tarım cihazlarının işlevlerini kontrol etmeye yönelik bir yöntem olan Akıllı Algılama Tabanlı İşlevsel Kontrol (SSFC), bilgi işlemedeki belirsizlikleri gidermek için akıllı sensörler ve akıllı karar verme sistemleri kullanır (Manogaran vd., 2021). Literatürde çevre kontrollü tarımda kullanılan veri teknolojileri aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

- Büyük Veri Analitiği (Big Data Analytics),
- Yapay Zekâ (AI),
- Makine Öğrenmesi (ML)
- Derin Öğrenme (DL)
- Nesnelerin İnterneti (IoT)

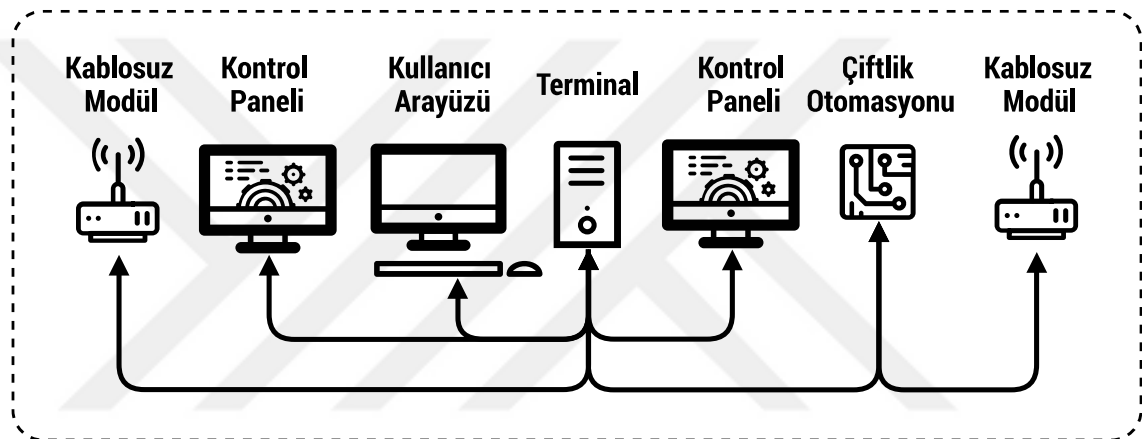
- Robotik
- Akıllı Algılama Tabanlı İşlevsel Kontrol (SSFC)

2.1.1.2. Çevre Kontrollü Tarımda Bilişim Sistemleri ve Üretim Destek Sistemi

Çevre kontrollü tarım üretim destek sisteminde, tarımsal üretim faaliyetlerini optimize etmek ve verimi artırmak için çeşitli teknolojik araçlar kullanılır. Bu araçlar Şekil 10'da görülmektedir.

Şekil 10

ÇKT Üretim Destek Sistemi Temel Bileşenleri



Terminaller: Merkez sunucuya kablolu veya kablosuz olarak bağlı ve tarımsal faaliyet alanına yakın, kullanıcı arayüzleri ve kontrol panelleri ile sunucu arasında iletişimi sağlayan donanımlardır.

Kontrol Panelleri: Bu panellerde, çiftliğe ait anlık veriler sürekli olarak izlenir ve analiz edilir. Kullanıcılar, bu paneller aracılığıyla üretim parametrelerini izleyip parametrelere müdahale edebilirler.

Kullanıcı Arayüzü: Kullanıcılar, bu arayüz aracılığıyla sunucu, ağ ve bilişim sistemi yönetimi gibi faaliyetleri yürütebilir.

Kablosuz Modüller: Bu modüller, terminaller, kontrol panelleri ve sensörlerin üretim yönetimi sistemi ve merkez sunucu ile sürekli iletişim halinde olmasını sağlar.

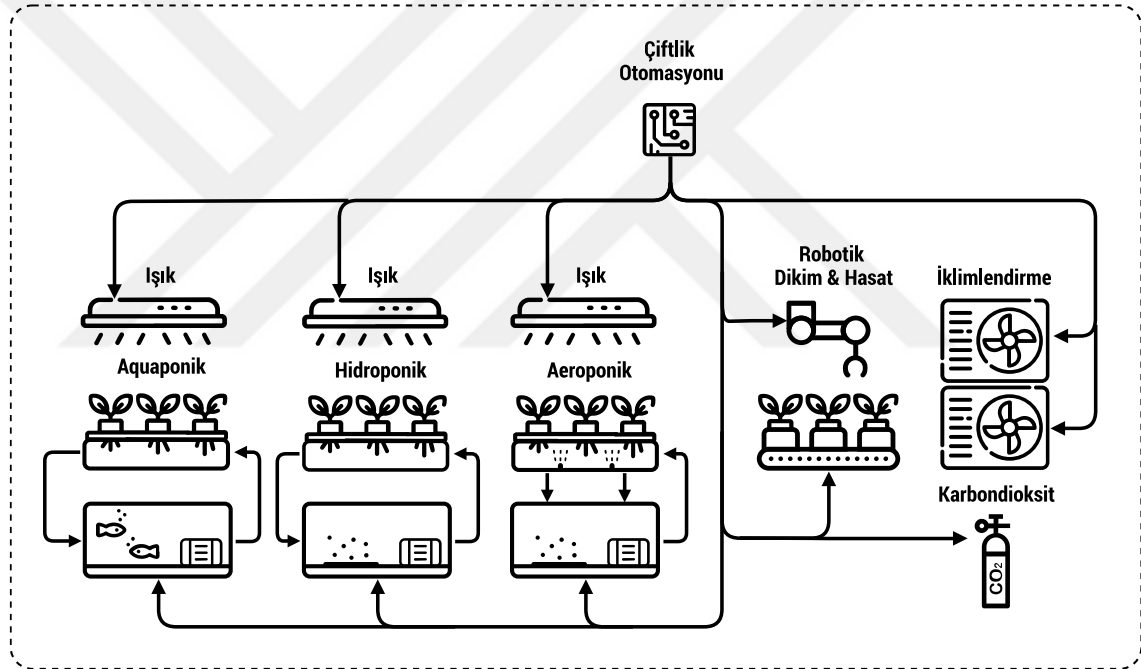
Çiftlik Otomasyonu: Bu sisteme ait donanım ve yazılımlar, tarımsal üretim araçlarını kontrol etmek için kullanılır.

2.1.1.3. Çevre Kontrollü Tarımda Üretim Sistemi

Çevre kontrollü tarımda üretimi ilgilendiren tüm donanımlar üretim sistemi içinde yer alır. Bunlar Şekil 11’de görüleceği gibi, sulama, gübreleme ve ilaçlama sistemleri, karbondioksit kontrolü, robotik dikim ve hasat donanımları, iklimlendirme üniteleri, hidroponik, akuaponik veya aeroponik yetiştirme üniteleri, ışıklandırma üniteleri, yetiştirme rafları ve donanımları bulunmaktadır. Bitki yetiştirme sürecinin sağlıklı bir şekilde ilerleyebilmesi için tüm bu donanımlara ait parametreler kontrol altında tutulmalıdır.

Şekil 11

ÇKT Üretim Sistemi Temel Bileşenleri



Çevre Kontrollü Tarımda Yönetilmesi Gereken Parametreler

Çevre kontrollü tarım, bitki sağlığı ve gelişimini teşvik etmek, zararlıları ve hastalıkları azaltmak, verimi artırmak ve kaynak yönetimini iyileştirmek için yetiştirme ortamının belirli parametrelerini yönetmeyi içerir (D’souza ve Bhalla, 2022). ÇKT’da sıcaklık, karbondioksit seviyeleri, nem, ışık yoğunluğu ve besin seviyeleri gibi çevresel parametreler detaylı olarak kontrol edilir (Hajihil, 2022). ÇKT’nin üretim parametreleri aydınlatma, hava akışı, nem ve besin desteğinin kontrolünü içerir (Goodspeed vd., 2021). Çevre kontrollü tarım, mahsul üretimini optimize etmek için çeşitli üretim tekniklerini kullanır. Bu tekniklere ait üretim yönetimi parametreleri şunlardır;

1. *Sıcaklık*: Sıcaklık kontrolü, çevre kontrollü tarımın önemli bir yönüdür. Tarımsal ortamlarda sıcaklığı izlemek ve düzenlemek için çeşitli sistemler ve teknolojiler geliştirilmiştir. Yaklaşımlardan biri, bir sıcaklık sensörü ve bir kontrolcüden oluşan bir yetiştirme ortamı sıcaklık kontrol sisteminin kullanılmasıdır. Algılama sistemi sıcaklık ve nem sensörlerini, kablosuz gönderme-alma modüllerini içerir.
2. *Nem*: Çevre kontrollü tarım, optimum bitki büyümesi ve hastalık kontrolü için nem koşullarının manipülasyonunu içerir. Tarımsal ortamlarda bağıl nemi (RH) kontrol etmek için çeşitli yöntemler ve cihazlar geliştirilmiştir (Ishii vd., 2016). Adı geçen çalışmada yarı kurak seralar için, istenen bağıl nem ve hava sıcaklığı seviyelerini korurken, sisle soğutma için su kullanımını azaltan bir soğutma stratejisi geliştirmiştir.
3. *Karbondioksit*: Karbondioksit, çevre kontrollü tarımda kritik bir rol oynamaktadır. Tarımsal ortamın izlenmesi ve kontrolü için anahtar bir parametre olarak kullanılır. Literatürde, kontrollü ortamlarda karbondioksitin fotosentez ve gübreleme gibi farklı yönlerine ilişkin bilgiler bulunmaktadır (Zhenqian vd., 2014). Çalışmada uzaktan izleme ve veri analizi sağlayan bir karbondioksit sensörü arayüz devresine sahip bir tarımsal ortam bilgi kontrol cihazını tanımlamıştır.
4. *Işık*: Işık, fotosentez için gerekli enerjiyi sağlayarak ve bitkinin fizyolojik tepkilerini tetikleyerek çevre kontrollü tarımda hayati bir rol oynamaktadır. ÇKT sistemlerinde ışığı anlamak ve manipüle etmek için kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Bitkilere gerekli fotonları sağlamak için yapay yetiştirme ışıkları, güneş spektral şekillendirme ve yönlendirme ve hibrit aydınlatma sistemleri gibi çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir (Tiwari vd., 2022).
5. *Sulama*: Çevre kontrollü tarımda sulama otomasyonu, teknoloji ve sensör tabanlı izleme sistemlerinin kullanılmasıyla sağlanabilir. Bu sistemler, topraktaki nem seviyesi ve çevresel koşullar hakkında veri toplamak için toprak nem sensörleri ve sıcaklık sensörleri gibi sensörleri kullanır (Acar vd., 2022)(Gunawan vd., 2022). Bu veriler daha sonra toprak kurduğunda ve bitkinin suya ihtiyacı olduğunda su pompalama setini veya damla sulama sistemini otomatik olarak etkinleştirebilen bir kontrolör veya yönetim yazılımı tarafından işlenir ve analiz edilir (Ezhilarasi vd., 2022). Sulama sürecinin otomasyonu sayesinde gereksiz su israfı önlenir ve sulama suyunun optimum kullanımı sağlanarak enerji tasarrufu ve bitkilerin verimliliğinin artması sağlanabilir. Ayrıca, toprak neminin ve ortam nemi ve sıcaklığı

gibi çevresel faktörlerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi, bitki büyümesini ve sistem verimliliğini artırmaya yardımcı olabilir.

6. *Besin*: Besin yönetimi, çevre kontrollü tarımın önemli bir yönüdür ve çeşitli çalışmalar optimum besin seviyelerini korumak için sistemler önermektedir (Seok vd., 2019). Bu sistemler, besin çözeltisi tedarik sistemlerinin uzaktan kontrol etmek için bilgi iletişim teknolojilerini kullanmaktadır. Ayrıca, besin çözeltisinin elektrik iletkenliğini (EC) ve asitliğini (pH) ölçmek için sensör üniteleri içerirler ve gerçek zamanlı ayarlamalara izin verirler (Vega vd., 2021). Bununla birlikte, bitkilere sağlanan besin maddelerinin bileşimi, enjeksiyon süresi, enjeksiyon hızı ve miktarı, sensörlerden gelen ölçüm bilgilerine göre otomatik olarak ayarlanabilir (J.-S. Yang vd., 2020). Çevre kontrollü tarımda besin yönetimi, bitki büyümesi ve üretkenliği için optimum besin seviyelerini korumak amacıyla uzaktan kontrol, gerçek zamanlı ayarlamalar ve otomasyonu içerir.
7. *Üretim ve Hasat*: Çevre kontrollü tarımında yetiştirme ve mahsul robotiği, işgücü sıkıntısı ve artan gıda talebi gibi zorlukların üstesinden gelmek için umut verici çözümler olarak ortaya çıkmıştır (Ragaveena, Edward, vd., 2021). Tarımda robotik kullanımı, gübreleme, ilaçlama, hasat ve dikim gibi görevleri otomatikleştirerek üretkenlik ve verimliliğin artırılması için potansiyel sunmaktadır.
8. *Hastalık ve Zararlı Kontrol*: Kontrollü çevre tarımında haşere kontrolü, gıda üretimini sürdürürken pestisit kullanımını azaltmayı amaçlamaktadır. Yaklaşımlardan biri, yenilikçi sensörler ve karar kontrol algoritmaları ile donatılmış, etkili yabancı ot ve haşere kontrolü için otomatik ve robotik sistemlerin geliştirilmesidir (Gonzalez-de-Santos vd., 2017). Pestisitlerin son çare olarak akılcı bir şekilde kullanıldığı Entegre Zararlı Yönetimi (IPM), uyarlanabilir zararlı kontrolünün önemini vurgulayarak uygulanabilir bir strateji olarak önerilmektedir (Ekström ve Ekbom, 2011). Biyolojik kontrol, özellikle de doğal düşmanların salınımı, istilacı zararlıları bastırmada ve tarımsal ortamlarda uzun vadeli kontrol sağlamada başarı göstermiştir (Wyckhuys vd., 2018).

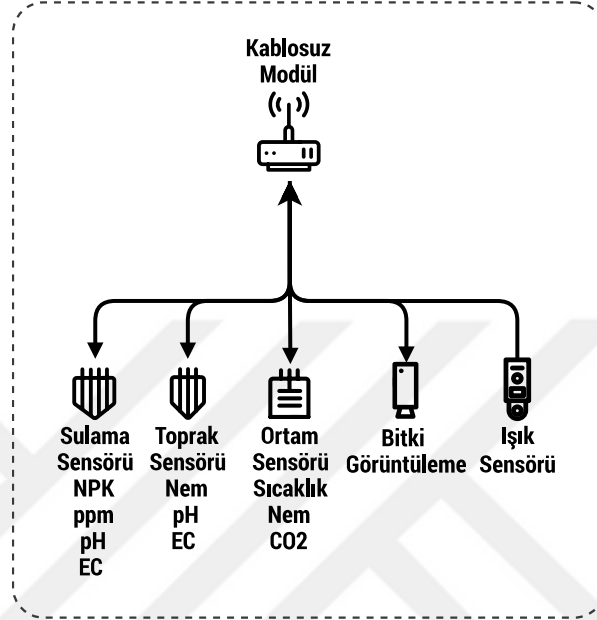
2.1.1.4. Çevre Kontrollü Tarımda IoT Sistemi - Veri Kaynakları

Çevre kontrollü tarımda veri kaynağı olarak tarım alanlarından çeşitli verileri otomatik olarak toplamak ve analiz etmek için sensörler, kameralar ve diğer cihazlar gibi bir dizi

bağlantılı cihazı kullanılır. ÇKT’de kullanılan IoT cihazları ve veri kaynakları Şekil 12’de görülmektedir.

Şekil 12

ÇKT IoT Sistemi Veri Kaynakları



ÇKT’de kullanılan IoT cihazları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

Ortam Sensörleri: Sıcaklık, nem ve karbondioksit seviyesi gibi ortam koşullarına ait verileri alır.

Işık sensörleri: Bitkilere sağlanması gereken ışık yoğunluğu ve dalga boyu gibi ölçüm verilerini alır.

Toprak ve Sulama-Besin Sensörleri: Toprak nemi, pH seviyesi, elektriksel iletkenlik, besin içeriği ve sulama düzeyleri gibi toprak ve sulama parametrelerine ait verileri alır.

Bitki Görüntüleme Donanımları: Bitki büyümesini, fotosentez aktivitesini, hastalık ve zararlı belirtilerini ve hasat zamanını izlemek ve görsel verileri almak için kullanılır

2.2. Çevre Kontrollü Tarımda Faydalar ve Zorluklar

ÇKT'nin ekonomik uygulanabilirliği, ilk kurulum maliyetleri, işletme giderleri ve pazar rekabetçiliği dikkate alınarak maliyet-fayda analizi yoluyla değerlendirilir. ÇKT çeşitli faydalar sunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda belirtilmiştir.

- i. LED teknolojisinin kullanıldığı yapay aydınlatma gibi ÇKT'daki teknolojik gelişmeler, bitki büyümesini ve gelişimini optimize etmek için enerji tasarruflu ve uygun maliyetli çözümler sağlar (Cowan vd., 2022) .
- ii. ÇKT'daki iklim kontrol sistemleri sıcaklık, nem, havalandırma ve hava sirkülasyonunun hassas bir şekilde düzenlenmesine olanak tanıyarak optimum yetiştirme koşulları sağlar (Johnson ve Payne, 2022).
- iii. ÇKT'daki robotik ve otomasyon, verimli ekim, hasat ve izleme sağlayarak işgücü verimliliğini artırır ve işletme maliyetlerini düşürür (Ragaveena, Edward, vd., 2021).
- iv. ÇKT, kontrollü ortamlar için mahsul ıslahını mümkün kılarak, düşük ışıklı ortamlarda hızlı büyüme, yüksek verimlilik ve performans gibi farklı bitki özelliklerine odaklanır; bu da farklı niteliklere sahip yüksek değerli özel tüketici ürünlerinin üretimine yol açabilir (Ragaveena, Edward, vd., 2021).
- v. ÇKT, su kullanım verimliliği ve geri dönüşüm, enerji tüketiminin azaltılması ve atıkların azaltılması dahil olmak üzere kaynak verimliliği yoluyla çevresel sürdürülebilirliği teşvik eder. Gıda üretiminin şehir merkezlerine daha yakın olmasını sağlayarak büyük nüfusların taleplerini karşılar ve küresel iklim hedeflerine katkıda bulunur (Engler ve Krarti, 2021).
- vi. ÇKT'da genetik modifikasyon ve mahsul iyileştirme, etik hususları ve düzenleyici çerçeveleri dikkate alırken kontrollü ortamlara uyarlanmış mahsuller geliştirmeye odaklanır (Langstroff vd., 2021).
- vii. Dikey çiftlikler ve bitki fabrikaları gibi ÇKT teknikleri, mahsulleri optimum kapalı ortamlarda yetiştirme fırsatı sunarak daha yüksek verim ve gelişmiş mahsul kalitesi sağlar (Folta, 2019).
- viii. ÇKT sistemleri daha enerji verimli olabilir; tesis tasarımı, aydınlatma ve dağıtılmış üretim teknolojisinin dahil edilmesindeki değişiklikler yoluyla elektrik tüketimini %75'e kadar azaltma potansiyeli vardır (Ragaveena, Edward, vd., 2021).
- ix. Topraksız tarım ve gelişmiş sensörlerin kullanımı gibi hassas teknolojiler, birim alan başına üretimin maksimize edilmesini sağlayarak ÇKT'yi sınırlı alanlarda

gıda üretimini artırmak için uygun bir çözüm haline getirmektedir (Niu ve Masabni, 2018).

- x. ÇKT sistemleri, biyolojik atıkları yönetmek ve yeniden kullanmak için kompostlama gibi kapalı döngü yaklaşımları uygulayarak sürdürülebilirliğe katkıda bulunabilir, çevresel etkiyi ve kaynak kaybını azaltabilir (Dsouza vd., 2021).

Literatürde Çevre Kontrollü Tarımda yer alan birçok faydanın yanında çeşitli zorluklar ve kısıtlar da bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri aşağıda listelenmiştir.

- i. ÇKT'nin en önemli kısıtlarından biri, üstesinden gelinmesi gereken en büyük çevresel engel olan yüksek enerji gereksinimleri ve birçok ÇKT sisteminin müteakip karbon ayak izidir (Cowan vd., 2022; Engler ve Krarti, 2021).
- ii. Bir diğer sınırlama ise ÇKT sistemlerinde ekonomik olarak yetiştirilen temel ürünlerin olmamasıdır; bu da sistemlerin genişlemesini ve küresel ölçekte gıda üretiminin çevresel etkilerini azaltma kabiliyetini engellemektedir (Langstroff vd., 2021).
- iii. Kontrollü ortamlarda yetiştirilen bitkilerin genetik çeşitliliğinin sınırlı olmasıdır. Geleneksel tarla çeşitleri iç mekân tarımı için uygun olmayabilir ve kontrollü ortamlar için ıslahı farklı bir dizi bitki özelliği gerektirir (Folta, 2019).
- iv. Çevresel performanslarını iyileştirmek için ÇKT sistemlerinde besin akışlarının ve verimliliklerinin daha iyi yönetilmesine ihtiyaç vardır (Bo vd., 2021).
- v. Bir diğer zorluk ise, kontrollü ortamlarda elde edilen sonuçların tarla ortamlarına aktarılması ve ekstrapolasyonundaki belirsizliktir; bu da ÇKT fenotipleme yaklaşımlarının uygulanabilirliğini sınırlamaktadır (Charlebois vd., 2021).
- vi. ÇKT sistemleri zararlıların, bakterilerin ve hastalıkların çoğalması ve verimliliğin düşmesi gibi bozulmalara eğilimli olabilir (Niu ve Masabni, 2018).
- vii. ÇKT sistemleri için ilk kurulum maliyetleri, özellikle kapalı alanda dikey tarım gibi yüksek teknolojiye yaklaşımlar için pahalı olabilir (Ragaveena, Edward, vd., 2021).
- viii. ÇKT sistemleri tarafından üretilen biyolojik atıkların yönetimi zor olabilir. Çevresel etkiyi en aza indirmek ve kaynak verimliliğini en üst düzeye çıkarmak

için mahsul artıklarının ve yetiştirme substratlarının uygun şekilde bertaraf edilmesi ve geri dönüştürülmesi gereklidir (Niu ve Masabni, 2018).

2.3. Çevre Kontrollü Tarım ve Karar Destek Sistemleri

Çevre kontrollü tarımda karar destek sistemleri konusuna girmeden önce karar verme süreci ile ilgili kavramlara değinilecektir.

2.3.1. Karar Verme Süreci

Karar verme süreçleri, geçmiş deneyimlerden ve mevcut durumlardan etkilenecek kararların nasıl alınacağına rehberlik eden bir dizi adımı içerir (Antonik, 2007; Nutt, 2008). Bu süreçler yapılandırılmış ve rasyonel olabileceği gibi geçmiş, şimdiki ve gelecekteki kararları dikkate alan bir karar yönetimi şeması oluşturacak şekilde daha doğal da olabilir (Walker, 2004). Karar verme süreçlerinin başarısı aciliyet, önem, kaynaklar ve karar vericinin seviyesi gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir ve bazı süreçler diğerlerinden daha başarılı olabilir (Jack, 2022).

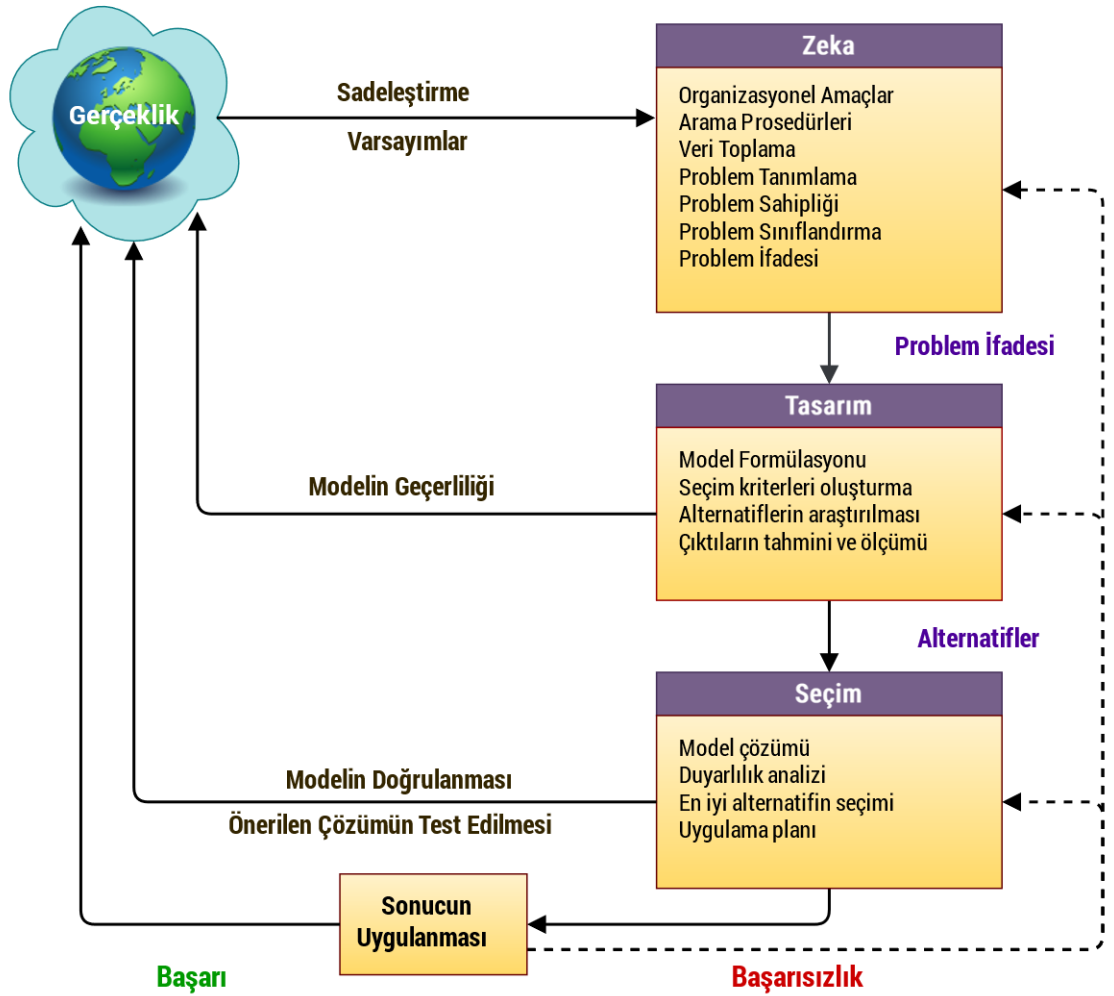
Türk Dil Kurumu karar vermeyi, “Bir sorunu karara bağlamak, kararlaştırmak” olarak ifade etmiştir (Türk Dil Kurumu, b.t). Karar verme, bir dizi kriter, tercih ve mevcut bilgiye dayalı olarak bir hareket tarzı seçme veya alternatif seçenekler arasından seçim yapma sürecidir (Eastman vd., 2023). İnsan davranışının temel bir yönüdür ve kişisel, profesyonel ve kurumsal ortamlar da dahil olmak üzere çeşitli bağlamlarda uygulanabilir. Karar verme süreci, sorunun veya fırsatın tanımlanmasıyla başlar ve karar vericiler, bilgi toplama ve alternatiflerin belirlenmesi adımlarını takip eder. Bu adımlar, farklı çözüm seçeneklerini keşfetmek ve değerlendirmek için kullanılır. Değerlendirme sonucunda en uygun seçenek seçilir ve karar verilir. Kararın uygulanması ve sonuçların izlenmesi ve değerlendirilmesi süreçle ilgili diğer adımlardır. Karar verme süreci, çeşitli faktörlerden etkilenebilir ve farklı modeller ve teoriler kullanılarak daha etkili bir şekilde yönetilebilir. Bu süreçte, bireylerin deneyim, öğrenme ve düşünme yoluyla becerilerini geliştirmesi önemlidir. Kurumsal ortamlarda, çeşitli karar alma teknikleri ve iş birliği temelli yaklaşımlar kullanılabilir. Etkili karar alma, zamanla geliştirilen bir beceri olarak kabul edilir ve bazı kararlar hızlıca alınabilirken, stratejik bazı kararlar ise dikkatli bir değerlendirme gerektirir.

Karar verme süreci, kavramsal olarak Şekil 13 ile açıklanabilir. Bu süreç, zekâ aşamasından tasarım ve seçim aşamasına doğru sürekli bir akış içerir, ancak herhangi bir

aşamada geri dönüş olabilir. Modelleme, bu sürecin önemli bir parçasıdır ve geri bildirim döngüleriyle açıklanabilir. Karar verme süreci, zekâ aşamasıyla başlar, karar verici gerçekliği inceler, sorunu tanımlar ve problem sahipliği oluşturur. Tasarım aşamasında, sistemi temsil eden bir model oluşturulur. Model, gerçekliği basitleştirir ve değişkenler arasındaki ilişkileri açıklar. Model doğrulanır ve alternatif eylem yollarının değerlendirilmesi için kriterler belirlenir. Seçim aşamasında, modele önerilen bir çözüm seçilir ve uygulanabilirliği test edilir. Son aşama ise kararın uygulanmasıdır. Başarılı uygulama gerçek sorunu çözerken, başarısızlık durumunda geri dönüş yapılabilir. Simon'un dört aşamalı modelinin bir takipçisi olan bu süreç, birçok diğer karar verme durumlarıyla benzerlikler gösterir (Sharda vd., 2020).

Şekil 13

Karar Verme Sürecinin Aşamaları



Kaynak: R. Sharda vd., (2020)

Literatürde karar verme süreci ile ilgili bazı tanımlamalar yapılmıştır.

Karar verme mevcut gerçeklere, yönetimin objektif değerlendirmelerine, durum değerlendirilmesine, deneyime ve genel görüşlere dayanmalıdır (Asmariyani ve Sain, 2022).

Karar verme, amaca yönelik insan faaliyetleriyle doğrudan bağlantılıdır ve kişisel olarak ya da otomatik veya otomatikleştirilmiş sistemler kullanılarak yapılabilir. Karar verme aşamaları veri, bilgi, tecrübe, karar verme ve kararın uygulanmasını içerir. Kişilerin biçimlendirilmemiş bilgisi, karar verme sürecini geliştirmek için endüstri veya devlet gibi büyük sistemlerde verilerin işlenmesinden elde edilen bilgileri tamamlayabilir (Morozov, 2022) (H. O. K. Ahmed, 2022).

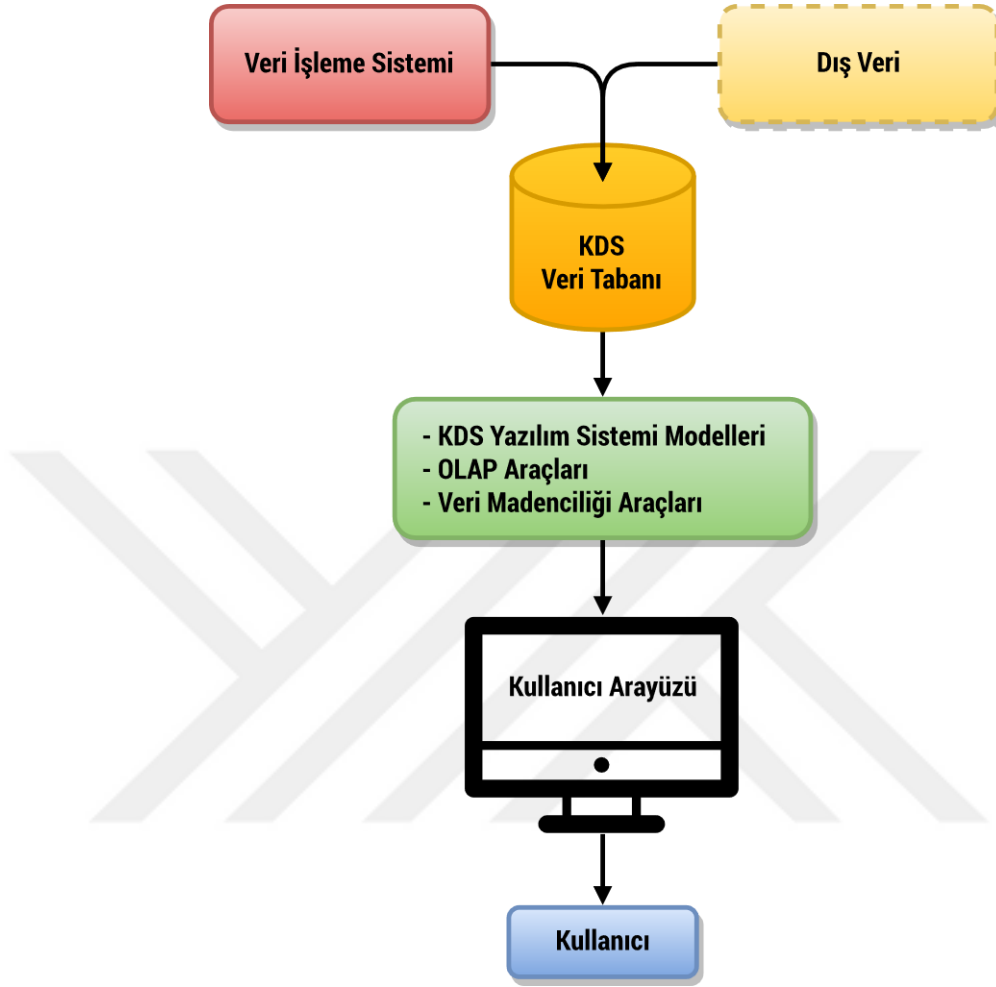
Karar verme sistemleri ise, en iyi seçimi yapmak için işlenmiş bilgileri yorumlayan bilgisayar tabanlı sistemlerdir. Her biri farklı sonuçlara yol açan olası faaliyetler arasından bir eylem veya değer seçerler. Karar tekniklerinin seçimi, uygulamanın türüne ve mevcut verilerin kalitesine bağlıdır (Nasserddine ve Arid, 2022) .

2.3.1.1. Karar Destek Sistemleri

Karar destek sistemleri, kişilerin karar vermesini desteklemek için bağlamsal bilgi sağlayan bilgisayar tabanlı bilgi sistemleridir. KDS, iş, politika, eğitim, tıp, tüketici davranışı, askeri, çevre politikaları ve tahmin gibi çeşitli alanlarda geniş bir uygulama alanına sahiptir. Stratejik planlama, yönetim kontrolü, envanter kontrolü, tüketici davranışı değerlendirmesi, çizelgeleme, güvenlik, planlama, risk değerlendirmesi, politik analiz, sosyal çıkarımlar, eğitim programları geliştirme, tıbbi uygulamalar, askeri kararların değerlendirilmesi, çevre politikalarının değerlendirilmesi, talep tahmini, stok tahmini ve güç sistemi yüklerinin anlaşılmasında karar vericilere yardımcı olurlar (Bihl vd., 2014). Karar destek sistemleri, Şekil 14'te gösterildiği gibi üç ana bileşenden oluşur: veri tabanı, model ve kullanıcı arayüzü. Veri tabanı, karar verme sürecinde kullanılan ilgili veri ve bilgileri depolar (Bihl vd., 2022) . Model, verileri işleyen, sezgi ve öneriler üreten KDS'nin analitik bileşenidir (Riksen vd., 2022). Kullanıcı arayüzü, kullanıcıların sistemle etkileşime girmesine ve model tarafından sağlanan bilgi ve analizlere erişmesine olanak tanıyan KDS'nin görsel temsilidir (Fernando ve Baldelovar, 2022). Özellikle yarı yapılandırılmış ve yapılandırılmamış problemler için karar vermeyi desteklemek üzere verileri bilgiye dönüştürürler (Chakrabarti ve Mittal, 2023).

Şekil 14

Karar Destek Sisteminin Bileşenleri



Kaynak: K. C. Laudon ve J. P. Laudon, (2013)

KDS çeşitli bilgi kaynaklarını bütünleştirir, ilgili bilgiye erişim sağlar ve kararların yapılandırılmasına yardımcı olurlar. KDS karmaşık sorunları ele almak için yapay zekâ yöntemlerini de kullanabilir. Karar verme araçlarının doğru şekilde uygulanması; üretkenliği, verimliliği ve etkinliği artırarak işletmelere rekabet avantajı sağlar. KDS kavramı 1970'lerin başında ortaya çıkmış ve o zamandan beri insan muhakemesini bilgisayar teknolojisiyle birleştirerek karar vericilerin özgür iradelerine müdahale etmeden etkinliklerini artıracak şekilde geliştirilmiştir (Kulkarni vd., 2013; Toda, 1995).

2.3.1.2. Karar Destek Sistemleri Yöntem ve Teknolojiler

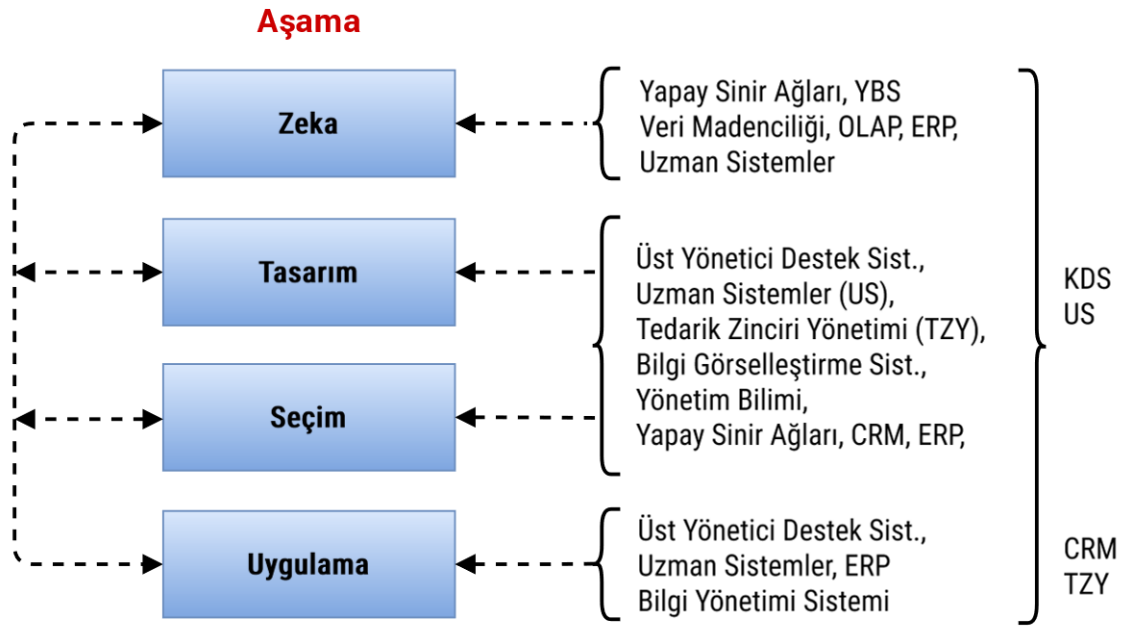
Karar destek sistemleri, bilinçli kararlar alınmasına yardımcı olmak için çeşitli yöntem ve teknolojilerin kullanılmasını içerir. Karar verme sürecindeki aşamalarda kullanılan karar destek sistemi yöntem ve teknolojileri Şekil 15'te gösterilmektedir.

Yapay sinir ağları, acil cerrahi, kardiyoloji, endüstriyel yönetim ve hidroloji dahil olmak üzere çeşitli alanlarda karar destek sistemlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu yapay zekâ sistemleri, doğru tahminler, teşhisler ve sınıflandırmalar sağlamak için verilerden örüntüler öğrenir (Litvin vd., 2021).

Karar destek sistemlerinde veri madenciliği, pazarlama tahminleri için verilerin analiz edilmesine yardımcı olur, karar verme süreçlerinin bilimsel ve rasyonel yönlerini geliştirir, sonuçta sistem verimliliğini ve kullanıcı desteğini artırır (R. Hu vd., 2023).

Şekil 15

Karar Verme Sürecindeki Aşamalarda Kullanılan Karar Destek Sistemleri Yöntem ve Teknolojileri



Kaynak: R. Sharda vd., (2020)

Uzman sistemler (US) ise, insan karar verme süreçlerini taklit etmek için tasarlanmış önemli bir yapay zekâ dalıdır (Abu-Nasser, 2017; H. Tan, 2017). Bu sistemler sağlık, bilim, mühendislik, iş ve hava tahmini gibi çeşitli alanlardaki karmaşık problemleri çözmek için uzman kişilerin bilgisini kullanır (Hingole, 2015). Uzman sistemler bilgi tabanı, çıkarım motoru, kullanıcı arayüzü ve açıklama sistemi gibi bileşenlerden oluşur

ve hepsi sezgisel ve gerçek bilgilere dayalı bilinçli kararlar vermek için birlikte çalışır (Sayed, 2021).

Üst Yönetici Destek Sistemleri (ÜYDS), üst yönetime stratejik kararları etkin bir şekilde alabilmeleri için gerekli araçları sağlayarak KDS içerisinde önemli bir rol oynamaktadır. ÜYDS, (Zaslavskaya, 2022) tarafından vurgulandığı gibi, yöneticiler tarafından risk yönetimi, yatırım planları ve uzun vadeli stratejiler gibi karar alma süreçlerini desteklemek için kullanılmaktadır. Bu sistemler, hızlı makine öğrenmesi algoritmalarından ve büyük veriden yararlanarak yöneticiler için değerli bilgiler çıkarmakta, fırsatları tahmin etmeye, riskleri yönetmeye ve genel karar alma yeteneklerini geliştirmeye yardımcı olmaktadır. Ek olarak, (Silahtaroglu, 2017) çalışmasında tartışıldığı gibi, ÜYDS'nin KDS ile entegrasyonu, kuruluşların kurumsal verileri toplamasına, depolamasına, bunlara erişmesine ve analiz etmesine olanak tanıyarak yönetim ve planlama düzeylerinde bilinçli karar verme olanağı sağlar. Bu nedenle, ÜYDS, yöneticilere stratejik girişimleri etkin bir şekilde yönlendirmek için kapsamlı içgörüler ve analizler sağlayarak karar verme sürecini geliştirir.

Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY), çeşitli sektörlerde etkin karar alma süreçlerine yardımcı olarak karar destek sistemlerinde önemli faydalar sağlamaktadır. Karar destek sistemleri afet müdahale ve kurtarma, katı atık yönetimi, endüstriyel hizmet sunumu, elektronik ticaret ve kaynak ve envanter yönetiminde kritik katkılar sağlamaktadır (Rolland vd., 2010). Bu sistemler, görev atama, atık yönetimi stratejisi belirleme, endüstriyel dönüşüm, akıllı karar verme ve envanter yönetimi gibi görevlerde yer alan karmaşıklık, belirsizlik ve operasyonel kısıtlamalarla başa çıkmaya yardımcı olur (Harrison vd., 2001).

Karar destek sistemlerindeki veri görselleştirme sistemleri, etkileşimli görsel temsiller sağlayarak, büyük veri kümelerinin anlaşılmasına yardımcı olur ve karar vericiler için veri analizi ile doğrudan etkileşim sağlayarak bilişselliği geliştirir (Alves vd., 2020).

Karar destek sistemleri, tarım da dahil olmak üzere çeşitli alanlarda karar kalitesini, hızını ve etkinliğini artırmayı amaçlayan gelişmiş karar verme için uzman bilgisi, simülasyon modelleri ve veri tabanları sağlamak için yönetim bilimini kullanır (Bruen, 2005).

Karar destek sistemleri, analizi hızlandırmak, öznelliği azaltmak ve insan faktörlerinden etkilenmeyen nesnel kararlar almak için bilgi yönetim sistemlerini kullanır ve işletmelerde kararların etkili bir şekilde alınmasına yardımcı olur (Zaslavskaya, 2022).

2.3.1.3. Yönetim Bilişim Sistemleri ve Karar Destek Sistemleri

Yönetim Bilişim Sistemleri (YBS) ve Karar Destek Sistemleri (KDS), işletmelerde karar verme sürecinde önemli görevlere sahip iki bilgi sistemi türüdür. YBS bir işletmeyi yönetmek için gerekli bilgileri sağlarken, KDS rutin olmayan durumlarda karar vermeyi desteklemek için veri, model ve analiz araçları sunar. Hem YBS hem de KDS'nin yöneticilerin karar verme süreci ile anlamlı bir ilişkisi vardır ve rasyonel karar vermenin bu etkiyi açıklayan aracı değişken olduğu anlaşılmaktadır (Bhandari, 2023). YBS için uygulamada başarı faktörleri, proje yönetimi, organizasyonel fizibilite ve bilgi teknolojisi kaynaklarını içerirken, YBS ve KDS için bu faktörler sistem, organizasyon, teknik fizibilite ve kullanıcılar, ekip, sistem ve organizasyon arasındaki uyumdur (Ali, 2019).

Karar Destek Sistemleri, belirli sorunların çözümünde yöneticilerin davranışlarını modellemeye odaklanmaları bakımından YBS'den farklıdır. KDS, verilerin sunumu ve analizi yoluyla kişilerin karar vermesini kolaylaştıran ve erişebildikleri ancak her zaman kullanmadıkları ek veri ve bilgileri kullanarak kararlarını iyileştirmelerine olanak tanıyan bilgi sistemleridir. KDS çalışmaları liderlerin stratejik planlarını geliştirmelerini ve karar almalarını sağlar ve büyük veriyi anlamlandırmak için giderek daha fazla kullanılmaktadır (Sultanov vd., 2023).

2.3.1.4. Karar Destek Sistemlerindeki Zorluklar ve Sorunlar

(Hertweck vd., 2018) ifade ettiğine göre, KDS'nin kısıtlarından biri, afet yönetimi uygulamalarında tekil tehlike durumlarıyla sınırlı olmalarıdır. Bu sınırlama, KDS'lerin karmaşık ve çok yönlü krizleri veya afetleri etkili bir şekilde ele alma becerisini engellemektedir. Bu nedenle, KDS'ler belirli tehlikeler için karar vermede değerli destek sağlayabilirken, birden fazla eşzamanlı veya birbiriyle ilişkili tehlikeyi içeren senaryolarda etkinlikleri sınırlı olabilir.

(Panferov vd., 2011) tarafından ele alınan araştırmaya göre, karar destek sistemlerinin önemli bir sınırlaması, çok sayıda ekonomik ve ekolojik meseleyi aşırı karmaşık hale gelmeden ve aynı zamanda kullanıcılar için anlaşılabilir kılarak ele alma zorluğudur. Bu sınırlama, KDS'lerin, yapay zekâ ve bilgisayar bilimleri gibi çeşitli alanlarda etkili bir şekilde uygulanması ve kapsamlı olarak kullanılabilir olmasının zorluğunu vurgulamaktadır.

Karar destek sistemlerinin sınırlamaları genellikle geçici karar verme süreçlerine atfedilmekte, bu da program gecikmelerine ve sistem kalitesinin düşmesine neden olmaktadır (Khan vd., 2020). Bu çalışma, öncelikle insanlar ve robotlar arasındaki etkileşim modeline odaklanırken, dolaylı olarak sistemler içindeki karar verme süreçlerindeki zorlukları ortaya koymakta ve karar desteğine yönelik daha yapılandırılmış ve bilinçli yaklaşımlara duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır.

KDS'deki diğer kısıtlamalardan bazıları, klinik ve teknolojik unsurlar arasındaki entegrasyon eksikliğidir; bu da parçalı uygulamaya ve birlikte çalışabilirlik eksikliğine yol açmaktadır (Laka vd., 2022).

(Bouali vd., 2022) tarafından yapılan çalışmada, tarımsal karar destek sistemlerinin önemli bir sınırlaması olarak küçük ve orta ölçekli çiftçiler tarafından benimsenmesini engelleyen zorluğun yüksek maliyetler olduğu ifade edilmektedir. Bu sınırlama, karar destek sistemlerinin satın alınabilirliği ve erişilebilirliğinin özellikle küçük ölçekli çiftçiler için önemli bir kısıt olmasının yanında bu durum tarım sektöründe karşılaşılan diğer zorluklarla da örtüşmektedir. Araştırmadaki bulgular, özellikle ekonomik fizibilite ve benimseme engelleri açısından tarımsal karar destek sistemlerinin sınırlılıklarının anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır.

Tarımsal karar destek sistemlerinin (AgriDSS) sınırlılıkları genellikle karmaşık tarımsal karar verme süreçlerini aşırı basitleştirme potansiyelleri ve dinamik tarımsal ortamlarda geçerliliklerini korumak için sürekli bakım ve güncelleme ihtiyacı ile ilişkilendirilmektedir. Ayrıca, AgriDSS'nin etkinliği, çeşitli veri kaynaklarını entegre etme, tarımsal uygulamalardaki belirsizlikleri yönetme ve tarımsal karar verme sürecinin çok boyutlu doğasını ele alma zorluklarıyla sınırlı olabilir. Bu sınırlamalar, tarımsal alanda karar destek sistemlerinin karşılaştığı karmaşıklıkların ve kısıtlamaların altını çizmekte, kapsamlı ve yüksek kaliteli verilere duyulan ihtiyacın yanı sıra bu sistemlerin değişen tarımsal uygulamalara ve çevresel koşullara uyarlabilir olması gerektiğini vurgulamaktadır (Balan vd., 2020).

Tarımda karar destek sistemlerindeki diğer kısıtlamalardan bazıları ise, çiftçilerin yüksek maliyet, yetersiz bilgi, güven eksikliği ve siber güvenlik sorunları gibi endişelerden kaynaklanan şüphecilik, KDS'lerin benimsenme oranlarını düşürmektedir (Sridevy vd., 2023). Ayrıca, mevcut KDS'ler genellikle etkileşimden, belirsizlik görselleştirmelerinden ve son kullanıcı değerlendirmelerinden yoksundur, bu da esnekliklerini ve

kullanılabilirliklerini sınırlamaktadır (Htun vd., 2022). Çiftçilerin farklı beklentileri ve uygulamaları olduğundan, özellikle yabancı ot yönetiminde KDS işlevleri için doğru verileri yakalamak zor olabilir ve bu da KDS kullanımını teşvik etmeyi zorlaştırmaktadır (Adereti vd., 2023). Herbisit girdilerini azaltma ve çevre dostu uygulamaları teşvik etme potansiyeline rağmen, KDS'lerin kapsamlı yabancı ot yönetimi taktikleri sağlayacak şekilde gelişmesi ve çiftçilere optimum destek için birden fazla faktörü dikkate alması gerekmektedir (Riksen vd., 2022).

2.3.1.5. Karar Destek Sistemlerinin Geliştirme ve Kullanımında Etik Konular

Karar destek sistemlerinde etik, çeşitli alanlarda araştırılan önemli bir konudur. Etik, özellikle otonom makineler ve yapay zekâ güdümlü sistemler bağlamında çok önemli bir husustur. Bu sistemlerin, insani değerler ve güvenlik kısıtlamaları ile uyumlu ahlaki değerleri ve etik ilkeleri takip etmesi gerekir. Bu, insanların bu makinelere güvenmesi ve kabul etmesinin yanı sıra makinelerin eylemlerini belirlemesi ve davranışlarını insanlar için anlaşılabilir terimlerle açıklaması için önemlidir (Greene vd., 2016).

Karar destek sistemlerindeki etik hususlar, kişisel verileri kullanan etik kararların doğrulanmasını kapsayacak şekilde Avrupa Birliği Genel Veri Koruma Tüzüğü (General Data Protection Regulation-GDPR) uyumluluğunun ötesine geçmektedir. Bu, geliştiricilerin ve operatörlerin yalnızca veri koruma düzenlemelerine uymakla kalmayıp, aynı zamanda yapay zekâ sistemlerinde etik standartları belirleme ve doğrulama gerekliliğini de vurgulamaktadır (Stefan ve Căruțașu, 2021).

Yapay zekanın karar destek sistemlerinde kullanımında etik standartlar oluşturmak ve uygulamak için politika yapıcılar, geliştiriciler ve araştırmacılar arasında iş birliğine dayalı çabalara acil ihtiyaç vardır. Bu iş birliği, özellikle karar destek sistemlerinde yapay zekanın geliştirilmesi ve kullanımını çevreleyen etik hususları ele almak için gereklidir (Huriye, 2023).

Yapay zekâ karar destek sistemleri, iş, hesap verebilirlik ve psikoloji ile ilgili konular da dahil olmak üzere etik risk faktörlerini ve mekanizmalarını ortaya çıkarabilir. Bu sistemler, yapay zekâ ve karar destek sistemlerinin kesişiminde ortaya çıkan etik karmaşıklıkları vurgulayarak algısal ayrımcılığa, veri önyargısına ve net hesap verebilirlik oluşturmada zorluklara yol açabilir (Guan vd., 2022).

(Nussbaumer vd., 2021a) tarafından yapılan çalışma, acil durum yönetimi için karar destek sistemlerinde tasarım yoluyla etik çerçevesinin uygulanmasını tartışmaktadır. Odak noktası acil durum yönetimi olmakla birlikte, tasarım yoluyla etik kavramı tarım gibi diğer alanlardaki karar destek sistemlerine de genişletilebilir. Bu yaklaşım, etik hususların karar destek sistemlerinin tasarım ve uygulamasına proaktif bir şekilde entegre edilmesini vurgulamakta olup, bu sistemlerin karar verme süreçlerinde etik standartlara uymalarını sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır.

(Lee vd., 2013) ifade ettiğine göre tarımda IoT tabanlı karar destek sistemlerinin kullanılmasının potansiyel etik sonuçlarını vurgulamaktadır. Bu sistemler, çiftçilerin tohumlama ve satış da dahil olmak üzere tüm üretim döngüsünü gözlemlemelerini sağlayarak tarımsal ürünlerin kalitesinin artırılmasına katkıda bulunabilir. Bu, tarım sektöründe tüketici sağlığı ve güvenliği için gerekli olan yüksek ürün kalitesinin sağlanmasına ilişkin etik hususları vurgulamaktadır.

2.3.1.6. Karar Destek Sistemleri Gelecek Çalışmaları ve Yönelimler

Karar destek sistemlerinin gelecekteki eğilimleri, yapay zekâ yeteneklerinin entegrasyonunu (Gonzalez, 2023), gelişmiş risk analizi süreçlerini (S. Gupta vd., 2021) ve tarımsal peyzaj yönetimi için gelişmiş bilgi araçlarının geliştirilmesini (Taraglio vd., 2019) içermektedir. Bu eğilimler, tahmin yetenekleri için yapay zekâyı dahil ederek, risk analizinin tüm aşamalarını destekleyerek ve araç geliştirmede paydaş katılımını artırarak karar verme süreçlerini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Buna ek olarak, su yönetiminde KDS uygulaması, kalibrasyon, doğrulama ve yeni nesil KDS'lerin geliştirilmesine imkân vermektedir (Zasada vd., 2017) . KDS'nin geleceği, yapay zekadan yararlanma, risk analizini geliştirme, kullanıcı katılımını artırma ve çeşitli alanlardaki karar vericilerin değişen ihtiyaçlarını karşılamak için teknolojik yetenekleri geliştirmede yatmaktadır.

Karar destek sistemlerinde gelecekteki çalışmalar aynı zamanda, karar verme süreçlerini geliştirmek için yapay zekâ yeteneklerinin yöneylem araştırmasına entegrasyonunu da içermektedir (Gonzalez, 2023). Bu entegrasyonlar, büyük veri setlerini kullanabilen, tahmin ve öğrenme yeteneklerini birleştirebilen ve karar verme çerçevelerini optimize edebilen KDS'nin geliştirilmesini içerir (S. Gupta vd., 2021). Sel tahmini alanında, sınır ağları ve makine öğrenmesi algoritmalarının kullanımı, su seviyesi tahminlerinin doğruluğunu artırarak daha iyi ön hazırlık ve sel önleme tedbirlerinin alınmasını sağlayabilir (Svertoka vd., 2020).

(Amadi vd., 2023), sel yönetimi için bir KDS tasarlayıp uygulayarak bunu örneklendirmekte ve acil durumların etkili bir şekilde ele alınması için entegre veri tabanları ve iletişim destek sistemlerine duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır. Bu çalışmada, doğal afetler ve acil durumlar gibi karmaşık ve kritik senaryoların yönetilmesinde otomasyonun, entegre veri tabanlarının ve iletişim ortamlarının önemini vurgulayarak karar destek sistemlerinin gelecekteki eğilimine işaret etmektedir.

(Z. Yang, 2023) bildirdiğine göre, karar destek sistemlerinin gelecekteki eğilimi yapay zekaya dayalı akıllı karar destek sistemlerinin (Intelligence Decision Support Systems - IDSS) geliştirilmesidir. Makale, IDSS'nin destek çerçevesini, bileşimini ve kısmi uygulamasını tartışmakta ve işletmelerin akıllı karar destek sistemleri oluşturma potansiyelini vurgulamaktadır.

(A. Ahmad vd., 2021) tarafından yayınlanan makalede, tarımsal sistem modellemesindeki eğilimler ve "yeni nesil" modellere ve karar destek sistemlerine duyulan ihtiyaç tartışılmaktadır. Karar destek sistemlerinin geliştirilmesi için çok önemli olan tarımsal sistemler biliminin ilerletilmesinde disiplinler arası araştırmaların ve kamu-özel sektör ortaklıklarının önemini vurgulamaktadır. Adı geçen çalışma, tarımsal sistem modellemesinin tarihsel bağlantısını ve kavramsal metodolojilerini vurgulayarak, tarım sektöründeki karar destek sistemlerinin gelecekteki eğilimleri hakkında fikir vermektedir.

Tarımda yabancı ot yönetimi için, KDS'ler herbisit bağımlılığını azaltmaya, doğru yabancı ot ve tohum bankaları verilerini yakalamaya ve toprak ve iklim koşullarına dayalı yönetim seçenekleri sunmaya odaklanmalıdır (Kanas vd., 2020). KDS'de geleceğe yönelik çalışma eğilimlerinden bir diğeri, disiplinler arası verilerin kullanımının artması ve zamansal ve mekânsal sonuçların entegrasyonu ve görselleştirilmesidir (Matthies vd., 2007).

Dikey tarım karar destek sistemlerindeki gelecek trendleri ise, hassas tarımı geliştirmek için yapay zekâ, makine öğrenmesi ve nesnelerin interneti gibi ileri teknolojilerden yararlanmayı içermektedir (Oliveira vd., 2021). Bu teknolojilerin entegrasyonu, kaynak kullanımını optimize etmeyi, mahsul verimini artırmayı ve araziye ve suya sınırlı erişim gibi zorlukların üstesinden gelmeyi amaçlamaktadır (Shasteen ve Kacira, 2023). Ayrıca, finansal risk değerlendirmesi yoluyla iş sürdürülebilirliğini değerlendirmek için kesin olmayan veri tekniklerini içeren karar destek sistemlerinin kullanılması, dikey tarım girişimlerinin karlılığı ve başarısı için çok önemlidir (Basar ve Tolga, 2020). Dikey tarım

sektörü geliştikçe, yatırımcıların ve politika yapıcılarının taleplerini karşılamak için bilgi aktarımı, uyarlanabilir ekonomik analiz ve riskle güçlendirilmiş iş planlamasına giderek daha fazla önem verilmektedir (Siregar vd., 2022). Bu gelişmeler, dikey tarım sektöründeki standardizasyon, çevresel sürdürülebilirlik ve kârlılık gibi temel zorlukların üstesinden gelmek için gereklidir (Uztürk ve Büyüközkan, 2023).

2.3.2. Tarımda Karar Destek Sistemlerinin Kullanımı

Tarımda karar destek sistemleri, çiftçilere tarımın çeşitli yönleriyle ilgili bilinçli kararlar almalarında yardımcı olan araçlardır. Bu sistemler birincil verimlilik, besin döngüsü, su arıtma, iklim düzenleme, karbon tutma, toprak biyoçeşitliliği ve habitat sağlama gibi toprak işlevlerini optimize etmeye yardımcı olabilir (Debeljak vd., 2019). KDS ayrıca otomatik sulama planlaması, su tasarrufu ve açık sulama stratejilerinin yönetilmesi için de kullanılabilir (Torres-Sánchez vd., 2020). Yabancı ot yönetiminde KDS, uygun herbisitlerin seçilmesine yardımcı olabilir ve optimum yabancı ot kontrolü için minimum doz oranlarını önererek çevre dostu ve kârlı stratejilerin önünü açabilir (Kanas vd., 2020). KDS aynı zamanda, mahsul verimi, nem yönetimi, kalite optimizasyonu ve maliyet analizi gibi faktörleri göz önünde bulundurarak farklı tahıl hasadı ve dağıtım stratejilerini karşılaştırmada çiftçilere destek olabilir (Mardaneh vd., 2021). Başka bir çalışmada KDS, pestisit kullanımını azaltmak ve belirli alanları etkili bir şekilde tedavi etmek için zararlı izleme ve hassas hedefleme yaklaşımlarını birleştirerek zararlı yönetimi için kullanılabilir (Sciarretta vd., 2019). Diğer bir KDS örneğinde ise, hangi çiftçi gruplarının gübre yardımını hak ettiğinin belirlenmesinde karar vericilere yardımcı olmak için Çok Faktörlü Değerlendirme Süreci (MFEP) yöntemini kullanmaktadır (Zainurin vd., 2023). Başka bir çalışmada, tarıma yönelik bir su kalitesi izleme sistemi, çiftçilerin sulanan suyun kalitesini izlemelerine ve mahsul hastalıklarını önlemelerine yardımcı olmak için algılama teknolojisini akıllı bir karar destek yöntemiyle bütünleştirmektedir (Riksen vd., 2022). Bitkisel üretim yönetimi için bir KDS, tahmin modelleri ve ürün çeşitleri, böcek ilaçları ve gübre veri tabanlarını kullanarak tarım sezonu boyunca kılavuzlar ve öneriler sağlar (Oliveira vd., 2022). Genel olarak tarımın birçok alanında KDS sistemleri yaygın bir şekilde kullanılmakla birlikte çevre kontrollü tarımda karar destek sistemlerinin kullanımı daha önemli hale gelmektedir.

2.3.3. Çevre Kontrollü Tarımda Karar Destek Sistemlerinin Kullanımı

Çevre kontrollü tarımda, karar destek sistemi uygulamaları son araştırmalarda incelenmiştir. KDS, çevre kontrollü tarımda kaynak verimliliğini, atık ve hasere kontrolünü ve mikro iklimlerin düzenlenmesini iyileştirmek için faydalı olabilir. Ziraî ilaçların ve gübrelerin akıllıca uygulanması için veriye dayalı KDS'nin uygulanabilirliği, uygulama noktalarında israfı en aza indirmek için akıllı sistemlerin yaygın olarak kullanıldığı Avrupa'da gösterilmiştir. Yapay sinir ağları ve bulanık mantık sistemleri gibi makine öğrenmesi tekniklerinin kullanımı, mahsulün ilgili parametrelerini tahmin ederek ve toprak ve iklim değişkenlerini de sisteme dahil ederek otomatik sulama KDS'nin oluşturulmasına yardımcı olabilir (Maraveas vd., 2022).

Çevre kontrollü tarımda, karar destek sistemi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu alanlardan biri, uydular, yer izleme istasyonları ve sensörler gibi uzaktan veri toplama ekipmanlarından gelen gerçek zamanlı verilerin izlenmesi ve analiz edilmesidir. Bu veriler daha sonra önerilerde bulunmak üzere tarımsal modeller oluşturmak için kullanılır (Michael vd., 2018). Diğer bir alan ise uzman bilgisi ve harici bilgilere dayalı olarak tarımda ürün seçimi, kontrol, izleme, teşhis ve zararlıların önlenmesi gibi süreçleri otomatikleştirmek ve iyileştirmek için bilgi ve iletişim teknolojilerinin (BİT) kullanılmasıdır (Lagos-Ortiz vd., 2019). Tarım sektöründeki sürdürülebilir uygulamalar, paydaşlara teknik ve düzenleyici çevresel uygulamalar için stratejik bilgi ve öneriler sağlayan web tabanlı sistemler tarafından desteklenmektedir (Feijó vd., 2021). Mahsul modellemesi ve mahsul üretimini planlamak ve yönetmek, araştırma önceliklerini tanımlamak ve toprak-bitki-atmosfer sistemindeki etkileşimleri anlamak için kullanılmıştır (Singh ve Sharma, 2013). Çevre kontrollü tarımda, yabancı ot bilimi, tohum ve fide tanıma, herbisit seçimi ve yönetim stratejilerinin ekonomik değerlendirmesi gibi görevler için KDS'yi kullanmaktadır (Bruen, 2005). Ayrıca, KDS'ler hassas tarım alanında da kullanılmaktadır. Bu sistemler, birim alan başına üretimi en üst düzeye çıkarmak için büyük veri analitiği, robotik, yapay zekâ (AI) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi gelişmiş teknolojileri kullanmaktadır (Dutta vd., 2014).

2.3.3.1. Süs Bitkiciliği ve Karar Destek Sistemi Uygulamaları

Tezin ana konusu olan çevre kontrollü tarımda süs bitkiciliği veya çiçekçilik karar destek sistemleri, çiçek yetiştirme uygulamalarını optimize etmek için ileri teknolojileri ve veri analitiğini kullanabilir. Bu sistemler çiçekçilik sektöründe üretkenliği, sürdürülebilirliği

ve karar alma süreçlerini geliştirmek için üreticilere katkı sağlayabilir. Çiçekçilik için özel olarak tasarlanmış karar destek sistemleri üretim süreçlerine entegre edilerek verimliliği ve karlılığı artırmak için yetiştiricilerin bilinçli kararlar almalarına yardımcı olabilir.

Çiçekçilikte karar destek sistemlerinin uygulanmasına örnek, sektörde sürdürülebilirliği teşvik etmek için hassas tekniklerin ve Tarım 4.0 teknolojilerinin kullanılmasıdır. Bu teknolojiler, kaynak yönetiminin optimize edilmesine, mahsul kalitesinin artırılmasına ve çiçek yetiştiriciliğinde genel verimliliğin artırılmasına yardımcı olmaktadır (Sott vd., 2020). Ayrıca, sürdürülebilir tarım sistemlerinin tasarlanmasında makine öğrenmesi ve yumuşak hesaplama metodolojilerinin kullanılmasının, çiçekçilik de dahil olmak üzere uzun vadeli kalkınmaya önemli ölçüde katkıda bulunduğu gösterilmiştir (Cadenas vd., 2023). Bu sistemler, kanıta dayalı karar vermeyi kolaylaştırarak tarımsal işletme verimliliğinin artırılmasına yardımcı olur (Duan vd., 2021). KDS çiçekçilik de dahil olmak üzere modern tarımda verimin artırılması için temel araçlar haline gelmektedir (Fenu ve Mallocci, 2020; Wajid vd., 2021).

Tarım Teknolojilerinde Karar Destek Sistemi (KDSAT) gibi tarımda karar destek sistemlerinin kullanımı, süs bitkiciliğinde kritik öneme sahip olan hassas besin, su, enerji ve haşere yönetimi uygulamalarını optimize etmede yetiştiricilere temel destek sağlar (McLennan vd., 2021). Ayrıca, kentsel tarımda karar destek sistemlerinin dijital ikiz teknolojisiyle entegrasyonu, bağımsız üreticiler arasındaki faaliyetleri koordine edebilir ve bu da süs bitkiciliği operasyonları için faydalı olabilir (Ghandar vd., 2021). KDS araçlarının bir parçası olarak dijital veri platformlarının küçük çiftçiler için karar destek sistemleri olarak kullanılması, çiçek yetiştiricileri için değerli görüş ve öneriler sunabilir. Bu platformlar, yetiştiricilerin gerçek zamanlı verilere erişmesini, bilinçli kararlar almasını ve operasyonlarında şeffaflığın artırımını sağlar (Borrero ve Mariscal, 2022).

Tarımda analitik çözümler ve karar desteği için akıllı çoklu sensör platformlarının kullanılması, çiçek yetiştirme uygulamalarının izlenmesi ve optimize edilmesi için kapsamlı çözümler sunabilir (Balan vd., 2020).

Süs bitkiciliğinde, karar destek sistemleri, çiçek yetiştirme uygulamalarını optimize etmek, verimliliği artırmak ve sürdürülebilirliği sağlamak için yararlı araçlardır. Bu sistemler, en son teknolojilerden ve veriye dayalı yaklaşımlardan yararlanarak yetiştiricilerin elini güçlendirecek kararlar almalarını sağlayabilir.

Çevre kontrollü tarımda kullanılan farklı karar destek sistemleri türleri şunlardır:

- i. Tahribatsız teknolojiler ile bitki büyümesini, verimini ve su tüketimini izlemek için yakın sensörlerin kullanımını ve mikro iklim değişikliklerine mahsul tepkisini tahmin etmek için matematiksel modellerin geliştirilmesi (Amitrano vd., 2020).
- ii. Verimi optimize etmek ve çevresel kayıpları en aza indirmek için agronomik önlemleri değerlendiren veri odaklı çerçeveler (Young vd., 2021).
- iii. Çevresel sistemlerde kontrol, denetim ve karar desteği için Vaka Tabanlı Akıl Yürütme (CBR) gibi veri odaklı teknikleri ve Kural Tabanlı Akıl Yürütme (RBR) gibi model odaklı teknikleri entegre eden Akıllı Karar Destek (IDS) metodolojileri (Pascual-Pañach vd., 2021).
- iv. Sürdürülebilir ve temiz gıda üretimi için akıllı seralara geçişi destekleyen, mikro iklim ortamlarını, enerji ve su tasarrufunu ve mahsul büyümesini optimize etmek için karar araçlarına sahip gelişmiş izleme sistemleri (Ragaveena, Shirley Edward, vd., 2021).

Çevre kontrollü tarımda farklı alanlardaki karar destek sistemlerine ait başarılı çalışmalar, projeler ve örnek vakalar Tablo 1 ila Tablo 6’da görülmektedir.

Tablo 1

Çevre Kontrollü Tarımda Farklı Alanlardaki KDS'lere Ait Başarılı Çalışmalar, Projeler ve Örnek Vakalar (1/6)

Yazar Adı - Çalışma Adı Yılı	Metotlar	Pratik Uygulamalar	Akademik Katkı
(Cárdenas Tamayo vd., 2010)	Kablosuz sensör ağlarına dayalı karar destek sistemleri ile daha iyi ürün yönetimi. Kablosuz sensör ağları kullanarak ekinleri izlemek için bir karar destek sisteminin tasarımı ve uygulanması. Zararlılar ve hastalıklar için teknoloji kabul modeli (TAM) ve bir tahmin modelinin deneysel değerlendirilmesi.	Kablosuz sensör ağları, tarımsal üretimi etkileyen çevresel unsurları doğru bir şekilde ölçebilir. Önerilen sistem, mahsul yönetiminde karar vermeyi desteklemek için değerli araçlar sağlar.	Ürün büyümesini, zararlıları ve hastalıkları tahmin etmek için esnek modellerin önerilmesi. Çevresel kalitenin ve kaynak yönetiminin iyileştirilmesi için kablosuz sensör ağlarının kullanımı.
(Animas vd., 2013)	Tahmin algoritması kullanan tarımsal yönetim için karar destek sistemi. Zaman serisi analizi. Veri madenciliği teknikleri.	Araştırma çiftçiler ve Tarım Bakanlığı için faydalı olabilir. Sistem, yağış ve buharlaşma eğiliminin belirlenmesine yardımcı olmaktadır.	Tarımsal yönetim için tahmin algoritması kullanan bir karar destek sisteminin geliştirilmesi. Üç aylık dönem başına öngörülen yağış miktarına göre ürünlerin sınıflandırılması.
(Rinaldi vd., 2014)	Tarımda Sulama Yönetimi için Karar Destek Sistemleri. Tarımda, özellikle de sulama uygulamalarında karar destek sistemlerinin (KDS) ilkelerini, tasarımını ve uygulamasını tartışmaktadır.	Tarımda KDS, birden fazla alternatifin incelenmesine ve süreçlerin daha iyi anlaşılmasına olanak tanır. Tarımda KDS iletişimi, maliyet etkinliğini ve veri ve kaynakların daha iyi kullanımını geliştirir.	Tarımda KDS'nin ilkelerini, tasarımını ve uygulamasını sunmaktadır. Makalede, sulama alanında ortaya çıkan yaklaşımları ve gelecekteki araştırma yönelimlerini tanımlamaktadır.

Tablo 2

Çevre Kontrollü Tarımda Farklı Alanlardaki KDS'lere Ait Başarılı Çalışmalar, Projeler ve Örnek Vakalar (2/6)

Yazar Adı - Yılı	Çalışma Adı	Metotlar	Pratik Uygulamalar	Akademik Katkı
(Torres-Sánchez vd., 2020)	Sulama Yönetimi için Bir Karar Destek Sistemi: Farklı Öğrenme Tekniklerinin Analizi ve Uygulanması.	Doğrusal regresyon (LR) Rastgele orman regresyonu (RFR) Destek vektör regresyonu (SVR)	Otomatik öğrenme sistemleri, verimli sulama planlama sistemleri geliştirmek için kullanılabilir. Doğrusal regresyon, rastgele orman regresyonu ve destek vektör regresyonu sulama karar destek sistemleri için geçerli yöntemlerdendir.	Otomatik sulama çizelgeleme sistemleri için öğrenme tekniklerinin incelenmesi. Öğrenme yöntemlerinin tarım uzmanı tarafından verilen kararlarla karşılaştırılması.
(Cosoli vd., 2022)	KDS fertirrigation sistemi: Bir İtalyan vaka çalışması.	Makine Öğrenmesi (ML) denetimli ve denetimsiz algoritmalar. Olasılıksal Sinir Ağı (PNN) modeli ve kümeleme k-Means algoritması.	Bu makale, tarımda fertirrigation için bir Karar Destek Sistemi (KDS) sunmaktadır. KDS, blok zinciri izlenebilirliği ve tarım planlaması için gelişmiş hizmetler içermektedir.	Fertirrigation süreci için bir Karar Destek Sisteminin (KDS) geliştirilmesi. Blockchain izlenebilirliği ve tarım planlaması için gelişmiş hizmetlerin entegrasyonu.
(Kanas vd., 2020)	Yabancı Otlara Özel Bir Vurgu ile Karar Destek Sistemlerinin (KDS) Faydaları ve Sınırlamaları.	Bu makale, yabancı ot yönetiminde karar destek sistemlerinin (KDS) faydalarını ve sınırlamalarını tartışmaktadır. KDS'nin herbisit girdilerini azaltma ve sürdürülebilir tarımı teşvik etme potansiyeli vurgulanmaktadır.	KDS'ler çiftçilere çevre dostu ve karlı yabancı ot yönetimi kararları vermelerinde destek olabilir. Çiftçilerin KDS'leri kullanırken farklı beklentileri ve zorlukları vardır.	KDS'ler çevre dostu ve karlı yabancı ot yönetim stratejileri oluşturma potansiyeline sahiptir.

Tablo 3

Çevre Kontrollü Tarımda Farklı Alanlardaki KDS'lere Ait Başarılı Çalışmalar, Projeler ve Örnek Vakalar (3/6)

Yazar Adı - Yılı	Çalışma Adı	Metotlar	Pratik Uygulamalar	Akademik Katkı
(Lázaro vd., 2021)	Karar destek sistemleri, hastalık riskini artırmadan takvime dayalı stratejilere kıyasla fungusit kullanımını yarıya indiriyor.	Literatür taraması ve seçim kriterleri kullanılarak ilgili çalışmalardan veri toplanması. Beta-binomial karışık etkili regresyon modelleme çerçevesi kullanılarak meta-analiz çalışması.	Karar destek sistemleri fungusit kullanımını %50 oranında azaltmaya yardımcı olabilir. Karar destek sistemleri kullanıldığında hastalık kontrolünden ödün verilmez.	Karar destek sistemleri, hastalık kontrolünden ödün vermeden fungusit uygulamalarını en az %50 oranında azaltabilir. Karar destek sistemleri, takvime dayalı stratejilere benzer koruma sağlar ancak %50 daha az fungusit kullanır.
(Sciarretta vd., 2019)	Akdeniz Meyve Sineği Ceratitis capitata'nın Çiftlik Düzeyinde Hassas Zararlı Yönetimi İçin Bir Karar Destek Sisteminin (KDS) Tanımlanması ve Değerlendirilmesi.	Çalışmada bir Karar Destek Sistemi (KDS) geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir. KDS, haşere izleme ve hassas hedefleme için üç algoritmadan oluşmaktadır.	Karar Destek Sistemi (KDS) pestisit uygulamalarının sayısını azaltmıştır. KDS destekli yönetim, istila edilmiş meyvelerde önemli farklılıklara yol açmamıştır.	Haşere yönetimi için bir Karar Destek Sisteminin (KDS) geliştirilmesi ve değerlendirilmesi Pestisit uygulamalarında, işlenen alanda ve pestisit kullanımında azalma sağlanması.
(Nestel vd., 2019)	Sera Bitkilerinde Etiyopya Meyve Sineğinin (EFF) Çevre Dostu Yönetimi için Entegre Bir Karar Destek Sistemi.	Her 15 günde bir pretroid insektisitlerle takvim-ilaçlama yönetimi (CSM). EFF kontrolü için bir karar destek sisteminin (KDS) geliştirilmesi ve uygulanması.	Bir karar destek sisteminin (KDS) kullanılması, kavun seralarında Etiyopya meyve sineğine (EFF) karşı pestisit kullanımını azaltabilir. Tarımda KDS'nin benimsenmesini artırmak için çiftçiler ve yöneticilerle etkileşim şarttır.	Sera ürünlerinde Etiyopya meyve sineğinin (EFF) yönetimi için bir karar destek sisteminin (KDS) geliştirilmesi. EFF'nin kontrolünde KDS'nin fizibilitesinin ve performansının değerlendirilmesi.

Tablo 4*Çevre Kontrollü Tarımda Farklı Alanlardaki KDS'lere Ait Başarılı Çalışmalar, Projeler ve Örnek Vakalar (4/6)*

Yazar Adı - Yılı	Çalışma Adı	Metotlar	Pratik Uygulamalar	Akademik Katkı
(Miranda vd., 2019)	Akdeniz Zeytin Bahçelerinde Zeytin Meyve Sineği, Bactrocera Oleae, Kontrolü için Karar Destek Sisteminin (KDS) Geliştirilmesi ve Uygulanması.	Yarı otomatik haşere takibine dayalı karar destek sistemi (KDS). Zeytin meyve sineği popülasyonunu izlemek için geçici şebeke dışı otonom elektronik tuzakların kullanımı.	Karar destek sistemi (KDS) kullanımı, kullanılan böcek ilacı miktarını geleneksel yöntemlere kıyasla %36,84 oranında azaltmıştır. Hassas tarım sistemleri, bitki zararlılarının izlenmesini iyileştirebilir ve sağlık, çevre ve hedeflenmeyen eklembacaklılar üzerindeki potansiyel etkiyi azaltabilir.	Zeytin meyve sineğinin yönetimi için bir karar destek sisteminin (KDS) geliştirilmesi. Böcek ilacı kullanımının azaltılması ve spreyleyin doğruluğunun ve hassasiyetinin artırılması.
(L. Tan vd., 2016)	Hassas Tarımda Bulut Tabanlı Karar Destek ve Otomasyon için Genişletilebilir Bir Yazılım Platformu.	Meta-model tabanlı veri toplama ve entegrasyon modülü geliştirilmesi. Karar modüllerinin anında yeniden yapılandırılmasını destekleyen uyarlanabilir yazılım mimarisi.	Hassas tarım için genişletilebilir bulut tabanlı bir yazılım platformu önerilmektedir. Platform, çeşitli verileri işlemek ve karar verme sürecini otomatikleştirmek için yeni bileşenleri entegre etmektedir.	Bulut tabanlı KDS tasarımıındaki zorlukları ele almak için 3 yeni bileşeni entegre etmiştir.
(Venkatalakshmi ve Devi, 2014)	Hassas tarım için karar destek sistemi.	Ürün yetiştiriciliği için bir Karar Destek Sistemi (KDS) tasarlanması. Simülasyon "Netica" adlı bir araç kullanılarak test edilmiştir.	Mahsul yetiştiriciliği için bir Karar Destek Sisteminin (KDS) geliştirilmesi. Mahsul büyümesinin iyileştirilmesi ve çiftçiler için daha yüksek verim.	Ürün yetiştiriciliği için bir Karar Destek Sistemi (KDS) tasarlanması. Her sezonda beklenen verim hakkında daha yüksek doğrulukta bilgi sağlanması.

Tablo 5*Çevre Kontrollü Tarımda Farklı Alanlardaki KDS'lere Ait Başarılı Çalışmalar, Projeler ve Örnek Vakalar (5/6)*

Yazar Adı - Yılı	Çalışma Adı	Metotlar	Pratik Uygulamalar	Akademik Katkı
(Fang vd., 2021)	Tarımsal Karar Verme Yöntemleri ve Sistemleri.	Tarımsal bilgi sistemleri, simülasyon modelleri ve uzman sistemler. Model kombinasyonu ve çoklu şema karşılaştırması.	Tarımsal karar verme destek sistemlerinin geliştirilmesi. Tarımsal üretimde karar verme sürecinin iyileştirilmesi.	Üretim için tarımsal karar verme sürecindeki temel sorunların analizi. Her üretim aşamasında tipik tarımsal karar verme destek sistemlerinin tanıtılması.
(Yoon ve Nam, 2023)	Makine Öğrenmesi Tabanlı Bitki Büyüklüğü Tahmincisi Kullanarak Tam Otomatik Kontrollü Ortam Tarımı.	Bir bitki yaşam döngüsü regresyon modülü ve bir cihaz kontrol modülü önermektedir. Önerilen sistem, tam otomatik kontrol için bilgisayar görüşü tabanlı bir algoritma kullanmaktadır.	Önerilen sistem, tarım için tam otomatik kontrollü ortamlar sağlamaktadır. Sistem, fotosentez için gerekli faktörleri bitki yaşam döngüsüne göre ayarlar.	Makine öğrenmesi kullanarak yeni bir kontrollü ortam tarım sistemi önerdi. Bir bitki yaşam döngüsü regresyon modülü ve bir cihaz kontrol modülü geliştirildi.
(Dutta vd., 2014)	Sürdürülebilir tarımsal karar desteği için akıllı bir çevresel bilgi sisteminin geliştirilmesi.	Denetimsiz kümeleme teknikleri: PCA, FCM ve SOM. Bağılantılı Açık Veri bulutunda esnek entegrasyon için RDF gösterimi.	Denetimsiz makine öğrenmesi ve RDF tabanlı bir bilgi öneri mimarisinin geliştirilmesi. Geliştirilen sistemin sürdürülebilir su kaynakları yönetimi için uzman bir tarımsal karar desteği olarak değerlendirilmesi.	Çok kaynaklı bir çevresel bilgi çerçevesinin geliştirilmesi (i-EKbase) Denetimsiz makine öğrenmesi bilgi önerisi kullanarak su dengesinin tahmin edilmesi.

Tablo 6

Çevre Kontrollü Tarımda Farklı Alanlardaki KDS'lere Ait Başarılı Çalışmalar, Projeler ve Örnek Vakalar (6/6)

Yazar Adı - Yılı	Çalışma Adı	Metotlar	Pratik Uygulamalar	Akademik Katkı
(Pascual-Pañach vd., 2021)	Akıllı çevresel karar destek sistemlerinin otomatik olarak geliştirilmesi için veri güdümlü ve model güdümlü tekniklerin birlikte çalışması.	Vaka Tabanlı Akıl Yürütme (CBR) ve Kural Tabanlı Akıl Yürütme (RBR) Entegrasyonu. Akıllı Proses Kontrol Sisteminde (IPCS) ayar noktası üretimi için hibrit şema.	Önerilen metodoloji çevresel sistemlerde kontrol ve karar desteğini geliştirmektedir. Yaklaşım ölçeklendirilebilir ve farklı çevresel sistem türlerine uyarlanabilir.	IDS metodolojisi için veri güdümlü teknik (CBR) ve model güdümlü tekniğin (RBR) entegrasyonu sağlanmıştır. Çevresel sistemler için kontrol ve karar destek araçlarına yönelik otomatik yaklaşım önerilmiştir.
(Haseeb vd., 2020)	Enerji Verimli ve Güvenli IoT Tabanlı WSN Çerçevesi: Akıllı Tarım İçin Bir Uygulama.	Sensör düğümleri için ucuz ve verimli bileşenlerin kullanılması. İletim modülü için LoRa LPWAN teknolojisinin uygulanması.	Önerilen çerçeve, akıllı tarımda iletişim performansını ve enerji tüketimini iyileştirmektedir.	Akıllı tarım için IoT tabanlı bir WSN çerçevesi önerildi. Diğer çözümlere kıyasla iletişim performansı ve enerji tüketimi iyileştirildi.
(Htun vd., 2022)	Farklı Tarımsal Kullanım Alanlarında Görsel Destekli Karar Destek Sistemlerinin Geliştirilmesi.	Çeşitli tarımsal kullanım durumları için altı adet web tabanlı görsel destekli KDS geliştirilmiştir. KDS'lerin arayüzleri, müşteri ya da araştırmacı olan hedef kullanıcılar tarafından değerlendirilmiştir.	Hassas tarım KDS'lerin ortak arayüzlerin, referans sistemlerinin ve çerçevelerin olmaması. KDS'lerin kullanıcı merkezli değerlendirmesi tarımsal alanda sınırlıdır.	Referans görselleştirme kütüphaneleri, görsel analitik bileşenler ve bir etkileşim çerçevesi önerildi. Çeşitli tarımsal kullanım durumları için web tabanlı KDS'ler geliştirildi ve ücretsiz olarak kullanıma sunuldu.

Çevre kontrollü tarımda farklı alanlardaki KDS'ye ait başarılı çalışmalar, projeler ve örnek vakalar incelendiğinde, çalışmaların bilişim teknolojileri, yabancı ot ve zararlı mücadelesi ve sulama-gübreleme sistemleri üzerine yoğunlaştığı söylenebilir. Günümüzde özellikle kaynak israfını önlemeye yönelik akıllı ve hassas sulama ve gübreleme sistemlerine ihtiyaç bulunmaktadır (Cosoli vd., 2022; Rinaldi vd., 2014; Torres-Sánchez vd., 2020). ÇKT'nin farklı alarındaki KDS uygulamalarının geliştirilmesine yönelik, bulut bilişim, makine öğrenmesi, IoT, görüntü işleme, yapay zeka, tahmin algoritmaları, hassas tarım gibi güncel bilişim teknolojilerinin karar vericilerin hızlı ve doğru karar almalarına yardımcı olacak projeler ve araştırmalarda kullanıldığını görmekteyiz (Animas vd., 2013; Cárdenas Tamayo vd., 2010; Dutta vd., 2014; Fang vd., 2021; Haseeb vd., 2020; Htun vd., 2022; Pascual-Pañach vd., 2021; L. Tan vd., 2016; Venkatalakshmi ve Devi, 2014; Yoon ve Nam, 2023). ÇKT'de her ne kadar yabancı ot, hastalık ve zararlı mücadelesinin geleneksel tarıma nazaran daha düşük seviyede olması beklense de adı geçen mücadele çalışmaları tarımsal üreticileri en çok zorlayan konulardan biridir. Yabancı ot, hastalık-zararlı mücadelesinde, önleyici tedbirler, erken uyarı sistemleri, hastalık-zararlı tanımlama sistemleri, biyolojik mücadele, hassas ilaçlama, bölgesel zararlı kontrolü gibi çalışmalar KDS uygulamaları sayesinde üreticilerin hızlı ve etkili karar almalarına yardımcı olmaktadır (Kanas vd., 2020; Lázaro vd., 2021; Nestel vd., 2019; Sciarretta vd., 2019).

2.3.4. Çevre Kontrollü Tarım ve Karar Destek Sistemleri, Faydalar

Karar destek sistemleri, çevre kontrollü tarım uygulamalarında ve sürdürülebilirliği geliştirmede önemli faydalar sunar. Temel faydalardan bazıları şunlardır:

- i. *Geliştirilmiş karar alma:* KDS, çiftçilerin mahsul yönetimi, kaynak tahsisi ve haşere kontrolü ile ilgili bilinçli kararlar almasına yardımcı olarak tarımsal uygulamaların optimize edilmesini sağlar (Kanas vd., 2020).
- ii. *Geliştirilmiş verimlilik:* KDS, bitki büyümesi, su tüketimi ve çevresel koşullar hakkında gerçek zamanlı veriler sağlayarak ÇKT sistemlerinde mahsul verimini ve kalitesini en üst düzeye çıkarmaya yardımcı olur (Baumont De Oliveira vd., 2021).
- iii. *Kaynak verimliliği:* KDS, su ve besin maddeleri gibi kaynakların hassas bir şekilde izlenmesini ve kontrol edilmesini sağlayarak israfın azalmasına ve kaynak kullanımında verimliliğin artmasına yol açar (S. Li vd., 2022).

- iv. *Çevresel sürdürülebilirlik*: Sürdürülebilir arazi kullanım planlaması ve koruma uygulamaları yoluyla, KDS toprak kalitesinin iyileştirilmesine, toprak erozyonunun en aza indirilmesine ve tarımda yerel su dengesinin desteklenmesine katkıda bulunur (S. Mir vd., 2015).
- v. *Azaltılmış işgücü gereksinimi*: ÇKT'de KDS tarafından kolaylaştırılan otomasyon, el emeği ihtiyacını azaltarak tarım operasyonlarını daha verimli ve uygun maliyetli hale getirir (Sridevy vd., 2023).
- vi. *Risk yönetimi*: KDS, potansiyel zorluklar hakkında içgörü sağlayarak ve tarımsal faaliyetlerdeki riskleri azaltmak için stratejiler sunarak risk değerlendirmesi ve yönetimine yardımcı olur (Baumont De Oliveira vd., 2021).
- vii. *İnovasyon ve kârlılık*: KDS, yenilenebilir enerji kaynaklarını ve atık değerlendirmeyi entegre ederek, karlılığı artıran ve döngüsel bir ekonomiyi teşvik eden sürdürülebilir gıda üretim sistemlerinin geliştirilmesini destekler (Baumont De Oliveira vd., 2021).

Bu faydalar, Karar Destek Sistemlerinin tarımsal uygulamaların optimize edilmesinde, sürdürülebilirliğin teşvik edilmesinde ve çevre kontrollü tarımda genel verimliliğin artırılmasında oynadığı önemli rolü vurgulamaktadır.

2.3.5. Çevre Kontrollü Tarım ve Karar Destek Sistemleri, Zorluklar ve Kısıtlar

Çevre kontrollü tarımda karar destek sistemlerinin kullanımı, potansiyel faydalarına rağmen bazı sınırlamalarla karşı karşıyadır. Bunlardan önemli olan bazı kısıtlar aşağıda sıralanmıştır.

- i. *Siber güvenlik ve gizlilik*: Çevre kontrollü tarımda KDS'nin sınırlamaları arasında yüksek maliyet, yetersiz bilgi, güven eksikliği ve siber güvenlik ve gizlilikle ilgili endişeler yer almaktadır (Adereti vd., 2023).
- ii. *Yüksek enerji gereksinimleri ve karbon ayak izi*: Çevre kontrollü tarım sistemlerinin yüksek enerji gereksinimleri ve karbon ayak izi şu anda üstesinden gelinmesi gereken en büyük çevresel engellerden biridir (Cowan vd., 2022).
- iii. *Ekonomik temel ürünler*: Ekonomik olarak yetiştirilen temel ürünlerin eksikliği, küresel ölçekte gıda üretiminin çevresel etkilerini azaltmak için ÇKT sistemlerinin genişlemesini sınırlamaktadır (Gardezi vd., 2022).
- iv. *Çiftçiler arasında fayda ve yük dağılımı*: KDS'nin uygulanması çiftçiler arasında fayda ve yüklerin eşit olmayan bir şekilde dağılmasına yol açabilir ve işgücü

düzenlemelerinin yeniden yapılandırılmasını gerektirebilir (S. A. Mir ve Padma, 2017).

- v. *İş birliği ihtiyacı*: Gıda üretim sistemlerinde etik, adil ve sürdürülebilir iyileştirmeler sağlamak için KDS'yi yeniden tasarlarlarken kapsayıcı ve müzakereci süreçlere duyulan ihtiyacı da vurgulamaktadır (Tu vd., 2015).
- vi. *Ampirik yaklaşımlar ve mahsul tepkisi*: KDS'de kullanılan bazı modellerin ampirik doğası bir diğer sınırlamadır; bu modeller, mahsulün optimum olmayan senaryolara tepkisini doğru bir şekilde tahmin edemeyebilir (Debeljak vd., 2019).
- vii. *Kontrollü ortam tarımının karmaşıklığı*: Çevre kontrollü tarımının sıcaklık, nem, ışık ve besin seviyeleri gibi çeşitli faktörleri içeren karmaşık yapısı, karar destek sistemlerinin sonuçları doğru bir şekilde modellemesi ve tahmin etmesi için zorluklar oluşturabilir (Kanas vd., 2020).
- viii. *Veri doğruluğu ve entegrasyonu*: KDS'nin etkinliği, doğru ve entegre verilere dayanır. Kontrollü ortamlarda, bitki büyümesi, çevresel koşullar ve kaynak kullanımı hakkında gerçek zamanlı, kesin veriler elde etmek zor olabilir ve sistemin karar verme yeteneklerini etkileyebilir (Kanas vd., 2020).
- ix. *Hızlı değişikliklere uyulanabilirlik*: Çevre kontrollü tarım, genellikle değişen koşullara hızlı ayarlamalar yapılmasını gerektirir. Karar destek sistemleri, ani çevresel değişimlere veya mahsul gereksinimlerine hızla adapte olmakta zorlanabilir ve bu da dinamik ortamlardaki faydalarını etkileyebilir (Zhai vd., 2020) .
- x. *Maliyet ve uygulama zorlukları*: KDS'yi kontrollü ortam sistemlerine entegre etmenin ilk kurulum maliyetleri ve karmaşıklığı bazı yetiştiriciler için engelleyici olabilir. Ayrıca, personelin bu sistemleri etkin bir şekilde kullanması için eğitilmesi zaman alıcı ve maliyetli olabilir (Zhai vd., 2020).
- xi. *İnsan uzmanlığına karşı otomatik sistemler*: Otomatik karar destek sistemlerine olan güvenin insan uzmanlığı ve sezgileriyle dengelenmesi halen zorlu bir görevdir. İnsan bilgisinin KDS çıktıları ile bütünleştirilmesi, çevre kontrollü tarımda optimum karar verme için çok önemlidir (Jørgensen vd., 2007).
- xii. *İnovasyon ve uygulamanın dengelenmesi*: Araştırma ve geliştirmeye aşırı öncelik verilmesi operasyonel ölçeklenebilirliği ve ticari uygulanabilirliği engelleyebilir.

xiii. İnovasyon ve uygulama arasında bir denge kurmak, verimli ölçeklendirme ve karlılık için çok önemlidir (Gordon-Smith, 2023).

Bu sınırlamaların üstesinden gelmek ve kontrollü ortamlarda çeşitli tarımsal zorluklar için kapsamlı ve özel karar desteği sağlamaya odaklanılması gerekmektedir. Bu kısıtlamalara rağmen, son kullanıcıları geliştirme sürecine entegre etmek, veri doğruluğunu artırmak ve hedeflenen politika desteğine odaklanmak, çevre kontrollü tarımında KDS'nin kullanılabilirliğini ve uygulanabilirliğini artırabilir.

2.3.6. Çevre Kontrollü Tarım ve Karar Destek Sistemleri Gelecek Çalışmaları.

Çevre kontrollü tarım karar destek sistemlerinde gelecekteki araştırmalar, çevre kontrollü tarımın verimliliğini ve üretkenliğini ilerletmek için gereklidir. Gelecekteki araştırmalar için bazı potansiyel alanlar şunlardır:

Gelişmiş veri toplama ve entegrasyon:

Sensör geliştirme: Bitki stresinin ve besin alımının sürekli izlenmesi için yeni, invazif olmayan (non-invasive) sensörlerine ihtiyaç vardır (Mao vd., 2023). Bu, bitki ihtiyaçlarının bütünsel bir şekilde anlaşılmasını sağlayabilir.

IoT entegrasyonu: Daha geniş IoT ekosistemleriyle sorunsuz entegrasyon, analiz için birleşik bir veri akışı oluşturarak gerçek zamanlı veri alışverişini mümkün kılan cihazlar geliştirilebilir (Hassan vd., 2020).

Veri füzyon teknikleri: Araştırmalar, daha derin içgörüler elde etmek ve tahmin doğruluğunu artırmak için sensör verileri, geçmiş kayıtlar ve harici veri kümeleri dahil olmak üzere çeşitli veri kaynaklarını birleştirmeye yönelik yöntemleri keşfedilebilir (Zubler ve Yoon, 2020).

Gerçek Zamanlı İzleme: Proaktif karar vermeyi sağlamak için çevresel koşulların, bitki sağlığının ve haşere tespitinin gerçek zamanlı izlenmesi için yapay zekâ (YZ) uygulanmasına dair çalışmalar yapılmalıdır (Vijayakumar ve Balakrishnan, 2021).

Yapay Zekâ (AI) ve Makine Öğrenmesi (ML) Uygulamaları:

Yapay zekâ ve makine öğrenmesi entegrasyonu: (Mao vd., 2023) tarafından yapılan araştırmada, karar verme süreçlerini iyileştirmek için YZ ve makine öğrenmesi tekniklerinin ÇKT ve KDS'ye entegre edilmesinin önemi vurgulanmaktadır.

Açıklanabilir yapay zekâ (XAI): Araştırmalar, yalnızca doğru tahminler yapmakla kalmayıp aynı zamanda karar vericilerin akıl yürütmeleri için net açıklamalar sunan ve

yetiştiricilere güven inşa eden yapay zekâ modelleri geliştirmeye odaklanmalıdır (Vilone ve Longo, 2020).

Gerçek zamanlı anomali tespiti: Yapay zekâ algoritmaları, gerçek zamanlı verilerdeki anormallikleri tespit etmek için eğitilerek erken teşhis ve müdahaleye olanak sağlayabilir (Petrakis vd., 2022).

Kişiselleştirilmiş ürün modelleri: Yapay zekâ destekli kişiye ve projeye özel sistemler, bireysel çiftlik verilerine ve çevresel koşullara dayalı kişiselleştirilmiş mahsul modelleri geliştirebilir (Mohan vd., 2023).

Tahmine dayalı modellerin geliştirilmesi: Kaynak tahsisini, mahsul büyümesini ve verim tahminini optimize etmek için yapay zekâ ve makine öğrenmesi algoritmalarını kullanarak daha doğru tahmin modelleri geliştirmek mümkündür (Amitrano vd., 2020).

İnsan-Bilgisayar Etkileşimi ve Kullanıcı Deneyimi:

Doğal dil işleme (NLP): KDS, yetiştiricilerden gelen doğal dil sorgularını anlamak için NLP'yi entegre edecek ve sezgisel etkileşimi sağlayabilir (Jura vd., 2022).

AR/VR uygulamaları: Artırılmış Gerçeklik (AR) ve Sanal Gerçeklik (VR), verileri görselleştirmek, senaryoları simüle etmek ve sürükleyici eğitim deneyimleri sağlamak için keşfedilebilir (Phupattanasilp ve Tong, 2019).

Teknik olmayan kullanıcılar için karar desteği: Araştırma, KDS'yi farklı teknik uzmanlığa sahip kullanıcılar için erişilebilir hale getirmenin yollarını önermiştir (Sridevy vd., 2023).

Teknoloji ve inovasyon yönetimi için görsel analitikten yararlanmak: (Sun vd., 2023) çevre kontrollü tarımda stratejik karar verme için değerli bilgiler sağlayabilir.

Dijital ikiz teknolojisi: Kentsel tarımda karar destek için değerli bir araç olarak ortaya çıkmaktadır (Bang vd., 2023; Ghandar vd., 2021) ve daha fazla araştırma, büyük ölçekli kentsel tarım ekosistemleri için modelleme çerçevelerini iyileştirmeye odaklanabilir.

Alana özgü dil çerçevelerinin geliştirilmesi: Hassas tarımda çiftlik yönetimi bilgi sistemleri için alana özgü dil çerçevelerinin geliştirilmesi (Sott vd., 2020), özellikle çevre kontrollü ortam tarımının ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde genişletilebilir.

Sürdürülebilirlik ve Kaynak Optimizasyonu:

Yaşam döngüsü değerlendirme (LCA) ve coğrafi bilgi sistemi (GIS) araçlarıyla entegrasyon: Kontrollü tarımda yaşam döngüsü değerlendirmesinin (LCA) karar destek

sistemleri ile entegrasyonu, sürdürülebilirlik değerlendirmesi ve çevre politikası müdahaleleri için değerli bilgiler sağlayabilir. LCA, çevresel sonuçları değerlendirmek için kullanılan bir araçtır. LCA'nın coğrafi bilgi sistemleri ile entegrasyonu ise LCA'nın mekânsal sıklık/çözünürlük sınırlamalarını ele alabilir ve tarım sektöründeki çevresel etkilerin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlayabilir (Kaita ve Harun, 2023).

Kapalı döngü kaynak yönetimi: Kontrollü tarımdaki karar destek sistemlerinde kapalı döngü kaynak yönetimi, verimliliği ve sürdürülebilirliği artırmak için bir sera veya kontrollü ortamdaki kaynakların kullanımının optimize edilmesini içerir. Kaynakların yeniden kullanımı ve yeniden dolaşıma sokulmasıyla, sistemin bileşenlerinin kaynakları etkili bir şekilde paylaşmasına ve atık çıktılarını en aza indirmesine olanak tanıyan bir kapalı döngü sistemi oluşturulabilir (Ragany vd., 2023).

Yenilenebilir enerji kaynakları ile entegrasyon: Sürdürülebilir ve uygun maliyetli üretimi teşvik ederek yenilenebilir enerji kaynakları ile sorunsuz entegrasyon için KDS'yi optimize etmenin yollarını keşfetmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır (G. Hu ve You, 2022).

Net sıfır (Net-Zero) yaklaşım: Sürdürülebilir tarıma ulaşmada robotik ve otonom sistemlerin rolünün araştırılması (Fan vd., 2022) kontrollü ortamlarda yenilikçi karar destek çözümlerinin önünü açabilir.

Sonuç olarak, çevre kontrollü tarım için karar destek sistemlerine yönelik gelecekteki araştırmalar, bu özel tarımsal alanlarda sürdürülebilir ve verimli karar verme süreçlerini desteklemek için, güncel yapay zekâ teknolojilerine, makine öğrenmesine, görüntü işleme ve yorumlama, yeni nesil IoT cihazlarına ve veri analizi teknolojilerine entegre etmeye odaklanmalıdır. Özellikle yeni nesil düşük enerji tüketimli, yenilenebilir enerji kaynağı kullanan teknolojilere ve dijital araçlara ihtiyaç duyulmaktadır.

2.4. Afrika Menekşesi

Bu başlık altında Afrika menekşesi ve teze konu olan hibrit Afrika menekşesi hakkında temel bilgiler ile birlikte araştırma için niçin bu bitkinin seçildiğine dair sorulara cevap verilmiştir.

2.4.1. Tarihçe

Çok az sayıda Afrika bitkisi türü dünyanın geri kalanı tarafından Saintpaulias kadar iyi bilinir. Horikültürde genellikle Usambara menekşeleri veya Afrika menekşeleri olarak

anılırlar. Özellikle bir tür, *Saintpaulia ionantha*, bitki yetiştiriciliğinde çok popüler hale gelmiştir. Bu tür ilk olarak 1892 yılında Walter von Saint-Paul-Illaire tarafından keşfedilmiştir. Bitki Almanya'nın Hannover kentindeki Herrenhausen Serası'na gönderilmiş ve usta bahçıvan ve botanikçi Hermann Wedland bitkiyi ilk kez Gesneriad ailesinin bir üyesi olarak kaydetmiştir. Tohumla veya vejetatif yollarla çoğaltılması kolay olduğundan ve zayıf ışık koşulları altında da gelişebildiği için kısa sürede yaygın bir iç mekân bitkisi haline gelmiştir (Johansson, 1978).

2.4.2. Sınıflandırma

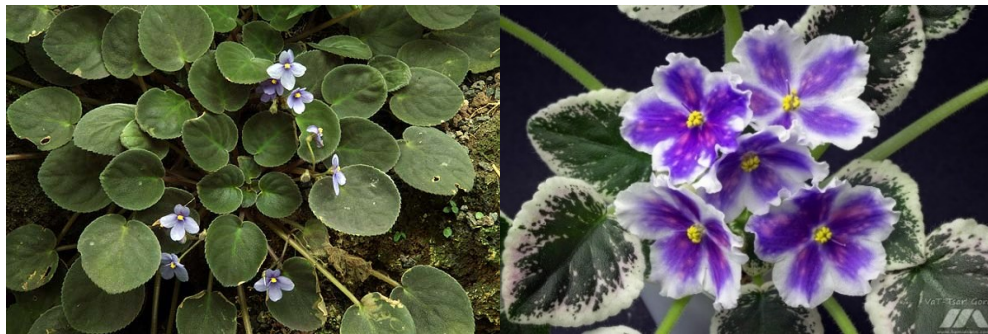
(Johansson, 1978) bildirdiğine göre, *Saintpaulia*'nın taksonomisi Burt (1947, 1956, 1958, 1963, 1976) tarafından incelenmiştir. Bazıları oldukça yakın akraba olan yirmi tür ve bir dizi alt tür ayırt edilmiştir. Bu kayıttaki türlerin sınıflandırılması Burt'u (1963) takip etmektedir. Bunların en tanınmış olanı *Saintpaulia ionantha* ise H. Wendl tarafından isimlendirilmiştir. Kültürdeki Afrika menekşeleri genellikle *S. ionantha* olarak adlandırılır.

2.4.3. Fiziksel Özellikler

Boyları 6-15 cm arasında değişen Afrika menekşeleri, 6-30 cm genişliğinde olabilir. Yaprakları yuvarlaktan ovale doğru, 2,5-8,5 cm uzunluğunda, 2-10 cm yaprak saplı, ince tüylü ve etli bir dokuya sahiptir. Çiçekler 2-6 cm çapındadır, beş loblu kadifemsi taç yaprakları vardır ve pedikül adı verilen ince saplar üzerinde 3-10 veya daha fazla kümeler halinde büyürler. Yabani tür menekşeler, mor, soluk mavi veya beyaz çiçeklere sahip olabilir. Doğal ortamında Afrika Menekşesi ve hibritleme çalışması yapılmış birer tür örnekleri Şekil 16'da görülebilir.

Şekil 16

Doğal Ortamında Saintpaulia intermedia B.L.Burt (solda) ve Hibrit Çeşitlerden VaT-Tsar' Gorokh (sağda)



Kaynak: A. Golatofski, (2019)

2.4.4. Hibrit Afrika Menekşesi

Hibrit Afrika menekşesi -isim olarak benzer olsa da- Afrika menekşesi türünden ayrı olarak değerlendirilmelidir. İlerleyen başlıklarda hibrit Afrika menekşesi ile ilgili temel bilgiler verilecektir.

2.4.4.1. Tarihçe

Hibrit Afrika menekşesi iki farklı Afrika menekşesi çeşidinin melezlenmesiyle oluşturulan bir bitkidir. Melezlemenin amacı, yeni ve benzersiz bir yavru oluşturmak için her bir ebeveyn bitkinin renk, şekil ve boyut gibi arzu edilen özelliklerini bir araya getirmektir (Trigg, b.t).

Afrika menekşesinin tarihi süreci "Orijinal On" hakkında bir tartışma olmadan tamamlanmış sayılmaz. Bu bitkiler gerçekten başarılı olan ilk ticari çeşitlerdir ve Armacost ve Royston firması tarafından geliştirilmiştir. Walter Armacost, bir arkadaşının serasında bu bitkileri gördükten sonra Afrika menekşelerine ilgi duymaya başlamıştır. Bitkilerden üç yaprak elde etmiş ve bunları çoğaltmayı denemiştir. Bitkinin potansiyelinden etkilenen firma, 1927 yılında Almanya'dan Benary's ve İngiltere'den Sutton's firmalarından tohum sipariş etmiştir. Yaklaşık 1.000 bitki çiçek açacak boyuta kadar yetiştirildi. Birkaç yıl süren seçimin ardından, on seçkin bitki seçildi ve adlandırıldı. Bunlar 1936 yılında halka tanıtıldı: Bu çeşitlerin hepsi mavi ve mor çiçeklere sahipti ve büyüme formu ve yaprak özellikleri bakımından orijinal türlere göre farklılık gösteriyordu (Smith, b.t).

2.4.4.2. Amerika Afrika Menekşesi Derneği

Afrika menekşelerine olan ilginin bir sonucu olarak 8 Kasım 1946'da The African Violet Society of America, Inc. (AVSA) adlı bir dernek kuruldu. Topluluğun amacı, Afrika menekşesi meraklılarının yetiştirme bilgilerini edinebilecekleri ve paylaşabilecekleri bir merkez sağlamaktır. AVSA, Afrika menekşelerinin çeşitlerini kaydetmek için Uluslararası Botanik Kongresi'nden Afrika menekşesi çeşitlerini tescil etme imtiyazına sahiptir. AVSA aynı zamanda Afrika menekşelerinin dikilmiş hibritleri için uluslararası kayıt otoritesidir ve kayıtlı tüm tür ve çeşitlerin bir "Ana Çeşit Listesini" sunmaktadır. AVSA Ana Çeşit Listesi'ndeki (MVL) açıklamalarla birlikte, yaklaşık 20.000 çeşidi listelemektedir (Nishii vd., 2015). AVSA'nın listesinde Türkiye'den de 25 kadar hibrit çeşit tescil edilmiştir. Türkiye'de hibritleme çalışmaları oldukça az sayıda kişi tarafından sürdürülmektedir. Ülkemizde hibrit Afrika menekşesi çeşitleri koleksiyonerler tarafından

yetiştirilmekte ve internet ve sosyal ağlar üzerinden bilgi alış-verişi ve satışı yapılmaktadır. Ticari olarak klasik Afrika menekşesi eşitleri seralarda üretilmekte birlikte, hibrit çeşitlerin üretim ve satış zorlukları nedeniyle üreticiler tarafından genelde tercih edilmediği görülmektedir.

2.4.4.3. Ekonomik Değer

Dünya apında Afrika menekşesi üreticilerinin en büyüklerinden olan Holtkamp; rakibi Harster Greenhouses Inc. şirketi ile birlikte yılda toplam 100 milyon iek ile ABD perakende satışları yıllık yaklaşık 50 milyon dolarlık satış hacmine sahiptir. Menekşeleri Optimara adı altında satan Holtkamp Seraları yılda 10 milyondan fazla menekşe üretmektedir. Merkezi Hamilton, Ontario’da bulunan Harster ise yılda 100 çeşitte 10 milyon menekşe yetiştirmektedir (York, 2007). Dünya Geneline de i mekân iekli süs bitkileri ihracat hacmi 2022 yılı verilerine göre 8.4 Milyar dolar düzeyindedir (International Trade Center [ITC], 2022). Ülkemiz, süs bitkisi üretiminde bölgesel koşulların ve iklimin uygun olması, ihracat yapılabilecek ülkelere yakınlık ve işgücü maliyetlerinin düşük olması gibi önemli avantajlara sahiptir. Süs bitkileri üretimi sektöründe %95 gibi yüksek oranlarda katma değer yaratılabilmektedir. Türkiye’de 2022 yılında süs bitkisi sektöründe toplam 140 milyon dolara yakın ihracat yapılmıştır. Bunun 73 bin dolarlık kısmı Afrika menekşesinin de içinde bulunduğu saksılı canlı bitkiler gurubuna aittir.

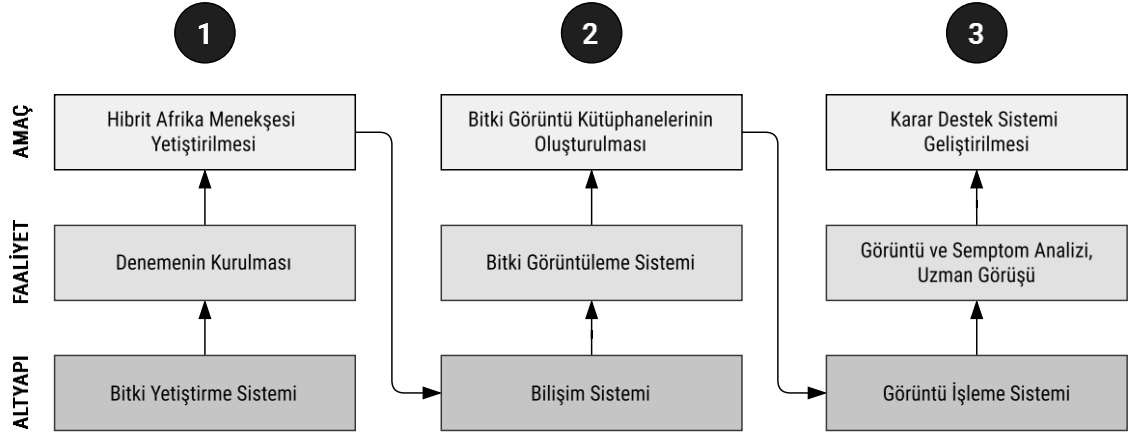
BÖLÜM 3.MATERYAL ve YÖNTEM

Uygulama Modeli

Tezin uygulama modeli Şekil 17’de görüldüğü gibidir. Tez konusuna dair “Çevre Kontrollü Dikey Tarım İçin Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi: Hibrit Afrika Menekşesi Örneği” çalışması 3 aşamada gerçekleştirilecektir. 1. aşama ‘Hibrit Afrika Menekşesi Yetiştirilmesi’ amacına yönelik altyapı çalışması olarak ‘Bitki Yetiştirme Sistemi’ ekipmanları ve yetiştirme ortamının oluşturulması, 2. aşama ‘Bitki Görüntü Kütüphanelerinin Oluşturulması’ amacına yönelik altyapı çalışması olarak ‘Bilişim Sistemi’nin oluşturulması, 3. ve son aşama ‘Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi’ amacına yönelik ise altyapı çalışması olarak ‘Görüntü İşleme Sistemi’nin oluşturulmasını içerir. Altyapı çalışmalarını takiben her aşamaya ait faaliyetler kapsamında 1. aşama için ‘Denemenin Kurulması’, 2. aşama için ‘Bitki Görüntüleme Sistemi’nin oluşturulması ve 3. aşama için ise ‘Görüntü ve Semptom Analizleri’nin yapılması ve ‘Uzman Görüşü’nün alınması yer almaktadır.

Şekil 17

Uygulama Modeli



3.1. Bitki Yetiştirme Sistemi

Tezin birinci aşama temel çalışmalarını içeren bitki yetiştirme sistemi, fiziksel olarak bitkilerin yetiştirilmesine uygun ortamın sağlanmasını, dikey raf düzeneğinin, ışıklandırma ve iklimlendirme sistemlerinin ve bitki yetiştirme ilgili faaliyetlerin tümünü kapsar. Bu faaliyetlerin en başında bitki çoğaltma uygulaması gelmektedir.

3.1.1. Bitki Çoğaltma

Aşağıdaki başlıklarda, temel bitki çoğaltma yöntemleri ile birlikte tez çalışmasında kullanılan yaprak çeliği ile çoğaltma yöntemi nedenleri ile ele alınacaktır.

3.1.1.1. Bitki Çoğaltma Yöntemleri

Bitki çoğaltma yöntemleri; Generatif: Eşeyli Çoğaltma ve Vejetatif: Eşseysiz Çoğaltma şeklinde iki ana başlık altında incelenebilir.

Eşeyli Çoğaltma (Generatif)

Tohumla Çoğaltma

Afrika menekşesi tohumla çoğaltılabilen bir bitkidir. Ancak bitki üzerinde tohumlar genellikle gelişmez çünkü insan veya hayvan gibi tozlayıcı bir dış faktör gereklidir. Nadiren kendi kendilerine tozlaşırlar. Çiçek organellerinde tozlaşma olduktan sonra birkaç hafta içinde tohum keseleri ortaya çıkmaya başlar. Tohumların olgunlaşması 6 ayı bulabilir. Afrika menekşesinde tohumla üretim ticari olarak tercih edilmez çünkü tohumdan üretilen her fide benzersiz bir DNA'ya sahip olacaktır ve bitkinin hangi renk çiçek açacağını garantiye yoktur. Anaç bitkiye ait tam klon isteniyorsa çelikle üretim tercih edilmelidir. Tohumla üretim, melezleme çalışmalarında ve yeni hibrit çeşitlerin üretimi için tercih edilen bir yöntemdir (AVSA, b.t.).

Eşseysiz Çoğaltma (Vejetatif)

Yaprak Çeliği ile Çoğaltma

Afrika menekşesi çoğaltmada, üretim kolaylığı, üretim maliyetlerinin düşük olması, tam klon yavru elde etme gibi avantajlarından dolayı yaprak çeliği ile çoğaltma en çok tercih edilen yöntemdir. Bitkinin taç merkezine yakın bir yaprak kopartılarak, 2-3 cm uzunlukta bırakılan yaprak sapının uç kısmına yakın bir yerden çaprazlamasına kesilir ve toprağa dikilir veya suya konulabilir. Dikilmiş yapraklardan genellikle 4 ila 8 hafta sonra yavrular çıkmaya başlar. Bu yavruların tek başına büyüyecek olgunluğa erişmesi 12-14 haftayı

bulabilir (Holtkamp, 2003). **Bu çalışmada yukarıda bahsi geçen avantajlarından dolayı yaprak çeliği ile üretim tercih edilmiştir.** Şekil 18’de yaprak çeliğinden üretilmiş fideler görülmektedir.

Şekil 18

Afrika Menekşesi Yaprak Çeliği ile Çoğaltma



Çiçek Sapı ile Çoğaltma

Afrika menekşesini çoğaltmanın diğer bir yolu, çiçek saplarını kullanmaktır. Kimeralar, farklı hücreler arasında farklı genetik kodlara sahip olan ve karmaşık renk desenlerine sahip Afrika menekşesi varyeteleridir. Ancak, her Afrika menekşesi bir kimera (Chimera) özelliğine sahip olmayabilir. Bir Afrika menekşesi yaprağını köklendirdiğinizde, ortaya çıkan tüm büyüme tek bir hücreden başlar. Yani yeni bitki bir kimeradan gelmiş olsa bile sadece tek bir genotipe sahip olacaktır. Çiçek sapları ise bitkinin genlerinin tam bir görüntüsünü tutar ve onları çoğaltırken aynı renkte bir klon elde etmenizi sağlar. Ayrıca, köklü çiçek sapları, üzerindeki klonları daha hızlı büyütür, böylece çiçek saplarını çoğaltarak diğer yöntemlerden daha hızlı sonuç alınabilir. Bu yöntem genellikle Afrika Menekşesi kimeralarını çoğaltmak için tercih edilen bir yöntemdir (Naumann, b.t.).

Taç Kesimi ile Çoğaltma

Taç kesimi ile çoğaltma, çiçek sapı ile çoğaltma ile benzer avantajlarından dolayı kimera veya diğer çeşitlerin çoğaltılması amacıyla kullanılabilir. Ayrıca formu bozulmuş veya belirli nedenlerden ötürü (hastalık zararlı vb.) taç kısmı deforme olmuş bitkiler için, hızlı ve sağlıklı yavru alma gibi avantajlarından dolayı genelde koleksiyonerler tarafından tercih edilen bir yöntemdir (Akin, 2023).

Sürgün ile Çoğaltma

Sürgünler, ana bitkinin gövdesinden çıkan yavru bitkilerdir ve bitki gövdesine bağlı olarak büyürler. Sürgünler, anaç bitkinin sağlığını olumsuz etkiler ve taç büyümesinden enerji alırlar. Sürgünlerin temizlenmesi önemlidir çünkü bitkinin besin alımını engeller, büyümeyi yavaşlatır ve simetri bozukluklarına neden olabilir. Afrika Menekşesi bitkisinin gövdesine bağlı olarak bulunan sürgünler, büyüdükçe kendilerine özgü taç ve rozet desenleri geliştirir. Yan sürgün verme aslında bitkinin hayatta kalma mekanizmasıdır ve genellikle bitkinin strese girdiği durumlarda ortaya çıkar. Büyük boyda sürgünler anaç bitkiden ayrılarak çoğaltma sağlanabilir. Sürgün ile çoğaltma değeri yüksek bitkileri çoğaltmak için genelde koleksiyonerler tarafından tercih edilen bir tekniktir (*African violet suckers: What are they and removal?*, 2019).

Laboratuvarda Doku Kültürü ile Çoğaltma (In Vitro)

Doku kültürü ile çoğaltma vejetatif üretim tekniklerinden biridir. Laboratuvar koşullarında, steril şartlar altında ve yapay besin ortamında, bitkiye ait yaprak, gövde, çiçek, sürgün vb. dokulardan yeni bitkiler üretilmesi şeklinde tanımlanabilir. Afrika menekşesi doku kültürü ile üretime oldukça elverişli ve laboratuvar şartlarına uyum sağlayan bir bitkidir. Kısa zamanda çok sayıda ve sağlıklı yavru alınmasına olanak tanır (Teixeira da Silva vd., 2017).

3.1.2. Denemenin Kurulması

Tez çalışmasında yapılacak olan deneme için çeşitli aşamalar bulunmaktadır bunlar ilerleyen başlıklarda ele alınacaktır.

3.1.2.1. Fidelerin anaç yapraktan ayrılması

Afrika menekşesi, yaprak çeliği dikiminden itibaren 12 ila 16 hafta sonra tek başına büyüyecek fideler vermiştir. Bu fidelerin anaç yapraktan ayrılabilmesi için kendi kök

sistemini geliştirmiş olması ve en az 4 adet 1.5-2 cm çapında yaprağı olması gerekmektedir (*When and how to divide*, 2020). Anaç yapraktan ayrılmaya uygun fideler, kök sisteminin sağlıklı olarak gelişmesi için her bir saksıda 1 bitki olacak şekilde 8cm'lik saksılara şaşırtılmıştır. Bu aşamadan sonra görüntüleme sistemi ile bitkilerin görüntüleri belirli periyotlarla alınmaya başlanmıştır.

3.1.2.2. Bitki Yetiştirme Karışımı

Afrika Menekşesi gevşek ve porozitesi yüksek karışımında yetiştirilmelidir (Skalski, 2019). Bu karışım temel olarak 2 ana bileşenden oluşmaktadır. Birinci bileşen olarak, ekstra-ince boyutta (5-20mm) Litvanya menşeli ve herhangi bir nemlendirme ajanı, mikro veya makro besin ve pH düzenleyici içermeyen Green Terra natürel beyaz sphagnum torfu kullanılmıştır (pH 3.8). İkinci bileşen olarak ise %30 oranında Agrikal büyük boy tozu elenmiş perlit kullanılmıştır.

3.1.2.3. Bitki Yetiştirme Karışımı Sterilizasyonu

Afrika menekşesi yetiştirme karışımı mutlaka steril olmalıdır. Steril olmayan torf içerisinde larvalar, zararlı bakteri ve mantarlar vb. olabilir. Fabrikasyon olarak paketlenen ve satılan balya tipi torfların genelde steril olacağı düşünülür. Ancak saklama koşulları veya zaman içerisinde kontaminasyona maruz kalmaları nedeniyle kullanacağımız torf veya yetiştirme materyallerinin steril olmadığının kabul edilmesi gerekir. Literatürde bitki yetiştirme materyallerinin sterilizasyonu için otoklav, gama ışını, kimyasal, buhar ile vb. çeşitli yöntemler olmakla birlikte pratikte maliyet/fayda oranının çok yüksek olması nedeniyle bu çalışma için uygulanabilir yöntemler; mikrodalga fırın, konvansiyonel fırın, sıcak su uygulaması sayılabilir (Querejeta, 2023; Wolf vd., 1989). Bu çalışmada torf sterilizasyonu için konvansiyonel fırın uygulaması yapılmıştır. Önceden 100C ısıtılan fırında %30 nem oranında torf içine termometre daldırılarak 85-90C aralığında 30dk kalması sağlanmış ve 1'er gün arayla aynı işlem 3 kez tekrarlanmıştır (H. Li vd., 2023).

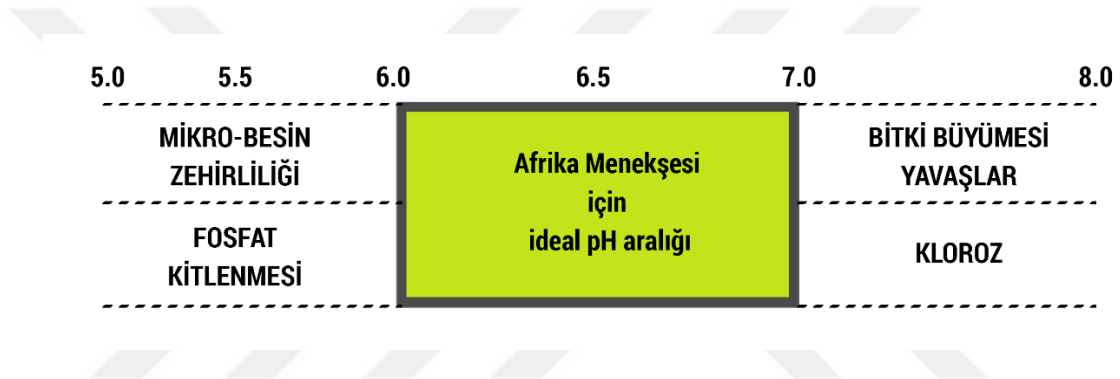
3.1.2.4. Bitki Yetiştirme Karışımı pH Düzenleme Denemesi

Afrika Menekşeleri için uygun yetiştirme koşullarını sağlamak için yetiştirme karışımının pH değeri hayati öneme sahiptir. Afrika Menekşesi yetiştirme karışımının pH değerinin 6.0-7.0 arasında olması gerekmektedir (Chen ve Henny, 2009; Holtkamp, 2023). Bu pH aralığı, bitkinin besinleri doğru bir şekilde kullanabilmesine olanak sağlar. Düşük pH, bitkinin kalsiyum, magnezyum ve fosfor gibi besinleri emme yeteneğini sınırlayarak

bodur büyüme ve yaprakların sararmasına neden olabilir (mikro besin zehirliliği). Yüksek pH ise demir, magnezyum ve çinko gibi besinleri emme yeteneğini azaltarak durgun büyüme ve kloroza neden olabilir. Ayrıca, pH değerinin çok düşük veya çok yüksek olması, bitkinin fosfatı emmesini ve kullanmasını engelleyebilir (fosfat kitlenmesi), bu da besin eksikliğine yol açabilir. Şekil 19’da görülen tüm bu nedenlerden ötürü yetiştirme karışımında kullanılacak torfun yüksek asitlik değerinin azaltılması için literatürde ve üretici raporlarında ve yer alan pH dengeleme yönergelerinden yararlanılmıştır (Areapeat, b.t; Crooks vd., 2019)

Şekil 19

Afrika Menekşesi Yetiştirme Karışımı pH Değerinin Bitki Büyümesine Etkisi



Afrika menekşesi yetiştirme karışımında kullanılan natürel sphagnum torflarda 3,8-4,0 aralığında olan pH değerini 5,5-6,5 seviyesine getirmek amacıyla 1-1.5kg/200L kireçleme malzemesi kullanılmaktadır (Areapeat, b.t). Natürel sphagnum torfu asitliği iki farklı kireçleme malzemesinin aynı anda kullanılmasıyla azaltılmalıdır; kireç ve dolomit tozu. Dolomit tozu sadece bitkilere magnezyum sağlamak için kullanılmamalıdır. Magnezyum karbonat, suda kalsiyum karbonattan daha fazla ve daha hızlı çözünür (Olego vd., 2021). Bu nedenle torf asitliği önce dolomit tozunda bulunan magnezyum karbonat tarafından azaltılır. Kalsiyum karbonat yavaş ve kademeli olarak çözülür ve ancak bir süre sonra önemli ölçüde torf asitliğini azaltabilir. Bu, karbondioksitin suda çözünmesi ve bikarbonat iyonlarının (HCO_3^-) oluşmasından sonra meydana gelir. Azalan torf asitliği, $\text{Ca:Mg} = 6.5:1.0$ veya daha genel olarak 5-8:1 olan optimum kalsiyum: magnezyum oranına dayanmalıdır. Bu, ortalama ağırlık oranında kireçtaşı ve dolomit tozu kombinasyonu kullanılarak elde edilebilir. 2:1 (Crooks vd., 2019). pH düzenleme denemesi için kullanılmış olan kireçleme malzemesi ve oranları, başlangıç pH değerleri ve 90 gün sonunda ölçülmüş pH değerleri Tablo 7’de görülmektedir.

Tablo 7*Yetiştirme Ortamı Ph Düzenleme İçin Kireçleme Malzemeleri ve Analiz Sonuçları*

Oran 2	Oran 1	Grup ID	15.3.2022	30.5.2022
Kireç (gr)	Dolomit (gr)	TOPLAM (gr)	pH (başlangıç)	pH (90 gün)
0	0	0	3,8	3,66
2,67	1,33	4,00	4,71	4,69
5,33	2,67	8,00	5,3	5,2
8,00	4,00	12,00	6,15	5,98
10,67	5,33	16,00	6,76	6,82
13,33	6,67	20,00	7,21	6,79
16,00	8,00	24,00	8,06	7,00

pH denemesi için 2L naturel torf (pH 3.8), 250ml saf su ve kireç tozu/dolomit tozu 2:1 oranında Tablo 7’de belirtilen miktarlarda kullanılmıştır. Karışımlar 1 adet kontrol ve 6 adet farklı oranda kireçleme karışımı kullanılarak hazırlanmıştır. Toplam kireçleme karışım gramajları aynı zamanda etiketleme için “Grup ID” olarak kullanılmıştır.

3.1.2.5. Bitki Yetiştirme Karışımı pH Ölçümleri

İlk ölçüm karışımlar hazırlandıktan 48 saat sonra yapılmıştır. pH denemesinin kurulumu sonrası bitkiler düzenli olarak önceden belirlenmiş olan uygun besinli solüsyonlar ile sulanmıştır. Sulama işlemi tüm bitkiler için homojen olacak şekilde yapılmıştır. Solüsyon uygulaması sonucunda toprak pH’ında oluşan değişikliklerin takibinin yapılabilmesi için ilk ölçümü takiben 30 ve 90 gün sonra ve her bir deneme örneğinden 50gr. olacak şekilde toprak örneği alınmıştır. Alınan toprak örnekleri kilitli poşetlere konularak etiketlenmiş ve pH analizi yapılmak üzere Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Laboratuvarında Jackson metoduna göre analize hazırlanmıştır (Jackson, 1959). Buna göre 1:2,5 oranında toprak: su karışımı (5gr: 12.5 ml) hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çamur yaklaşık 3 saatlik bir bekleme alandıktan sonra oluşan satürasyon çamurunun pH değeri dijital pH metre ile ölçülmüştür. pH Grup ID 8-24 aralığı teste dahil edilmiştir. Başlangıç pH testlerine tabi tutulan bitkiler saf suya göre 200 ppm stok solüsyonu ile sulanmış olup 90 gün sonunda bitkilerdeki gelişim gözlenmiş ve genel olarak en iyi gelişen ilk 3 bitkinin pH 6-7 aralığında olduğu görülmüştür.

3.1.2.6. Denemede Kullanılan Çeşitler Ve Farklı pH Değerlerinin Bitki Gelişimine Etkisi

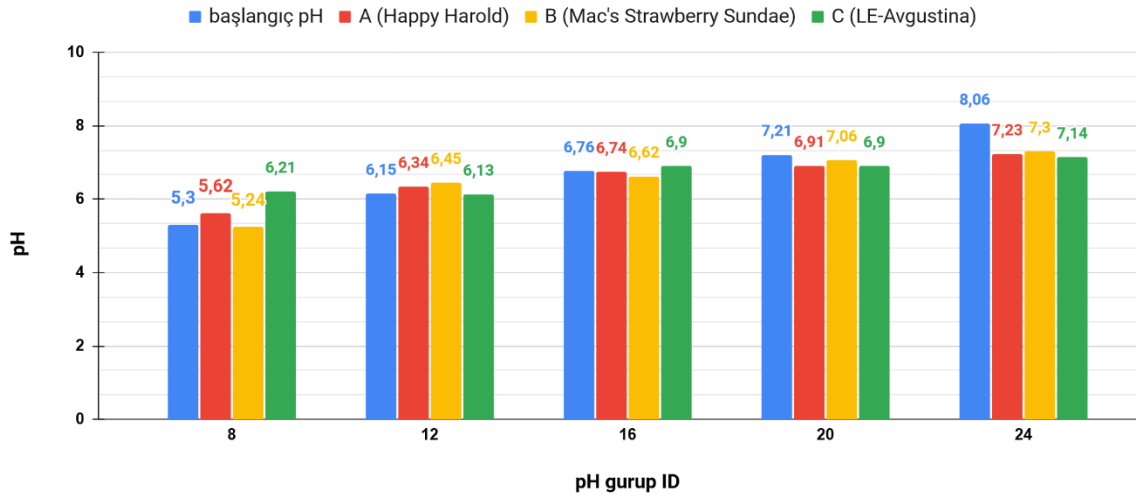
pH denemesi için 4 çeşit hibrit Afrika menekşesi kullanılmıştır. Her çeşitten 2 grup ve 5 farklı pH değerine sahip yetiştirme karışımı bitki denemeye dahil edilmiştir.

pH denemesi için kullanılan çeşit listesi:

1. Happy Harold
2. Mac's Strawberry Sundae
3. LE-Avgustina
4. LE-Scarlett

Şekil 20

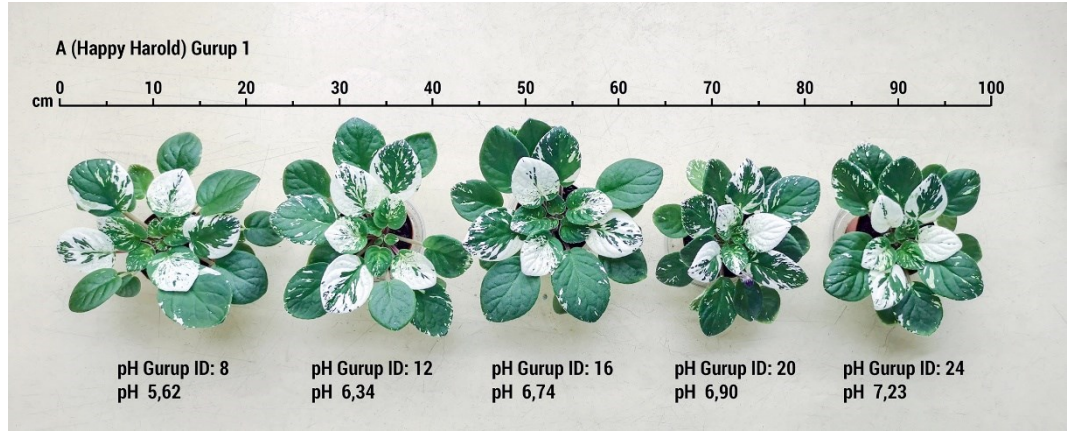
3 Farklı Çeşit için Başlangıç ve 90 Günlük Ph Değişim Değerleri



Şekil 20’de yer alan grafik değerlerine bakıldığında pH değişimlerinin genel olarak pH 7.0 değerine doğru kaydığını görülmektedir. Kullanılan kireçleme malzemelerinin miktarına göre karışımın tampon pH değerinde zamana bağlı olarak düşme beklenir. Aynı zamanda sulama suyunda bulunan besinlerden dolayı tuzluluk artışı da yaşanacaktır. Bu tuzluluk artışı karışımın asitlik değerini zamana, bitkinin büyüklüğüne ve bitkinin besin kullanımına bağlı olarak değiştirecektir. Tuz birikimi ve asitlik değerinin ideal sınırlar dışına çıkması genelde 6 ay ile 1 yılı bulabilir. Bu nedenle bu süreden sonra Afrika menekşesinde saksı ve toprak değişimi önerilir (Stork ve Stork, 2017).

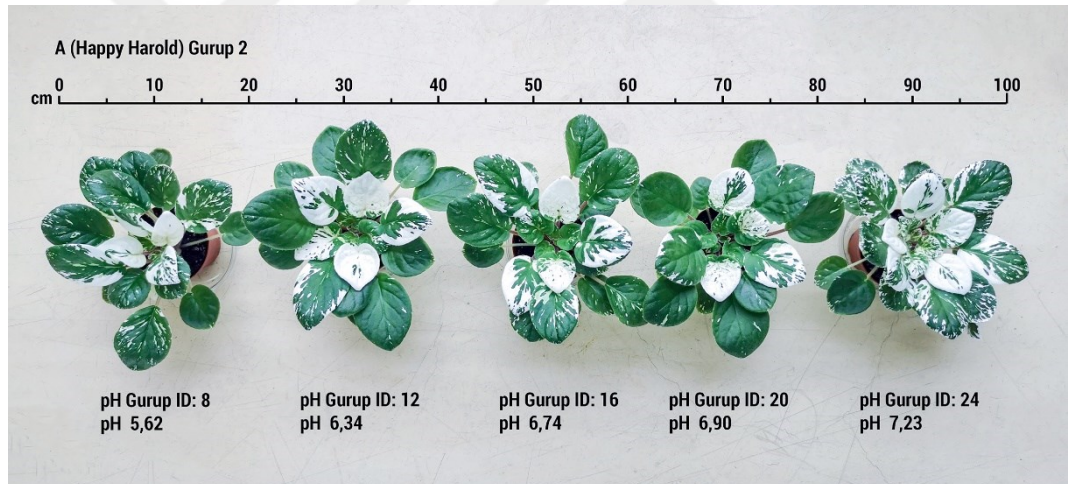
Şekil 21

Çeşit 1. Happy Harold - Grup 1, 90 Gün Sonunda pH Test Sonuçları ve Bitki Gelişimi



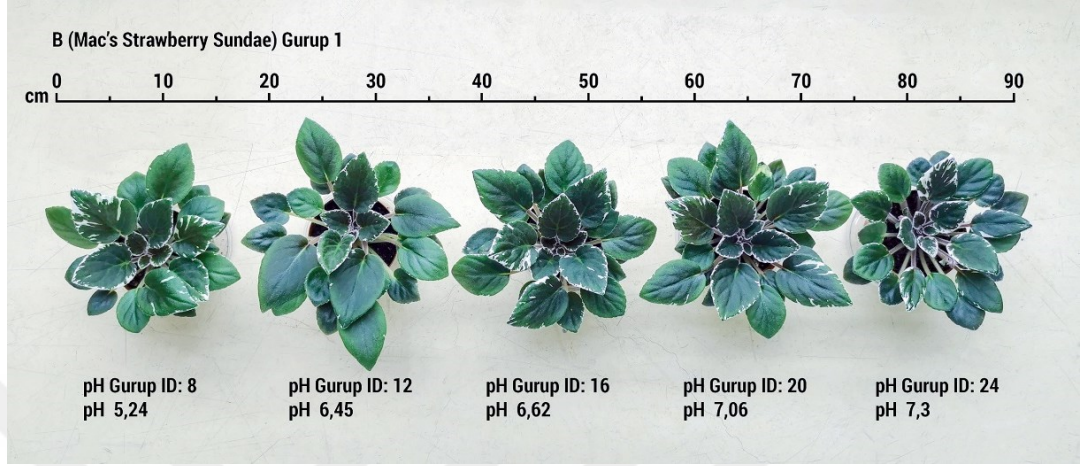
Şekil 22

Çeşit 1. Happy Harold - Grup 2, 90 Gün Sonunda pH Test Sonuçları ve Bitki Gelişimi



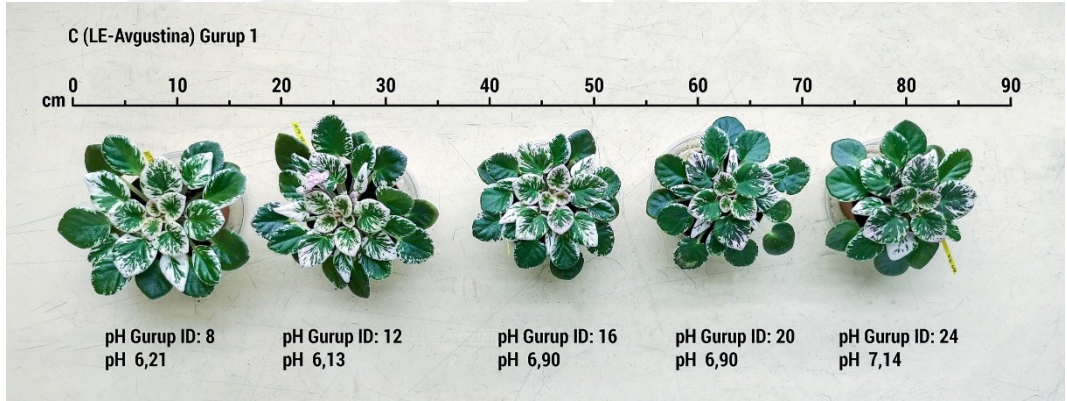
Şekil 23

Çeşit 2. Mac's Strawberry Sundae - Grup 1, 90 Gün Sonunda pH Test Sonuçları ve Bitki Gelişimi



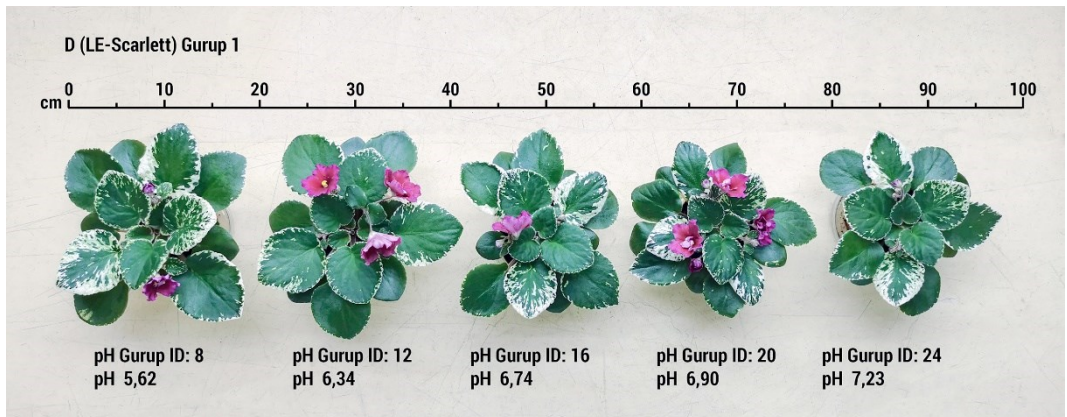
Şekil 24

Çeşit 3. LE-Avgustina - Grup 1, 90 Gün Sonunda pH Test Sonuçları ve Bitki Gelişimi



Şekil 25

Çeşit 4. LE-Scarlett - Grup 1, 90 Gün Sonunda pH Test Sonuçları ve Bitki Gelişimi

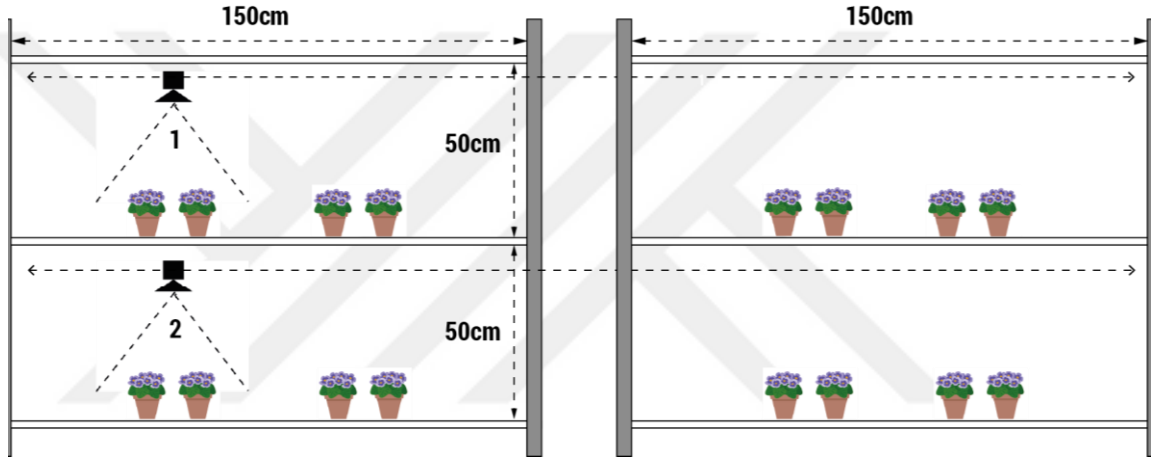


3.1.2.7. Bitki Yetiştirme Rafları

Deneme için hazır hale gelen bitkiler 6 katlı 2 adet dikey üretim rafına alınmıştır. Raflar 50cmx150cm alana sahiptir. 4 adet raf deneme yapılacak bitkilere ayrılmış ve raf arası yükseklik görüntü alacak kameranın teknik özellikleri de dikkate alınarak 50 cm olarak belirlenmiştir. Bitki yetiştirme raflarının yapısı Şekil 26’da görülmektedir. Diğer rafların arası ise 35 cm yüksekliktedir ve projede kullanılacak anaç bitkiler ve diğer çalışmalar için yetiştirilen bitkilere ayrılmıştır .

Şekil 26

Bitki Yetiştirme Rafları



Afrika menekşesi fideleri 5cm saksılarda yaklaşık 5-8cm yükseklikte, yetişkin bitkiler ise 8-10cm saksılarda yaklaşık 12-15cm yüksekliğindedir. Yapay ışık elemanları ısı ürettiğinden bitki yaprak seviyesi ile arasında en az 25-30 olmalıdır. Bu durumda genel kullanım için raf yükseklikleri 35-40cm aralığında olmalıdır.

3.1.2.8. İklimlendirme

Afrika menekşesi 18-25C sıcaklık ve %40-60 bağıl nem isteyen bir bitkidir (Akin, 2023) (Weisenhorn, 2018). Bitkilerin yetiştirildiği kontrollü ortamın ısısı merkezi iklimlendirme ile kontrol edilmiştir. Merkezi iklimlendirme sistemde günlük, haftalık, aylık ve yıllık program dahilinde kış aylarında ısıtma yaz aylarında ise soğutma sistemi çalıştırılmıştır. Oda sıcaklığı gündüz 22-25C arasında gece ise 18-20C arasında olacak şekilde program yapılmıştır. Bu çalışmanın yapıldığı bölgenin (Adapazarı) yıl boyunca nem değerleri hibrit Afrika menekşesi yetiştiriciliği için oldukça uygun olup sistemde herhangi bir nemlendirme fonksiyonu kullanılmamıştır.

3.1.2.9. Aydınlatma

Afrika menekşesi çevre kontrollü ve kapalı tarım uygulamalarında geçmişte floresan ampul aydınlatması ile başarılı sonuçlar alınmıştır (Conover ve Poole, 2022; Zalesky, 1983). Günümüzde ise LED aydınlatma elemanları ile benzer sonuçlar alınmaktadır (Ahamadi vd., 2023). Hibrit Afrika menekşesi yetiştirme raflarında ikişer adet PHILIPS - LEDtube T8 1500mm 20W/865 G13 LED 6500K floresan LED ampul kullanılmaktadır. Photoperiod 9/15 (aydınlık/karanlık) ışıklanma ihtiyacına göre otomasyon sistemi ayarlanarak bitkilerin ideal aydınlatma düzeyi olan 2500-3500 lux değerinde ışık yaprak seviyesinde verilmiştir (Bui, 2020). Rafların her noktasında ölçümler yapılarak LED ampuller arasındaki ideal mesafe 28cm olarak belirlenmiş ve ışığın homojen olarak tüm bitkileri aydınlatması sağlanmıştır. Ayrıca denemede tüm rafi kullanmak, aydınlatmanın homojen olmadığı alanlarda (rafların kısa kenarları) bitkilerin dengesiz büyümesine neden olacağından Şekil 20’de görüldüğü gibi bitkilerin yerleşiminde rafların sadece orta kısımlarındaki homojen ışık alanları kullanılmıştır.

3.1.2.10. Sulama

Afrika menekşesi yetiştirirken sulama için klor vb. kimyasal madde içermeyen sular kullanılmalıdır. Şişelenmiş veya damacana sular bu amaç için uygun olmakla birlikte maliyeti oldukça yüksek olacaktır. Şehir şebekesi suları ise ancak dinlendirildikten sonra kullanılabilir (Skalski, 2020). Şehir şebekesi sularında bulunan yüksek oranda mineral zamanla karışımın yüzeyinde birikerek mantar yosun vb. oluşumuna neden olabilir. Bu çalışmada ise su kaynaklı yabancı maddelerin sonuçları etkilememesi adına kurulmuş bir RO (Reverse Osmosis – Ters Ozmoz) arıtma membran sistemi üzerinden alınan artıma suyu ile sulama yapılmıştır. Artıma su çok düşük çözünmüş madde miktarına (TDS) sahip olduğundan (5 ppm) tek başına bitkileri sulamak için yeterli değildir çünkü içeriğinde herhangi bir besin veya mineral bulunmamaktadır. Bu sebeple sulama suyuna belirli oranlarda besin ve mineral eklenmesi gerekmektedir.

3.1.2.11. Ana Stok Besin Solüsyonu

Denemede kullanılacak olan ana stok besin solüsyonun içeriği %20 Azot, %10 Fosfat %20 Potasyum temel elementlerinin yanında %0.05 Mg, %0.0068 B, %0.0036 Cu, %0.05 Fe, %0.025 Mn, %0.00009 Mo, %0.0025 Zn mikro elementlerinden oluşmaktadır. Ana stok besin solüsyonu farklı dozlarda arıtma su ile seyreltilerek bitki sulaması yapılmıştır.

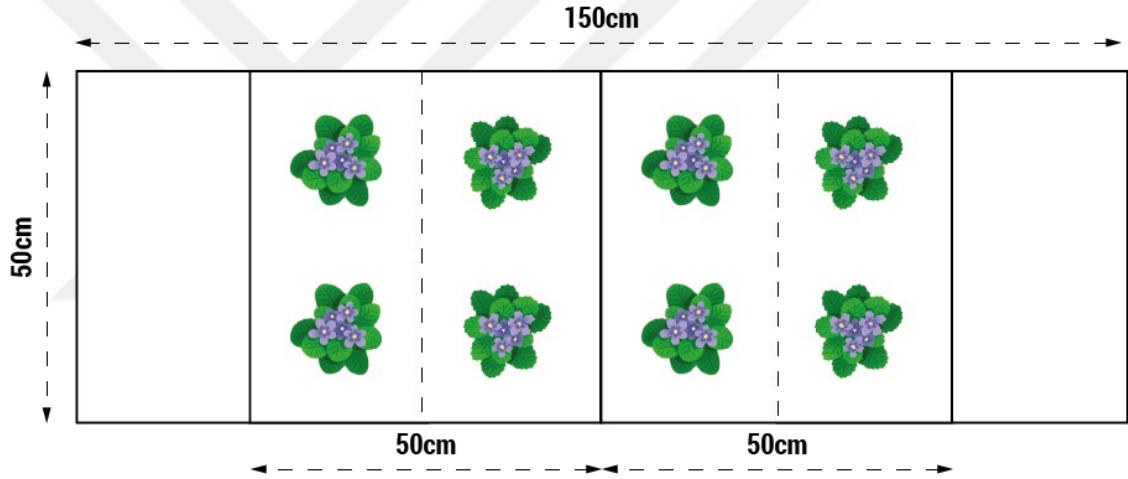
Ana stoktan seyreltilecek besin solüsyonu dozları 5ppm (kontrol), 100ppm, 200ppm ve 300ppm, 4 grup olacak şekilde ayarlanmıştır. (Holtkamp, 2023).

3.1.2.12. Deneme Deseni

Hibrit Afrika menekşesi örneklerinin görüntülerinin alınması kapsamında yapılmış olan denemede, kullanılmış olan bitkiler Şekil 27’de görüleceği üzere tesadüf parselleri deneme desenine göre 2x2 düzeninde 4 grup şeklinde uygulanmıştır. Toplamda 2 farklı çeşit 2 rafa yerleştirilerek deneme gerçekleştirilmiştir. Denemede 2 farklı çeşit hibrit Afrika menekşesi kullanılmıştır;

Şekil 27

Deneme Deseni Raf Dizilim Şeması



1. AV-Bogema
2. NK-Lilon Lila
3. LE-Roza Vetrov Sport (yedek çeşit)

Afrika menekşesinden çelikleme tarihinden itibaren 30 ila 32. haftaya kadar pazarlanabilir bitki elde edilebilir. Bu süre köklenmemiş fidelerde ise 100 ila 120 gündür (Holtkamp, 2023). Buna göre deneme süreci fidelerin tek başlarına saksılara dikilmesinden itibaren 100 ila 120 günlük süreyi kapsamaktadır. Bu süre zarfında test deseni diziliminde bitkilerin her çeşit ve farklı besin gurubunun ayrı ayrı olacak şekilde görüntüleri alınarak görüntü veri tabanı oluşturulmuştur.

3.2. Bilişim Sistemi

Bu bölümde donanım, yazılım, ağ ve IoT çözümlerinin çalışmanın amacına uygun bir bilişim sistemi olarak nasıl kurgulandığı anlatılmaktadır. Bitki görüntüleme sistemi, sunucular, ağ, yazılım ve IoT başlıkları altında tasarlanan bilişim sistemi incelenmektedir.

Tasarlanan sistemin başlıca özellikleri:

- i. Uzaktan erişilebilir olması
- ii. Farklı tipteki IoT cihazlarının merkezi yönetimi
- iii. Geçmiş verilerin saklanabilmesi
- iv. Otomasyon scriptleri ile çeşitli görevleri yerine getirebilmesi
- v. Herhangi bir dış bilişim kaynağına ihtiyaç duymadan tamamen yerel ortamda çalışabilmesi
- vi. Esnek olması

3.2.1. Bitki Görüntüleme Sistemi

Teste dahil edilmiş olan hibrit Afrika menekşesi bitkilerin gelişim süreci, aralıklı fotoğraflama yöntemiyle ve ortam sensör verileri ile izlenmektedir. Şekil 28’de yetiştirme raflarında teste dahil edilmiş olan bitki grupları görülmektedir.

Şekil 28

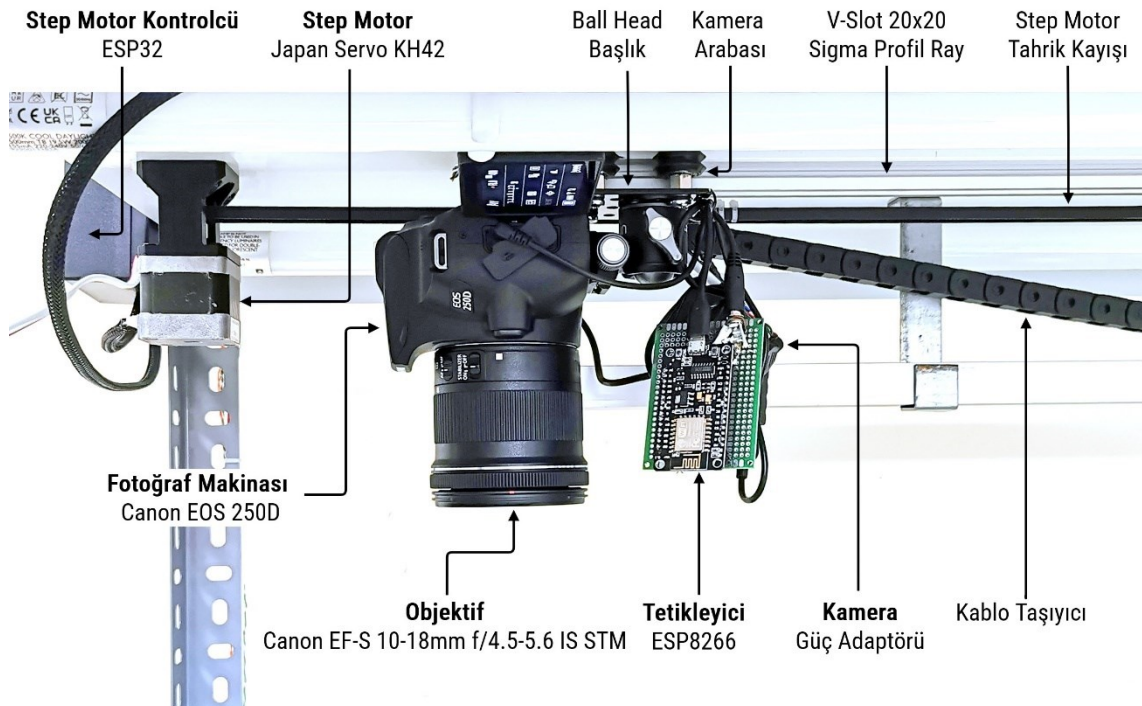
Teste Dahil Edilen Hibrit Afrika Menekşesi Grupları ve Görüntüleme Sistemi



Bu grupların görüntüleri Şekil 29’da bulunan görüntüleme sistemi tarafından ve rafların üzerinde bulunan 3m uzunluğunda V-Slot 20x20 sigma profil bir ray üzerinde hareket edebilen bir fotoğraf makinesi ile 9:00-18:00 periyodunda 1 saat aralıklarla alınmaktadır. (Xhimitiku vd., 2021) özellikle kontrollü ortamlarda bitki büyümesinin gerçek zamanlı izlenmesini sağlamak için sürekli ve sık görüntü alımına duyulan ihtiyacı vurgulayarak, sabit veya hareketli kameralar kullanarak 1 saat veya altındaki periyotlarda görüntü alımı yoluyla gerçek zamanlı izlemenin fizibilitesini tartışmıştır. Depolama, izleme ve görüntü işleme kısıtları nedeniyle gerçek zamanlı görüntü alımı yerine 1 saatlik periyotlarda görüntü alımı tercih edilmiştir. Bu periyot görüntü işleme, depolama ve büyüme takibi konusunda optimum sonuçları vermiştir. Kullanılan fotoğraf makinesi; Canon EOS 250D, kullanılan objektif; Canon EF-S 10-18mm f/4.5-5.6 IS STM modelidir. Fotoğraf makinasının bataryası çıkarılmış ve kamera sistemi, batarya yuvasına bağlı güç adaptörü ile kullanılmıştır. Fotoğraf makinesi, ray üzerinde hareket edebilen tekerlekli bir araba üzerine tripod başlığı ile monte edilmiştir. Tekerlekli araba, bir tahrik kayışı yardımı ile step motor tarafından istenilen adımda hareket ettirilerek tüm ray boyunca çalışabilmektedir. Görüntüleme sistemine bağlı kabloların rahat hareket edebilmesi için uygun uzunlukta katlanabilir bir kablo taşıyıcı kullanılmıştır.

Şekil 29

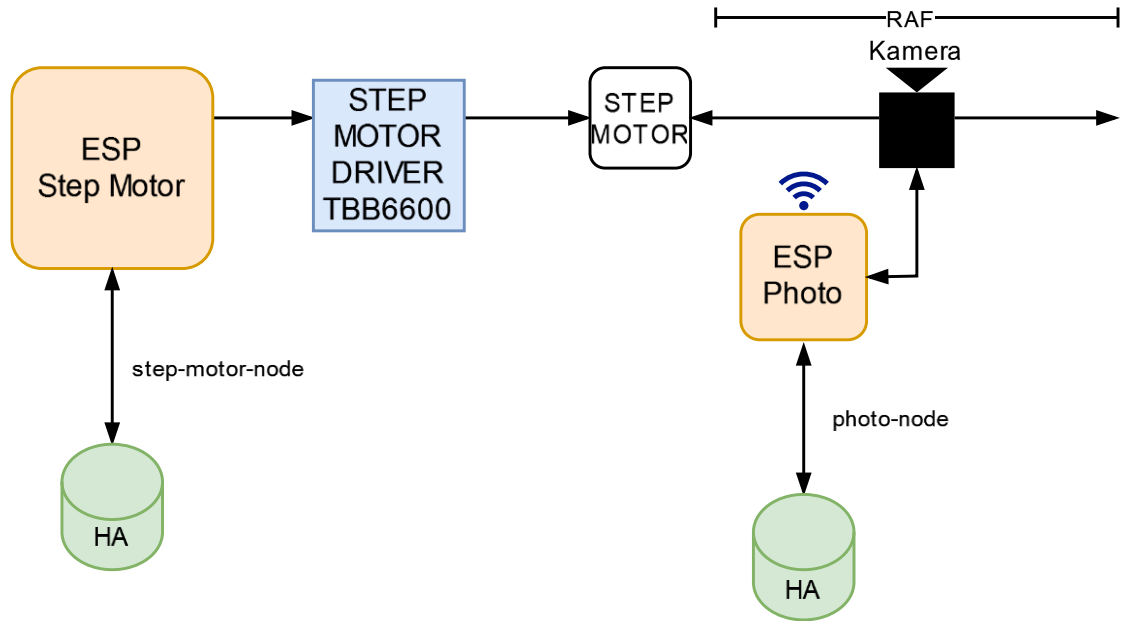
Bitki Görüntüleme Sistemi Bileşenleri



Görüntü alma sisteminde kullanılan step motoru kontrol etmek amacıyla bir ESP32 IoT kontrolcüsü tasarlanmıştır. Step motor kontrolcüsünün görevi tüm raf boyunca fotoğraf makinesini istenilen konumlara götürmek ve istenilen süre kadar o konumda durdurmaktır. Fotoğraf makinesinin planlanan zamanlarda otomatik olarak görüntü alabilmesi için de fotoğraf makinesinin deklanşörünü (shutter) tetikleyebilen bir ESP8266 IoT cihazı kullanılmaktadır. Deklanşör kontrolü için tasarlanan bu IoT cihazı, fotoğraf makinesinin deklanşör tetikleme portuna bağlıdır. Günlük olarak çalıştırılan otomasyon yazılımı sayesinde deklanşör portu üzerinden istenilen zamanda ve sayıda bitki görüntüleri alınabilmektedir. Görüntü alma sistemi yapılandırma şeması Şekil 30'da görülmektedir.

Şekil 30

Görüntü Alma Sistemi Yapılandırma Şeması



Bitkilerin görüntülerinin alınması işlemi olayları:

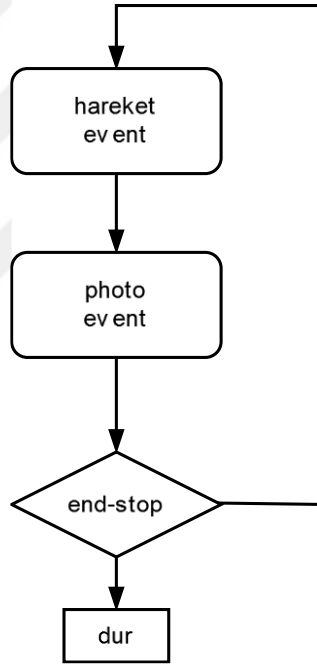
1. Belirli periyotlarda kameranın raf boyunca fotoğraflama işlemine başlatılması (HA=>esp-step-motor-node, esp-photo-node)
2. Fotoğraf makinesinin uykudan uyandırılması (HA=>esp-photo-node)
3. Fotoğraf makinesinin tetiklenmesi ve fotoğrafın çekilmesi (HA=>esp-photo-node)
4. Step motorun 50cm ilerletilmesi (HA=>esp-motor-node)

5. Fotoğraf makinesinin rafın sonuna gelmesi (Şekil 32'deki endstop sensörü tetiklenmesi ile) (esp-motor-node=>HA)
6. Fotoğraf makinesinin rafın başına gelmesi (endstop tetiklenmesi ile) (esp-motor-node=>HA)
7. Step motorun başlangıç noktasına geri çağırılması (HA=>esp-motor-node)

Yukarıda belirtilen olaylar bitki görüntü alma işlemi sürecinde gerçekleşen olaylardır. Bu olaylar HA üzerinde tanımlanan otomasyon algoritması ile Şekil 31'deki akış diyagramında gösterildiği gibi bir akış içinde çalıştırılmaktadır.

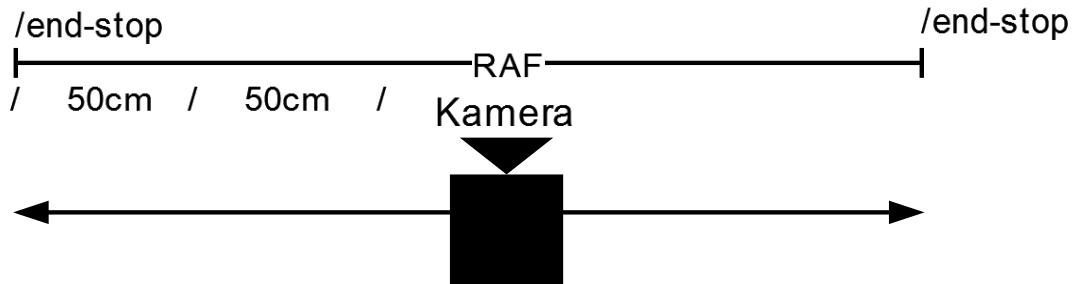
Şekil 31

Görüntü Alma Akış Diyagramı



Şekil 32

Görüntü Alma Sistemi Kamera ve end-stop Yapılandırma Şeması

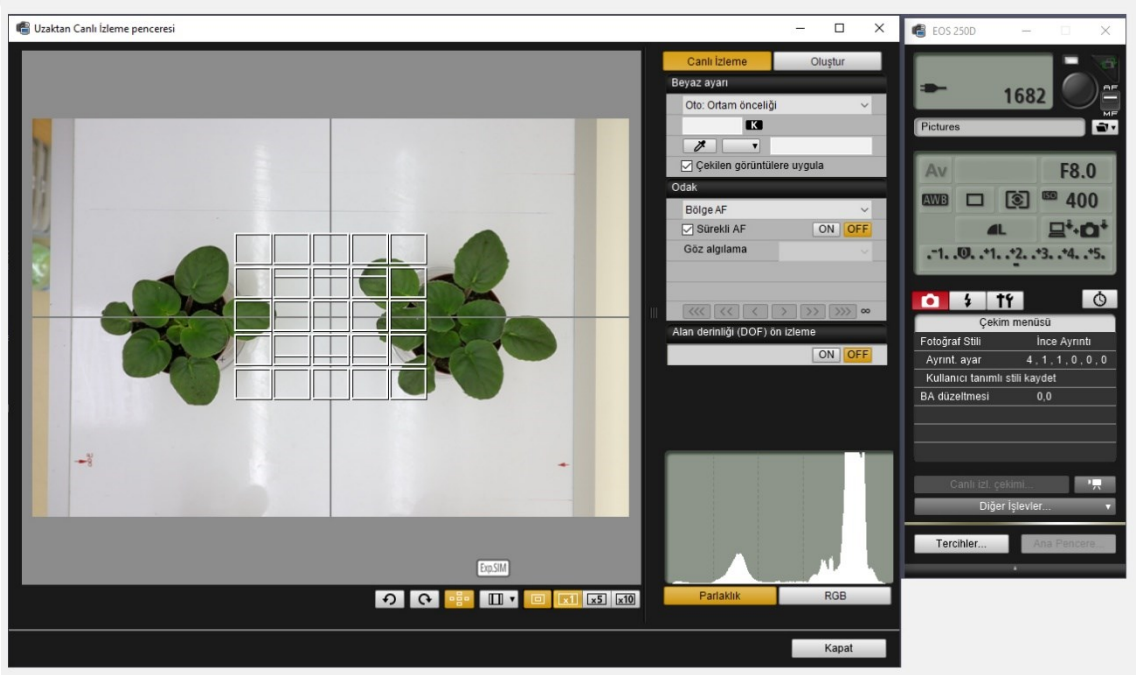


3.2.2. Bitki Görüntü Kütüphanelerinin Oluşturulması

Görüntü alma sistemi için kullanılan Canon EF-S 10-18mm f/4.5-5.6 IS STM lens ile 50cm montaj mesafesinde dikeyde 45cm yatayda 70cm alan netlenebilmektedir. Raf yüksekliğinin verimli kullanımı için geniş açı lens ve düşük netleme mesafesi gerekmektedir. Her deneme deseni gurubu 4 adet bitkiden oluşmakta olup bu gurubun tamamı tek karede 4000x6000px çözünürlükte görüntülenmekte ve kütüphaneye JPG formatı ile kaydedilmektedir. Şekil 33'te Canon kameraya ait uzaktan görüntü alma arayüzü görülmektedir.

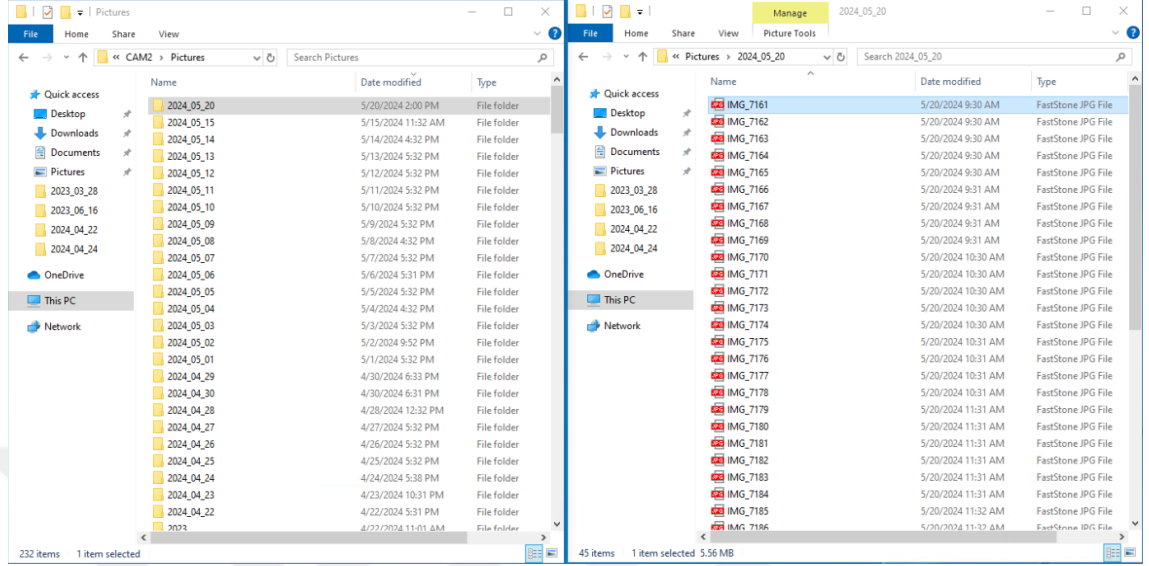
Şekil 33

Uzaktan Görüntü Alma Arayüzü



Şekil 34

Bitki Görüntü Kütüphanesi



Şekil 34'te yer alan görüntü kütüphaneleri, yerel ağ entegrasyonu ile sanallaştırılmış sunucu üzerinde bulunan depolama biriminde oluşturulmaktadır. Tüm görüntüler önce kamera ID klasörüne, daha sonra ise alt klasörün ismi yıl_günün tarihi olacak şekilde depolanmaktadır. Her bir kamera, 4x4 olacak şekilde gruplanmış bitkiler için, gruptaki her 2 bitkiyi ayrı ayrı olmak üzere toplam 10 adet fotoğraf çekmektedir. Böylece her gün 9:00-18:00 saatleri arasında saat başı 10 adet olmak üzere kamera başına 100 adet 2 kamera için toplam 200 adet fotoğraf kütüphaneye kaydedilmektedir. Şekil 35'te örnek bitki fotoğrafı görülmektedir.

Şekil 35

Görüntü Kütüphanesi Örnek Bitki Fotoğrafı



3.2.3. Sunucu

Tasarlanan sistem herhangi bir dış bilişim kaynağına ihtiyaç duymadan çalışabilmektedir. Bir adet bilgisayar, sunucu olarak kullanılmak üzere sanallaştırılmıştır. Bu bölümde sunucu donanımı, sanallaştırma, depolama ve kullanılan işletim sistemleri başlıklar altında incelenecektir.

3.2.3.1. Donanım

Sanallaştırma sunucusu olarak kullanılan bilgisayarın özellikleri:

- AMD Ryzen 7 5800X 8-Çekirdek işlemci
- 64GB DDR4 RAM, Nvidia GeForce RTX 3090 ekran kartı
- 2TB Nvme SSD depolama

Depolama sunucusu olarak kullanılan (NAS) bilgisayarın özellikleri:

- İntel i5 işlemci
- 32GB RAM,
- 4x4TB WD Red NAS HDD (12TB toplam kullanılabilir alan)
- TrueNAS yazılımı üzerinden RAIDZ1 konfigürasyonu

3.2.3.2. Sanallaştırma

Sanallaştırma sayesinde mevcut donanımsal kaynaklar, farklı amaçlar için paylaşımlı olarak kullanılabilir. Bu çalışmada Proxmox sanallaştırma ortamı ile tip 1 sanallaştırma yapılmıştır. Tip 1 sanallaştırmada, hipervizör doğrudan sunucunun donanımında çalışır. Tip 2 sanallaştırmada ise konuk işletim sisteminin içinde hipervizör bir işlem olarak çalışır. Tip 1 sanallaştırma ile donanımın verimli ve doğrudan kullanılması sağlanmıştır.

Proxmox sanallaştırma yazılımı, işlemci, ram, depolama, ağ, ekran kartı ve diğer USB aygıtlarının sanallaştırılması, sanal makineler arasında paylaşımın yönetilmesi ve sanal makinelerin web arayüzü ile uzaktan yönetilmesi işlemlerini yerine getirmektedir. Bunların dışında snapshot özelliği ile sanal makinelerin anlık görüntülerini yedekleyerek istenilen yedeğe geri dönülmesini de sağlamaktadır. Farklı işletim sistemlerine sahip sanal makineler tek bir donanım üzerinde proxmox ile çalıştırılmaktadır. Sanal makineler aşağıdaki gibi listelenmiştir:

1. Otomasyon kontrolünü sağlayan Linux işletim sisteminde çalışan Home Assistant yazılımını içeren sanal makine
2. Fotoğrafların geçici olarak depolanması ve uzaktan fotoğraf makinesinin kontrolü için Windows 10 kurulu bir sanal makine
3. Görüntü işleme ve yapay zekâ çalışmalarının yürütüldüğü Linux işletim sisteminde Ubuntu 22.04 dağıtımını içeren bir sanal makine
4. Veri tabanı Postgresql'in bulunduğu Linux işletim sistemi içeren bir sanal makine

Sunucuda CUDA destekli NVIDIA RTX3090 ekran kartı bulunmaktadır. Bu ekran kartının sanal makinelerde kullanılması doğrudan mümkün değildir. Sanal makinelerin donanımları sanallaştırma yazılımı PCI arayüzü ile makinelerde sanal olarak bulunmaktadır. Ekran kartının CUDA işlem birimi ile işlem yapabilmesi, sanal bir ekran kartının sanal makineye bağlanması ile mümkün olamaz. Bu nedenle ekran kartının sanallaştırma ile kullanılabilmesi için PCI geçişi (PCI passthrough) kullanılmıştır. PCI geçiş özelliği, donanım aygıtlarına sanal makineden erişmenizi ve bunları yönetmenizi sağlar. PCI geçişi yapılandırıldığında, PCI aygıtları konuk işletim sistemine fiziksel olarak bağlıymış gibi çalışır. Bu sayede ekran kartı, istenilen sanal makineye bağlanarak çalışabilmektedir. Farklı çalışma ortamları için ekran kartına gereksinim duyulması halinde ekran kartı farklı sanal makinelere hızlıca transfer edilebilmektedir. Projede CUDA işlem birimi PCI passthrough ile görüntü işleme ve yapay zekâ modellerinin oluşturulmasında kullanılmaktadır.

3.2.3.3. Depolama

Sanal makinelerin verileri Proxmox ile oluşturulan sanal disklerde saklanmaktadır. Bu sanal diskler ise sunucuda bulunan M.2 SSD diskte saklanmaktadır. Sanal makinelerin işletim sistemleri bu disk üzerinde çalışmaktadır. Ancak görüntüler bu disk üzerinde kalıcı olarak depolanmamakta, kalıcı olarak depolama için NAS (Network Attached Storage) kullanılmaktadır.

NAS için ayrı bir bilgisayar donanımı vardır. Bu donanım, içinde 4 adet NAS için özel olarak üretilmiş Sabit Disk Sürücüsü (HDD) barındırmaktadır. İşletim sistemi olarak açık kaynak olan TrueNAS kullanılmıştır. TrueNAS, ağ üzerinden erişilebilen merkezi bir depolama sunucusu kurulabilmesi için gereken tüm özellikleri sağlamaktadır. Samba (SMB) dosya paylaşımı ile fotoğraflar ağ üzerindeki bilgisayarlar ile

paylaşılabilir. TrueNAS'ın FTP, NFS gibi diğer paylaşım servisleri de bulunmaktadır.

NAS sunucusunun en önemli özelliği ise ZFS dosya sistemi ile içinde bulunan 4 HDD'yi yönetmesidir. ZFS ile oluşturulan depolama havuzu 4 HDD'yi birlikte kullanmaktadır. Veriler bu 4 HDD ile hem paylaşılmakta hem de yedeklenmektedir. HDD'lerden birisinin arızalanması durumunda veri havuzu bu durumdan etkilenmeden çalışmaya devam etmektedir. Arızalı HDD'nin yerine yeni bir tane takılarak diğer HDD'lerde bulunan veriler yeni takılan HDD üzerine yeniden tamamlanmaktadır.

Tez çalışması süresince alınan yaklaşık 3TB'lık görüntü ve diğer verileri yedekli olarak saklanmaktadır. Tek bir depolama ünitesi ile verilerinin depolanması çalışma için büyük bir risk teşkil edeceği için depolama için özel bir NAS sunucusu tercih edilmiştir.

3.2.3.4. İşletim Sistemleri

Bu çalışmada farklı işletim sistemlerinin kullanılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Çalışmada genel olarak Linux işletim sistemleri kullanılmış olsa da uyumluluk açısından Windows işletim sistemleri de kullanılmıştır. Sanallaştırma başlığı altında kullanılan sanal makineler ve işletim sistemlerine değinmiştik. İlerleyen başlıklarda bu işletim sistemleri hakkında daha detaylı bilgi verilmiştir.

Home Assistant: Tez çalışmasının otomasyon kontrolünü ve IoT cihazların merkezi yönetimini sağlayan yazılımdır. Home Assistant yazılımı Linux üzerinde çalışabilen Python ile geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir yazılımdır. Home Assistant üzerinde, ihtiyaç duyulan tüm gereksinimleri minimalist bir yaklaşımla sağlayan Home Assistant OS (HAOS) işletim sistemini kullanılmaktadır. Bu işletim sistemi sadece Home Assistant yazılımı için özel olarak tasarlanmış Linux çekirdekli bir işletim sistemidir. İçinde bir Kapsayıcı Motoru, (Container Engine - CE) çalıştırdığı için de ihtiyaç duyulan tüm eklentileri kapsayıcılar (container) ile çalıştırabilmektedir. Bu projede ihtiyaç duyulan TailScale, ESPHome, NodeRed ve Mosquitto MQTT server eklentileri bu sayede, dahili işletim sistemi içinde çalışabilmektedir.

Görüntü Yönetimi: Canon fotoğraf makinelerinden görüntülerin kablosuz olarak alınabilmesi için Canon'un kendi yazılımı kullanılmaktadır. Bu yazılım sadece Windows işletim sistemini desteklediği için fotoğraf makinesi yönetimi için bir Windows 10 işletim sistemi kurulmuştur. Bu sanal makinede Canon fotoğraf makinesi yönetim yazılımını

sürekli olarak çalıştırılmaktadır. Fotoğraf makinesi ile çekilen fotoğraflar bu sanal makineye aktarılmakta ve sonrasında ise kalıcı depolama için NAS sunucusuna kaydedilmektedir.

Görüntü İşleme ve Yapay Zekâ: Yapay zekâ ve görüntü işleme için yazılan Python kodları Ubuntu 22.04 Linux dağıtımında çalıştırılmaktadır. Donanımdan en fazla verimi alabilmek için Linux işletim sistemi tercih edilmiştir.

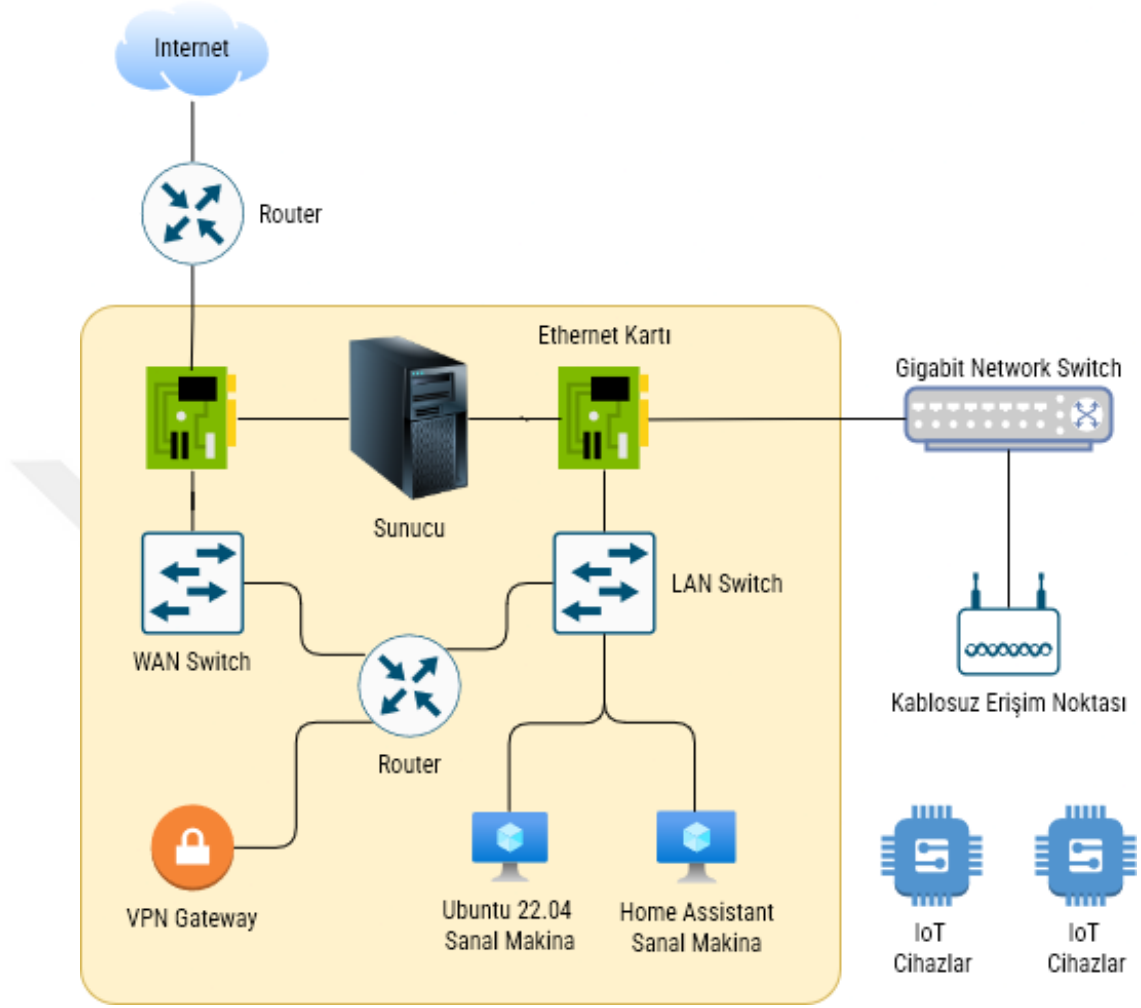
Veri Tabanı: Veri tabanı olarak kullanılan Postgresql için yine bir Linux dağıtımı olan Ubuntu 22.04 tercih edilmiştir. Postgresql, en iyi performansı alabilmek için Linux işletim sistemlerini önermektedir.

3.2.4. Network

Bilişim sistem ağ altyapısı için bir yerel alan ağı (LAN) oluşturulmuştur. Sanallaştırılan sunucu, 2 adet ethernet kartına sahiptir. Ethernet kartlarından bir tanesi LAN için kullanılmakta, diğeri ise dış ağlara (WAN) erişimde kullanılmaktadır. WAN ile internete bağlantı sağlanırken, LAN ile projenin tüm sunucuları ve cihazları kendi aralarında haberleşmektedir. Yerel ağ, 192.168.31.0/24 alt ağından çalışmaktadır. Bu sayede cihazların birbirleri ile aynı ağ üzerinden haberleşebilmesi sağlanmıştır. Yerel ağdan WAN ağına çıkış yapılabilmesi için sanal bilgisayarda bulunan bir router ile NAT işlemleri gerçekleştirilmektedir. Sanal makineler, sanal bir switch olan LAN switch'e bağlanmıştır. Sunucunun LAN arayüzü ile bağlanan fiziksel gigabit network switch de sanal LAN switch'e bağlıdır. Bu sayede IoT cihazları kablosuz erişim noktası üzerinden yerel ağa bağlanmış olur. Bilişim sistemi ağ altyapısı Şekil 36'da görülmektedir.

Şekil 36

Bilişim Sistemi Ağ Altyapısı



Sistemi uzaktan erişim sağlayabilmek için sanal özel ağ (VPN) bağlantısı kullanılmaktadır. VPN sunucusu, router üzerinde bir gateway olarak tanımlanmıştır. Tüm VPN fonksiyonları wireguard ile çalışan tailscale servisi ile sağlanmaktadır. Tailscale servisi ile yetkilendirilen kullanıcılar LAN ağına uzaktan erişim sağlayabilmektedirler. Tailscale servisinin bulut tabanlı bir servis olması sayesinde web arayüzünden tüm ayarlar yapılabilmektedir. Bunun yanında herhangi bir portu dışarı açarak güvenlik açığı oluşturulmamaktadır. Tailscale servisi, çalıştırılan local agent servisi ile kendi sunucuları üzerinden VPN erişimini LAN'a sağlayabilmektedir.

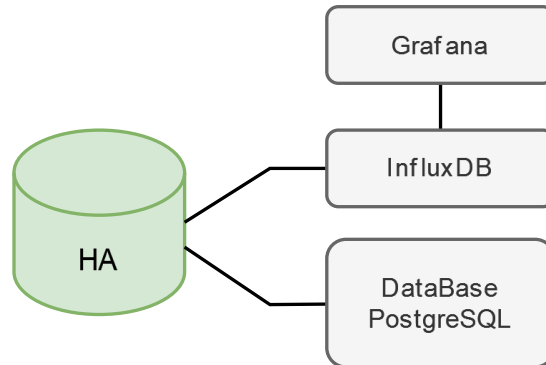
3.2.5. Yazılım

3.2.5.1. Otomasyon Kontrol Yazılımı ve Postgresql Veri Tabanı

Home Assistant (HA) yazılımı, yerel kontrol ve gizliliğe önem veren açık kaynaklı bir merkezi kontrol yazılımıdır. Farklı protokollerde çalışan IoT cihazları ile iletişim kurabilir. Bu sayede farklı cihazlar arasında kolaylıkla entegrasyon sağlamaktadır. Tüm olayları (events) ve sensör verilerini kayıt altına alabilmektedir. Home Assistant, bir işletim sistemi olarak “HAOS (Home Assistant OS)” adı ile açık kaynak sunmaktadır. Proxmox içinde HAOS bir sanal makine olarak kurulmuştur. HAOS ile tüm IoT cihazları tanımlanabilir ve kontrol edilebilir. Home Assistant, verileri sqllite veri tabanında tutmaktadır. Tez çalışması kapsamında, çok fazla veri toplandığı için sqllite bu ihtiyacı karşılayamaz. Bu sebeple bir başka sanal bilgisayara Postgresql veri tabanı kurularak veriler bu veri tabanı sunucusunda saklanmıştır. Postgresql veri tabanı, ilişkisel bir veri tabanı sunucusudur. HA, tüm sistem durumunu ve verilerini bu veri tabanında saklamaktadır. Ancak sensör verileri zamana bağlı veriler olması sebebiyle ilişkisel bir veri tabanında saklanması ve analiz edilmesi performans ve disk alanı açısından etkin bir çözüm değildir. Sensör verilerinin zamana bağlı bir veri tabanı olan InfluxDB’de saklanması gerekmektedir. Bu sebeple HA, Şekil 37’de görüldüğü gibi sensör verilerini ayrıca InfluxDB veri tabanına da göndermektedir. Grafana ile de InfluxDB üzerinde tutulan veriler görselleştirilmektedir.

Şekil 37

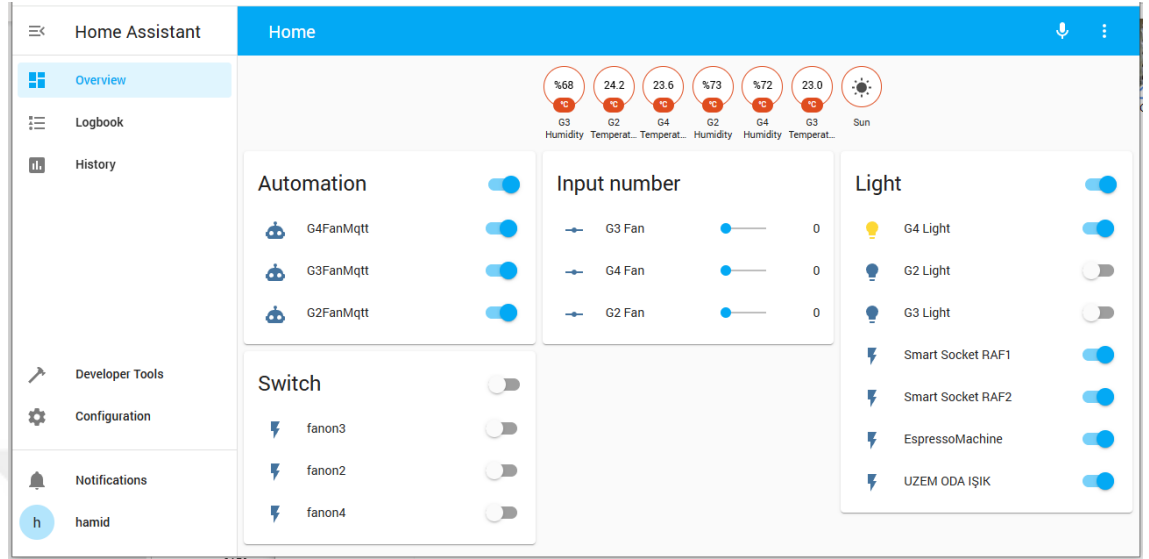
Home Assistant Veri Tabanı Yapılandırması



Tezde Şekil 38’de görülen HA yazılımı ile tüm IoT cihazları merkezi olarak kontrol edilmekte ve izlenmektedir. Uygulama Programlama Arayüzü (Application Programming Interface-API) ile HA ve IoT cihazlarının bağlantısı sağlanmaktadır.

Şekil 38

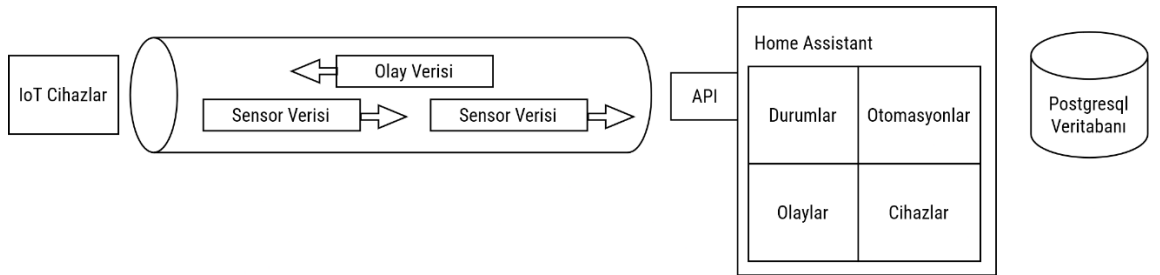
Home Assistant Arayüzü



IoT cihazlarda gerçekleşen herhangi bir durum değişikliği, HA sunucusuna anında aktarılır. Aynı API aracılığı ile sisteme bağlı tüm cihazların kontrolü de HA üzerinden sağlanır. IoT cihazları API ile açtığı bağlantıyı kapatmaz ve HA sunucusundan gelen bilgileri gerçek zamanlı olarak alabilir. Sistemin genel yapısı Şekil 39’da görülmektedir.

Şekil 39

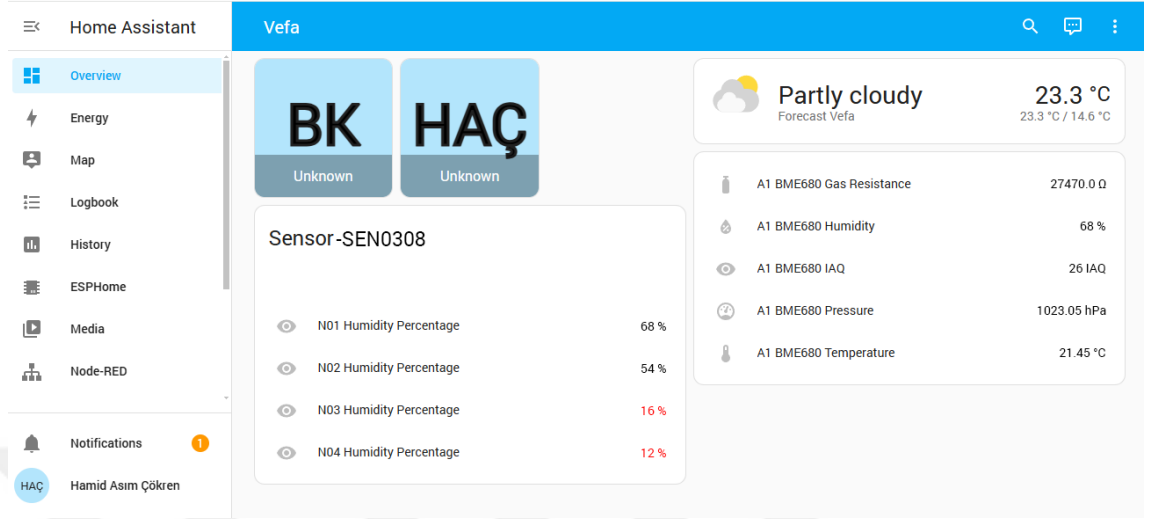
Home Assistant Yazılımı Genel Yapı



Görüntü alma işlemleri için step motor kontrolcü (ESP32) ve fotoğraf makinesi tetikleme kontrolcüsü (ESP8266) kullanılmaktadır. Bu iki cihaz tek bir görevin farklı bölümlerini yapmaktadır. HA API’si ile her iki cihaz tek bir otomasyon komut dosyası (script) tarafından HA üzerinden yönetilmektedir. Ortam ve bitki nem sensörlerinin bağlı olduğu HA arayüzü Şekil 40’ta görülmektedir.

Şekil 40

Home Assistant Arayüzü Ortam ve Bitki Nem Değerleri



Şekil 40'ta her bir test gurubuna ait bitkilerin saksı nem sensörleri bitki toprağının güncel nem seviyesini göstermektedir. Nem seviyesi %20'nin altına indiğinde sulama yapılması gerekmektedir. Ayrıca ortam sensöründen izlenen veriler ortam değişkenlerinde sıra-dışı bir durum olma ihtimaline karşı gerçek zamanlı olarak izlenmiştir.

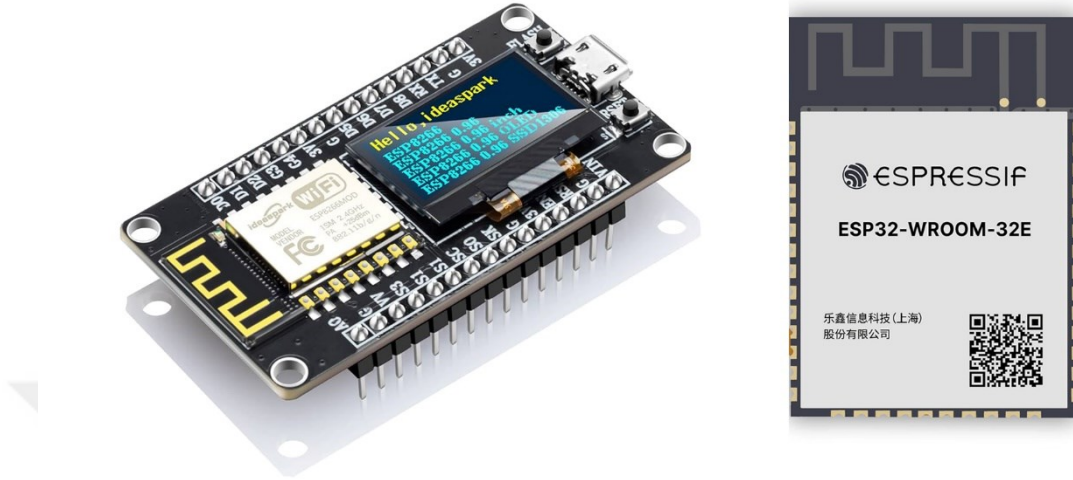
3.2.6. Nesnelerin İnterneti

3.2.6.1. Mikrokontrolcüler

Çalışmada mikrokontrolcü olarak Şekil 41'de görülen Espressif Systems tarafından geliştirilen ESP8266 ve ESP32 modülleri kullanılmıştır. ESP mikrokontrolcülerinde giriş-çıkış kontrolcüsünü ve wifi modülünü içinde tek bir modül olarak bulunduran düşük maliyetli ve düşük enerji tüketimine sahip bir cihazdır. Çok kullanılan bir başka mikrokontrolcü ise Arduino'dur. Arduino topluluğu çok geniş olduğu için geliştirilen kütüphaneler ve destek oldukça fazladır. ESP mikrokontrolcülerini Arduino platformunu kullanarak programlanabilir. Arduino için hazırlanan IDE, kütüphaneler ve modüller ESP ile de çalışabildiği için ve aynı zamanda ESP'nin wifi destekli ve uygun fiyatlı olması sebebiyle Arduino topluluğunda kabul edilen ve çok kullanılan bir mikrokontrolcüdür. NodeMCU, ESP mikrokontrolcülerinin içinde bulunduğu, geliştirme amaçlı hazır bir geliştirme kitidir. NodeMCU, üzerinde USB kontrolcüsü ve güç kontrolcüsünü barındırır. USB üzerinden alınan 5V gerilimi 3.3V'a dönüştürür ve aynı zamanda USB seri port üzerinden bilgisayarın cihaza erişimi sağlar. USB seri port ile cihaz programlanabilir veya veri aktarımı yapılabilir.

Şekil 41

ESP8266 ve ESP32 Mikrokontrolcü Modülleri



NodeMCU modülü kablolu bağlantı yapılabilen step motor ve shutter kontrolcülerinde kullanılmıştır. Sensörlerin ise kablosuz olarak çalıştırılması için NodeMCU uygun değildir. Sensörlerin herhangi bir güç bağlantısı olmadan pil ile uzun süre çalıştırılması gerekmektedir. Ancak NodeMCU modülleri üzerinde bulunan geliştirme için ve voltaj dönüşümü için kullanılan bileşenler fazla güç tüketimine sebep olmaktadır. Bu sebeple herhangi bir ek bileşen olmadan ESP32 modülleri tek başına LifePo4 pil ile beslenerek sensör modülleri için kullanılmıştır.

ESP mikrokontrolcileri Arduino IDE ile programlanabilmektedir. Bu çalışmada geliştirme esnasında Arduino IDE ile sensörlerin, step motorların ve mikrokontrolcülerin çalışması test edilmiştir. Ancak çalışmanın devamında ESPHome ile YAML tabanlı konfigürasyon dosyaları ile cihaz yazılımının (firmware) geliştirmesi yapılmıştır. ESPHome, ESP32 ve ESP8266 mikrodenetleyicileri için geliştirilmiş, geliştiricilere IoT cihazları oluşturma kolaylığı sağlayan açık kaynaklı bir firmware'dir. ESPHome, kullanım kolaylığı, esneklik ve özelleştirme odaklı bir ev otomasyon platformudur ve özel IoT çözümleri oluşturmak isteyen geliştiriciler için ideal bir seçenektir. ESPHome ile kullanıcılar, YAML tabanlı bir yapılandırma dosyası kullanarak basit sensörlerden karmaşık otomasyon sistemlerine kadar geniş bir cihaz yelpazesi oluşturabilirler. Bu, geliştiricilerin ESPHome'u çeşitli sensörler, aktuatörler ve diğer cihazlarla kolayca entegre etmelerini ve bunları bir web tabanlı arayüz kullanarak uzaktan kontrol etmelerini

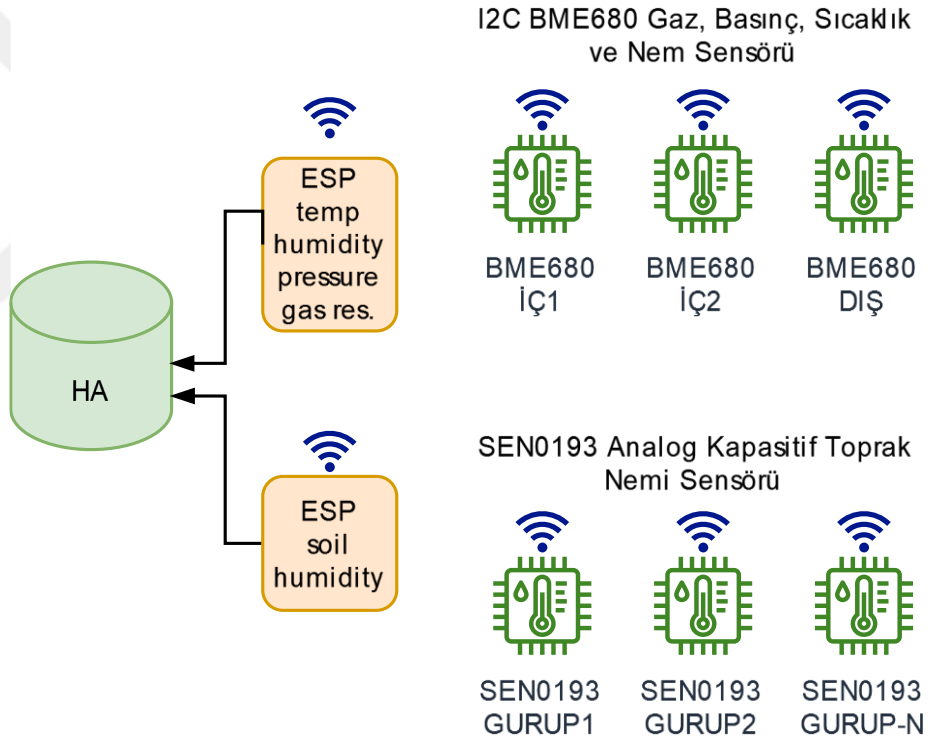
ve izlemelerini sağlar. ESPHome ayrıca HTTP, MQTT ve CoAP gibi geniş bir protokol yelpazesini destekler, bu da onu çeşitli cihazlar ve platformlarla uyumlu hale getirir.

3.2.6.2. Sensörler ve Sensör Düğümleri

Sensör düğümleri SEN0193 ve BME680 sensörlerinden verileri okurlar. Şekil 42’deki şemada görülen sensörlerden kablosuz olarak gelen veriler bu düğümlerde belirli periyotlarda okunur ve bir olay olarak HA’ya aktarılır. Sensörlerden alınan her bir veri türü için HA içinde ayrı bir “entity” tanımı vardır. Bu “entity”lerden verinin gelmesi anında veri hem postgresql veri tabanına hem de InfluxDB veri tabanına kaydedilir.

Şekil 42

Kullanılan Sensörler ve Home Assistant Entegrasyon Şeması



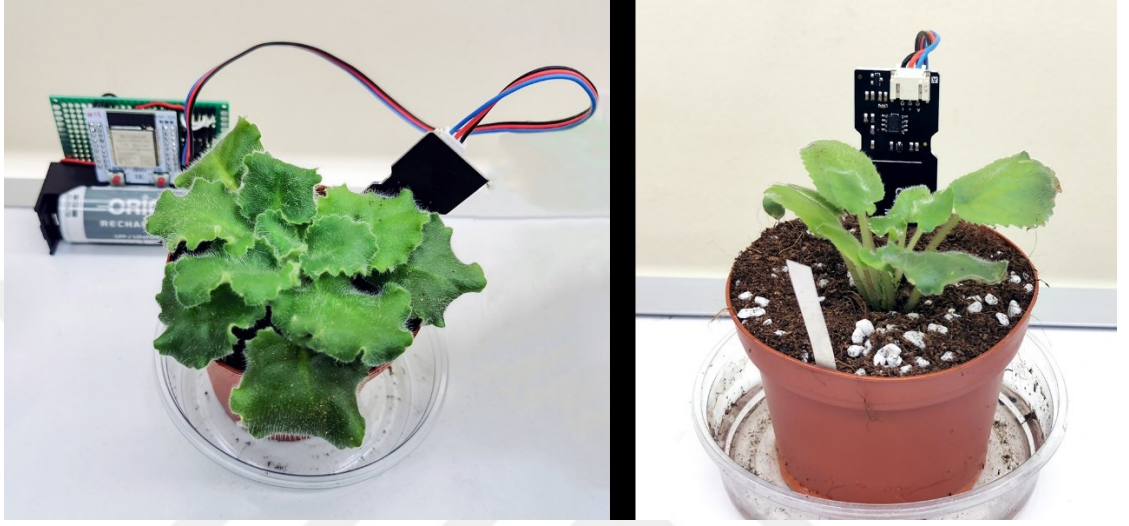
Toprak Nem Sensörü

Şekil 43’te görülen kapasitif toprak nem sensörü, piyasadaki direnç tipi sensörlerden farklıdır ve toprak nemi ölçümü için kapasitif algılama prensibi kullanılır. Direnç sensörünün korozyona maruz kalması sorununu ortadan kaldırır ve sensörün ömrünü uzatır. Sensörün dahili voltaj regülatör çipi 3.3~5.5V voltaj aralığını destekler ve bu da 3.3V Arduino ana kartında dahi düzgün çalışabileceği anlamına gelir. Raspberry Pi üzerinde çalışması için yalnızca bir ADC (Analog Dijital Dönüştürücü) modülü gerekir.

Şekil 43'te görülen Toprak nemi sensörleri her farklı tür ve farklı besin gurubu bitki için ayrı ayrı saksı içine daldırılarak kullanılmış ve gruplar arası sulama periyotlarının takibi yapılmıştır.

Şekil 43

Gravity SEN0308 Analog Su Geçirmez Kapasitif Toprak Nem Sensörü

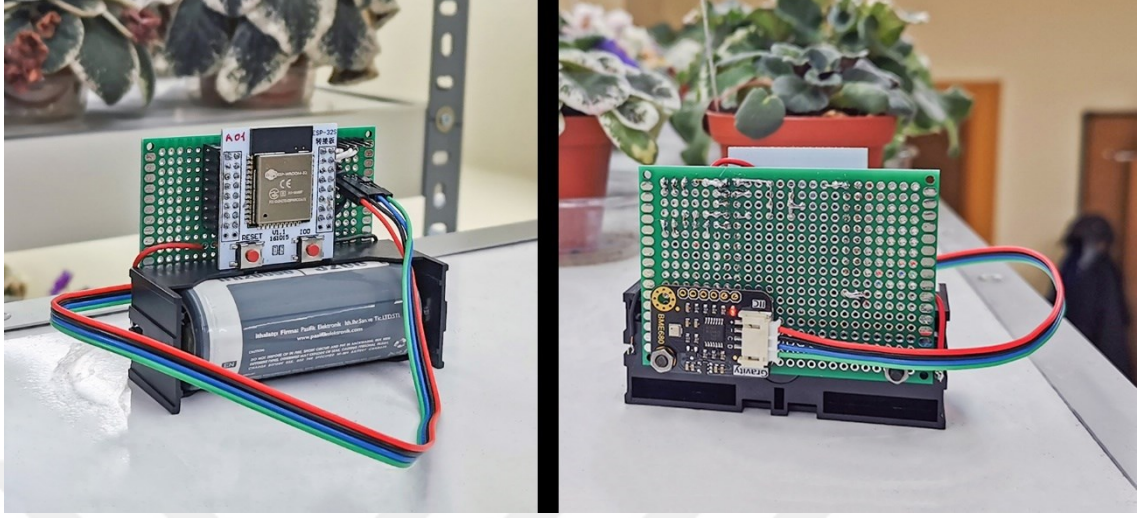


Ortam Sensörü

Şekil 44'te görülen I2C BME680 sensöründe tek bir modül içerisinde 4 farklı ortam sensörü bulunmaktadır. Ortamdaki nem, sıcaklık, basınç ve hava kalitesini ölçer ve verileri I2C haberleşme protokolü sayesinde sadece 2 pin ile mikrodenetleyicinize aktarır. Özellikle Arduino ve Raspberry Pi projelerine uyumludur. Küçük boyutu ile çevresel izleme, ev otomasyonu ve kontrolü, IoT, giyilebilir cihaz ve GPS geliştirme gibi birçok projede kullanılabilir. 3.3V ve 5V modüllere doğrudan bağlanabilir. Şekil 44'te görülen ortam sensörleri bitkilerin yetiştirildiği rafların farklı bölgelerine yerleştirilerek herhangi bir ekstrem duruma karşı yetiştirme ortamının verileri sürekli kontrol edilmiştir.

Şekil 44

Gravity I2C BME680 Gaz, Basınç, Sıcaklık ve Nem Sensörü Modülü

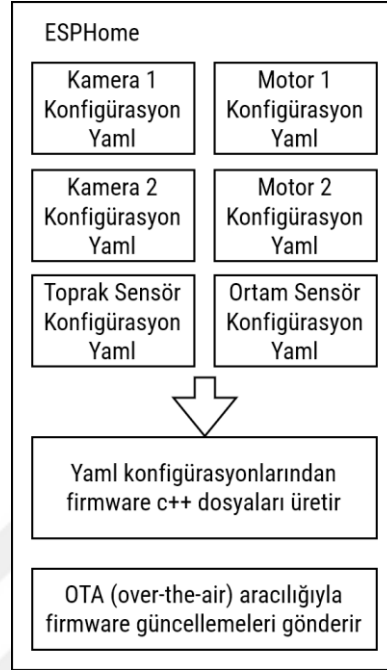


3.2.6.3. IoT Cihazlarının Kontrolü

IoT cihazları ESPHome tarafından üretilen firmware yazılımları ile kontrol edilmektedir. ESPHome, açık kaynak kodlu bir yazılım platformudur. ESP8266, ESP32 ve RP2040 cihazlarını destekler. YAML tabanlı bir konfigürasyon dosyası kullanılarak cihazların IO kontrolleri gerçekleştirilebilir. YAML, dinamik programlama dillerinin ortak yerel veri türleri etrafında tasarlanmış, insan dostu, diller arası, Unicode tabanlı bir veri serileştirme dilidir (*Yet ain't markup language*, 2024). Şekil 45'te görülen akış diyagramına göre, konfigürasyon dosyası, ESPHome tarafından bir C++ programına dönüştürülür ve hazırlanan firmware dosyası kablosuz olarak (Over The Air-OTA) ilgili cihaza uzaktan gönderilir. Bu esneklik sayesinde cihazların yazılımında yapılması gereken tüm güncellemeler sadece konfigürasyon dosyasının güncellenmesi ile otomatik olarak gerçekleştirilebilir. ESPHome platformu HA ile birlikte çalışabilmektedir. Bu sayede HA sunucusunun desteklediği tüm API fonksiyonları IoT cihazlarında kullanılabilir. IoT cihazları HA sunucusu üzerinde bir aygıt olarak tanınmaktadır. HA ile sisteme bağlı tüm aygıtlardan gerçek zamanlı veri almak veya cihazları kontrol etmek oldukça kolaydır.

Şekil 45

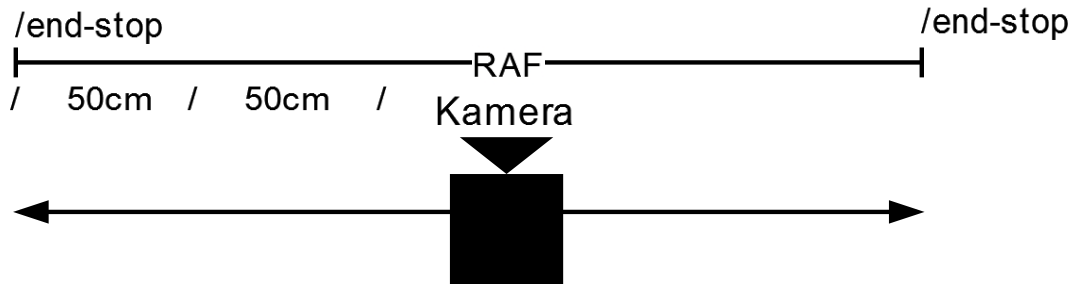
ESPHome Konfigürasyon Akış Diyagramı



Bitkilerin bulunduğu her bir rafta bulunan 1 adet step motor kontrolcüsü, 2 adet endstop sensörünü, 1 adet step motor sürücüsünü ve 1 adet step motoru kontrol eder. Kameranın hareket edeceği alanın başlangıç-bitiş sınırlarının belirlenmesi gereklidir. Bu sınırlar step motorun maks. ve min. adım noktalarını belirler. Bu sınırların aşılması durumunda mekanizma zorlanarak kamerayı alanın dışına çıkarmaya çalışır. Böyle bir durumun olmaması için endstop sensörleri limitleyici olarak kullanılır.

Şekil 46

Görüntü Alma Sistemi Kamera ve End-stop Yapılandırma Şeması



endstop sensörü aktif olduğu an toplam step sayısı kaydedilir. Böylelikle sınırlar belirlenmiş olur. Bu işleme kalibrasyon işlemi adı verilir. Kalibrasyon işlemi 3m ray için yaklaşık 1dk sürmektedir.

Kalibrasyon işleminden sonra, deneme desenine ait bitki gruplarının bulunduğu konumlar fotoğraflanmak üzere kamera daha önceden belirlenmiş olan noktalara hareket ettirilir. Bu hareket sondan yani 2. endstop sensörden başa doğru yani 1. endstop sensörüne doğru yapılır. Çünkü kalibrasyon işlemi bittiğinde kamera en sonda bulunmaktadır. Kamera hareket alanının sonu %0 olarak, başı ise %100 olarak kabul edilmekte ve kamera durakları yüzdelik cinsinden kodlanmaktadır.

Step motor kontrolcüsü, step motor sürücüsüne adım sayısı bilgisini vererek kameranın istenilen konuma ulaşmasını sağlar. Mikrokontrolcü, dışarıdan aldığı yüzdelik değerini adım sayısına dönüştürerek kamerayı gitmesi gereken noktaya ulaştırır.

BME680 sensöründen hava sıcaklığı, basınç ve nem bilgileri okunmaktadır. Tasarlanan devre ile BME680 sensör kartından veriler dijital olarak okunabilmektedir. ESP32 kontrolcüsü tarafından kontrol edilen devre ESPHome ile programlanmıştır. ESPHome konfigürasyonunda I2C bus üzerinden dijital verilerin alınabilmesi için Şekil 47'deki tanımlamalar yapılmıştır. Tasarlanan devre, LifePo4 pil ile çalıştığı için sadece ölçüm sırasında işlemcinin aktif (uyanık) olması yeterlidir. Diğer zamanlarda güç tasarrufu için ESP32 pasif (uyku) moda geçmektedir. Şekil 48'de görüldüğü üzere bir derin uyku (deep_sleep) tanımı yapılmıştır. Bu tanımda cihaz 1 dk boyunca uyanık kalmakta ve 29 dakika boyunca uyumaktadır. Böylece sensörlerden yarım saate bir veri alınmaktadır.

Şekil 47

BME680 Ortam Sensörü Dijital Veri Tanımlamaları

```
i2c:
- id: bus_a
  sda: 21 #D2
  scl: 22 #D1
  scan: True

sensor:
- platform: bme680
  temperature:
    name: "A1 BME680 Temperature"
    oversampling: 16x
  pressure:
    name: "A1 BME680 Pressure"
  humidity:
    id: hum
    name: "A1 BME680 Humidity"
  gas_resistance:
    name: "A1 BME680 Gas Resistance"
    id: g_res
  address: 0x77
  update_interval: 20s

- platform: template
  name: "A1 BME680 IAQ"
  id: IAQ
  unit_of_measurement: IAQ
  lambda: 'return log(id(g_res).state) + 0.04 * id(hum).state;'
```

Şekil 48

ESP32 Derin Uyku Tanımlamaları

```
deep_sleep:
  id: deep_sleep_1
  run_duration: '00:01:00'
  sleep_duration: '00:29:00'
```

Toprak nem sensörlerinden alınan veriler ise analog verilerdir. Analog değerleri ESP32 ile okuyabilmek için Analog Dijital Dönüştürücü (Analog to Digital Converter-ADC) portları kullanılmaktadır. Ancak bu portlar ESPHome ile yapılan denemelerde doğru sonuçlar vermemektedir. Uzun denemeler sonucunda ESPHome ile hazırlanan firmware yazılımının ADC portlarını doğru okuyamadığı tespit edilmiştir. Bunun yerine ESP32 Tasmota yazılımı ile tekrar programlanmış ve ADC portlarından alınan veri MQTT sunucusuna gönderilmiştir. MQTT protokolü, IoT cihazların mesajlaşması için fiili standarttır. Tasmota yazılımı, içinde birçok kütüphaneyi hazır olarak bulundurduğu için tercih edilmiştir. HA, MQTT üzerinden analog verileri ham bir formatta okuyabilmektedir. Ham veri değerleri kuru bir ortamda 3000, su içinde ise 1000 olarak okunmaktadır. Değerlerin yüzde olarak ifade edilebilmesi için Şekil 49'da bulunan

formül kullanılmıştır. Böylelikle ham veri HA tarafından şablon bir sensör yardımı ile yüzdelik ifadeye dönüştürülerek kaydedilebilmektedir.

Şekil 49

Toprak Nem Sensörü Yüzdelik Değer Formülü

```
sensor:
- platform: template
  sensors:
    percentage_sensor_n01:
      friendly_name: "N01 Humidity Percentage"
      value_template: >-
      {{ 100 - (((int(states('sensor.n01_mqtt_raw')) - 1000) / (3000 - 1000)) * 100) | round(1)}}
      unit_of_measurement: "%"
    percentage_sensor_n02:
      friendly_name: "N02 Humidity Percentage"
      value_template: >-
      {{ 100 - (((int(states('sensor.n02_mqtt_raw')) - 1000) / (3000 - 1000)) * 100) | round(1)}}
      unit_of_measurement: "%"
```

ESP kontrolcüler HA ile yönetilmektedir. Tüm kontrolcüler HA API'sine bağlanarak iletişim kurmaktadır. API üzerinden sensörlerin bilgileri HA tarafından okunabilmekte ve aynı zamanda API ile de kontrolcülere veri gönderilebilmektedir. HA, sensörlerden gelen verileri veri tabanında saklamaktadır. Veri tabanı olarak postgresql veri tabanı kullanılmaktadır. Postgresql içinde tüm sensörlerin verileri zamana ve değişim değerine bağlı olarak saklanmaktadır. HA içinde tanımlanan otomasyon konfigürasyonları ile HA API ile bağlı bulunan tüm cihazlar kontrol edilebilmektedir. Step motor kontrolcüsü ve kamera deklanşör kontrolcüler HA üzerinde tanımlanan otomasyon ile tek bir merkezden kontrol edilmektedir. Gün içinde, her saat başında fotoğraf çekim işlemi bu otomasyon ile gerçekleştirilmektedir. Otomasyon, step motorun kalibrasyonunu yaparak çekime hazır hale getirir. Daha sonra bitki gruplarının konumlarına bağlı olarak belirtilen noktalara yüzde cinsinden step motorun ilerlemesi sağlanır. Step motorun ilgili noktaya ulaşması sensörler üzerinden kontrol edilerek kameranın ilgili noktada durduğu öğrenilir. Ardından kamera kontrolcüsüne deklanşör için komut verilir ve kamera tarafından görüntü alınır. Bu işlem tüm bitki grupları için tekrar ederek devam eder.

3.3. Görüntü İşleme Sistemi

Bu tez çalışmasında, yapay zekâ tabanlı ve derin öğrenmenin evrimsel sinir ağları yaklaşımlarına dayalı YOLO genel amaçlı nesne tespit algoritmasını kullanarak kamera ile elde edilen Afrika Menekşesi görüntüleri üzerinde yapılan işlemler için geliştirilen yöntemin aşamaları verilmiştir. Bu bölümde ilk olarak görüntü işleme ile ilgi temel

kavramlar verilecektir. Daha sonra görüntü verileri üzerinde yapılan işlemler açıklanacaktır.

3.3.1. Bilgisayarlı Görü ve Görüntü İşleme ile İlgili Temel Kavramlar

Bilgisayarla görü, bilgisayarların görsel dünyayı yorumlamasını ve anlamasını sağlamaya odaklanan disiplinler arası bir alandır. Dijital görüntüleri ve videoları işlemek, analiz etmek ve yorumlamak için bir dizi teknik ve algoritmayı kapsar. Görüntü işleme, dijital görüntüleri işlemeye ve analiz etmeye odaklanan bilgisayar görüşünün bir alt alanıdır.

3.3.1.1. Görüntü İşleme Teknikleri

Görüntü işleme, dijital görüntüleri işlemek ve analiz etmek için bir dizi teknik içerir. En sık kullanılan tekniklerden bazıları şunlardır:

Filtreleme: Filtreleme, bir görüntüdeki piksellerin yoğunluk değerlerini değiştiren bir işlemdir. Bu, belirli özellikleri geliştirmek veya görüntüdeki gürültüyü gidermek için kullanılır.

Segmentasyon: Segmentasyon, bir görüntüyü birden fazla bölgeye veya nesneye bölme işlemidir. Bu işlem, görüntüdeki farklı yapıları veya nesneleri tanımlamak için kullanılır.

Özellik Çıkarma: Özellik çıkarma, bir görüntüdeki belirli özellikleri veya desenleri belirleme işlemidir. Bu özellikler görüntüdeki nesneleri sınıflandırmak veya tanımak için kullanılır.

3.3.1.2. Görüntü Sınıflandırma (Image Classification)

Nesne sınıflandırma, bir görüntüde veya video içerisinde bulunan nesnelerin farklı kategorilere (sınıflara) atanması işlemidir. Örneğin, bir görüntüdeki arabaları, insanları, köpekleri veya diğer nesneleri tanımlamak ve sınıflandırmak için nesne sınıflandırma algoritmaları kullanılır.

Nesne sınıflandırma, genellikle yapay zekâ ve derin öğrenme teknikleriyle gerçekleştirilir. Derin öğrenme, birçok katmandan oluşan sinir ağları kullanarak karmaşık modellerin öğrenilmesini sağlar. Evrişimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks - CNNs), nesne sınıflandırma problemlerinde sıklıkla kullanılan ve başarılı sonuçlar veren bir derin öğrenme modelidir.

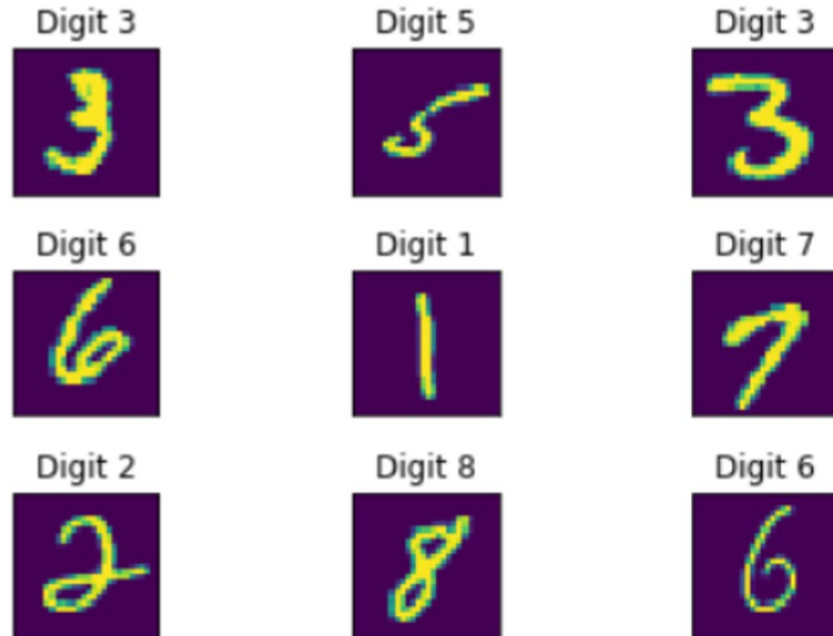
Nesne sınıflandırma algoritmaları, bir eğitim süreci gerektirir. Önceden etiketlenmiş bir veri seti kullanarak algoritmanın nesneleri tanıması ve sınıflandırması için öğrenmesi sağlanır. Bu veri setinde nesnelerin görüntüleri ve ilgili sınıf etiketleri bulunur. Şekil 50’de görülen örneklerde algoritma, veri setindeki bu örneklerden örüntüler ve özellikler çıkararak nesnelerin sınıflandırmasını gerçekleştirir.

Nesne sınıflandırma algoritmaları, farklı görüntü işleme ve derin öğrenme teknikleriyle geliştirilebilir. Görüntüdeki özellikleri (örneğin, kenarlar, şekiller, renkler) analiz eden ve öğrenme aşamasında bu özellikleri kullanarak nesneleri ayırt eden algoritmalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, transfer öğrenme, veri artırma ve hiperparametre ayarlaması gibi teknikler, nesne sınıflandırma algoritmalarının performansını artırmak için kullanılabilir.

Nesne sınıflandırma, otomotiv, güvenlik, tıp, perakende ve birçok diğer endüstride birçok uygulama alanına sahiptir. Nesneleri tanımlayarak ve sınıflandırarak, otomatik araçlar, yüz tanıma sistemleri, nesne sayma ve envanter yönetimi sistemleri gibi birçok uygulama geliştirilebilir.

Şekil 50

Görüntü Sınıflandırma



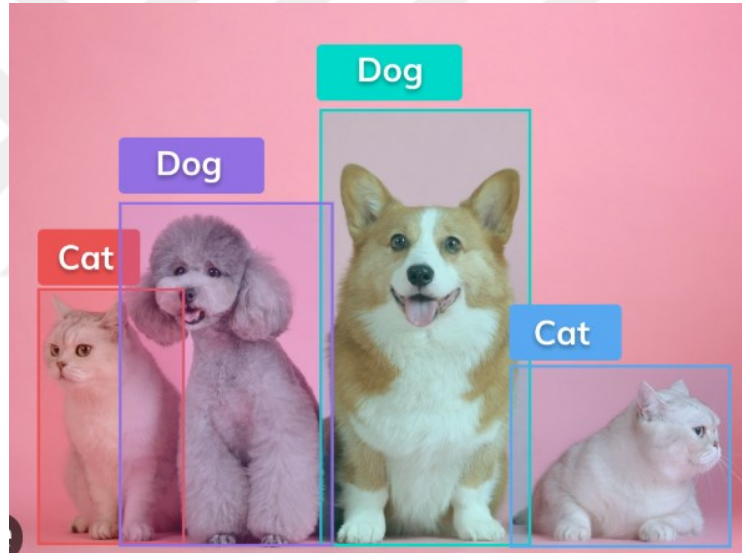
3.3.1.3. Nesne Tespiti (Object Detection) :

Nesne algılama, bir görüntü veya videodaki nesneleri tanımlamaya ve konumlandırmaya çalışan bir bilgisayarla görü tekniğidir. Spesifik olarak, nesne algılama, söz konusu nesnelerin belirli bir sahnede nerede olduğunu (veya nasıl hareket ettiklerini) tespit etmeye izin verir ve algılanan nesnelerin çevresine sınırlayıcı kutular çizer.

Nesne algılama modeli, her nesnenin nerede olduğunu ve hangi etiketin uygulanması gerektiğini tahmin eder. Bu şekilde, nesne algılama, bir görüntü hakkında nesne tanımaya göre daha fazla bilgi sağlar. Şekil 51’de bu ayrımın pratikte nasıl görüldüğüne dair bir örnek verilmiştir.

Şekil 51

Görüntü Algılama



Nesne Tespit Metotları

Nesne algılama, bir görüntü veya video içindeki nesnelerin tespit edilmesi ve konumlarının belirlenmesi için kullanılan yöntemlerin genel adıdır. Aşağıda, yaygın olarak kullanılan bazı nesne algılama yöntemlerini ve kısa açıklamaları verilmiştir:

R-CNN (Region-based Convolutional Neural Network): R-CNN, görüntüyü bölümlere ayırır ve her bir bölge üzerinde ayrı ayrı nesne tespiti yapar. Ardından, sınıflandırma ve sınırların hassas hale getirilmesi için bir CNN kullanır.

SSD (Single Shot MultiBox Detector): SSD, farklı ölçeklerdeki nesneleri algılamak için birlikte çalışan ölçekli özellik haritaları kullanır. Farklı özellik haritalarından çıkan çıktıları birleştirerek nesne tespiti yapar.

Faster R-CNN: Faster R-CNN, R-CNN'nin hızını artıran ve daha verimli bir yapıya sahip olan bir yöntemdir. Görüntüdeki önerilen bölgeleri önce bir özellik haritasına dönüştürerek daha hızlı bir algılama süreci sağlar.

Mask R-CNN: Mask R-CNN, nesne tespitine ek olarak nesnelerin piksel düzeyinde sınıflandırma ve bölümlendirme (segmentasyon) işlemlerini de gerçekleştirir. Bu yöntemle nesnelerin sınırları yanı sıra, piksel bazında ayrıntılı bir maske oluşturulabilir.

YOLO (You Only Look Once): YOLO, hızlı ve gerçek zamanlı nesne algılama için popüler bir yöntemdir. Görüntüyü bir kez inceleyerek nesne tespiti ve sınıflandırma işlemlerini aynı anda gerçekleştirir.

En iyi nesne algılama yöntemi, kullanım senaryosuna, veri setine ve performans kriterlerine bağlı olarak değişebilir. Çünkü her yöntemin farklı avantajları ve kısıtlamaları vardır. Ayrıca, nesne algılama alanı hızla gelişmekte ve yeni yöntemler ortaya çıkmaktadır.

Örneğin, YOLO, gerçek zamanlı nesne algılamada hızlı ve etkili bir performans sergileyebilirken, Mask R-CNN, nesnelerin sınıflandırılması ve piksel bazında segmentasyonunu gerçekleştirebilir. Her bir yöntemin kendi güçlü ve zayıf yönleri vardır.

En iyi yöntem seçimi, kullanılacak veri setinin özelliklerine, algılama hızı gereksinimlerine, doğruluk gereksinimlerine ve uygulama senaryosuna bağlıdır. Öncelikle, kullanılacak veri setinin içeriği, nesne çeşitliliği, veri setinin boyutu ve etiketleme hassasiyeti yöntem seçimini etkiler. Sonuç olarak, en iyi nesne algılama yöntemi kullanım senaryosuna, veri setine ve performans gereksinimlerine bağlı olarak değişebilir.

Örnek olarak, bir güvenlik kamerasından alınan bir videoyu ele alalım. Nesne algılama yöntemleri, bu videoda insanları, arabaları ve diğer nesneleri algılayabilir ve konumlarını belirleyebilir. Bu bilgiler, güvenlik sistemleri tarafından tehlikeli durumları tespit etmek, araç trafiğini izlemek veya insan sayısını saymak gibi birçok uygulama için kullanılabilir.

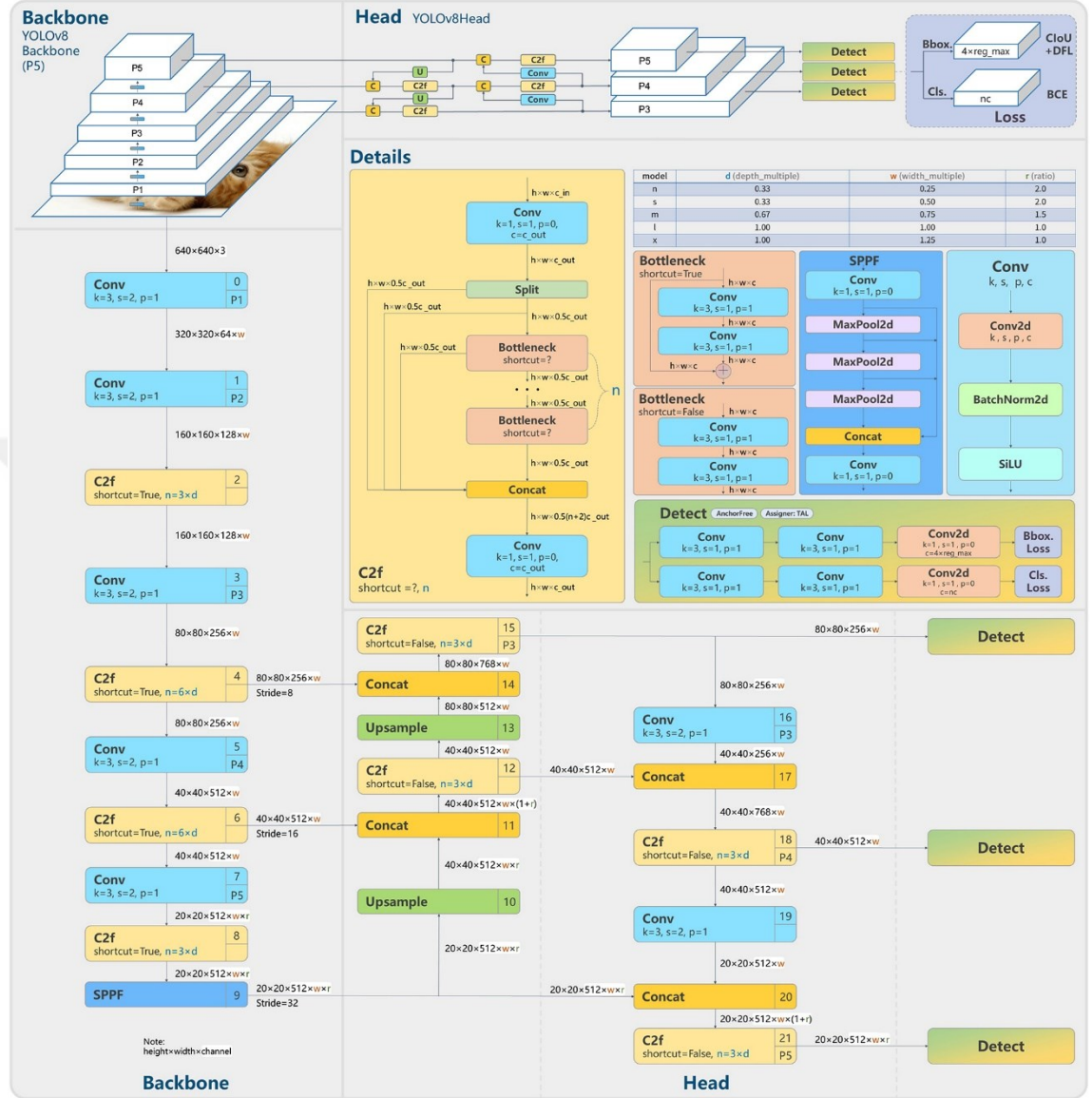
3.3.1.4. Yolov8 Mimarisi (Yolov8 Architecture)

Ultralytics YOLOv8, gerçek zamanlı nesne tespiti ve görüntü segmentasyon modelinin en son sürümüdür. YOLOv8, derin öğrenme ve bilgisayar görüşünde son teknolojik ilerlemelere dayanarak, hız ve doğruluk açısından yüksek bir performans sunar. Basitleştirilmiş tasarımı nedeniyle YOLO, çeşitli uygulamalar için uygundur ve farklı donanım platformlarına, kenar cihazlardan bulut API'lerine kadar kolayca uyarlanabilir. Şekil 52'de YOLOv8'in genel mimarisi verilmiştir.



Şekil 52

Yolov8 Mimarisi



Kaynak: Range King GitHub (b.t)

Yolo ile Nesne Tespiti (Object Detection Model)

YOLOv8'in temel görevi nesne tespittir. Bu, bir görüntüde veya video karesinde yer alan nesneleri tespit etmeyi ve etraflarına sınırlayıcı kutular çizmeyi içerir. Tespit edilen nesneler özelliklerine göre farklı kategorilere ayrılır. YOLOv8, yüksek doğruluk ve hızda tek bir görüntü veya video karesinde birden fazla nesneyi tespit edebilir.

COCO veri seti üzerinde eğitilen ve parametre sayısı, doğruluk ve hız açısından farklılık gösteren çeşitli önceden eğitilmiş YOLOv8 Tespit modelleri bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında Tablo 8'deki YOLOv8m modeli kullanılmıştır.

Tablo 8*YOLO8 Nesne Tespit Modelleri*

Model	Size (pixels)	mAPval	Speed CPU	Speed A100	Params (M)
		50-95	ONNX (ms)	TensorRT (ms)	
YOLOv8n	640	37.3	80.4	0.99	3.2
YOLOv8s	640	44.9	128.4	1.20	11.2
YOLOv8m	640	50.2	234.7	1.83	25.9
YOLOv8l	640	52.9	375.2	2.39	43.7
YOLOv8x	640	53.9	479.1	3.53	68.2

Segmentasyon Modeli (Segmentation Model)

Segmentasyon, nesne tespiti yapıldıktan sonra bir görüntüdeki bireysel nesneleri tanımlamayı ve bunları görüntünün geri kalanından ayırt etmeyi içerir.

Örnek bir segmentasyon modelinin çıktısı, görüntüdeki her bir nesneyi çevreleyen maskeleri veya konturları, her bir nesne için sınıf etiketlerini ve güven puanlarını içerir. Segmentasyon, nesnelerin yalnızca bir görüntüde nerede olduğunu değil, aynı zamanda tam olarak şekillerinin ne olduğunu da bilmek gerektiğinde faydalıdır. Tez çalışması kapsamında yaprak segmentasyon modelini eğitmek için Tablo 9’da bulunan YOLOv8m-seg modeli kullanıldı.

Tablo 9*Segmentasyon İçin Kullanılan YOLO8 Modeli*

Model	Size (pixels)	mAPbox	mAPmas	Speed CPU	Speed A100	Params (M)
		50-95	k 50-95	ONNX (ms)	TensorRT (ms)	
YOLOv8n-seg	640	36.7	30.5	96.1	1.21	3.4
YOLOv8s-seg	640	44.6	36.8	155.7	1.47	11.8
YOLOv8m-seg	640	49.9	40.8	317.0	2.18	27.3
YOLOv8l-seg	640	52.3	42.6	572.4	2.79	46.0
YOLOv8x-seg	640	53.4	43.4	712.1	4.02	71.8

Veri Etiketleme (Data Labeling)

Veri etiketleme, bir veri集中的 örneklerin doğru bir şekilde sınıflandırılması, etiketlenmesi veya etiketlenmiş veriye ilgili etiketlerin atanması işlemidir. Bu işlem,

makine öğrenimi ve yapay zekâ algoritmalarının eğitimini ve performansını geliştirmek için kullanılan önemli bir adımdır.

Veri etiketleme, genellikle insan etiketleyiciler veya uzmanlar tarafından gerçekleştirilir. Etiketleyiciler, veri örneklerine göre belirlenen etiket veya kategori bilgilerini veri setine ekler. Bu etiketler, nesnelerin sınıfları, segmentasyon bölgeleri, konumları, duygu durumları veya diğer ilgili özellikler gibi çeşitli bilgileri içerebilir.

Örneğin, bir görüntü veri seti üzerinde etiketleme yaparken, görüntülerdeki nesnelerin türlerini veya konumlarını belirten etiketler atanabilir. Bu, görüntüdeki arabaların, insanların veya köpeklerin etiketlenmesini içerebilir.

Veri etiketleme, makine öğrenimi algoritmalarının eğitim sürecinde kullanılan doğru etiketlenmiş veriye ihtiyaç duyar. Algoritma, etiketlenmiş veri setini kullanarak örüntüleri öğrenir ve daha sonra yeni verilerdeki nesneleri doğru bir şekilde sınıflandırabilir veya tanıyabilir.

Doğru ve kaliteli veri etiketlemesi, makine öğrenimi modelinin doğruluğunu ve performansını büyük ölçüde etkiler. Dolayısıyla, veri etiketleme sürecinin dikkatlice yapılması ve doğru etiketlerin sağlanması önemlidir. Ayrıca, bazı durumlarda veri seti büyük olduğunda veya çok sayıda etiketin atanması gerektiğinde otomatik etiketleme teknikleri veya yarı otomatik etiketleme yöntemleri de kullanılır.

Görüntü etiketleme, bir görüntüdeki belirli ayrıntıları tanımlamaya ve etiketlemeye odaklanan bir veri etiketleme türüdür. Bilgisayarlarda bir görüntü yalnızca bir dizi pikseldir. Pikseller renkleri temsil eden değerler içerirken, nesneye karşılık gelen değerlerden yoksundur. Ancak işaretli/etiketli görüntüler, bilgisayarları belirli piksel kümelerinin belirli hedef nesneler olduğu konusunda eğitir.

Görüntü etiketlemesi, modeli başlangıçta eğitmek için kullanılan eğitim kümelerine ayrılan bilgisayarla görme modelleri için veri kümeleri ve model performansını değerlendirmek için kullanılan test/doğrulama kümeleri oluşturmak için kullanılır. Görüntü işleme bilimcileri, modellerini eğitmek ve değerlendirmek için veri kümesini kullanır ve ardından model, görünmeyen, etiketlenmemiş verilere otomatik olarak etiketler atayabilir.

Eğitim Veri Seti Oluşturma

Görüntü sınıflandırmada bir eğitim veri seti oluşturmak için, görüntüleri elle incelemek ve algoritma tarafından kullanılan etiketlerle açıklama eklemek gerekir. Örneğin, ulaşım görüntüleri için bir eğitim veri seti, araçları içeren çok sayıda görüntüyü içerebilir. Bu durumda her görüntüye bakmak ve uygun etiketi ("araba", "tren", "gemi" vb.) kullanarak bir veri seti oluşturmak da mümkündür.

Eğitim verileri, atanmış etiketlere veya etiketlere sahip videolar ve resimler gibi bir dizi örnektir. İstenen işlevi gerçekleştirmek veya doğru tahminler yapmak için bir bilgisayar görme algoritması veya modeli eğitmek için kullanılır. Eğitim verileri, öğrenme seti, eğitim seti veya eğitim veri seti gibi isimlerle de anılır.

Bilgisayarla görme modeli için görüntü, video ve sensör verileri biçiminde yüzlerce eğitim verisi toplandığını varsayalım. Verilerin kullanışlı olması için etiketlenmesi veya açıklamalı olması gerekir. Bunun nedeni, makinelerin/bilgisayarların görsel verileri etiketli veya etiketli örneklerden öğrenerek anlamasından kaynaklanır.

Bir nesneyi, hareketli bir görüntüyü, bir metni, bir sesi veya bir ürünü tanımlama süreci örnekler gerektirir. Örneğin yeni yürümeye başlayan çocuklar, kendilerine söylenene ve bir örnek verilene kadar bir kedinin neye benzediğini bilemezler. Kedi öğretildikten sonra çocuk onu içselleştirir ve benzer canlılar gördüğünde tahminde bulunur. Makineler/bilgisayarlar aynı şekilde çalışır. Ancak dikkatle notlanması veya etiketlenmesi gereken çok sayıda örneğe ihtiyaçları vardır. Bu amaçla makine öğrenimi modelleri oluşturulur ve istenen sonucun ne olması gerektiği modele öğretilir.

Eğitim verileri, bilgisayarla görme algoritmanızın veya modelinizin can damarıdır. İlgili, etiketlenmiş veriler olmadan her şey işe yaramaz hale gelir. Eğitim verilerinin kalitesi de modelini eğitirken göz önünde bulundurulması gereken önemli bir faktördür.

Eğitim verilerinin işi, yalnızca tahmin işlevlerini mümkün olduğunca doğru bir şekilde gerçekleştirmek için algoritmaları eğitmek değildir. Dağıtımdan/uygulamaya geçtikten sonra bile modeli yeniden eğitmek veya güncellemek için de kullanılır. Bunun nedeni, gerçek dünyadaki durumların sıklıkla değişmesidir. Bu nedenle, orijinal eğitim veri kümesi sürekli olarak güncellenmesi gerekir.

3.3.2. Temel Performans Metrikleri

Bir bilgisayarla görme modelini değerlendirmek için çeşitli temel performans ölçütü kullanılır. Bu kısımda oluşturulan modellerin değerlendirilmesinde kullanılan performans metrikleri kısaca açıklanmıştır.

3.3.2.1. Kesinlik (Precision)

Kesinlik, bir modelin pozitif tahminler yapmadaki doğruluğunu ölçen bir performans ölçüsüdür. Gerçek pozitif tahminlerin (doğru tanımlanmış pozitif örnekler) gerçek pozitifler ve yanlış pozitiflerin (yanlışlıkla pozitif olarak tanımlanan örnekler) toplamına oranı olarak tanımlanır.

$$Precision = True Positives (TP) / (True Positives (TP) + False Positives (FP)) \quad (3.1)$$

Yanlış pozitiflerin maliyeti yüksek olduğunda veya amaç yanlış tespitleri en aza indirmek olduğunda kesinlik önemlidir. Metrik, doğru pozitif tahminlerin oranını ölçer. Bu, modelin analiz edilen görüntülerde ilgili ve ilgisiz nesneler arasında ne kadar iyi ayırım yaptığını değerlendirmeye yardımcı olur.

Kesinlik nesne algılama, görüntü segmentasyonu veya yüz tanıma gibi bilgisayarla görme görevlerinde, yanlış algılamaları en aza indirirken modelin hedef nesneleri veya özellikleri doğru bir şekilde tanımlama ve yerleştirme becerisine ilişkin değerli bilgiler sağlar.

3.3.2.2. Duyarlılık

Gerçek Pozitif Oran olarak da bilinen duyarlılık, bilgisayarla görme modeli değerlendirmesinde önemli bir ölçüttür. Tüm ilgili örnekler (modelin tanımlayamadığı pozitif örnekler olan gerçek pozitifler ve yanlış negatiflerin toplamı) arasındaki gerçek pozitif tahminlerin (doğru tanımlanmış pozitif örnekler) oranı olarak tanımlanır. Buna göre duyarlılık hesaplama formülü şöyledir:

$$Recall = True Positives (TP) / (True Positives (TP) + False Negatives (FN)) \quad (3.2)$$

Duyarlılığın önemi, modelin tüm pozitif vakaları tespit etme kabiliyetini ölçme kabiliyetinde yatmaktadır. Buda onu, pozitif vakaların kaçırılmasının önemli sonuçlara yol açabileceği durumlarda kritik bir ölçüm haline getirmektedir. Duyarlılık, modelin başarıyla tanımladığı pozitif örneklerin oranını ölçer. Bu, modelin, analiz edilen

görüntülerdeki ilgili nesnelerin veya özelliklerin eksiksiz bir setini yakalamadaki etkinliğine ilişkin içgörü sağlar.

Örneğin, bir güvenlik sistemi bağlamında duyarlılık, sistem tarafından tespit edilen gerçek davetsiz misafirlerin oranını temsil eder. Yüksek bir duyarlılık değeri, sistemin potansiyel güvenlik tehditlerini belirlemede etkili olduğunu ve tespit edilemeyen izinsiz giriş riskini en aza indirdiğini gösterdiği için arzu edilir.

Yapay Zekâ (AI) teşhisi veya anormallik tespiti için tıbbi görüntüleme gibi yanlış negatiflerin maliyetinin yüksek olduğu diğer bilgisayar görüşü kullanım durumlarında, duyarlılık, modelin performansını değerlendirmek için temel bir ölçüm işlevi görür.

3.3.2.3. F1 Puanı (Score)

F1 puanı, kesinlik ve duyarlılık tek bir değerde birleştiren ve bilgisayarla görme modelinin performansının dengeli bir ölçüsünü sağlayan bir performans ölçüsüdür. Kesinlik ve duyarlılık'ın harmonik ortalaması olarak tanımlanır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır: F1 Puanını hesaplamak için kullanılan formül aşağıdadır:

$$F1\ Score = 2 * (Precision * Recall) / (Precision + Recall) \quad (3.3)$$

F1 puanının önemi, eşit olmayan sınıf dağılımlarına sahip senaryolarda veya yanlış pozitif ve yanlış negatiflerin farklı maliyetler taşıdığı senaryolardaki kullanışlılığından kaynaklanmaktadır. Hem Kesinlik (olumlu tahminlerin doğruluğu) hem de duyarlılık (tüm olumlu örnekleri belirleme yeteneği) dikkate alındığında, F1 puanı, özellikle yanlış pozitifler ve yanlış negatifler arasındaki dengenin çok önemli olduğu durumlarda, bir modelin performansının kapsamlı bir değerlendirmesini sunar.

Örneğin, bir tıbbi görüntüleme sisteminde F1 puanı, modelin belirli koşulları saptama ve teşhis etme konusundaki genel etkinliğini belirlemeye yardımcı olur. Yüksek bir F1 puanı, modelin hem yanlış pozitifleri (örn. sağlıklı doku yanlışlıkla anormal olarak işaretlenir) hem de yanlış negatifleri (örn. tespit edilemeyen bir durum) en aza indirirken ilgili özellikleri doğru bir şekilde tanımlamada başarılı olduğunu gösterir.

Bu tür uygulamalarda, F1 puanı, bilgisayarlı görü modelinin en iyi şekilde çalışmasını ve yanlış tanı veya gözden kaçan tanıyla ilişkili potansiyel riskleri en aza indirmesini sağlamak için değerli bir ölçü olarak hizmet eder.

3.3.2.4. Doğruluk

Doğruluk, bilgisayarla görme modeli değerlendirmesinde kullanılan temel bir performans ölçütüdür. Belirli bir veri kümesindeki tüm örnekler arasında doğru tahminlerin (hem gerçek pozitifler hem de gerçek negatifler) oranı olarak tanımlanır. Başka bir deyişle hem pozitif hem de negatif sınıfları göz önünde bulundurarak modelin doğru sınıflandırdığı örneklerin yüzdesini ölçer. Model doğruluğunu hesaplama formülü aşağıda verilmiştir.

$$Accuracy = (True Positives (TP) + True Negatives (TN)) / (True Positives (TP) + False Positives (FP) + True Negatives (TN) + False Negatives (FN)) \quad (3.4)$$

Doğruluğun önemi, modelin genel performansının basit bir ölçümünü sağlama yeteneğinden kaynaklanmaktadır. Nesne algılama, görüntü sınıflandırma veya bölümlleme gibi belirli bir görevde modelin ne kadar iyi performans gösterdiğine dair genel bir fikir verir.

Ancak, modelin performansı hakkında yanıltıcı bir izlenim verebileceğinden, önemli sınıf dengesizliklerinin olduğu durumlarda doğruluk uygun olmayabilir. Bu gibi durumlarda, model çoğunluk sınıfında iyi ancak azınlık sınıfında düşük performans gösterebilir ve bu da modelin tüm sınıfları belirlemedeki etkinliğini doğru bir şekilde yansıtmayan yüksek bir doğruluğa yol açabilir.

Örneğin, bir görüntü sınıflandırma sisteminde doğruluk, modelin doğru şekilde sınıflandırdığı görüntülerin oranını gösterir. Yüksek bir doğruluk değeri, modelin tüm sınıflardaki görüntülere doğru etiketleri atamada etkili olduğunu gösterir.

Modelin performansını daha kapsamlı bir şekilde anlamak için Kesinlik, Duyarlılık ve F1 puanı gibi diğer performans ölçütlerini dikkate almak önemlidir. Bu, özellikle dengesiz veri kümeleriyle veya farklı hata türleri için değişen maliyetlere sahip senaryolarla uğraşırken geçerlidir.

3.3.2.5. Kesişim ve Birleşim Değeri-Intersection over Union (IoU)

Jaccard indeksi olarak da bilinen Intersection over Union (IoU), bilgisayarla görme modeli değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılan bir performans ölçütüdür. Nesne algılama ve yerelleştirme görevleri için özellikle önemlidir. IoU, tahmin edilen sınırlayıcı kutu ile yer gerçeği sınırlayıcı kutusu arasındaki örtüşme alanının bunların birleşim alanına oranı olarak tanımlanır. Kesişim ve birleşim değeri (IoU) formülü şu şekildedir:

$$IoU = \text{Area of Intersection} / \text{Area of Union} \quad (3.5)$$

IoU'nun önemi, bir görüntüdeki bir nesnenin hem algılama hem de konumlandırma özelliklerini yakalayarak modelin yerleştirme doğruluğunu değerlendirme becerisinde yatmaktadır. Şekil 53'te görüleceği üzere IoU, tahmin edilen ve temel gerçeği sınırlayan kutular arasındaki çakışma derecesini ölçerek, modelin nesneleri hassas bir şekilde tanımlama ve yerleştirmedeki etkinliğine ilişkin iç görüler sağlar.

Şekil 53

IoU Değerinin Elde Edilmesi



Örneğin, sürücüsüz bir arabanın nesne algılama sisteminde IoU, makine öğrenimi modelinin aracın çevresindeki diğer araçları, yayaları ve engelleri ne kadar doğru bir şekilde algılayıp konumlandırabildiğini ölçer. Basit bir ifadeyle, IoU, modelin tahmini ile gerçek hedef arasındaki örtüşme derecesini ölçer ve 0 ile 1 arasında bir değer olarak ifade edilir; 0 örtüşme olmadığını ve 1 mükemmel eşleşmeyi temsil eder

Yüksek bir IoU değeri, modelin güvenli ve verimli otonom navigasyon için gerekli olan nesneleri tanımlamada ve sahnedeki konumlarını doğru bir şekilde tahmin etmede başarılı olduğunu gösterir. Bu nedenle, IoU performans metriği, gerçek dünyadaki uygulamalarda nesne algılama görevlerinin bilgisayarlı görü modeli doğruluğunu ve performansını değerlendirmek ve iyileştirmek için uygundur.

3.3.3. Hibrit Afrika Menekşesi Görüntülerinden Veri Seti Oluşturulması

Bu bölümde yukarıda bahsedilen görüntü işleme temel kavramlarına bağlı olarak hibrit Afrika menekşesi verileri üzerinde yapılan işlemler ve elde edilen sonuçlar verilmiştir.

3.3.3.1. Bitkilerin Etiketlenmesi İşlemi

Yüksek kaliteli bir veri seti oluşturmak, herhangi bir makine öğrenimi/görüntü işleme projesinin çok önemli bir parçasıdır. Uygulamada, bu genellikle gerçek eğitim ve hiperparametre optimizasyonundan daha uzun sürer. Bu nedenle, etiketleme için uygun bir araç seçmek çok önemlidir. Bu amaçla geliştirilmiş çeşitli araçlar vardır:

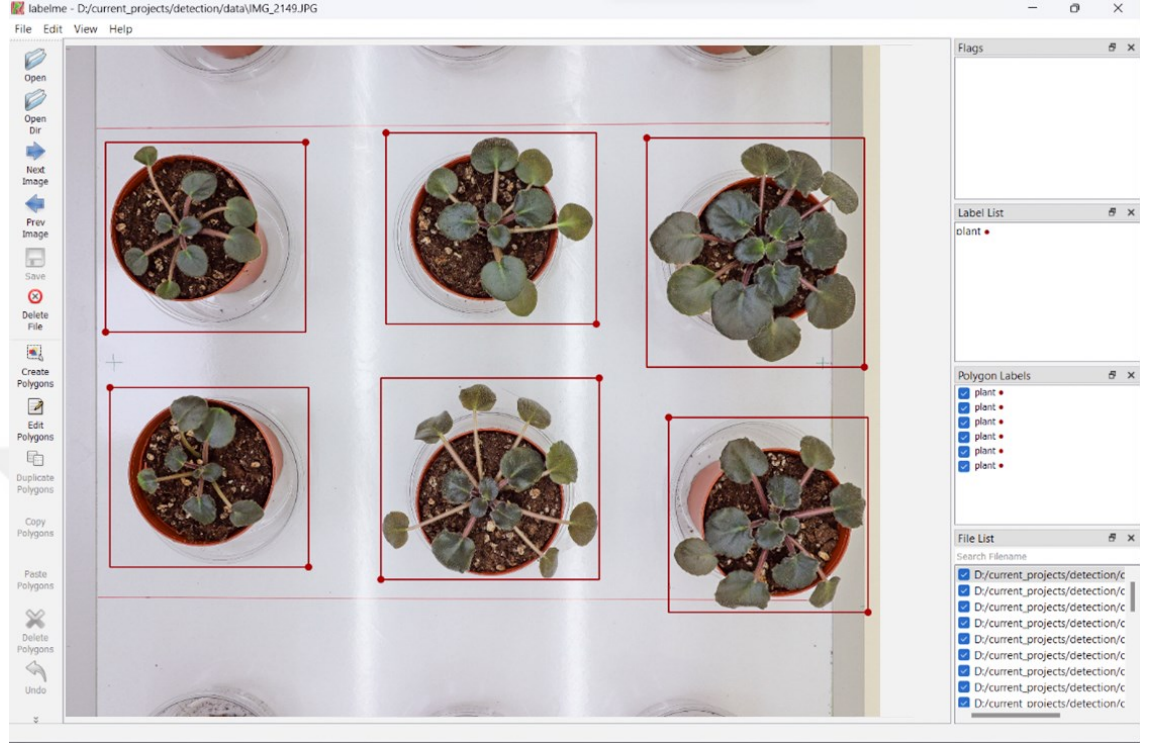
- labelme
- labelImg
- CVAT
- hasty.ai
- Labelbox

Labelme, nesne algılama, segmentasyon ve sınıflandırma için görüntülere manuel olarak/el yordamıyla açıklama eklemek için kullanılabilen, Python tabanlı, açık kaynaklı bir görüntü aracıdır. Araç, sezgisel bir kullanıcı arayüzüne sahip hafif bir grafik uygulamadır. Bu araç ile resimler üzerinde çokgenler, dikdörtgenler, daireler, çizgiler, noktalar veya çizgi şeritleri şeklinde etiketlemek mümkündür. labelme'de, etiketler doğrudan JSON dosyaları olarak kaydedilir. Kısacası labelme, elle görüntü etiketleme ve bilgisayarla görü işlemleri için basit işlevselliğe sahip oldukça güvenilir bir uygulamadır.

Hibrit Afrika menekşesi bitkilerinin etiketlenmesinde labelme etiketleme aracı kullanılmıştır. Etiketleme de “plant” adlı bir sınıf oluşturulmuştur. Bu araç ile etiketlenen bitkilerin ekran görüntüleri Şekil 54’te verilmiştir.

Şekil 54

Bitki Etiketleme Arayüzü.

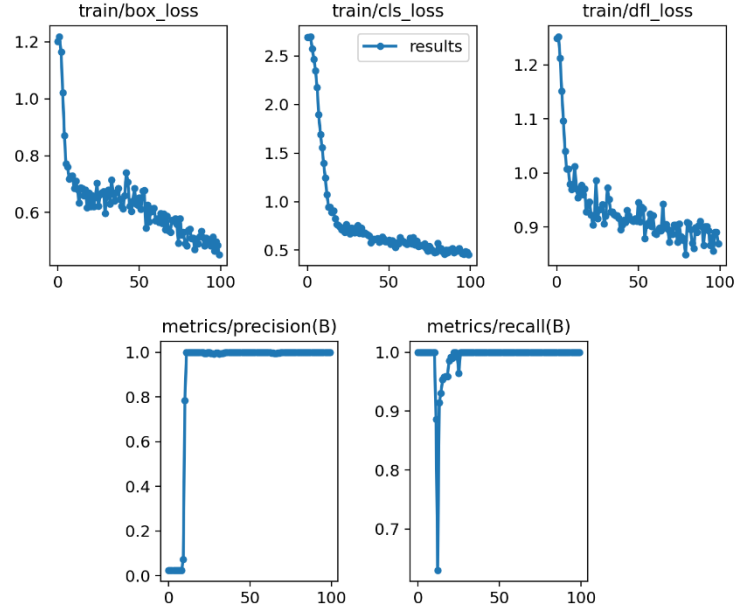


3.3.3.2. Model Eğitimi

Veriler toplanıp etiketlendikten sonra, model eğitimi için girdi olarak kullanılırlar. Etiketlenen veriler YOLOv8 aracına beslendikten eğitim işlemi gerçekleştirilmiştir. YOLO konvolüsyonel sinir ağları kullanarak nesne tespiti oldukça hızlı bir şekilde ve tek seferde yapabilen bir algoritmadır. YOLO algoritması görüntüler üzerinde tespit ettiği nesnelerin çevresini kutu çerçeve (bounding box) ile çevreler. Model eğitimi, iyi bir performans elde edene kadar süreç tekrarlanmıştır. Şekil 55'te görülen modelin eğitim sürecinde elde edilen başarımlar ölçütleri gözükmemektedir.

Şekil 55

Model Eğitim Başarım Ölçütleri

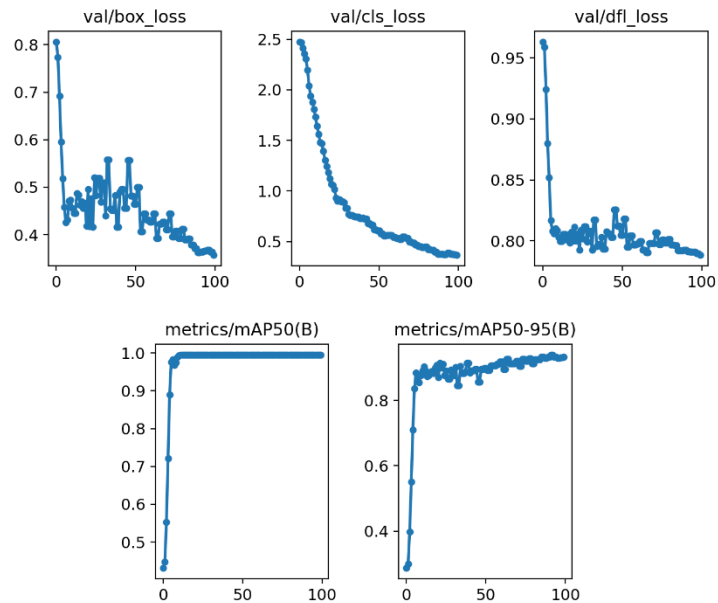


3.3.3.3. Model Doğrulanması

Oluşturulan modele daha sonra etiketlenmemiş bitkiler verilerek modelin test işlemi gerçekleştirilmiştir. Buna göre elde edilen model test başarımları Şekil 56’da verilmiştir.

Şekil 56

Model Doğrulanma Başarım Ölçütleri



3.3.3.4. Bitkilerin Tespit Edilmesi

Modelin doğrulanmasında sonra modele etiketlenmemiş bitkilerin girilmesi ile elde edilen sonuçların ekran çıktısı Şekil 57’de verilmiştir.

Şekil 57

Bitkilerin Tespit Edilmesi.



3.3.3.5. Bitki Yapraklarının Bölümlenmesi (Segmentation)

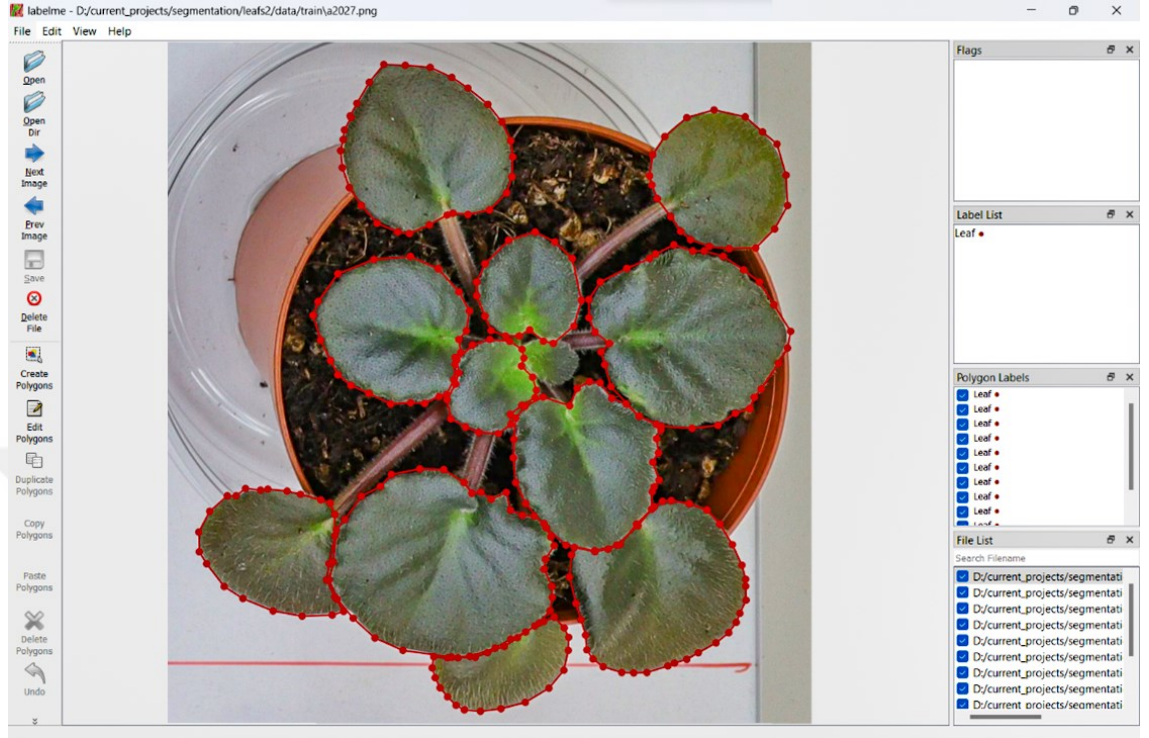
Bu bölümde bitki yapraklarının tespit edilmesi ve bölümlenmesi için kurulan modelin eğitim, gerçekleştirme ve test işlemleri açıklanıp sonuçlar verilmiştir.

Bitki Yapraklarının Etiketlenmesi

Hibrit Afrika menekşesi bitkilerinin yapraklarının etiketlenmesinde labelme etiketleme aracı kullanılmıştır. Etiketleme de “leaf” adlı bir sınıf oluşturulmuştur. Bu araç ile etiketlenen bitki yaprağının ekran görüntüsü Şekil 58’de verilmiştir.

Şekil 58

Yaprak Verisi Etiketleme Arayüzü.

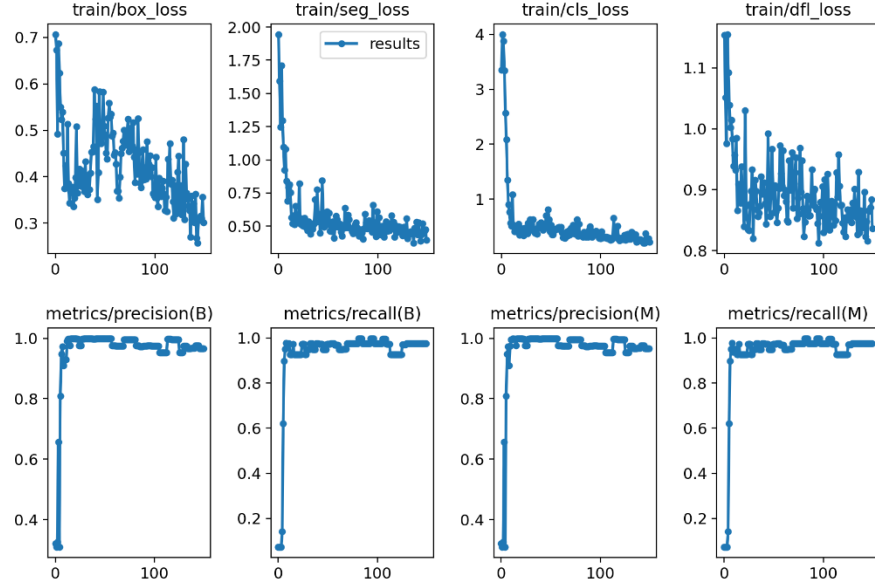


Model Eğitimi

Yaprak verileri etiketlendikten sonra, model eğitimi için girdi olarak kullanılırlar. Etiketlenen yaprak verileri YOLOv8 aracına beslendikten eğitim işlemi gerçekleştirilmiştir. YOLO algoritması görüntüler üzerinde tespit ettiği nesnelerin çevresini poligon ile çevreler. Şekil 59’da modelin eğitim sürecinde elde edilen başarımlar ölçütleri gözükmemektedir.

Şekil 59

Yaprak Verisine Ait Eğitimin Başarım Ölçütleri

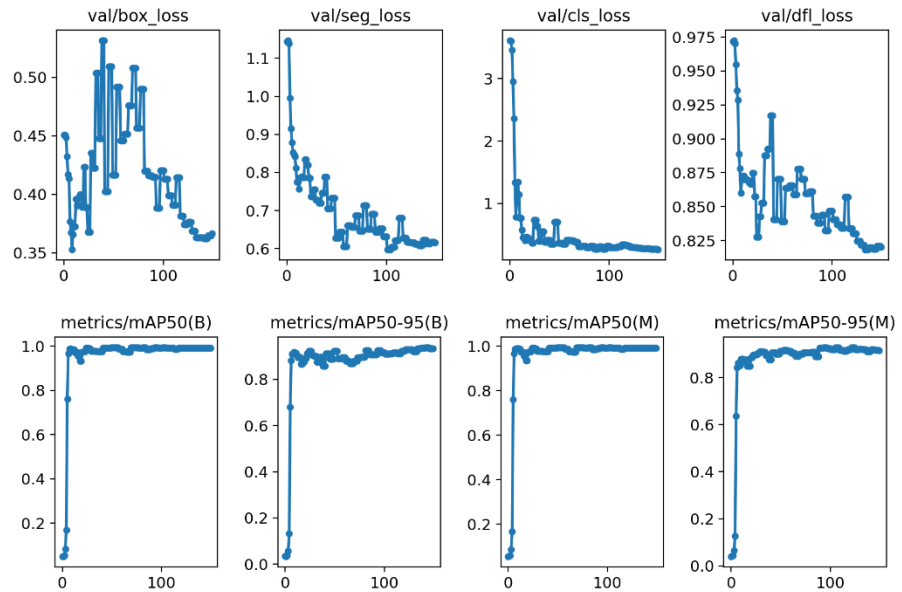


Model Doğrulanması

Oluşturulan modele daha sonra etiketlenmemiş yaprak verileri verilerek modelin doğrulanma işlemi gerçekleştirilmiştir. Buna göre elde edilen model doğrulanma başarımları ölçütleri Şekil 60'ta verilmiştir.

Şekil 60

Yaprak Verisi İçin Model Doğrulanma Başarım Ölçütleri

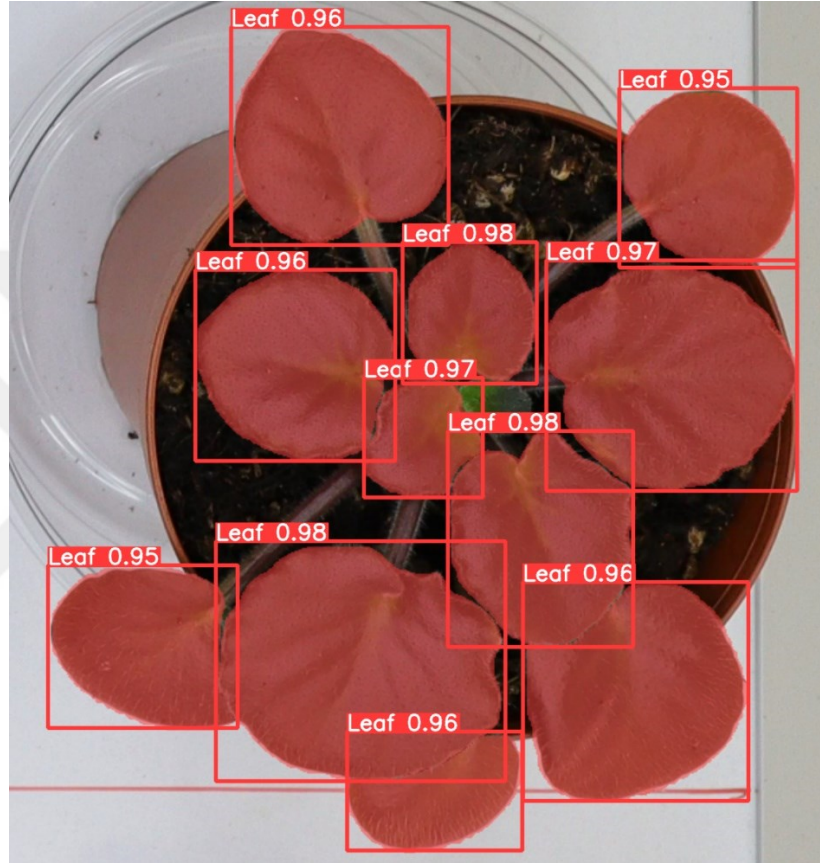


Yaprakların Tespit Edilmesi

Şekil 61’de modelin doğrulanmasında sonra modele etiketlenmemiş yaprak verilerinin girilmesi ile elde edilen sonuçların ekran çıktısı verilmiştir.

Şekil 61

Bitki Yapraklarının Tespit ve Bölümlemesi



Her bitkideki Yaprak Sayısının ve Konumunun Bulunması

Bu iki model elde edildikten sonra, her bitkideki yaprak sayısını saymak için Python’da aşağıda sözde kodu verilen program yazılmıştır.

Bitki Tespiti:

- D bitki tespit işlemini temsil etsin.
- Bir giriş görüntüsü I verildiğinde, bitki tespit işleminin çıktısı şu şekilde temsil edilebilir: $B=D(I)$ burada B , görüntüde tespit edilen bitkileri temsil eden sınırlayıcı kutular veya koordinatların bir kümesidir.

Bitki Kırpma:

- C kırpma işlemini temsil etsin.

- B' 'deki her sınırlayıcı kutu bi için, orijinal görüntüden I 'ya karşılık gelen bölgeyi kırp:

$$I_{pi} = C(I, bi) \quad (3.6)$$

burada I_{pi} , i bitkisinin kırpılmış görüntüsünü temsil eder.

Yaprak Segmentasyonu:

S yaprak bölütleme işlemini temsil etsin.

Kırpılmış bir bitki görüntüsü I_{pi} verildiğinde, yaprak bölümlleme işleminin çıktısı şu şekilde temsil edilir:

$$L_{pi} = S(I_{pi}) \quad (3.7)$$

burada L_{pi} , i bitkisindeki parçalı yapraklar kümesidir.

Görüntü Yerleşimi:

O görüntü üst üste bindirme işlemini temsil etsin.

Tespit edilen her bitki ile dxi ve dyi olarak gösterilen x , y eksen değeri arasındaki mesafe hesaplanır.

L_{pi} 'deki her parçalı yaprak noktası p_{ij} için, karşılık gelen mesafeleri toplayarak koordinatları ayarlanır:

$$P_{ij}' = (x_{ij} + dxi, y_{ij} + dyi) \quad (3.8)$$

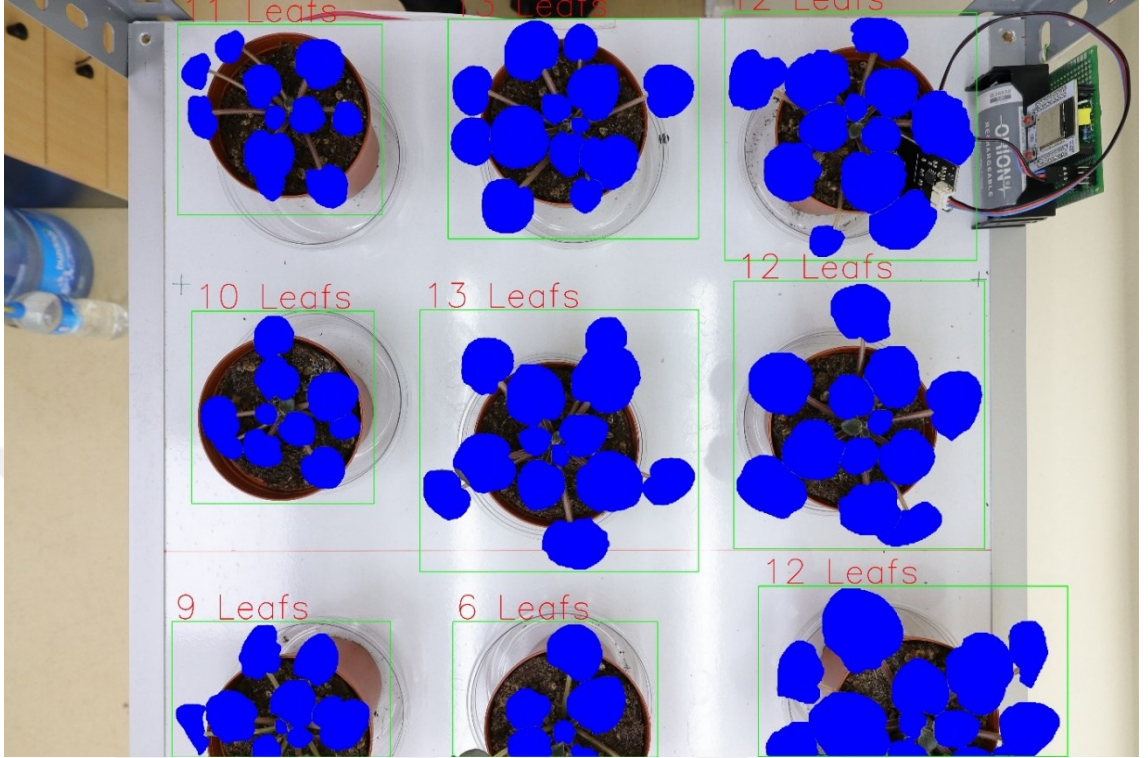
$$I_{overlay} = O(I, L_{p1}, L_{p2}, \dots, L_{pn}) \quad (3.9)$$

Tüm süreç, bitki tespiti, bitki kırpma, yaprakların segmentasyonu ve segmente edilmiş yaprakları orijinal görüntüye yerleştirme işlemlerinin girdi görüntüsüne (I) uygulanan bir dizi matematiksel işlem olarak temsil edilir.

Burada, her bitkinin zamana göre yaprak sayılarının ve büyüklüklerinin bulunması amaçlanmıştır. Bu sayede bitkiye verilen besin miktarlarının bitki üzerinde oluşturmuş olduğu değişimler izlenebilmektedir. Şekil 62'de görüldüğü gibi görüntü işleme ile bitkilerin yaprak sayıları ve konumları elde edilmiştir.

Şekil 62

Bitki Yapraklarının Tespit ve Bölümlemesi



Şekil 62’de Görüldüğü gibi bitkiler üzerindeki her bir yaprak tespit edilmekte ve her bir bitkinin yaprakları bölümlemekte bunun yanı sıra bitkilerin toplam yaprak miktarları da sayılmaktadır. Bu sayede bitkilerin büyümesinin takip edilmesi işlemleri mümkün olmaktadır.

3.3.4. Hibrit Afrika Menekşesi Görüntü İşleme Sistemi Modelinin Eğitimi ve Doğrulaması

Görüntü işleme sisteminin eğitimi ve doğrulaması amacıyla, denemeye dahil edilen tüm çeşitlerde eğitim seti için 139 görüntü, doğrulama seti için 21 görüntü olmak üzere toplam 160 etiketli görüntü toplanmıştır. Bu görüntüler, 95 günlük dönemde bitkilerin çeşitli büyüme aşamalarında bitkileri temsil eden sınırlayıcı kutular için ek açıklamalar içermektedir.

Görüntü İşleme Sistemi Modelinin Eğitimi:

YOLOv8 nesne algılama modeli 139 görüntü üzerinde eğitilmiştir. Veri kümesi, modelin gerçek dünya senaryolarında bitkileri tespit etmedeki başarısını artırmayı amaçlayan

farklı aydınlatma koşullarına, farklı bitki boyutlarına ve birbiri ile çakışan örneklerle sahip görüntüler de dahil olmak üzere çeşitli görüntülerden oluşmaktadır.

Görüntü İşleme Sistemi Modelinin Doğrulaması:

Eğitim sırasında modelin performansını değerlendirmek için 21 görüntüden oluşan doğrulama seti kullanılmıştır. Modelin performansı, doğru bitki tespitini sağlamak için Ortalama Hassasiyet (mAP) ve diğer metrikler kullanılarak izlenmiştir.

3.3.4.1. Bogema Çeşidi Yaprak Segmentasyonu

Bogema çeşidine ait yapraklarının segmentasyonu için, bitki üzerindeki yaprakları tek tek ve doğru bir şekilde ayırmak ve ölçmek için özel bir yaprak segmentasyon modeli geliştirilmiştir. Bu segmentasyon işleminin amacı, yaprakların sayımını kolaylaştırmak ve 95 günlük gözlem süresi boyunca gelişimlerini takip etmektir. Bogema çeşidine ait yaprak segmentasyon modeli aşağıdaki konularda kritik rol oynamıştır:

1. Her bir bitkideki yaprakların doğru şekilde sayılması.
2. Tek tek yaprakların büyümesinin ölçülmesi ve zaman içinde yaprakların boyut ve şekil değişikliklerin izlenmesi.
3. Bitkinin genel sağlığını ve gelişimini tahmin etmek için yaprak yapısı hakkında ayrıntılı bilgilerin sağlanması.

Veri Hazırlama:

Bogema çeşidi yaprak segmentasyon modelini eğitmek için kullanılan veri seti içeriği eğitim seti 64 etiketli görüntü, doğrulama seti: 12 etiketli görüntü olmak üzere toplam 66 görüntü içermektedir. Veri kümesindeki her bir görüntüye, yaprak bölgelerini gösteren piksel düzeyinde maskeler manuel olarak etiketlenmiş ve modelin yapraklar ile çevresindeki diğer bitki öğelerini doğru bir şekilde ayırt edebilmesi sağlanmıştır.

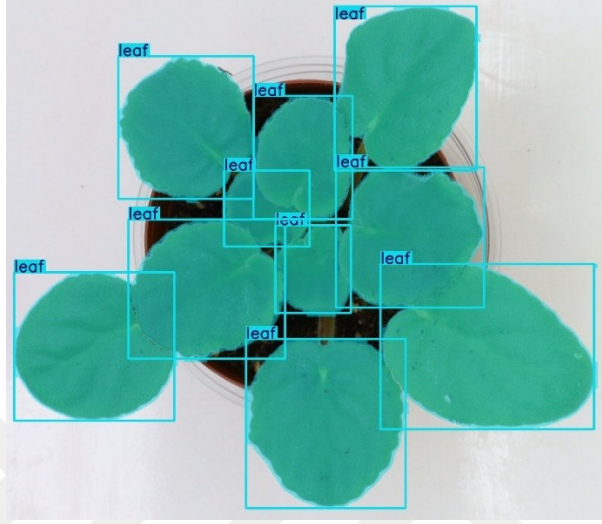
Model Eğitimi:

Etiketli görüntüler kullanılarak Bogema çeşidine ait bitkiler için özel olarak eğitilmiş bir segmentasyon modeli oluşturulmuştur. Veri kümesi, modelin genel kullanımını ve başarısını artırmak için farklı yaprak boyları, üst üste binmeler ve farklı aydınlatma varyasyonları gibi çeşitli koşulları içermektedir. Model, günlük yaprak sayımı ve bitki boyutunu tahmin etmek için kritik olan her yaprağın tam şeklini ve boyutunu tahmin

etmek için tasarlanmıştır. Şekil 63'te Bogema çeşidine ait modelin tespit ettiği yapraklar görülmektedir.

Şekil 63

Bogema Çeşidi Bitki Yapraklarının Tespiti ve Bölümlemesi



Model Doğrulaması:

Eğitim süreci boyunca segmentasyon modelinin performansını izlemek için 12 görüntüden oluşan doğrulama seti kullanılmıştır. Modelin yaprakları doğru bir şekilde segmentlere ayırma kabiliyetini değerlendirmek için Birlik Üzerinden Kesişim, Intersection over Union (IoU), piksel doğruluğu ve Dice katsayısı gibi standart segmentasyon metrikleri izlenmiştir.

3.3.4.2. Lilon Çeşidi Yaprak Segmentasyonu

Bogema çeşidine ek olarak, doğru yaprak sayımı ve segmentasyonunu sağlamak için Lilon çeşidi için de ayrı bir yaprak segmentasyon modeli geliştirilmiştir. Bu model, Lilon çeşidinin benzersiz özelliklerine göre uyarlanmış ve farklı büyüme aşamalarında hassas segmentasyon ve yaprak yapısı analizine olanak sağlamıştır. Lilon çeşidine ait yaprak segmentasyon modeli şu amaçlarla kullanılmıştır:

1. Günlük büyümeyi değerlendirmek için her bir Lilon çeşidine ait yaprak sayısını saymak.
2. 95 günlük gözlem süresi boyunca her bir bitkinin yapraklarındaki fiziksel değişikliklerin izlenmesi.

3. Lilon çeşidi için ayrıntılı yaprak segmentasyon verilerinin sağlanarak bitki çeşitleri arasında karşılaştırmalı analizlerin desteklenmesi.

Veri Hazırlama:

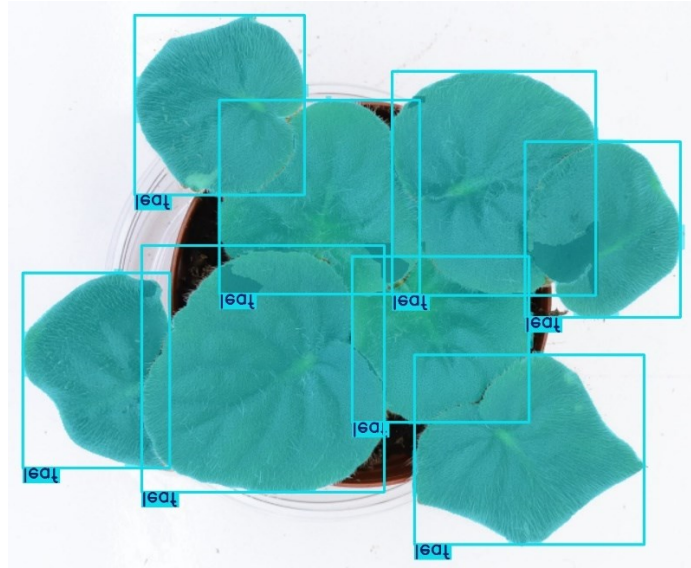
Lilon çeşidi yaprak segmentasyon modeli eğitim seti 86 etiketli görüntü, doğrulama seti: 12 etiketli görüntü olmak üzere toplam 98 görüntü içermektedir. Bogema çeşidine ait veri setine benzer şekilde, her görüntü, her yaprağın sınırlarını tanımlayan ayrıntılı piksel düzeyinde maskelerle açıklanmış ve eğitim için yüksek kaliteli kesin referans sağlanmıştır.

Model Eğitimi:

Lilon çeşidi segmentasyon modeli, Lilon çeşidine ait bitkilerin yaprak yapısı ve ayrıntılarını yakalamak için özel olarak eğitilmiştir. Eğitim için kullanılan veri kümesi çok çeşitli yaprak boyutları ve şekilleri, çakışan yaprak örneklerini içermektedir ve modele gerçek dünyadaki bitki görüntülerini işlemek için gerekli çeşitliliği sağlamaktadır. Bu model, aynı zamanda aydınlatma veya görüntüler arasındaki kalite farklılıkları gibi zorlukların üstesinden gelmek için de bitkiye özel olarak tasarlanmıştır. Şekil 64'te Lilon çeşidine ait modelin tespit ettiği yapraklar görülmektedir.

Şekil 64

Lilon Çeşidi Bitki Yapraklarının Tespiti ve Bölümlemesi



Model Doğrulaması:

Modelin performansı 12 görüntüden oluşan bir doğrulama seti kullanılarak izlenmiştir. Modelde aynı zamanda Bogema çeşidinde de kullanılan metriklerden yararlanılmıştır.

3.3.5. Hibrit Afrika Menekşesi Görüntü İşleme Sistemi Modelinin Uygulanması

Geliştirilmiş olan görüntü işleme sistemi modelinin uygulanması aşamasında denemeye dahil edilmiş ve veri seti hazırlanmış çeşitlere ait aşağıdaki faaliyetler ve hesaplamalar yapılmıştır.

3.3.5.1. Günlük Görüntü Toplama ve Bitki İzleme

Denemeye dahil edilmiş bitkiler için 95 günlük gözlem süresi boyunca her gün 9-18 aydınlık periyodunda her saat başı olmak üzere çeşit başına toplam 10 adet görüntü alınmıştır. Aynı gün içinde birer saat aralıklarla alınmış görüntüler arasında, görüntü işleme sistemi açısından anlamlı bir değişim olmadığı belirlenmiş ve sistemin daha verimli çalışabilmesi için çeşit başına günlük 2 adet görüntü kullanılmıştır. Bitki başına ortalama yaprak sayısı, iki görüntüden elde edilen sonuçlara göre günlük olarak hesaplanmış, böylece bitkinin zaman içindeki büyüme ve gelişme eğilimlerinin sürekli olarak izlenmesine olanak sağlanmıştır.

3.3.5.2. Günlük Yaprak Sayılarının Hesaplanması

Sınırlayıcı Kutu Algılama:

Nesne algılama modeli görüntüdeki bitkileri algılar ve her bitkiyi bir sınırlayıcı kutu içine yerleştirir. Sınırlayıcı kutuların koordinatları, en yakın tamsayı değerlerine yuvarlanarak piksel hassasiyetine göre ayarlanır. Bu, alan hesaplamalarının kesin piksel konumlarına dayanmasını sağlar.

Sınırlayıcı Kutu Dönüşümü ve Manipülasyonu: Tespit edilen her bitki, sol üst köşesinin (x1, y1) ve sağ alt köşesinin (x2, y2) koordinatları ile tanımlanan bir sınırlayıcı kutu ile temsil edilir. Bu koordinatlar piksel hassasiyeti için en yakın tamsayı değerlerine yuvarlanarak sınırlayıcı kutunun görüntü içinde doğru konumlandırılması sağlanır. Şekil 65'te sınırlayıcı kutular ile temsil edilen Bogema çeşidi görülmektedir.

Şekil 65

Bogema Çeşidi Sınırlayıcı Kutu Tespiti



Yaprakların ve çiçeklerin sayılması:

Model, tespit edilen her nesneye bir sınıf indeksi atayarak her sınırlayıcı kutu içindeki nesneleri tanımlar. Sınıf indeksi 0 'çiçek'i, 1 ise 'yaprak'ı temsil eder. Her görüntüdeki toplam çiçek ve yaprak adedini saymak için:

Çiçek Sayısı: Sınıf indeksi 0'ın kaç kez geçtiği sayılır.

Yaprak Sayısı: Sınıf indeksi 1'in kaç kez geçtiği sayılır.

Segmentasyon Maskesi Konumlandırma:

Tespit edilen her bitki bir segmentasyon maskesi ile ilişkilendirilir. Maskenin koordinatları sınırlayıcı kutuya göreidir. Maskeyi görüntüde doğru bir şekilde konumlandırmak için, maskeyi tespit edilen bitkinin konumuyla hizalamak üzere bir ofset sınırlayıcı kutunun sol üst köşesine eklenir ((x1, y1) karşılık gelir).

Tespit Edilen Bitkilerin Toplam Sayısı:

Her görüntüdeki toplam bitki sayısı, sınırlayıcı kutuların sayısı sayılarak belirlenir. Her sınırlayıcı kutu bir bitkiye karşılık gelir, bu nedenle sınırlayıcı kutuların sayısı tespit edilen bitkilerin sayısına eşittir.

Toplam Yaprak ve Çiçek Sayısı:

Bir görüntüdeki toplam yaprak ve çiçek adedini belirlemek için:

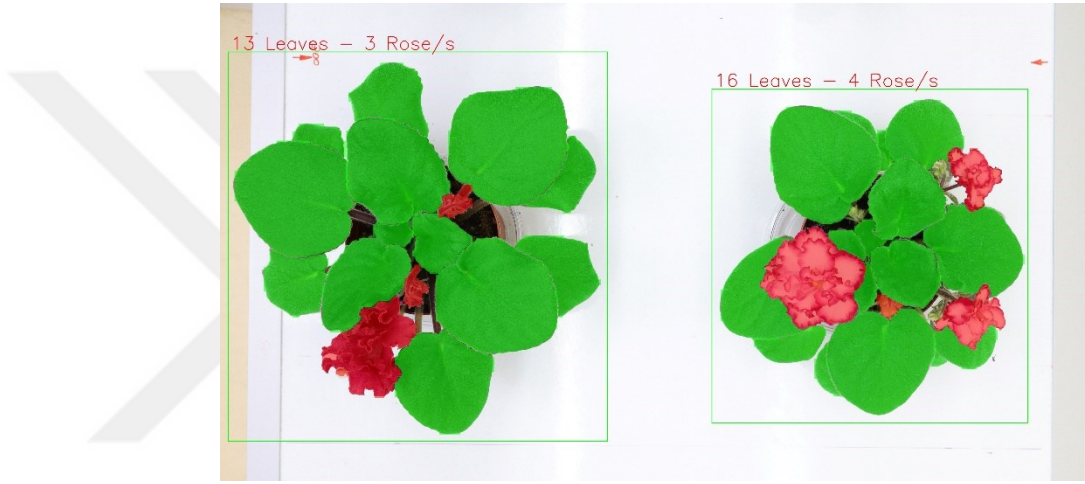
Toplam Yapraklar: Aynı gün içindeki tüm bitkilerde tespit edilen tüm yaprakların (sınıf endeksi 1) toplamıdır.

Toplam Çiçekler: Aynı gün içinde tüm bitkilerde tespit edilen tüm çiçeklerin (sınıf endeksi 0) toplamıdır.

Görüntü işleme sistemi tarafından Bogema çeşidine ait örnek bir görüntüden tespit edilmiş 2 bitkiye ait yaprak ve çiçek sayıları Şekil 66'da gösterilmiştir.

Şekil 66

Bogema Çeşidi Yaprak ve Çiçek Sayılarının Belirlenmesi



Bitki Başına Ortalama Yaprak ve Çiçek Sayısı:

Bitki başına ortalama yaprak ve çiçek sayısı, toplam yaprak ve çiçek sayısının tespit edilen bitki sayısına bölünmesiyle hesaplanır:

$$\text{Bitki Başına Ortalama Yaprak Sayısı} = \text{Toplam Yaprak Sayısı} / \text{Toplam Bitki Sayısı} \quad (3.10)$$

$$\text{Bitki Başına Ortalama Çiçek Sayısı} = \text{Toplam Çiçek Sayısı} / \text{Toplam Bitki Sayısı} \quad (3.11)$$

Bu ortalama değerler, kesirli yaprak veya çiçek sayılarından kaçınmak için en yakın tam sayıya yuvarlanmıştır.

3.3.5.3. Yaprak ve Çiçek Alanlarının Hesaplanması

Bu bölümde, görüntü işleme modelinin kendisinden ziyade metodolojiye odaklanarak, görüntü segmentasyonu ve nesne tespiti kullanılarak bitki alanının nasıl hesaplandığı açıklanacaktır.

Pikselden Santimetreye Dönüşüm:

Bitkinin fiziksel alanını (cm²) hesaplamak için model piksel boyutlarını santimetreye dönüştürür. Aşağıda görüntü işleme sistemine kaydedilmiş bir bitki görüntüsünün santimetre cinsinden bilinen boyutları verilmiştir:

$$\text{Görüntü genişliği} = 56,7 \text{ cm}$$

$$\text{Görüntü yüksekliği} = 50 \text{ cm}$$

Görüntünün piksel cinsinden genişliği ve yüksekliği ölçülür ve ardından dönüştürme faktörü hesaplanır. Pikselden santimetreye dönüştürme faktörü, genişlik ve yükseklik dönüştürme faktörlerinin ortalaması olarak hesaplanır. Bu faktör, piksel alanlarını fiziksel alanlara (cm²) dönüştürmek için kullanılır:

$$\text{genişlik_dönüşüm_faktörü} = \text{görüntü_genişlik_cm} / \text{görüntü_genişlik_px} \quad (3.12)$$

$$\text{yükseklik_dönüşüm_faktörü} = \text{görüntü_yükseklik_cm} / \text{görüntü_yükseklik_px} \quad (3.13)$$

$$\text{pixel_to_cm_faktörü} = (\text{genişlik_dönüşüm_faktörü} + \text{yükseklik_dönüşüm_faktörü}) / 2 \quad (3.14)$$

Segmentasyon modeli, sınırlayıcı kutular içindeki yaprakları ve çiçekleri tanımlar ve her biri için segmentasyon maskeleri üretir. Her nesnenin (yaprak veya çiçek) alanı, kontur algılama kullanılarak piksel cinsinden hesaplanır (segmentasyon maskesinin kontur alanı). Piksel alanı daha önce hesaplanan piksel-santimetre dönüşüm faktörü kullanılarak cm²'ye dönüştürülür:

$$\text{Yaprak/Çiçek Alanı (cm}^2\text{)} = \text{Piksel Alanı} \times (\text{Piksel-Santimetre Faktörü})^2 \quad (3.15)$$

Bu işlem görüntü içinde tespit edilen tüm yapraklar ve çiçekler için tekrarlanır.

Her Görüntü için Toplam Alanının Hesaplanması:

Her görüntü için yaprakların ve çiçeklerin toplam alanı toplanır:

$$\text{Görüntü için Toplam Yaprak Alanı} = \sum(\text{Görüntüdeki tüm yapraklar için Yaprak Alanı}) \quad (3.16)$$

$$\text{Görüntü için Toplam Çiçek Alanı} = \sum(\text{Görüntüdeki tüm çiçekler için Çiçek Alanı}) \quad (3.17)$$

Günlük Toplam Alanın Hesaplanması:

Her gün için iki adet görüntü kullanıldığından, her iki görüntüdeki toplam yaprak ve çiçek alanları toplanır:

$$\text{Günlük Toplam Yaprak Alanı} = \text{Toplam Yaprak Alanı (Görüntü 1)} + \text{Toplam Yaprak Alanı (Görüntü 2)} \quad (3.18)$$

$$\text{Günlük Toplam Çiçek Alanı} = \text{Toplam Çiçek Alanı (Görüntü 1)} + \text{Toplam Çiçek Alanı (Görüntü 2)} \quad (3.19)$$

Günlük Ortalama Yaprak ve Çiçek Alanının Hesaplanması:

Bitki başına günlük ortalama alanı elde etmek için toplam alan tespit edilen yaprak ve çiçek sayısına bölünür. Birden fazla bitki tespit edilirse, bitki başına ortalama hesaplanır:

$$\text{Bitki Başına Ortalama Toplam Yaprak Alanı (Günlük)} = \frac{\text{Her iki görüntüdeki Toplam Yaprak Sayısı}}{\text{Günlük Toplam Bitki Sayısı}} \quad (3.20)$$

$$\text{Bitki Başına Ortalama Toplam Çiçek Alanı (Günlük)} = \frac{\text{Her iki görüntüdeki Toplam Çiçek Sayısı}}{\text{Günlük Toplam Bitki Sayısı}} \quad (3.21)$$

3.3.6. Hibrit Afrika Menekşesi Görüntü İşleme Sistemi Modelinin Başarı Ölçütleri

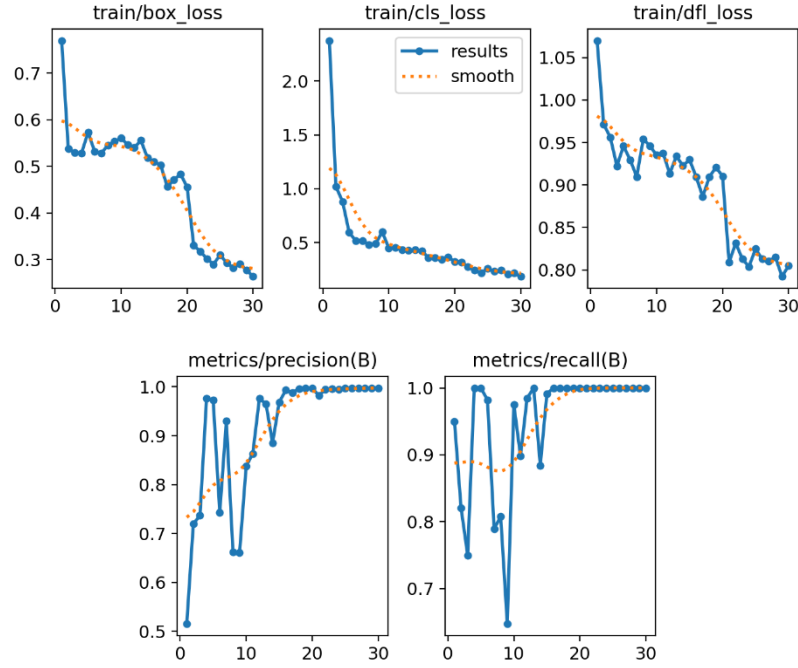
Geliştirilen görüntü işleme sistemi modeline ait performans ölçütleri Model Eğitimi Performans Ölçütleri ve Model Doğrulama Performans ölçütleri olarak iki kısımda değerlendirilecektir.

3.3.6.1. Model Eğitimi Performans Ölçütleri

Model eğitimi, iyi bir performans elde edene kadar süreç tekrarlanmıştır. Şekil 67’de görülen modelin eğitim sürecinde yapılan tekrar sayısı ve modelin başarımları elde edilen modelin başarımları ölçütleri gözükmemektedir.

Şekil 67

Hibrit Afrika Menekşesi Görüntü İşleme Sistemi Model Eğitimi Performans Ölçütleri



train/box_loss, eğitim sırasında izlenen temel metriklerden biridir ve modelin eğitim sürecinde bu değerin düşmesi beklenir. box_loss ne kadar düşükse, modelin nesnenin boyut ve konumunu doğru tahmin etme performansı o kadar iyidir. Yüksek değerler, modelin kutu tahminlerinde hatalı olduğunu gösterir.

train/cls_loss, geliştirilmiş modelin eğitim sırasında nesnelerin hangi sınıfa ait olduğunu doğru bir şekilde tahmin etme yeteneğini ölçer. Eğitim sırasında bu değerler izlenir ve kayıp değeri düşükçe modelin sınıflandırma yeteneği gelişir. cls_loss ne kadar düşükse, modelin nesneleri doğru sınıflandırma becerisi o kadar iyidir. Yüksek değerler, modelin yanlış sınıflandırma yaptığı anlamına gelir.

train/dfl_loss, YOLOv8'de sınırlayıcı kutuların koordinatlarının daha doğru bir şekilde öğrenilmesi için kullanılan bir hata metriğidir. DFL, kutu tahminlerini olasılık dağılımı kullanarak optimize eder ve modelin daha hassas tahminler yapmasına yardımcı olur. dfl_loss ne kadar düşükse, modelin sınırlayıcı kutu koordinatlarını o kadar hassas ve doğru tahmin ettiği anlamına gelir. Yüksek kayıp değerleri, modelin kutu koordinatlarını yanlış tahmin ettiğini gösterir.

metrics/precision(B), modelin tespit ettiği nesneler arasından doğru olarak tespit edilenlerin oranını gösterir. Precision (kesinlik), özellikle nesne tespitinde yanlış

pozitiflerin (false positives) düşük olmasını hedefler. Başka bir deyişle, modelin doğru olarak tespit ettiği nesnelerin, tüm tespit edilen nesnelere oranıdır. $\text{metrics/precision(B)}$, eğitim ve doğrulama süreçlerinde yanlış pozitiflerin ne kadar düşük olduğunu ölçen önemli bir ölçüttür.

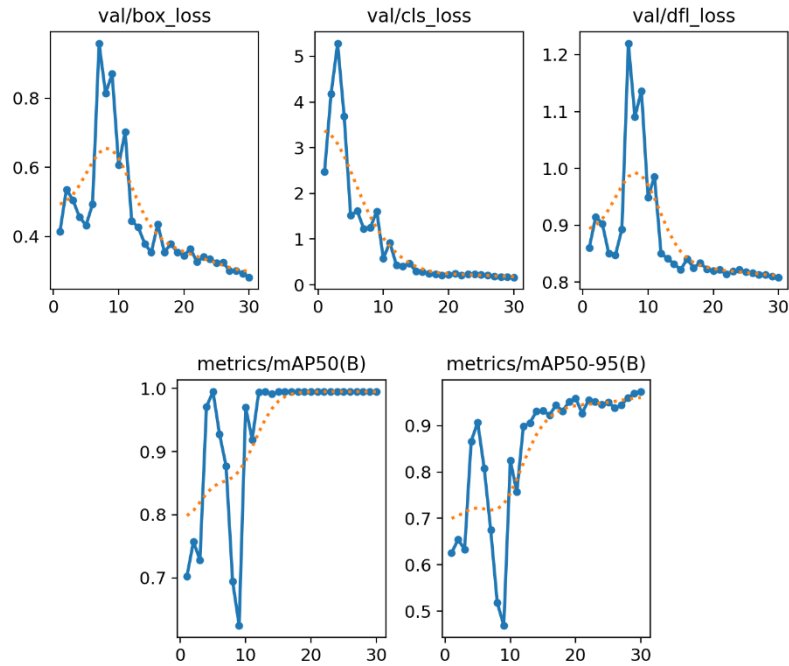
metrics/recall(B) metriği, modelin nesneleri ne kadar iyi yakalayabildiğini ölçer. Recall (duyarlılık), modelin tespit edebildiği doğru nesnelerin oranını gösterir ve özellikle yanlış negatifleri (false negatives) azaltmayı hedefler. Recall genellikle Precision ile birlikte değerlendirilir. Yüksek recall, modelin çok sayıda nesneyi yakalayabildiğini gösterir, ancak bu sırada bazı yanlış tespitler de olabilir (düşük precision). Bu nedenle her iki metriğin dengelenmesi, model performansını en iyi şekilde değerlendirmek için önemlidir.

3.3.6.2. Model Doğrulama Performans Ölçütleri

Geliştirilen görüntü işleme sistemi modeline etiketlenmemiş yaprak verileri verilerek modelin doğrulanma işlemi gerçekleştirilmiştir. Buna göre elde edilen model doğrulanma performans ölçütleri Şekil 68’de verilmiştir.

Şekil 68

Hibrit Afrika Menekşesi Görüntü İşleme Sistemi Model Doğrulama Performans Ölçütleri



val/box_loss, modelin doğrulama (validation) veri seti üzerinde nesne tespiti sırasında sınırlayıcı kutuların (bounding boxes) doğruluğunu ölçen bir hata metriğidir. Eğitim sırasında kullanılan train/box_loss ile aynı anlama gelir, ancak doğrulama verileri üzerinde hesaplanır. val/box_loss değeri ne kadar düşükse, modelin doğrulama verileri üzerindeki nesnelerin konum ve boyutlarını doğru bir şekilde tahmin ettiği anlamına gelir. Yüksek değerler, modelin kutu tahminlerinde hatalı olduğunu gösterir.

val/cls_loss, modelin doğrulama (validation) veri seti üzerindeki nesneleri doğru sınıflandırma yeteneğini ölçen bir hata (loss) metriğidir. Eğitim sırasında kullanılan train/cls_loss ile aynı anlama gelir, ancak doğrulama verileri üzerinde hesaplanır. val/cls_loss değeri ne kadar düşükse, modelin doğrulama verilerinde nesneleri doğru sınıfa atama yeteneği o kadar iyidir. Yüksek cls_loss değeri, modelin sınıflandırma hatalarının fazla olduğunu gösterir.

val/dfl_loss, modelin doğrulama (validation) veri seti üzerindeki sınırlayıcı kutu (bounding box) tahminlerini daha hassas hale getirmek için kullanılan Distribution Focal Loss (DFL) metriğidir. Eğitim sırasında kullanılan train/dfl_loss ile aynı işlevi görür, ancak doğrulama verisi üzerinde hesaplanır. val/dfl_loss değeri ne kadar düşükse, modelin sınırlayıcı kutuları doğrulama verisi üzerinde o kadar doğru tahmin ettiği anlamına gelir.

metrics/mAP50(B), modelin doğrulama veri seti üzerinde elde ettiği ortalama doğruluk (mean Average Precision, mAP) değerini, %50 IoU (Intersection over Union) eşik değeri ile ölçen bir metriktir. Bu metrik, nesne tespiti modelinin genel performansını değerlendirmede yaygın olarak kullanılır. metrics/mAP50(B) değeri ne kadar yüksekse, modelin nesneleri doğru tespit etme performansı o kadar iyidir. Yüksek mAP50, modelin büyük oranda doğru tahminler yaptığı anlamına gelir.

metrics/mAP50-95(B), modelin doğrulama veri seti üzerindeki ortalama doğruluk (mean Average Precision, mAP) değerini, %50 ile %95 IoU (Intersection over Union) eşik değerleri arasında hesaplayan bir metriktir. Bu metrik, nesne tespit modellerinin genel performansını çok daha detaylı bir şekilde değerlendirmek için kullanılır. metrics/mAP50-95(B) ne kadar yüksekse, model hem düşük IoU (örneğin %50) hem de yüksek IoU (örneğin %95) değerlerinde başarılı tahminler yapmış demektir. Yani, model hem genel anlamda iyi performans gösterir hem de daha hassas tahminler yapma yeteneğine sahiptir.

BÖLÜM 4. VERİ ANALİZLERİ VE BULGULAR

Çalışmanın bu bölümü üç ana başlıkta ele alınmaktadır. Birinci kısımda, denemeye dahil edilmiş tüm bitki çeşitlerine ait uzman görüşü ile belirlenmiş ideal büyüme kriterleri detaylı olarak açıklanacaktır.

İkinci kısımda ise görüntü işleme sisteminden gelen ve analizi tamamlanmış verilerin genel değerlendirmesi yapılmıştır. Bu değerlendirmeler ideal büyüme kriterleri ile gerçek büyüme verilerinin karşılaştırılmasını içermektedir

Üçüncü kısımda ise elde edilen bulgular yardımı ile karar destek sisteminin geliştirilmesi aşamalarından bahsedilmiştir.

4.1. Denemeye Dahil Edilen Bitkilerin İdeal Büyüme Kriterleri

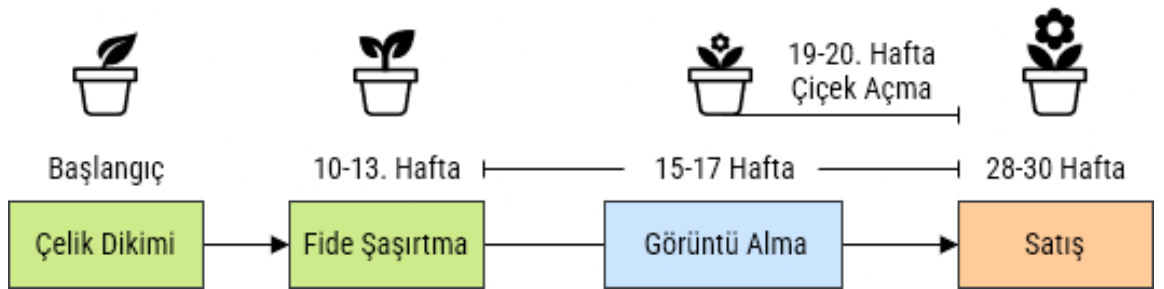
İdeal büyüme kriterleri, yurt dışından 1 yetiştirici (Holtkamp, 2023), Sakarya'dan 2 yetiştirici 1 uzman ve İzmir'den 1 yetiştirici tarafından belirlenmiştir. Buna göre standart boy Hibrit Afrika menekşesinin satışa hazır hale gelme kriterleri; süreye bağlı kriterler ve bitki gelişimine bağlı kriterler olarak iki farklı başlıkta ele alınabilir.

4.1.1. Süreye Bağlı Kriterler

Denemeye dahil edilen 2 çeşit bitki için (Bogema ve Lilon) süreye bağlı ideal büyüme aşamaları Şekil 69'te görülmektedir.

Şekil 69

Hibrit Afrika Menekşesi Çelik Dikimi, Fide Şaşırtma, Görüntü Alma ve Satış Süreci



1. Bitkiler çelik dikim tarihinden itibaren toplam 28 ila 30 hafta sonunda satışa hazır hale gelmektedir.
2. Çelik dikim tarihinden itibaren 10 ila 13. Hafta sonunda kök sistemi gelişmiş ve şaşırtılmaya hazır fideler elde edilmektedir.

3. Elde edilen ve şaşırtılan fidelerin satışa hazır hale gelme süresi en az 15 ila 17 haftadır (100 ila 120 gün)
4. Şaşırtılmış bitkilerin çiçek açmaya başlaması şaşırtma tarihinden itibaren en az 9 ila 10. haftadır (60 ila 70 gün)

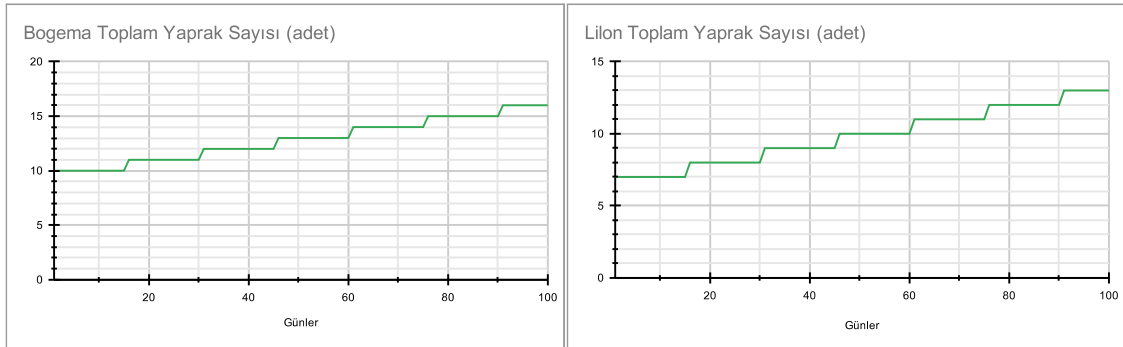
4.1.2. Bitki Gelişimine Bağlı Kriterler

Denemeye dahil edilen 2 çeşit bitki için (Bogema ve Lilon) bitki gelişimine bağlı ideal büyüme kriterleri 3 ana kategoride ele alınmıştır.

1. Her bitki gurubuna ait bitki başına ortalama yaprak ve çiçek sayıları (adet)
 - i. Şaşırtılmaya hazır fideler için Bogema ve Lilon çeşidinin en az 5 ila 7 adet yaprağa sahip olması gerekmektedir.
 - ii. 30 hafta sonunda Bogema çeşidinin en az 17 adet, Lilon çeşidinin ise en az 14 adet yaprağa sahip olması gerekmektedir. Şekil 70.
 - iii. 30 hafta sonunda Bogema çeşidinin en az 9 adet, Lilon çeşidinin ise en az 6 adet çiçeğe sahip olması gerekmektedir. Şekil 71

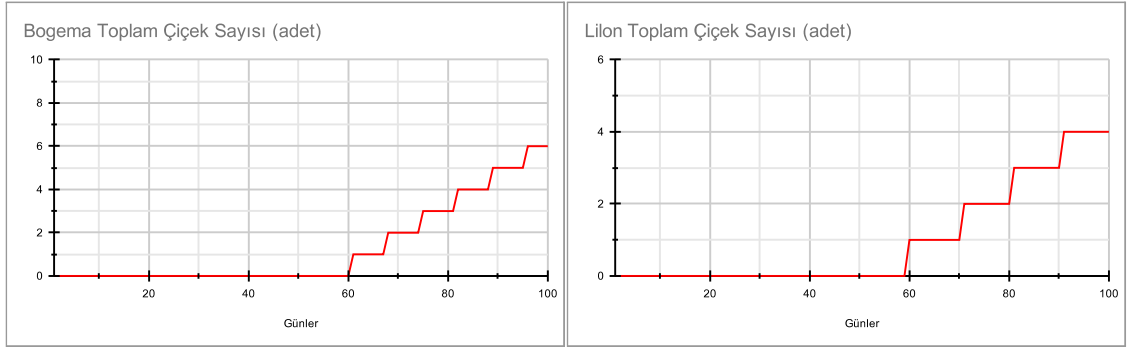
Şekil 70

Bogema ve Lilon Çeşitlerinin Bitki Başına İdeal Ortalama Yaprak Sayıları



Şekil 71

Bogema ve Lilon Çeşitlerinin Bitki Başına İdeal Ortalama Çiçek Sayıları



2. Her bitki gurubuna ait ideal ortalama yaprak alanları (cm²)

i. Yaprak başına ortalama alan

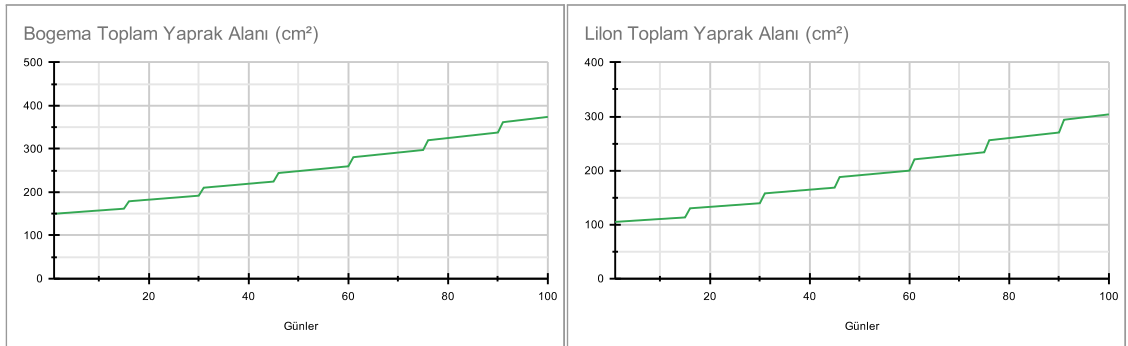
- Bogema ve Lilon çeşidi için şaşırtma tarihinde 15 cm², 30 hafta sonunda ise 25 cm²

ii. Bitki başına toplam yaprak alanı

- Bogema çeşidi için şaşırtma tarihinde 150 cm², 30 hafta sonunda 425 cm². Şekil 72.
- Lilon çeşidi için şaşırtma tarihinde 105 cm², 30 hafta sonunda 350 cm². Şekil 72.

Şekil 72

Bogema ve Lilon Çeşitlerinin Bitki Başına İdeal Ortalama Yaprak Alanları



3. Her bitki gurubuna ait ortalama çiçek alanları (cm²)

i. Çiçek başına ortalama alan

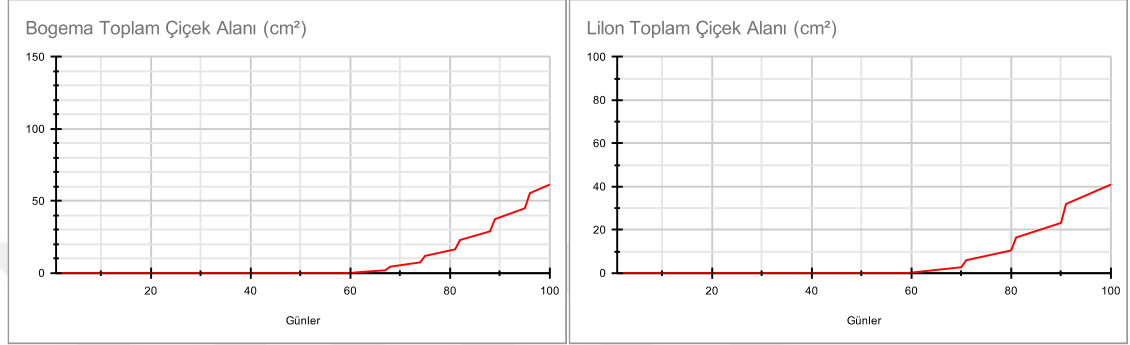
- Bogema ve Lilon çeşidi için 30 hafta sonunda 15 cm².

ii. Bitki başına toplam çiçek alanı

- Bogema çeşidi için 30 hafta sonunda 135 cm². Şekil 73.
- Lilon çeşidi için 30 hafta sonunda 90 cm². Şekil 73.

Şekil 73

Bogema ve Lilon Çeşitlerinin Bitki Başına İdeal Ortalama Çiçek Alanları



4.2. Denemeye Dahil Edilen Bitkilerin İdeal Büyüme Kriterleri ile Gerçek Büyüme Analizlerinin Karşılaştırılması

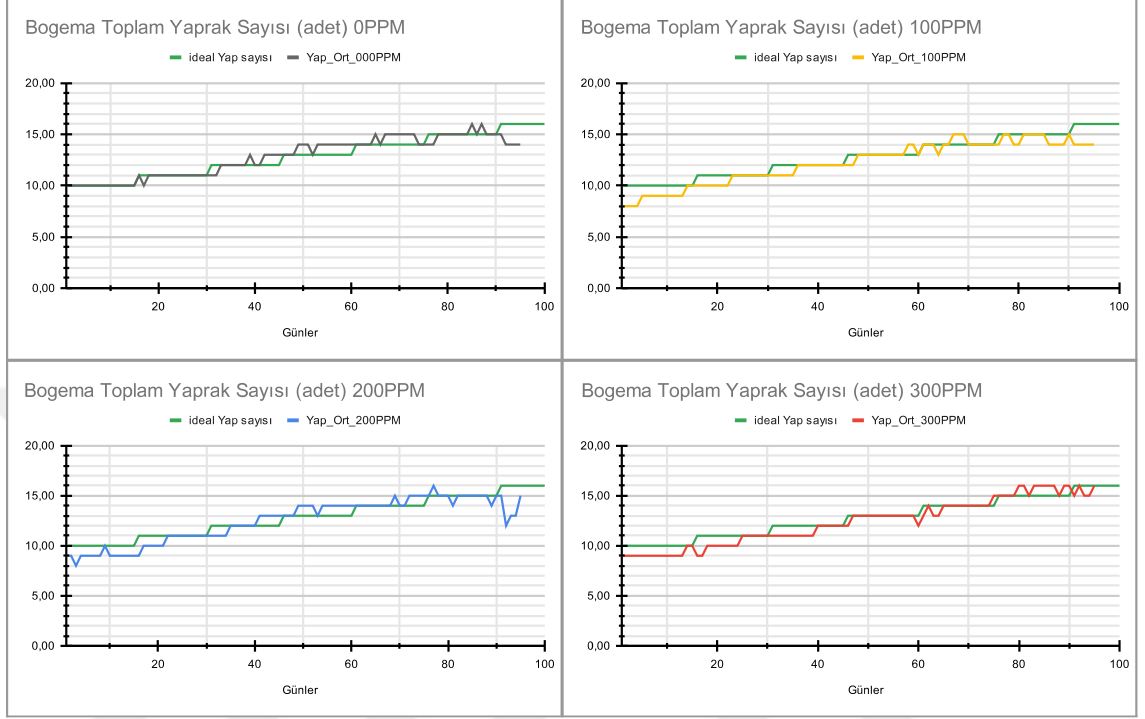
Bu kısımda, denemeye dahil edilmiş olan tüm çeşitlere ait toplanan verilerin analiz sonuçları 3 başlık altında ideal büyüme kriterleri ile karşılaştırılacaktır. Bogema ve Lilon çeşidi deneme deseni besin gurubu 0ppm, 100ppm, 200ppm ve 300ppm olacak şekilde bitkilerin şaşırtma tarihinden itibaren toplam 100 gün boyunca izlenmiştir. Bu izleme sonuçlarına göre, ortalama yaprak ve çiçek sayıları, ortalama toplam yaprak alanları ve ortalama toplam çiçek alanları değerlendirilecektir.

4.2.1. Bogema Çeşidi Ortalama Yaprak Sayılarının Karşılaştırılması

Bogema çeşidine ait ideal yaprak sayıları ile analiz sonuçlarının karşılaştırması Şekil 74'te görülmektedir. Bu grafiklere göre Bogema çeşidinin tüm besin guruplarında yaprak sayılarının ideale oldukça yakın olduğu görülmektedir. Besin gurupları arasında yaprak sayıları bakımından anlamlı bir fark oluşmamıştır. Bu durumda bu çeşide ait diğer analiz sonuçlarına bakılmalıdır.

Şekil 74

Bogema Çeşidinin Besin Gurubu Başına İdeal Toplam Yaprak Sayıları ile Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

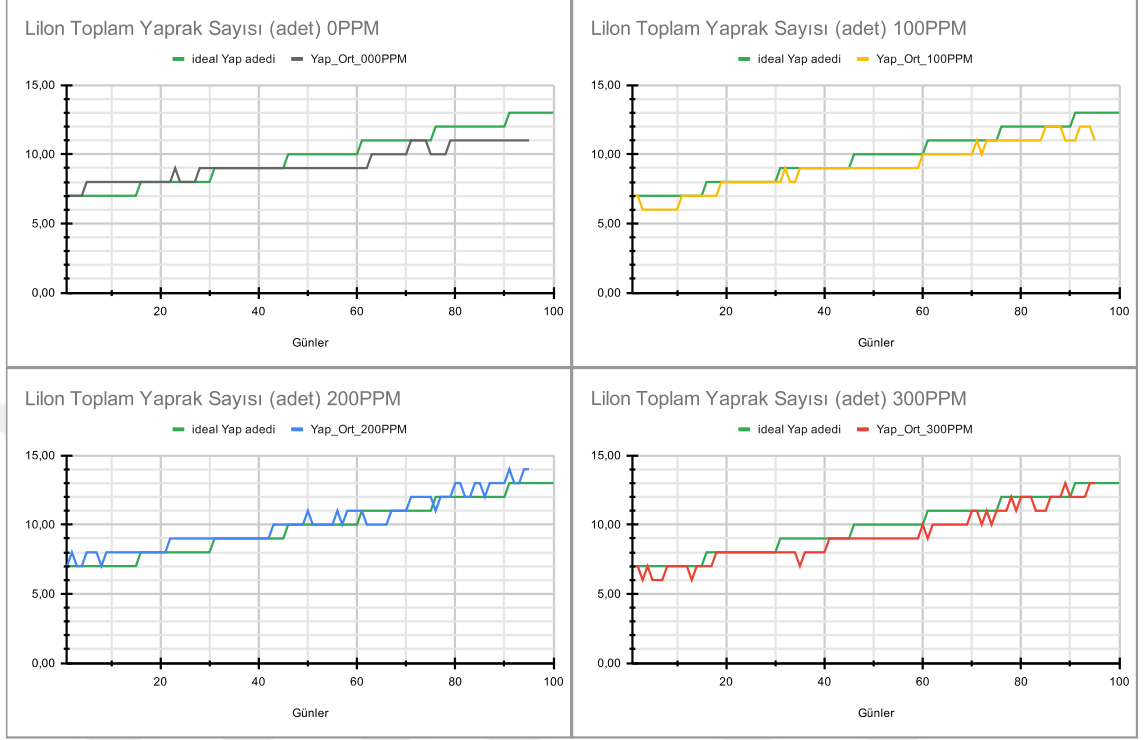


4.2.2. Lilon Çeşidi Ortalama Yaprak Sayılarının Karşılaştırılması

Lilon çeşidine ait ideal yaprak sayıları ile analiz sonuçlarının karşılaştırması Şekil 75’te görülmektedir. Bu grafiklere göre Lilon çeşidinin tüm besin guruplarında yaprak sayılarının ideale oldukça yakın olduğu görülmektedir. Besin gurupları arasında yaprak sayısı bakımından anlamlı bir fark oluşmamıştır. Bu durumda bu çeşide ait diğer analiz sonuçlarına bakılmalıdır.

Şekil 75

Lilon Çeşidinin Besin Gurubu Başına İdeal Toplam Yaprak Sayıları ile Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması



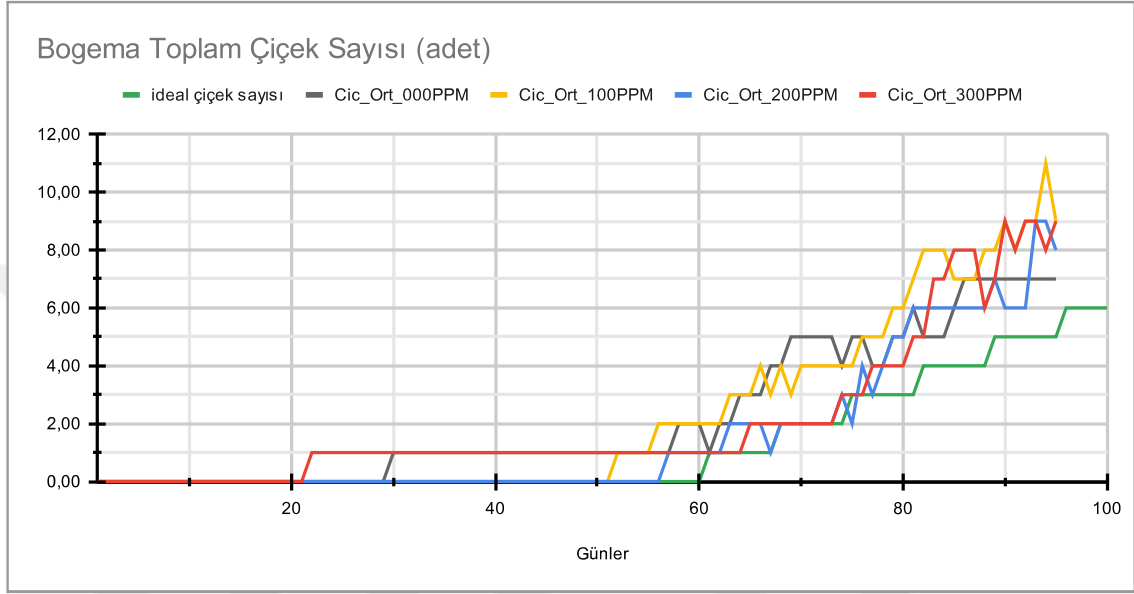
4.2.3. Bogema Çeşidi Ortalama Çiçek Sayılarının Karşılaştırılması

Bogema çeşidi ideal çiçek sayıları ile analiz sonuçlarının karşılaştırması Şekil 76'da görülmektedir. Bu grafiğe göre Bogema çeşidinde 0ppm ve 300ppm besin gurubunda erken çiçeklenme görülmüştür. Besin verilmeyen 0ppm gurubunda, bitkinin besinsiz kalması sonucunda bitki üreme güdüsüyle erken çiçek açmış olabilir (Holtkamp, 2023). Aynı zamanda 300ppm besin verilen grupta ise yüksek fosfor içeriği nedeniyle çiçeklenme tetiklenmiş olabilir. Diğer bir görüşe göre de yüksek besin dozlaması yetiştirme karışımının elektriksel iletkenliğini (EC) ve buna bağlı olarak tuzlanmayı artırması nedeniyle bitkiler besinleri yeterince alamadığı için tıpkı 0ppm gurubunda olduğu gibi bu grupta da üreme güdüsüyle erken çiçeklenme görülmüş olabilir (Holtkamp, 2023). Yetiştirici ve uzman tavsiyesi ile Hibrit Afrika menekşesinde bitki şaşırtma tarihi itibarıyla en erken 60 ila 70 gün sonunda çiçeklenme beklenmektedir. 100ppm ve 200ppm besin gurubunda ise ideal zamana yakın bir çiçeklenme görülmüştür. Erken çiçeklenme, bitkilerin öngörülen pazarlama tarihinden önce çiçeklerin solmasına ve bitkinin pazar değerinin düşmesine neden olmaktadır. Aynı zamanda erken çiçeklenen

bitkilerde vejetatif gelişim de yavaşlayacağından bitki ideal hacme öngörülen pazarlama tarihinden daha geç ulaşabilir.

Şekil 76

Bogema Çeşidinin Besin Gurubu Başına İdeal Toplam Çiçek Sayıları ile Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması



4.2.4. Lilon Çeşidi Ortalama Çiçek Sayılarının Karşılaştırılması

Lilon çeşidi ideal çiçek sayıları ile analiz sonuçlarının karşılaştırması Şekil 78’de görülmektedir. Bu grafiğe göre Lilon çeşidi için tüm besin guruplarında ideal çiçek sayılarına ulaşamamıştır. Aynı zamanda bu çeşit için genel olarak geç çiçeklenme görüldüğü de söylenebilir. Geç çiçeklenmede besin gurupları arasında anlamlı bir fark görülmezken 200ppm besin gurubunda çiçeklenmenin diğer guruplara göre ideale daha yakın olduğu söylenebilir. Lilon çeşidine ait 200ppm besin gurubu 30 hafta sonunda çiçeklenme Şekil 77’de görülmektedir. Bu çeşidin ideal çiçeklenme sayısına ulaşması öngörülen 30 ila 32 haftalık pazarlama tarihinden sonra olacaktır. Bu sebeple Lilon çeşidine ait genetik faktörler, mevcut yetiştirme koşulları, diğer üretim parametreleri ve ideal büyüme kriterleri yeniden değerlendirilmelidir.

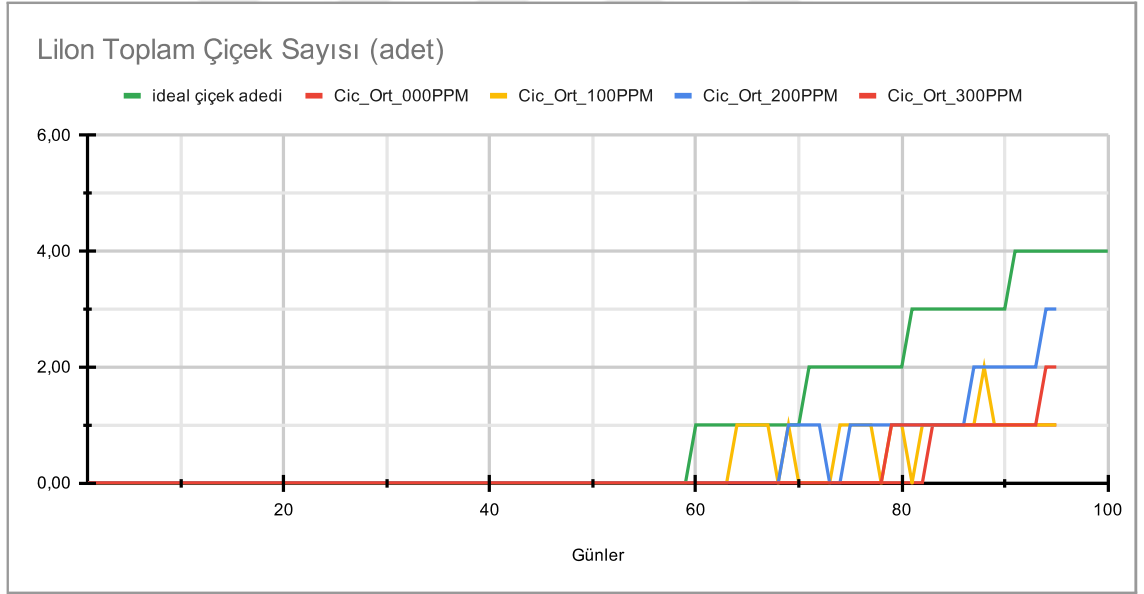
Şekil 77

Lilon Çeşidi 200ppm Besin Gurubu 30 Hafta Sonunda Çiçeklenme Durumu



Şekil 78

Lilon Çeşidinin Besin Gurubu Başına İdeal Toplam Çiçek Sayıları ile Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması



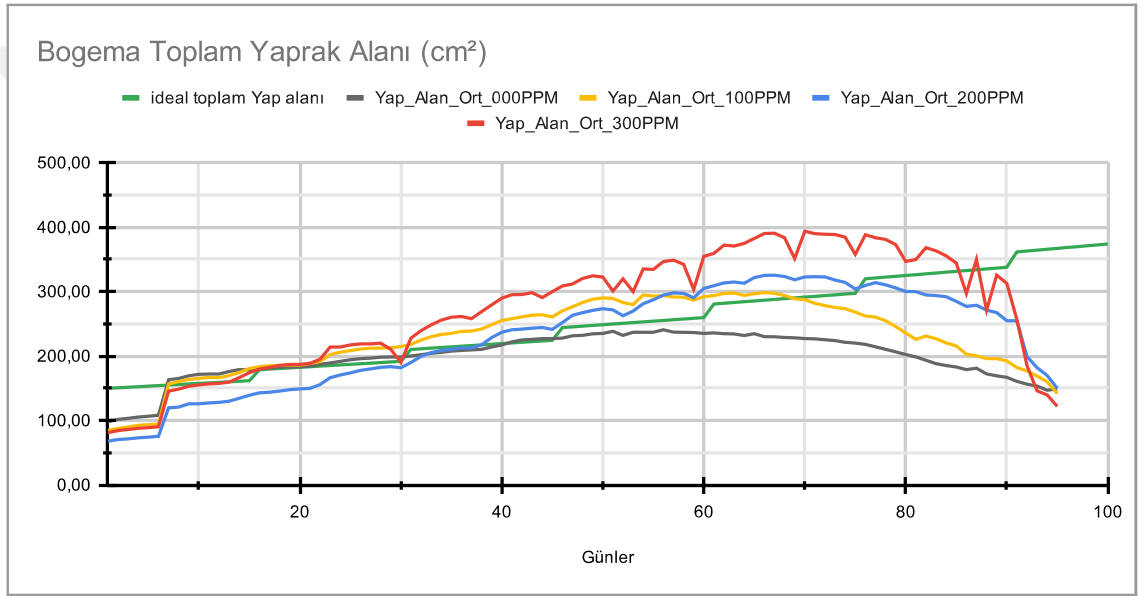
4.2.5. Bogema Çeşidi Ortalama Yaprak Alanlarının Karşılaştırılması

Bogema çeşidi ideal yaprak alanları ile analiz sonuçlarının karşılaştırması Şekil 79’da görülmektedir. Bu grafiğe göre 0ppm gurubu hariç diğer besin guruplarında yaprak alanlarının ideale yakın olduğu görülmektedir. 300ppm besin verilmiş bitkilerde vejetatif gelişimin 100ppm ve 200ppm gurubuna nazaran daha iyi olduğunu söylenebilir. Ancak birbirine oldukça yakın analiz sonuçları itibarıyla fazladan besin kullanımının ekonomik açıdan yetiştiricilere anlamlı bir getirisinin olmayacağı değerlendirilebilir. Şekil 79’daki

grafik incelediğinde 70. günden sonra yaprak alanlarında azalma görülmektedir. Bu azalma, Şekil 76’da da görüleceği üzere Bogema çeşidinin 70. Günden sonra çiçek sayısındaki artış ile açıklanabilir. Bitkilerin çiçek sayısındaki artışı sonucu çiçeklerin yaprak alanlarının üzerinde kalması nedeniyle görüntüleme sistemi yaprak alanlarını daha az hesaplamaktadır. Bogema çeşidine ait iki örnekte çiçeklenmenin yaprak alanlarına etkisi Şekil 80’de görülmektedir.

Şekil 79

Bogema Çeşidinin Besin Gurubu Başına İdeal Toplam Yaprak Alanları ile Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil 80

Bogema Çeşidinde Çiçeklenmenin Yaprak Alanlarına Etkisi

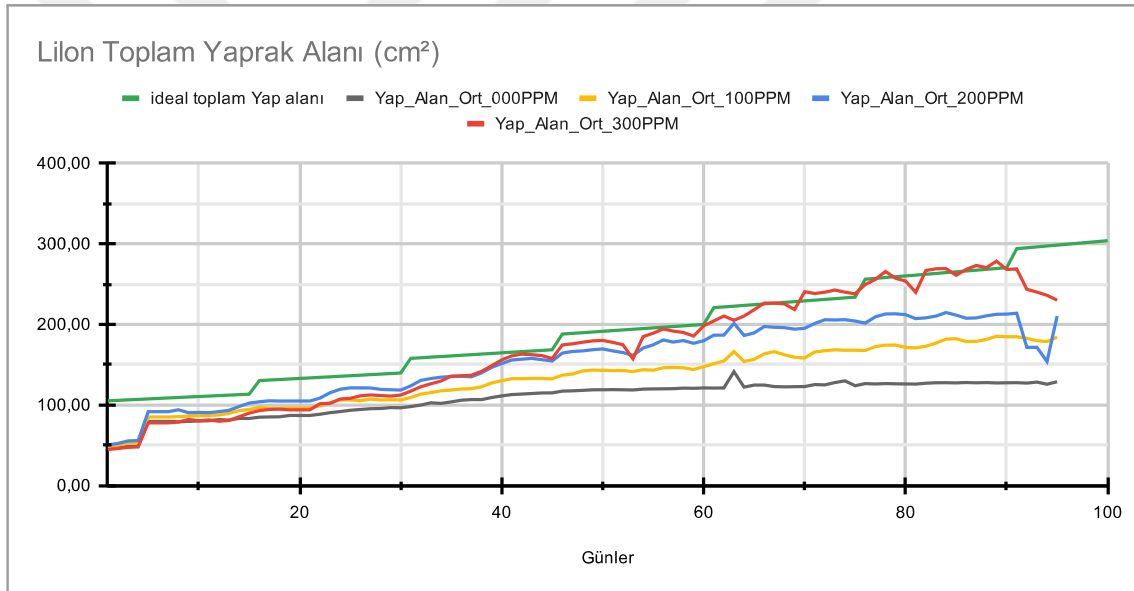


4.2.6. Lilon Çeşidi Ortalama Yaprak Alanlarının Karşılaştırılması

Lilon çeşidi ideal yaprak alanları ile analiz sonuçlarının karşılaştırması Şekil 81’de görülmektedir. Bu grafiğe göre sadece 300ppm besin gurubunun ideal yaprak alanına yakın bir büyüme gösterdiğini söylenebilir. Diğer besin guruplarında vejetatif gelişim beklenen değerlerin altında seyretmiştir. İdeal büyüme değerlerine yakın olan 200ppm besin gurubunun da üretici tarafından değerlendirmeye alınması gerekebilir. Bu çeşitte, çiçeklenme 80. Günden sonra başladığından yaprak alanlarında görülür azalma da bu günlerden sonra gerçekleşmiştir.

Şekil 81

Lilon Çeşidinin Besin Gurubu Başına İdeal Toplam Yaprak Alanları ile Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

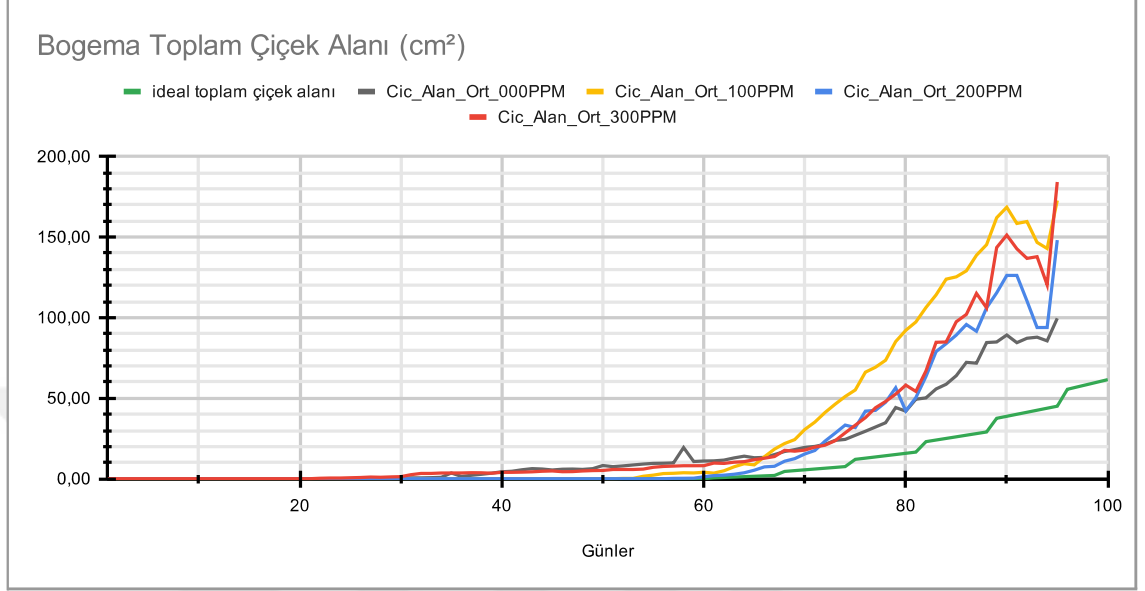


4.2.7. Bogema Çeşidi Ortalama Çiçek Alanlarının Karşılaştırılması

Bogema çeşidi ideal çiçek alanları ile analiz sonuçlarının karşılaştırması Şekil 82’de görülmektedir. Grafiğe göre tüm besin guruplarında erken çiçeklenme görülmektedir. Erken çiçeklenme bitkinin vejetatif gelişimini sekteye uğratmakla birlikte bitkilerin öngörülen pazarlama tarihinden önce çiçeklerin geçmesine ve bitkilerin estetik olarak satışına engel olup ekonomik kayıplara neden olacaktır. Erken çiçeklenme dışında en iyi çiçek gelişiminin 100ppm gurubunda ardından da 200ppm ve 300ppm gurubunda olduğu tespit edilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre 100ppm besinin çiçeklenme için ideal olduğu görülmektedir.

Şekil 82

Bogema Çeşidinin Besin Gurubu Başına İdeal Toplam Çiçek Alanları ile Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

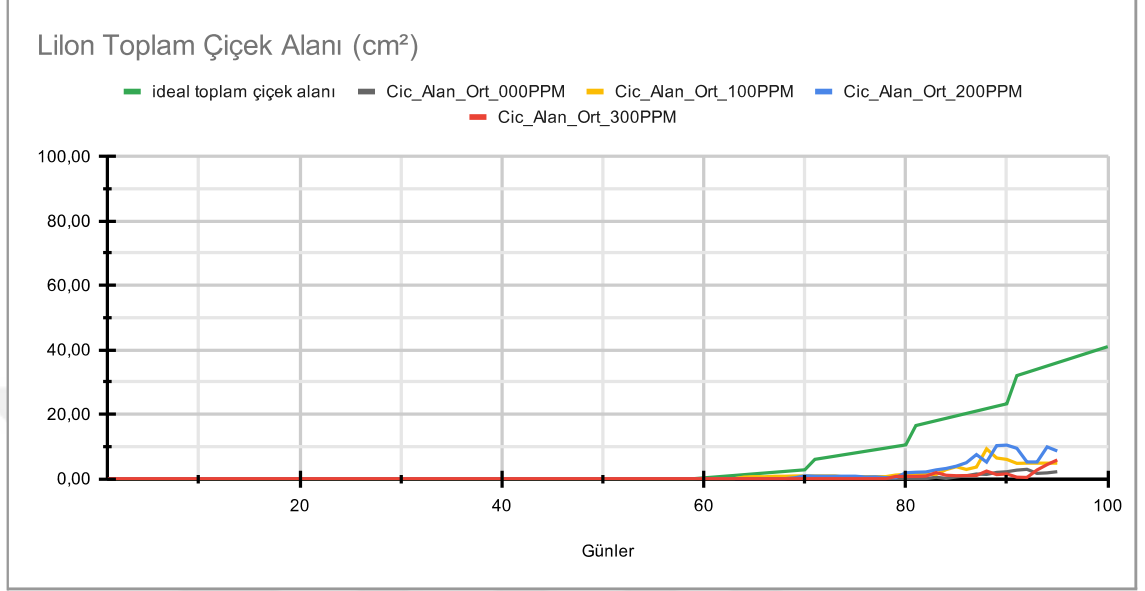


4.2.8. Lilon Çeşidi Ortalama Çiçek Alanlarının Karşılaştırılması

Bogema çeşidi ideal çiçek alanları ile analiz sonuçlarının karşılaştırması Şekil 83'te görülmektedir. Grafiğe göre tüm besin guruplarında Lilon çeşidine ait çiçeklenmenin ideal büyüme değerlerinin oldukça altında kalmıştır. Önceki analizlerden de tespit edildiği üzere bu çeşitte geç çiçeklenme görülmüştür. Yetiştirici ve uzman görüşü ile öngörülen 30 haftalık süre sonunda bu bitki pazarlamaya uygun değildir. Görüntü işleme süreci bitimi sonunda Lilon çeşidinde yaklaşık 38 ila 40 haftalık bir süreçte gelişim ancak tamamlanabilmiştir.

Şekil 83

Lilon Çeşidinin Besin Gurubu Başına İdeal Toplam Çiçek Alanları ile Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması



4.3. Karar Destek Sistemi Geliştirme

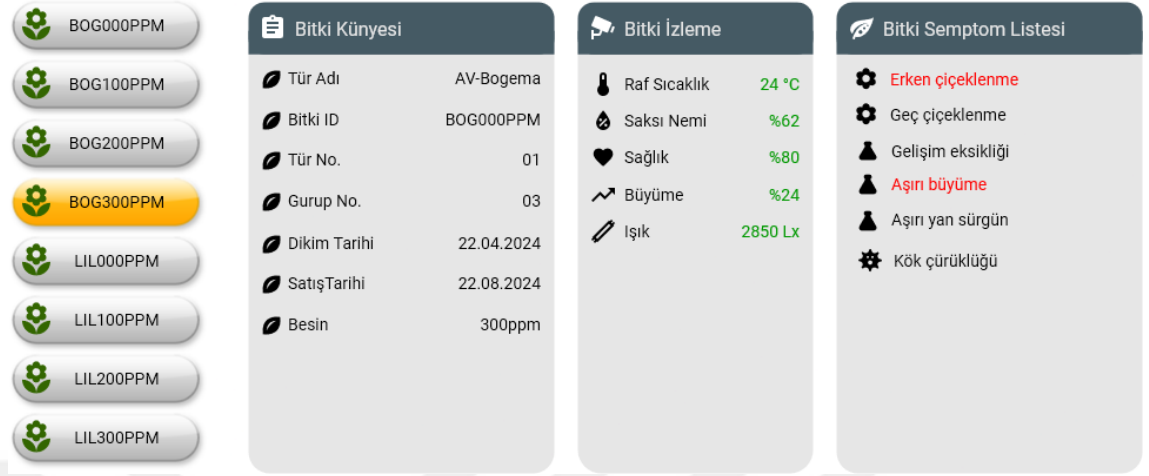
Denemeye dahil edilen her besin gurubu bitkilere ait künye bilgileri, sensör verileri ve görüntü işleme sisteminden gelen veriler işlenerek karar destek sistemi arayüzünde gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir. Üretime dahil olan her grup bitkiye sistematik bir kimlik numarası (ID) atanmıştır. Böylece karar destek sistemi arayüzünden bitkilere ait bu grup ID ile bitkilere ait detaylı dökümler alınabilmektedir. Bitkinin çeşit ve deneme besin grubu kodlanarak ID numarası oluşturulmuştur. Bitki künyesinde yavru dikim tarihi ve ideal satış tarihi yer almaktadır. Ayrıca bitki izleme bilgileri sensörlerden gelen gerçek zamanlı veriler üzerinden görselleştirilmiştir.

4.3.1. Bitkilerin Büyüme Parametrelerinin Uzman Görüşü ile Karar Destek Sistemine Tanımlanması

Denemedeki tüm bitkilere ait görüntü işleme sisteminden gelen büyüme değerleri ile uzmanlar tarafından sisteme tanıtılmış ideal büyüme değerleri karşılaştırılarak bitkilerin anlık sağlık durumu karar destek sistemi arayüzünde görselleştirilmiştir.

Şekil 84

Hibrit Afrika Menekşesi Karar Destek Sistemi Bitki Takip Ekranı



Şekil 84’te hibrit Afrika menekşesi karar destek sistemi bitki takip ekranı arayüzünde; bitki künyesi, bitki izleme verileri ve bitkilere ait semptom listesi görülmektedir.

4.3.1.1. Bitki Künyesi

Bu ekranda solda seçilmiş olan bitki türü ve bitkinin besin gurubuna ait detaylı bilgiler verilmektedir. Bunlar, çeşit adı, bitki gurubu ID numarası, çeşit numarası, besin gurubu numarası, dikim tarihi, satış tarihi ve kullanılan besin miktarı gibi bilgilerdir. Bitkilerin satışa hazır olabilmeleri için, süre ve büyüme kriterlerine uzman görüşü ile karar verilmiştir. Buna göre fide şaşırtma tarihinden itibaren yaklaşık 100 gün sonra bitkiler satışa hazır hale gelecektir.

4.3.1.2. Bitki İzleme

Bitki izleme ekranında yetiştirme ortamına ait veriler üreticiye anlık olarak sağlanmaktadır. Burada, bitkilerin bulunduğu raf sıcaklığı, bitkilere ait saksı nem değerleri, bitkilerin sağlık durumu, büyüme yüzdesi ve bitkilere uygulanan ışık şiddeti gibi bilgiler bulunmaktadır. Bitki sağlığı dikim tarihinde %100 kabul edilmiştir. Bitkilerin büyüme aşamalarında meydana gelebilecek ve görüntü işleme sisteminden gelen verilerin analizi sonucu ortaya çıkan semptomlara bağlı olarak, her bir semptomun bitki sağlığına etkisi yüzdelik olarak genel sağlıktan düşülerek mevcut sağlık değeri belirlenmiştir. Şekil 82’de görülen erken çiçeklenme ve aşırı büyüme semptomları bitki sağlığında %20 düşüş olarak belirlenmiştir. Bitki sağlık durumuna ve semptomlara göre üretim

parametrelerinde değişiklik, ilaçlama, besin değişikliği kararları üretici tarafından hızlı ve etkin biçimde alınabilmektedir.

4.3.1.3. Bitki Semptom Listesi

Karar destek sistemi ekranında yer alan bitki semptom listesi, görüntü işleme sisteminden gelen verilerin uzman görüşü ile karar destek sistemine tanımlanması sonucu ortaya çıkmıştır. Karar destek sistemi bu semptomları ortaya çıkaran değişkenlerle karşılaştığında üreticiyi uyaracak şekilde tasarlanmıştır. Bitki semptom listesi ve devam eden başlıklarda detaylı olarak incelenecektir.

Erken Çiçeklenme

Karar destek sistemine uzmanlar tarafından tanımlanmış çiçeklenme zamanı fide dikim tarihi itibarıyla 60 gündür. Herhangi bir çeşitte farklı besin guruplarından görüntü işleme sisteminden gelen verilere göre bu tarihten 15 gün öncesi çiçeklenme, erken çiçeklenme olarak kabul edilmiştir.

Geç Çiçeklenme

Karar destek sistemine uzmanlar tarafından tanımlanmış çiçeklenme zamanı fide dikim tarihi itibarıyla 60 gündür. Herhangi bir çeşitte farklı besin guruplarından görüntü işleme sisteminden gelen verilere göre bu tarihten 15 gün sonrası çiçeklenme, geç çiçeklenme olarak kabul edilmiştir.

Gelişim Eksikliği

Karar destek sistemine uzman görüşüyle her çeşide ait yaprak ve çiçek sayıları, yaprak ve çiçek alanları tanımlanmıştır. Buna göre görüntü işleme sisteminden gelen büyüme verileri ile karar destek sisteminde tanımlanmış olan büyüme veriler karşılaştırılır. Bunun sonucunda toplam ideal yaprak ve çiçek sayısı ve toplam ideal yaprak ve çiçek alanı altında kalan bitkilerde gelişim eksikliği uyarısı verilir. “Bitki Gelişimi” tanımlaması yapılırken bitkilerin hem yaprak hem de çiçek verileri birlikte değerlendirilmiştir. Buna göre görüntü işleme sistemdeki herhangi bir büyüme verisi ideal büyüme eğrisinin %20 altında kaldığında karar destek sistemi gelişim eksikliği uyarısı verecek şekilde tasarlanmıştır. Böylece gelişim eksikliği görülen bitkilerde bu semptomları giderecek ortam veya besin parametrelerinde değişiklik yapılarak önlemler alınabilmektedir.

Aşırı Büyüme

Gelişim eksikliğine benzer şekilde toplam ideal yaprak ve çiçek sayısı ve toplam ideal yaprak ve çiçek alanı üzerinde kalan bitkilerde aşırı büyüme uyarısı verilir. Buna göre görüntü işleme sistemdeki herhangi bir büyüme verisi ideal büyüme eğrisinin %20 üzerine çıktığında karar destek sistemi aşırı büyüme uyarısı verecek şekilde tasarlanmıştır.

Aşırı Yan Sürgün

Yan sürgünler bitki yetiştiricilerinin sıkça karşılaştığı ve bitkinin estetik kalitesini düşüren ve büyümesini yavaşlatan unsurlardır. Bunların tespit edilmesi, gerekirse bitkiden uzaklaştırılması üreticiler için çok önemlidir. Karar destek sistemine uzman görüşüyle her çeşide ait yaprak sayıları tanımlanmıştır. Buna göre görüntü işleme sisteminden gelen yaprak sayıları ile karar destek sistemine tanımlanmış yaprak sayıları karşılaştırılır. Bunun sonucunda herhangi bir çeşide ait toplam yaprak sayısı 20 adet ve üzerinde ise yan sürgün uyarısı verilir. Şekil 85'te aşırı yan sürgün semptomuna ait örnek bir bitki görülmektedir.

Şekil 85

Hibrit Afrika Menekşesinde Aşırı Yan Sürgün Örneği



Kök Çürüklüğü

Görüntü işleme sisteminden üreticiler tarafından yaprak sayılarında veya alanlarında sürekli artış yönünde veri beklenir. Yaprak sayısı veya yaprak alanlarında görülen azalma (negatif eğimli eğriler) şu nedenlerden dolayı olabilir; birincisi bitkiler susuz kaldığı için

yaprakları aşağı doğru eğilmiş ve görüntüleme sisteminden daha düşük yaprak alanı hesaplanmıştır. İkincisi bitkilerde kök rrklğne bağlı olarak yaprakların susuzluğa benzer şekilde aşağı sarkması sonucu daha düşük alan hesaplanmıştır.

şekil 86

Hibrit Afrika Menekşesinde Kök rrklğ



Bitkiler iek açmaya başladığında çiçeklerin yaprak alanlarının üzerine gelmesi sonucu yaprak alanları daha düşük hesaplanmıştır. Karar destek sisteminde bunları tespit etmek iinnce sulama sensörü değerine bakılarak sulama sorunu elenir. Daha sonra bitkilerin iek açıp amadığına bakılır ve bitkiler iek atıysa iek alanlarındaki artış ile yaprak alanlarındaki azalma karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucuna göre iek alanlarının artışı ile yaprak alanlarının azalması eşit veya yakın ise kök rrmesi olmadığına karar verilir. Eğer yaprak alanları iek alanlarından daha yüksek miktarda azalıyorsa veya bitki ieklenmediyse üreticiye kök rrklğ uyarısı verilir. şekil 86’da kök rrmesi sonucu zarar grmşrnek bir bitki görülmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Geleneksel tarım uygulamaları iklim değışikliği gibi aşırı doğa koşullarına karşı savunmasızdır ve çiftçilerin hasat beklentilerini etkileyebilir. Ancak, çevre kontrollü tarım bu belirsizliği ortadan kaldırma potansiyeline sahiptir. ÇKT ile çiftçiler, çevreyi titizlikle kontrol ederek her mevsimde ve her konumda ideal yetiştirme koşullarında tarım yapabilirler. Bu, tutarlı ve öngörülebilir bir planlama sağlar ve tarımsal üretimi en üst düzeye çıkartarak daha küçük bir karbon ayak izi bırakır. Bu tarım uygulamaları, bölge, mevsim ve konumdan bağımsız olarak yıl boyunca devam edebilir. Geleneksel tarım yöntemleri ise büyük ölçekli su kullanımına dayanır ve bu aşırı su tüketimine ve kaynakların hızla tükenmesine yol açar. Ancak, ÇKT tarafından kullanılan sofistike sulama sistemleri su tüketimini önemli ölçüde azaltır. Bu nedenle, ÇKT çiftçiler için çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir seçenek olarak görülmektedir. Bu çalışmada, çevre kontrollü dikey tarım ile hibrit Afrika menekşelerini yıl boyunca yetiştirmek için titizlikle kontrol edilen çevre kontrollü bir alanda, bitkilerin görsel niteliklerini, canlılıklarını ve sağlıklarını en üst düzeye çıkaran dönüştürücü bir çözüm sunulmuştur. Bu çalışma, hibrit Afrika menekşesi üretimi için ÇKT'nin potansiyelini araştırmış, üretim süreçlerini optimize etmede Karar Destek Sistemlerinin (KDS) rolüne odaklanmıştır.

Çalışma sonucunda Hibrit Afrika menekşesinin fide dikim tarihinden itibaren satışa hazır hale gelinceye kadarki 100 günlük süreç titizlikle takip edilmiş ve bitkilerin tüm üretim aşamaları kayıt altına alınmıştır. Üretim sistemine dahil olan tüm bitkilerin gelişim ve büyüme parametreleri, ortam sensörlerinden gelen parametreler ve görüntü işleme sisteminden gelen yaprak ve çiçek verileri ile tespit edilebilecek semptomlar uzmanlar tarafından karar destek sistemine tanımlanmıştır. Bitkilerin farklı besin değerlerine tepkileri, uzman görüşü ve görüntü işleme verileri ile birlikte harmanlanarak karar destek sistemi ekranında üreticilere detaylı olarak sunulmuştur. Görüntü işleme sistemi aracılığı ile bitki görüntülerinden yaprak sayıları ve yaprak alanları hesaplanarak satış zamanı tahminlemesi yapılmış ve bitki büyüme grafikleri gerçek zamanlı olarak karar destek ekranında üreticiye sunulmuştur. Karar destek sistemi her bir bitkiye ait künye bilgilerini de barındırmaktadır. Bu sayede bitkilerin kimlik bilgileri; çeşide ait bilgiler, dikim tarihi, tahmini satış tarihi gibi bilgiler üreticiye sunulmaktadır. Sistem künye bilgileri gibi statik bilgiler vermenin yanı sıra aynı zamanda dinamik olarak bitki izleme verilerini de üreticiye sunmaktadır. Bitki izleme verileri üretim hattında bulunan her bir bitkinin, ortam

sıcaklığı, saksı nem değeri, geçerli bitki sağlık durumu, bitki büyüme yüzdesi ve bitkiye uygulanan ışık değerleri gibi üretim parametrelerini içermektedir. Böylece üretici bitki ile ilgili güncel durumu takip edebilmekte parametrelerle ilgili herhangi bir sorun olması durumunda gerekli düzeltici tedbirleri önceden alabilmektedir. Karar destek sisteminin dinamik alanlarından bir diğeri ise bitkilerde karşılaşılan semptomların tespit edilip izlenebildiği Bitki Semptom Listesi'dir. Bu liste tez çalışmasında uzman görüşü ile bitkilerde karşılaşılabilecek olası semptomların tespit edilerek sisteme tanımlanması ile başlar. Daha sonra sisteme öğretilen değişkenler görüntü işleme sistemi ile entegre edilmiştir. Bu sayede görüntü işleme sistemi semptom tanımları ile karşılaştığında bu semptomları karar destek sistemi ekranından üreticiye bildirir. Semptomlara ait kritik yüzdelik değerler uzman görüşü ile belirlenmiştir. Bitki sağlık durumu ilk dikim tarihinden itibaren geçerli değer olarak %100 kabul edilmiş ve her bir semptoma ait kritik yüzdelik değeri bundan düşülerek mevcut sağlık durumu ile ilgili bir değer oluşturulmuştur.

Geliştirilen karar destek sistemi sayesinde, erken veya geç çiçeklenme görülen bitkiler tespit edilmiştir. Erken çiçeklenme bitki gelişimini yavaşlatmaktadır ayrıca öngörülen pazarlama dönemine kadar çiçekler solacağından bitki estetiğine olumsuz etkisi olacak ve üretici için ekonomik kayıplara yol açacaktır. Hibrit Afrika menekşesinde dikimden sonraki 60. günden itibaren çiçeklenme olması ve 100. günde bitkinin en ideal formuna ulaşarak satışa hazır hale gelmesi beklenmektedir. Yine benzer şekilde karar destek sistemi tarafından bazı bitkilerde kök çürümesi tespit edilmiş gerekli ilaçlama ve izolasyon tedbirleri alınarak diğer bitkilerde buna bağlı kayıplar önlenmiştir.

Hibrit Afrika menekşesi farklı besin denemesinde, Bogema çeşidi için yaprak sayısında besine bağlı anlamlı bir fark görülmemiştir. Yaprak alanında en yüksek değer 300ppm ile alınırken ideal büyüme değerlerine en yakın yaprak alanı ile 200ppm besin kullanılması ekonomik olarak daha uygun görülmüştür. Çiçek sayısı ve alanında ise 100ppm besin gurubunda en yüksek değer alınmıştır. Besin verilmeyen grupta gelişim eksikliği, kloroz ve ağarmış yaprak gibi semptomlar görülmüştür. Bogema çeşidinde ayrıca 0ppm ve 300ppm besin gurubunda erken çiçeklenme tespit edilmiştir. Bu besin gruplarındaki bitkilerin pazarlama aşamasında çiçeklerin solması ile ekonomik değerinin düşebileceği öngörüldüğünde Bogema çeşidi için 200ppm en uygun besin değeri olarak değerlendirilmiştir. Bu çeşit için ideal büyüme kriterleri çiçek zamanlaması yönünden yeniden değerlendirilmelidir. Özellikle ışık şiddeti veya aydınlık-karanlık dönem gibi

ortam değişkenleri ideal iek zamanlamasına ulaşmayı sağlayacak şekilde yeniden düzenlenmelidir.

Hibrit Afrika menekşesi farklı besin denemesinde, Lilon eşidi için yaprak sayısında besine bağlı anlamlı bir fark görülmemiştir. Yaprak alanında en yüksek değer 300ppm ile alınırken ideal büyüme değerlerine en yakın yaprak alanı ile 200ppm besin kullanılması ekonomik olarak daha uygun olarak değerlendirilmiştir. iek sayısı ve alanında ise 200ppm besin gurubunda en yüksek değer alınmıştır. Lilon eşidinin tüm besin guruplarında geç çiçeklenme grlmştir. Yetiştirici ve uzman görüşü ile öngörülen 30 haftalık süre sonunda bu bitki çeşidinin öngörülen srelerde pazarlamaya uygun olmadığı grlmştir. Lilon eşidi 200ppm besin gurubu yaklaşık 38 ila 40 haftalık bir süreçte öngörülen ideal satış kriterlerine ulaşmıştır. Bu çeşit için ideal büyüme kriterleri süre ve gelişim açısından yeniden değerlendirilmelidir. Ayrıca kullanılan besin içeriği çiçeklenmenin daha erkene alınması için değiştirilebilir. Bununla birlikte ışık şiddeti aydınlık-karanlık dönem gibi ortam değişkenleri de ideal büyüme değerlerine ulaşmayı sağlayacak şekilde yeniden düzenlenmelidir.

Çalışmanın besin kullanımı konusundaki sonuçları itibarıyla Hibrit Afrika menekşesi yetiştiricileri arasındaki yaygın inaniş olan “weakly-weekly” yani “bitkiye, düşük dozda besin, haftalık olarak verilmelidir” prensibi doğrulanmıştır.

Tez çalışmasının sonucunda, evre kontrollü dikey tarım uygulamalarında karar vericilerin hızlı ve doğru karar almalarına yardımcı olabilecek, hataları, kayıpları ve maliyetleri minimize edebilecek ve karlılığı artırabilecek yapay zekâ, makine öğrenmesi, görüntü işleme ve uzman görüşü temelli bir karar destek sistemi ortaya çıkmıştır. Bu sistem düşük ölçekli bir pilot çalışma olarak ele alındığında, sistemin büyük ölçekli projeler veya tesislere uygulanabilir olacağını öngörülmektedir. Çalışmadan elde edilen “know-how” gerek kapalı gerekse açık alanda yapılacak farklı bitki kültürü yetiştiriciliğinde de karar vericilere bitki büyümesi, hastalık-zararlı takibi, hızlı ve doğru karar alma konularında destek olabilecek ve ufuk açabilecek temel çalışmaları içermektedir. Sakarya ve yakın bölgemizde uzman iş gücü gerektiren mevsime ve iklime bağlı olarak belirli dönemlerde yetiştirilen ilek ve domates bitkilerinde gittikçe artan talebi karşılamak için özellikle tüm yıla yayılabilen üretim tekniklerine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu ihtiyaa cevap verebilecek kapalı ve kontrollü ortamlarda bu bitkilerin yetiştirilmesi için üreticilere hızlı ve doğru karar alabilecekleri bir ar-ge çalışması ortaya

çıkıştır. Çalışma bu konudaki ihtiyaçlara da katkıda bulunacaktır. Bununla birlikte yapılan çalışma benzer tarım uygulamalarına aşağıdaki katkıları sağlayabilir.

Gelişmiş Verimlilik ve Kalite: ÇKT; ışık yoğunluğu, sıcaklık, nem ve hatta CO₂ konsantrasyonu gibi çevresel faktörler üzerinde titiz bir kontrol sağlar. Bu hassas manipölasyonlar, daha hızlı büyüme döngüleri anlamına gelir ve birim alan başına daha yüksek verime yol açar. Ayrıca, optimize edilmiş koşullar bitkiler üzerindeki stresi en aza indirerek boyut, görünüm ve besin içeriği açısından üstün ürün kalitesi sağlar.

Çevresel Sürdürülebilirlik: ÇKT, geleneksel uygulamalara göre önemli çevresel avantajlar sunar. Hidroponik ve aeroponik gibi topraksız üretim sistemleri sayesinde su kullanımı önemli ölçüde azaltılabilir. ÇKT tesislerinin kapalı yapısı, gübre ve pestisit kayıplarını en aza indirerek çevredeki ekosistemleri korur. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının stratejik kullanımı ÇKT'nin çevresel sürdürülebilirliğini daha da artırabilir.

Yıl Boyu Üretim ve Pazar Genişlemesi: Mevsimsel değişikliklerle kısıtlanan geleneksel tarım yöntemlerinin aksine, ÇKT sürekli üretime olanak sağlar. Bu, dış hava koşullarından bağımsız olarak yıl boyunca belirli ürünlere yönelik tüketici talebini karşılar. Ayrıca ÇKT, benzersiz ışık veya sıcaklık gereksinimleri olan özel ürünlerin yetiştirilmesine olanak tanıyarak niş pazar fırsatlarına kapı açar ve potansiyel olarak yüksek fiyatlı ürünlere ve daha fazla karlılığa kapı açabilir.

Geliştirilmiş Haşere ve Hastalık Yönetimi: Kontrollü ortam, dışarıdan gelebilecek patojenlere ve zararlılara maruz kalmayı en aza indirir. Bu, kimyasal kontrollere daha az güvenilmesi anlamına gelir ve daha temiz, daha sağlıklı ürünleri teşvik eder. Ayrıca, ÇKT tesislerindeki erişim ve sanitasyon protokolleri üzerindeki sıkı kontrol, biyogüvenliği daha da artırarak hastalık salgını riskini azaltır.

Otomasyon ve Yüksek Değerli Mahsuller: ÇKT, iklim kontrolü ve sulama gibi süreçlerin otomasyonu için çok uygundur. Bu, verimliliği artırır ve insan hatasını en aza indirir. Kontrollü ortamla birlikte ÇKT tesisleri, özel meyveler, sebzeler, süs bitkileri ve hatta nadir veya nesli tükenmekte olan türlerin çoğaltılması gibi yüksek değerli ürünlere odaklanabilir.

ÇKT gibi yenilikçi bir tarım yaklaşımının yaygın olarak benimsenmesi için ele alınması gereken bir dizi zorluk da beraberinde gelmektedir. Çalışmada karşılaşılan zorluklardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

Denemeye dahil edilecek özdeş bitki üretimiyle ilgili zorluklar. Denemeye dahil edilecek bitkilerin özdeş olması deneme sonuçlarının tutarlılığı için çok önemlidir. Başlangıçta doku kültürü ile üretimin çalışma için doğru tercih olacağını öngörülmüştür. Ancak doku kültürü üretiminde karşılaşılan kontaminasyon sonucu bitkiler denemeye uygun bir şekilde üretilmediği için B planı olarak yedekte bulunan ve denemeye uygun diğer bitkilerden yaprak çeliği yöntemi kullanarak özdeş bitkiler üretilmiştir.

Farklı çeşitlerin büyüme ve ortam parametrelerine farklı tepki vermesi. Hibrit Afrika menekşesi çeşitlerinin çok çeşitli formda ve büyüklükte olması nedeniyle denemeye dahil edilecek optimum büyüme hızına ve büyüklüğüne sahip bitki çeşitleri tespit edilmelidir. İlk grupta denemeye dahil edilen Heritage Frolic çeşidinin yarı-minyatür olması nedeniyle bitki büyümesi öngörülen sürede gerçekleşmemiştir. Ayrıca bitkinin üretim aşamalarında yeterli büyüme sağlayamadığı için görüntü işleme sisteminden anlamlı bir sonuç alınamamıştır.

Hatalı Deneme kurulumu. Deneme kurulumunda deneme deseni tasarlarken bitkilerin aralarında görüntü almak için yeterli alan bulunmaması sonucu bitkilerin 8 haftalık sürede yapraklarının kesişmesi sonucu sağlıklı görüntü alınamamıştır. Deneme deseni tasarımında 120 günlük süreçte üretim alanında bitkilerin birbirlerinin alanına girmeden görüntü alınması gerekmektedir. Bu sebeple bitkilerin 100 günlük büyümeleri tahmin edilerek ona göre boşluk bırakılmalıdır.

Bilişim Sistemi aksaklıkları. Bilişim sistemlerinde meydana gelebilecek aksaklıkların sürekli kontrol edilmesi ve önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir. Elektrik kesintileri, kablolu ağ bağlantı sorunları, veri tabanı ve sunucu bakımları, bilişim sisteminde çalışan kodların optimizasyonları gibi konular günlük, haftalık ve aylık olarak belirli periyotlarda kontrol edilmelidir. Özellikle görüntü alma ile ilgili problemlerin derhal çözülmesi gerekmektedir. Uzun bir süre kontrol edilmeyen ve karşılaşılan bazı sorunlar, örneğin kamera sistemindeki netleme problemi kaynaklı hatalı alınmış görüntüler gibi çalışmanızda ciddi zaman kayıplarına neden olabilir.

IoT kalibrasyon kaynaklı sorunlar. Benzer IoT cihazları arasında kalibrasyon farklılıkları veri tutarlılığını olumsuz etkilemektedir. Örneğin aynı şartlarda ölçüm yapan benzer sensörlerin her birisi farklı ölçüm değerleri verebilmektedir. Bu tür sensörler, aynı şartlarda aynı değerleri verecek şekilde kalibrasyon yapılarak sisteme dahil edilmelidir.

Küçük ölçekli projeler veya akademik çalışmaların dışında sektörel bazda çevre kontrollü tarımda karşılaşılan bazı zorluklar aşağıda ifade edilmiştir.

Yüksek Başlangıç Maliyetleri: ÇKT tesislerinin kurulması ve işletilmesi, altyapı, teknoloji ve çevresel kontrol sistemleri için önemli kurulum maliyetleri gerektirir. Bu, özellikle küçük ölçekli çiftçiler için bir giriş engeli olabilir.

Uzmanlık ve Yönetim: Başarılı ÇKT operasyonları bitki bilimi, mühendislik ve çevre kontrolü konularında uzmanlık bilgisi gerektirir. Yetiştiriciler için sürekli eğitim ve öğretim, ÇKT sistemlerinde üretimi optimize etmek için oldukça önem arz etmektedir.

Enerji Tüketimi: ÇKT sistemlerinde optimum koşulların sağlanması aydınlatma, sıcaklık kontrolü ve havalandırma için yüksek enerji tüketimine yol açabilir. Güneş enerjisi veya kojenerasyon sistemleri gibi yenilenebilir kaynaklar aracılığıyla enerji verimliliğini optimize etmek uzun vadeli sürdürülebilirlik için çok önemlidir.

Maliyet Azaltma: ÇKT uygulamalarında ilerlemeler kaydedilmekle birlikte, ÇKT tesislerinin kurulması ve işletilmesine yönelik ilk yatırım maliyetlerinin düşürülmesi, özellikle küçük ve orta ölçekli çiftçiler tarafından daha geniş çapta benimsenmesi için çok önemli hale gelmektedir.

Enerji Verimliliği: ÇKT sistemlerinde enerji kullanımını optimize etmek hala bir zorluktur. Uzun vadeli sürdürülebilirlik için enerji tasarruflu aydınlatma ve iklim kontrol teknolojilerine yönelik araştırmaların devam etmesi gerekmektedir.

Tüketici Kabulü: Tüketicilerin ÇKT'da yetiştirilen ürünlerin sürdürülebilirlik ve daha yüksek kalite potansiyeli gibi faydaları konusunda eğitilmesi pazarda kabul görmesi için önemli taşımaktadır.

ÇKT, tarım uygulamalarını dönüştürebilecek bir potansiyeli taşıyor. Bu dönüşüm için gelecek çalışmaları aşağıdaki başlıklarda incelenebilir.

Teknolojik Gelişmeler: Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi ve Karar Destek Sistemleri, ÇKT sistemlerinin optimize edilmesinde etkili olacaktır. Yapay zekâ, bitki büyümesi, çevresel koşullar ve kaynak kullanımına ilişkin gerçek zamanlı verileri analiz ederek otomatik ayarlamalar yapabilir, verimliliği daha da artırabilir.

Gelişmiş Robotik Sistemler: Robotlar, ÇKT tesislerinde ekim, dikim, hasat, sulama, ilaçlama ve budama gibi görevlerde daha büyük bir rol oynayacaktır. Bu, el emeğine olan bağımlılığı azaltacak, tutarlılığı artıracak ve insan hatası riskini en aza indirebilir.

Dikey Tarım: Bitki büyümesi için istiflenmiş katmanları kullanan dikey tarım teknikleri daha sofistike hale gelecek, birim alan başına üretimi en üst düzeye çıkaracak ve ÇKT operasyonlarını özellikle kentsel ortamlarda daha verimli hale getirebilir.

Sürdürülebilirlik: Yenilenebilir Enerji Entegrasyonları ile ÇKT tesisleri, fosil yakıtlara bağımlılıklarını azaltmak ve çevresel ayak izlerini en aza indirmek için güneş enerjisi ve rüzgâr türbinleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını giderek daha fazla entegre edebilir.

Su Verimliliği Teknolojileri: Kapalı döngü hidroponik ve akuaponik gibi topraksız tarım teknikleri su yönetim sistemlerindeki gelişmeler ÇKT tesislerindeki su tüketimini daha da azaltabilir.

Atık Azaltma ve İleri Dönüşüm: ÇKT sistemlerinde üretilen organik atıkların kullanılabilir besin maddelerine dönüştürülmesine yönelik teknolojiler daha yaygın hale gelecek ve bu tesislerde döngüsel bir ekonomiyi teşvik edebilir.

Pazar Genişlemesi ve Sosyal Etki: Daha geniş ürün çeşitliliği, ÇKT teknolojisi olgunlaştıkça, iç mekanlarda yetiştirilen ürün yelpazesi genişleyecektir. Bu, meyveler, sebzeler, süs bitkileri, aromatik bitkiler ve hatta yüksek değerli tıbbi bitkilerin yanı sıra tahıllar gibi temel gıda ürünlerini de içerebilir.

Yerelleştirilmiş Gıda Üretimi: Kentsel ÇKT tesislerinin yükselişi, daha fazla yerel gıda üretimini mümkün kılacak, nakliye mesafelerini azaltacak ve tüketicilere daha taze ve daha kaliteli ürünler sunabilir.

Geliştirilmiş Gıda Güvenliği: ÇKT'nin kontrollü ortamlarda yıl boyunca gıda üretme kabiliyeti, iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasında ve hassas bölgelerde gıda güvenliğinin sağlanmasında önemli bir rol oynayabilir.

KAYNAKÇA

- Abu-Nasser, B. S. (2017). Medical expert systems survey. *International Journal of Engineering and Information Systems*, 1 (7), 218-224.
- Acar, A. B., Mengü, H., Karatay, S., Erken, F. (2022). Increasing the plant productivity using the automatic controlled irrigation system: A comparative experimental study. *Black Sea Journal of Agriculture*, 5 (4), 375-382. <https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1093798>
- Adereti, D. T., Gardezi, M., Wang, T., ve McMaine, J. (2024). Understanding farmers' engagement and barriers to machine learning-based intelligent agricultural decision support systems. *Agronomy Journal*, 116 (3), 1237-1249. <https://doi.org/10.1002/agj2.21358>
- African violet society of america (2020, 27 Mayıs). *Spectral enlightenment: One light does not fit all* [Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=IW0dsgss968>
- African violet suckers: What are they and removal?* (2018). Baby Violets. <https://www.babyviolets.com/african-violet-suckers-what-are-they-and-removal/> adresinden 20.12.2023 tarihinde alınmıştır.
- Ahamadi, L., Matloobi, M., ve Motallebi-Azar, A. (2023). Light source spectrum influences long-term flowering cycles and visual appearance in African violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.). *Lighting Research and Technology*, 1-18. <https://doi.org/10.1177/14771535231183884>
- Ahmad, A., Shehzadi, M., Wajid, S. A., Rana Muhammad Javed Ghafoor, N. A., Shafqat, M., Mahreen, N., ve Rashad-Ul-Sher. (2021). Understanding the agricultural systems modeling: a review. İçinde *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 10 (3), 2241-2248. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2021/1061032021>
- Ahmed, H. O. K. (2022). Improving the quality of strategic decision-making process in universities through employing expert systems: A case study from a developing country. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 9 (2), 81-94. <https://doi.org/10.21833/IJAAS.2022.02.009>
- Ahmad, L., ve Nabi, F. (2021). *Agriculture 5.0: Artificial intelligence, iot and machine learning* (1. Baskı). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003125433>
- Ahmad, N., M. M. Hasan, M. Rohomun, R. Irin and R. M. Rahman (2022). IoT and computer vision based aquaponics system. 2022 *IEEE/ACIS 23rd International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing*, 149-155. doi: 10.1109/SNPD54884.2022.10051814.
- Akin, C. (2023, 9 Ekim). *Do African violets like humidity?*, African Violet Resource Center. <https://africanvioletresourcecenter.com/do-african-violets-like-humidity> adresinden 25.06.2024 tarihinde alınmıştır.

- Alam, M. N. H. Z., Kamaruddin, M. J., Samsudin, S. A., Othman, R., Radzi, N. H. M., Emmanuel, A. A., ve Abidin, M. S. Z. (2023). Smart farming using a solar powered aquaponics system for a sustainable food production. *Malaysian Journal of Science. Series B, Physical & Earth Sciences*, 42 (1), 68–77. <https://doi.org/10.22452/mjs.vol42no1.7>
- Ali, M. M. . (2019). Impact of management information systems (MIS) on decision making. *Global Disclosure of Economics and Business*, 8 (2), 83-90. <https://doi.org/10.18034/gdeb.v8i2.100>
- Alshehri, M. A. (2023). Blockchain-assisted internet of things framework in smart livestock farming. *Internet of Things (Netherlands)*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100739>
- Alves, C. M. O., Cota, M. P., ve Castro, M. R. G. (2020). MLV-viewer: Data mining visualizations in decision support system. In *Iberian Conference on Information Systems and Technologies*, (June). <https://doi.org/10.23919/CISTI49556.2020.9140825>
- Amadi, B. C., Njoku, C. N., ve Onyemauche, U. C. (2023). Design and implementation of a decision support system for flood management. İçinde *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 17 (3), 981–989. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.17.3.0497>
- Amitrano, C., Chirico, G. B., Pascale, S. De, Rouphael, Y., ve Micco, V. De. (2020). Crop management in controlled environment agriculture (CEA) systems using predictive mathematical models. *Sensors (Switzerland)*, 20 (11). <https://doi.org/10.3390/s20113110>
- Animas, M. I., Byun, Y. C., Gerardo, B. D., ve Concepcion, M. B. (2013). Decision support system for agricultural management using prediction algorithm. İçinde *2013 IEEE/ACIS 12th International Conference on Computer and Information Science, Proceedings*, 191–194. <https://doi.org/10.1109/ICIS.2013.6607839>
- Antonik, J. (2007). Decision management. *MILCOM 2007 - IEEE Military Communications Conference*, 1-5. doi: 10.1109/MILCOM.2007.4455261.
- Areapeat. (b.t). Reduction of moss peat acidity. <https://areapeat.lv/reduction-of-moss-peat-acidity/> adresinden 28.06.2024 tarihinde alınmıştır.
- Asmariyani, A., ve Sain, Moh. (2022). Mekanisme pengambilan keputusan kepala madrasah tsanawiyah nurul huda desa nusantara jaya kecamatan keritang kabupaten indragiri hilir provinsi riau. İçinde *Asatiza: Jurnal Pendidikan*, 3 (3), 156–171. <https://doi.org/10.46963/asatiza.v3i3.848>
- Azzaretti, C., ve Schimelpfenig, G. (2022). Perspective: benchmarking opportunities can contribute to circular food systems in controlled environment agriculture. *Applied Engineering in Agriculture*, 38 (3), 535–538. <https://doi.org/10.13031/AEA.14888>

- Babenko, Ye. (2022). Methodological fundamentals of information system design in crop production. *Cybernetics and Computer Technologies*, (2), 95–105. <https://doi.org/10.34229/2707-451x.22.2.10>
- Balan, T., Dumitru, C., Dudnik, G., Alessi, E., Lesecq, S., Correvon, M., Passaniti, F., ve Licciardello, A. (2020). Smart multi-sensor platform for analytics and social decision support in agriculture. *İçinde Sensors (Switzerland)*, 20 (15), 1-28. <https://doi.org/10.3390/s20154127>
- Barbosa, G. L., Almeida Gadelha, F. D., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G. M., ve Halden, R. U. (2015). Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. Conventional agricultural methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12 (6), 6879-6891. <https://doi.org/10.3390/ijerph120606879>
- Basar, M., ve Tolga, A. C. (2020). Smart system evaluation in vertical farming via fuzzy wedba method. *İçinde Advances in Intelligent Systems and Computing: 1197*, 534-542. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51156-2_61
- Baumont De Oliveira, F. J., Ferson, S., ve Dyer, R. (2021). A collaborative decision support system framework for vertical farming business developments. *International Journal of Decision Support System Technology*, 13 (1), 34-66. <https://doi.org/10.4018/IJDSST.2021010103>
- Bayley, J. E., Yu, M., ve Frediani, K. (2011). Sustainable food production using high density vertical growing (VertiCrop™). *Acta Horticulturae*, 921 (November), 95-104. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.921.11>
- Beacham, A. M., Vickers, L. H., ve Monaghan, J. M. (2019). Vertical farming: a summary of approaches to growing skywards. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94 (3), 277-283. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1574214>
- Bedoussac, L., Journet, E.-P., Journet, E.-P., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, E. S., Prieur, L., ve Justes, E. (2015). Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35 (3), 911–935. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0277-7>
- Bender, M., Bhat, G. K., Childress, R. L. (2022). *Cognitive based decision support system for agriculture* (Patent No. US11257172B2). Amerika Birleşik Devletleri. <https://patents.google.com/patent/US11257172B2/>
- Benke, K., ve Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: Vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice, and Policy*, 13 (1), 13–26. <https://doi.org/10.1080/15487733.2017.1394054>
- Bhandari, H. P. (2023). Effect of management information system (MIS) on decision-making in the academic sector. *OCEM Journal of Management, Technology & Social Sciences*, 2 (2), 126–146. <https://doi.org/10.3126/ocemjmtss.v2i2.54249>

- Bihl, T., II, W. A. Y., ve Moyer, A. (2022). Decision support systems and data science. İçinde J. Wang (Ed.), *Encyclopedia of Data Science and Machine Learning*, IGI Global 1408-1424. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-9220-5.ch083>
- Blake, J. T. (2023). A production capacity investment decision-making tool for the indoor vertical farming industry. *Smart Agricultural Technology*, 5 (March), 100244. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100244>
- Borrero, J. D., ve Mariscal, J. (2022). A case study of a digital data platform for the agricultural sector: a valuable decision support system for small farmers. *Agriculture (Switzerland)*, 12 (6). <https://doi.org/10.3390/agriculture12060767>
- Bouali, E.-T., Abid, M. R., Boufounas, E.-M., Hamed, T. A., ve Benhaddou, D. (2022). Renewable energy integration into cloud & IoT-Based smart agriculture. İçinde *Ieee Access*, 10, 1175–1191. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3138160>
- Brunetti, G. L. (2022). Film-enclosed greenhouses. İçinde *Design and Construction of Bioclimatic Wooden Greenhouses G.L. Brunetti (Ed.)*, 3, 187–239. <https://doi.org/10.1002/9781394192168.ch3>
- Calone, R., ve Orsini, F. (2022). Aquaponics: A promising tool for environmentally friendly farming. *Frontiers for Young Minds*, 10. <https://doi.org/10.3389/frym.2022.707801>
- Cárdenas Tamayo, R. A., Lugo Ibarra, M. G., ve Antonio García Macías, J. (2010). Better crop management with decision support systems based on wireless sensor networks. *Program and Abstract Book - 2010 7th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control*, 412-417. <https://doi.org/10.1109/ICEEE.2010.5608629>
- Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6 (2), 48–60. <https://doi.org/10.1002/fes3.108>
- Charlebois, S., Faires, S., Music, J., ve Williams, K. (2021). The feasibility of controlled environment in horticulturally poor region: the case of New Brunswick in Canada. *Journal of Food Research*, 10 (4), 33. <https://doi.org/10.5539/jfr.v10n4p33>
- Chaux, J. D., Sanchez-Londono, D., ve Barbieri, G. (2021). A digital twin architecture to optimize productivity within controlled environment agriculture. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11 (19). <https://doi.org/10.3390/app11198875>
- Chen, J., ve Henny, R. J. (2009). Cultural guidelines for commercial production of african violets (*saintpaulia ionantha*). *Edis*, 2009 (2), 1-5. <https://doi.org/10.32473/edis-ep360-2009>
- Chiaranunt, P., ve White, J. F. (2023). Plant beneficial bacteria and their potential applications in vertical farming systems. *Plants*, 12 (2). <https://doi.org/10.3390/plants12020400>

- Chittibomma, K., ve Yadav, N. (2023). Aeroponics: A polytropic research tool in the new era of agriculture. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13 (8), 214–218. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i81946>
- Choi, S., ve Shin, Y. J. (2023). Role of smart farm as a tool for sustainable economic growth of korean agriculture: Using input–output analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 15 (4). <https://doi.org/10.3390/su15043450>
- Ciuta, F., Tudor, A., ve Lagunovschi, V. (2022). Research on vegetable farming in vertical hydroponic system. İçinde *Proceedings of the 17th International Conference on Environmental Science and Technology*, 17. <https://doi.org/10.30955/gnc2021.00503>
- Conover, C. A., ve Poole, R. T. (2022). Light acclimatization of African violet1. *HortScience*, 16 (1), 92–93. <https://doi.org/10.21273/hortsci.16.1.92>
- Cooper, A. (2009, Mayıs 19). *Going up? Vertical farming in high-rises raises hopes*. Pacific Standart. <https://psmag.com/environment/farming-in-high-rises-raises-hopes-3705> adresinden 18.05.2024 tarihinde alınmıştır.
- Cosoli, G., Magaletti, N., Leogrande, A., ve Massaro, A. (2022). DSS fertirrigation system: An Italian case study. İçinde *Journal of Food, Nutrition and Agriculture*, 1-14. <https://doi.org/10.21839/jfna.2022.v5.7433>
- Cowan, N., Ferrier, L., Spears, B. M., Drewer, J., Reay, D. S., ve Skiba, U. (2022). CEA systems: The means to achieve future food security and environmental sustainability? *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.891256>
- Crooks, B., Sinclair, A., ve Edward, T. (2019). Liming materials and recommendations. *Technical Note TN714*, (April), 1-6.
- Debeljak, M., Trajanov, A., Kuzmanovski, V., Schröder, J. J., Sandén, T., Spiegel, H., Wall, D. P., Broek, M. Van de, Rutgers, M., Bampa, F., Creamer, R., ve Henriksen, C. B. (2019). *A field-scale decision support system for assessment and management of soil functions*, 7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00115>
- Dellal, İ., Dellal, G., ve Ünüvar, F. İ. (2018). *Sakarya ili tarım sektör raporu: Mevcut durum, strateji, hedef ve eylem planı*. Yorum Matbaacılık.
- Despommier, D. (2013). Farming up the city: The rise of urban vertical farms. *Trends in Biotechnology*, 31 (7), 388-389. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.03.008>
- Devecchi, M., Gherisi, A., Pilo, A., ve Nicola, S. (2023). Landscape and agriculture 4.0: A deep farm in Italy in the underground of a public historical garden. *Horticulturae*, 9 (4). <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040417>
- Dhanasekar, S., Gayathri, V., Valarmathi, G., Madhumita, D., ve Jeevitha, R. (2023). An efficient smart agriculture system based on the internet of things using aeroponics method. İçinde *2023 9th International Conference on Advanced Computing and*

- Dineva, K., ve Atanasova, T. (2022). Cloud data-driven intelligent monitoring system for interactive smart farming. *Sensors*, 22 (17). <https://doi.org/10.3390/s22176566>
- Dsouza, A., Price, G. W., Dixon, M., ve Graham, T. (2021). A conceptual framework for incorporation of composting in closed-loop urban controlled environment agriculture. *Sustainability (Switzerland)*, 13 (5), 1–28. <https://doi.org/10.3390/su13052471>
- D'souza, V. M., ve Bhalla, R. (2022). Controlled environment agriculture. İçinde *Phytopharmaceuticals and Biotechnology of Herbal Plants*, 65–80. <https://doi.org/10.1201/b22917-4>
- Duan, S. X., Wibowo, S., ve Chong, J. (2021). A multicriteria analysis approach for evaluating the performance of agriculture decision support systems for sustainable agribusiness. *Mathematics*, 9 (8). <https://doi.org/10.3390/math9080884>
- Dutta, R., Morshed, A., Aryal, J., D'Este, C., ve Das, A. (2014). Development of an intelligent environmental knowledge system for sustainable agricultural decision support. İçinde *Environmental Modelling and Software*, 52, 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.10.004>
- Dünya süs bitkileri sektörü raporu* (2023). Orta Anadolu Süs Bitkileri ve Mamulleri İhracatçıları Birliği. <http://susbitkileri.org.tr/images/d/library/c996523c-2367-42e9-9b91-b0e5d48e4a60.pdf> adresinden 10.04.2024 tarihinde alınmıştır.
- Eastman, N., Adshead, G., Fox, S., Latham, R., ve Whyte, S. (2023). *Decision-making theories*. İçinde *Oxford Casebook of Forensic Psychiatry*, 3–34. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/med/9780198842057.003.0001>
- Ekström, G., ve Ekbom, B. (2011). Pest control in agro-ecosystems: An ecological approach. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30 (1–2), 74–94. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554354>
- El Moutaouakil, K., Jabir, B., ve Falih, N. (2022). Agriculture 4.0: literature review and application challenges in the “Beni Mellal-khenifra” region. İçinde *Proceedings of 8th International Conference on Optimization and Applications*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICOA55659.2022.9934114>
- Eldridge, B. M., Manzoni, L., Graham, C. A., Rodgers, B., Farmer, J., ve Dodd, A. N. (2020). Getting to the roots of aeroponic indoor farming. *The New Phytologist*, 228 (4), 1183–1192. <https://doi.org/10.1111/nph.16780>
- Engler, N., ve Krarti, M. (2021). Review of energy efficiency in controlled environment agriculture. İçinde *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (141). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110786>

- Ezhilarasi, D., Kiruthika, SB., Gopinath, N., ve Kumar, D. S. (2022). Real time automation of agriculture environment for Indian agricultural system using IOT. İçinde *2022 International Conference on Innovative Computing, Intelligent Communication and Smart Electrical Systems Proceedings*, 1-7. <https://doi.org/10.1109/ICSES55317.2022.9914154>
- Fang, H., Liu, F., Nie, P., ve Wu, J. (2021). *Agricultural decision-making methods and systems*, 251-290. Springer, Cham.
- Feijó, T., David, J. M. N., Braga, R., Otenio, M. H., Paula, V. R. de, Santos, G. M. dos, Campos, F., ve Ströele, V. (2021). @grogest_ambiental: A web-based decision support system for agribusiness. İçinde *ACM International Conference Proceeding Series*, 81–84. <https://doi.org/10.1145/3470482.3479612>
- Fenu, G., ve Mallocci, F. M. (2020). DSS LANDS: A decision support system for agriculture in Sardinia. *Hightech and Innovation Journal*, 1 (3), 129–135. <https://doi.org/10.28991/hij-2020-01-03-05>
- Fernando, J. G., ve Baldeovar, M. A. (2022). Decision support system: overview, different types and elements. *Technoarete Transactions on Intelligent Data Mining and Knowledge Discovery*, 2 (2). <https://doi.org/10.36647/ttidmkd/02.02.a003>
- Ferreira, A. C. D. A., Titotto, S. L. M. C., ve Akkari, A. C. S. (2021). Agricultura urbana 5.0: um estudo exploratório. *2021 14th IEEE International Conference on Industry Applications Proceedings*, içinde (ss. 1441–1446). <https://doi.org/10.1109/INDUSCON51756.2021.9529771>
- Finco, A., Bentivoglio, D., Belletti, M., Chiaraluce, G., Fiorentini, M., Ledda, L., ve Orsini, R. (2023). Does precision technologies adoption contribute to the economic and agri-environmental sustainability of mediterranean wheat production? An Italian case study. *In Agronomy*, 13 (7). <https://doi.org/10.3390/agronomy13071818>
- Folta, K. M. (2019). Breeding new varieties for controlled environments. *Plant Biology*, 21, 6–12. <https://doi.org/10.1111/plb.12914>
- Fraizer, I. (2017). *The vertical farm*, The New Yorker. <https://www.newyorker.com/magazine/2017/01/09/the-vertical-farm> adresinden 05.06.2024 tarihinde alınmıştır.
- Gardezi, M., Adereti, D. T., Stock, R., ve Ogunyiola, A. (2022). In pursuit of responsible innovation for precision agriculture technologies. İçinde *Journal of Responsible Innovation*, 9 (2), 224–247. <https://doi.org/10.1080/23299460.2022.2071668>
- Gattinger, A., Muller, A., Haeni, M., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N., Mäder, P., Stolze, M., Smith, P., Scialabba, N. E.-H., ve Niggli, U. (2012). Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109 (44), 18226–18231. <https://doi.org/10.1073/pnas.1209429109>

- Ghandar, A., Ahmed, A., Zulfiqar, S., Hua, Z., Hanai, M., ve Théodoropoulos, G. (2021). A decision support system for urban agriculture using digital twin: A case study with aquaponics. *Ieee Access*. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3061722>
- Gkogkos, G., Giakoumoglou, N., ve Tzovaras, D. (2023). Towards sustainable farming: a robust decision support system's architecture for agriculture 4.0. *International Conference on Digital Signal Processing*, (June), 1–5. <https://doi.org/10.1109/DSP58604.2023.10167922>
- Golatofski, A. (2019). *Saintpaulia wendl*, Das Pflanzenreich. <https://www.golatofski.de/Pflanzenreich/gattung/s/saintpaulia.html> adresinden 10.06.2024 tarihinde alınmıştır.
- Gómez, C., Currey, C. J., Dickson, R. W., Kim, H.-J., Hernández, R., Sabeh, N., Laury-Shaw, A., Raudales, R., Wilke, A. K., Lopez, R. G., ve Burnett, S. E. (2019). Controlled environment food production for urban agriculture. *HortScience*, 54 (9), 1448–1458. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14073-19>
- Gonzalez, G. (2023). *A system based on an artificial neural network of the second generation for decision support in especially significant situations*. İçinde *Journal of Hydrology*, (616), 128844. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128844>
- Gonzalez-de-Santos, P., Ribeiro, A., Fernández-Quintanilla, C., López-Granados, F., Brandstötter, M., Tomic, S., Pedrazzi, S., Peruzzi, A., Pajares, G., Kaplanis, G., Pérez-Ruiz, M., Valero, C., Cerro, J. del, Vieri, M., Rabatel, G., ve Debilde, B. (2017). Fleets of robots for environmentally-safe pest control in agriculture. *Precision Agriculture*, 18 (4), 574–614. <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9476-3>
- Goodspeed, C. G., Alexandre, L. R., Tahir, H. T., Peter, F. M., Andrew, D., ve Roger, L. (2021). *A crop production system for controlled environment agriculture and associated method* (Patent No. EP4030892A1). Avrupa Patent Ofisi. <https://patents.google.com/patent/EP4030892A1>
- Gordon-Smith, H. (2023). *The future of controlled environment agriculture: Navigating challenges and unleashing opportunities*, Linked in. <https://www.linkedin.com/pulse/future-controlled-environment-agriculture-navigating-gordon-smith/> adresinden 25.07.2024 tarihinde alınmıştır.
- Graamans, L., Baeza, E., van den Dobbelsteen, A., Tsafaras, I., ve Stanghellini, C. (2018). Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency. *Agricultural Systems*, 160 (July-2017), 31-43. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.11.003>
- Greene, J., Rossi, F., Tasioulas, J., Venable, K., ve Williams, B. (2016). Embedding ethical principles in collective decision support systems. İçinde *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 30 (1), 4147–4151. <https://doi.org/10.1609/aaai.v30i1.9804>
- Griepentrog, H. W. (2017). Smart crop farming. *Landinfo*, 3, 13-14.

- Guan, H., Liye, D., ve Zhao, A. (2022). Ethical risk factors and mechanisms in artificial intelligence decision making. İçinde *Behavioral Sciences*, 12 (9), 343. <https://doi.org/10.3390/bs12090343>
- Gunawan, T. S., Kamarudin, N. N., Kartiwi, M., ve Effendi, M. R. (2022). Automatic watering system for smart agriculture using ESP32 platform. *2022 IEEE 8th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications*, 185–189. <https://doi.org/10.1109/ICSIMA55652.2022.9928950>
- Gupta, S., Modgil, S., Bhattacharyya, S., ve Bose, I. (2021). Artificial intelligence for decision support systems in the field of operations research: Review and future scope of research. *Annals of Operations Research*, 308 (1–2), 215–274. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03856-6>
- Hajihil, N. B. (2022). Air Parameter Analysis for Precision Agriculture in Controlled Engineering. *Journal of Advanced Industrial Technology And Application*, 3 (2). <https://doi.org/10.30880/jaita.2022.03.02.009>
- HanHui, L., Cai, K., Chen, H., ve Zeng, Z. (2015). The construction of a precise agricultural information system based on internet of things. İçinde *International Journal Of Online And Biomedical Engineering*, 11 (6), 10. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v11i6.4847>
- Harrison, K. W., Dumas, R. D., Solano, E., Barlaz, M. A., Brill, E. D., ve Ranjithan, S. R. (2001). Decision support tool for life-cycle-based solid waste management. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 15 (1), 44–58. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0887-3801\(2001\)15:1\(44\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0887-3801(2001)15:1(44))
- Hasan, M. M., ve Hriczó, K. (2022). Heating a greenhouse using a solar air collector assisted by thermal storage: A simulation study. *Multidisziplináris Tudományok*, 12 (3), 217–232. <https://doi.org/10.35925/j.multi.2022.3.20>
- Haseeb, K., Din, I. U., Almogren, A., ve Islam, N. (2020). An energy efficient and secure iot-based WSN framework: An application to smart agriculture. *Sensors (Switzerland)*, 20 (7), 2081. <https://doi.org/10.3390/s20072081>
- Hassan, M. N., Islam, M. R., Faisal, F., Semantha, F. H., Siddique, A. H., ve Hasan, M. (2020). An IoT based environment monitoring system. İçinde *Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems*, 1119–1124. <https://doi.org/10.1109/ICISS49785.2020.9316050>
- Hertweck, P., Moßgraber, J., Kontopoulos, E., Mitziyas, P., Hellmund, T., Karakostas, A., Hilbring, D., Schaaf, H. van der, Vrochidis, S., Blume, J.-W., ve Kompatsiaris, I. (2018). The backbone of decision support systems. İçinde *International Journal Of Information Systems For Crisis Response And Management*, 10 (4), 65–87. <https://doi.org/10.4018/ijiscram.2018100104>
- Hingole, R. S. (2015). *Fundamentals of expert system*. İçinde Springer Series in Materials Science, 206, 31–39. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-44497-9_3

- Holtkamp, R. (2023). *African violet - Start to finish*, Optimara African violets. https://www.optimara.com/catalog/starter-finish/starter-to-finish_optimara.pdf adresinden 15.05.2023 tarihinde alınmıştır.
- Htun, N. N., Rojo, D., Ooge, J., Croon, R. De, Kasimati, A., ve Verbert, K. (2022). Developing visual-assisted decision support systems across diverse agricultural use cases. *Agriculture*, 12 (7), 1027. <https://doi.org/10.3390/agriculture12071027>
- Hu, G., ve You, F. (2022). Renewable energy-powered semi-closed greenhouse for sustainable crop production using model predictive control and machine learning for energy management. İçinde *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 112790. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112790>
- Hu, R., Zaki, H. O., ve Omar, N. A. (2023). Marketing decision support system based on data mining technology. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13 (7), 4315. <https://doi.org/10.3390/app13074315>
- Huang, K., Shu, L., Li, K., Yang, F., Han, G., Wang, X., ve Pearson, S. (2020). Photovoltaic agricultural internet of things towards realizing the next generation of smart farming. *IEEE Access*, 8, 76300-76312. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988663>
- Huang, P., Huang, P., Liu, J., ve Zhu, L. (2023). Deep-learning-based trunk perception with depth estimation and dwa for robust navigation of robotics in orchards. *Agronomy*, 13 (4), 1084. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041084>
- Huang, Y., ve Zhang, Q. (2021). *Control of agricultural production systems*. (Y. Huang ve Q. Zhang (Ed.), içinde (ss. 155–180). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72102-2_6
- Huriye, A. Z. (2023). The ethics of artificial intelligence: Examining the ethical considerations surrounding the development and use of AI. İçinde *American Journal of Technology*, 2 (1), 37–45. <https://doi.org/10.58425/ajt.v2i1.142>
- Ishii, M., Sase, S., Moriyama, H., Okushima, L., Ikeguchi, A., Hayashi, M., Kurata, K., Kubota, C., Kacira, M., ve Giacomelli, G. A. (2016). Controlled environment agriculture for effective plant production systems in a semiarid greenhouse. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 50 (2), 101–113. <https://doi.org/10.6090/jarq.50.101>
- Ingle A., Gupta P., Gaikwad N., ve Bhatye S. (2023). Precision agriculture application using machine learning. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 3 (7), 1–8. <https://doi.org/10.48175/IJARSCT-9463>
- International trade center* (2022). Trade Statistics For International Business Development. https://www.trademap.org/Country_SelProduct_TS.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7c0602%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c2%7c1%7c2%7c1%7c1%7c1 adresinden 12.05.20023 tarihinde alınmıştır.

- Jack, H. (2022). *Chapter 6 - Decision-making*. H. B. T.-E. D. Jack Planning, and Management (Second Edition) (ed.), 211–254. Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821055-0.00006-2>
- Jackson, M. L. (1959). Soil chemical analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 7 (2), 138. <https://doi.org/10.1021/jf60096a605>
- Jan, V. D. B. B. (2020). *A greenhouse having a climate control system, climate control system and method of operating the greenhouse* (Patent No. MX2021003319A). Meksika. <https://patents.google.com/patent/MX2021003319A>
- Johansson, D. R. (1978). Saintpaulias in their natural environment with notes on their present status in Tanzania and Kenya. *Biological Conservation*, 14 (1), 45–62. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(78\)90005-8](https://doi.org/10.1016/0006-3207(78)90005-8)
- Johnson, T., ve Payne, M. A. (2022). Using Controlled environment agriculture as a platform for STEM-Training. *The FASEB Journal*, 36 (S1). <https://doi.org/10.1096/fasebj.2022.36.s1.0r274>
- Jørgensen, L. N., Noe, E., Langvad, A. M., Jensen, J. E., Ørum, J. E., ve Rydahl, P. (2007). Decision support systems: Barriers and farmers' need for support. *EPPO Bulletin*, 37 (2), 374–377. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2007.01145.x>
- Jothiprakash, V., ve Sezhian, M. V. (2023). Nanocomposites based aquaponic cropping system design and control for agriculture industry. *International Journal of Scientific Methods in Engineering and Management*, 01 (04), 12–22. <https://doi.org/10.58599/ijsmem.2023.1402>
- Jura, J., Trnka, P., ve Cejnek, M. (2022). Using NLP to analyze requirements for Agriculture 4.0 applications. İçinde *2022 23rd International Carpathian Control Conference*, 239–243. <https://doi.org/10.1109/ICCC54292.2022.9805905>
- Kaita, M., ve Harun, S. N. (2023). Application of integrated LCA-GIS model in the agricultural sector: A brief overview. *IOP conference series: Earth and Environmental Science*, 1167 (1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1167/1/012015>
- Kanatas, P., Travlos, I., Gazoulis, I., Tataridas, A., Tsekoura, A., ve Antonopoulos, N. (2020). Benefits and limitations of decision support systems (DSS) with a special emphasis on weeds. *Agronomy*, 10 (4), 548. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040548>
- Kass, H. (2020). Deep agroecology: farms, food, and our future: by Steven McFadden, Lincoln, Light and Sound Press. *Food, Culture & Society*, 24 (5), 741–742. <https://doi.org/10.1080/15528014.2020.1789936>
- Khan, A., Li, J. P., Haq, A. U., Nazir, S., Ahmad, N., Varish, N., Malik, A., ve Patel, S. (2020). Partial observer decision process model for crane-robot action. İçinde *Scientific Programming*, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2020/6349342>

- Kohlstedt, K. (2015). *World's largest indoor farm is 100 times more productive*, Web Urbanist. <https://weburbanist.com/2015/01/11/worlds-largest-indoor-farm-is-100-times-more-productive/> adresinden 05.03.2024 tarihinde alınmıştır.
- Kozai, T., Niu, G., ve Takagaki, M. B. T.-P. F. (Ed.). (2020). İçinde *Plant Factory* (2. Baskı, ss. 477–487). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.20001-0>
- Kviesis, A. (2019). *Application of decision support system in control of multiobject biological system* (Yayımlanmamış doktora tezi). Latvia University of Life Sciences and Technologies. <https://doi.org/10.22616/lluthesis/2019.006>
- Lagos-Ortiz, K., Medina-Moreira, J., Alarcón-Salvatierra, A., Moran, M. E. F., Cioppo-Morstadt, J. del, ve Valencia-García, R. (2019). Decision support system for the control and monitoring of crops. In *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 901, 20–28. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10728-4_3
- Laka, M., Carter, D., Milazzo, A., ve Merlin, T. (2022). Challenges and opportunities in implementing clinical decision support systems (CDSS) at scale: Interviews with Australian policymakers. In *Health Policy and Technology*, 11 (3), 100652. <https://doi.org/10.1016/j.hlpt.2022.100652>
- Langstroff, A., Heuermann, M. C., Stahl, A., Stahl, A., ve Junker, A. (2021). Opportunities and limits of controlled-environment plant phenotyping for climate response traits. *Theoretical and Applied Genetics*, 135 (1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03892-1>
- Latino, M. E., Corallo, A., Menegoli, M., ve Nuzzo, B. (2021). Agriculture 4.0 as enabler of sustainable agri-food: A proposed taxonomy. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70 (10), 3678–3696. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3101548>
- Laudon, K. C., ve Laudon, J. P. (2013). *Management information systems: Managing the digital firm* (13. Baskı). Pearson.
- Lázaro, E., Makowski, D., ve Vicent, A. (2021). Decision support systems halve fungicide use compared to calendar-based strategies without increasing disease risk. *Communications Earth & Environment*, 2 (1), 224. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00291-8>
- Lee, M., Hwang, J., ve Yoe, H. (2013). Agricultural production system based on IoT. *2013 IEEE 16th International Conference on Computational Science and Engineering*, 833–837. <https://doi.org/10.1109/CSE.2013.126>
- Li, H., Liu, L., Li, C., Liu, X., Ziadi, N., ve Shi, Y. (2023). Efficiency of different soil sterilization approaches and their effects on soil particle size distribution. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23 (3), 3979–3990. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01315-2>
- Li, S., Miao, Y., Han, X., ve Guo, W. (2022). *Research on intelligent decision-making irrigation model of water and fertilizer based on multi-source data input*. İçinde

- Litvin, A., Korenev, S. V., Rumovskaya, S., Sartelli, M., Baiocchi, G. L., Biffl, W. L., Coccolini, F., Saverio, S. Di, Kelly, M. D., Kluger, Y., Leppäniemi, A., Sugrue, M., ve Catena, F. (2021). WSES project on decision support systems based on artificial neural networks in emergency surgery. *World Journal of Emergency Surgery*, 16 (1), 50. <https://doi.org/10.1186/s13017-021-00394-9>
- Lokers, R., Knapen, R., Janssen, S., Randen, Y. van, ve Jansen, J. (2016). Analysis of big data technologies for use in agro-environmental science. *Environmental Modelling and Software*, 84, 494–504. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.07.017>
- Look (b.t). African violet society of America. <https://africanvioletsocietyofamerica.org/look/> adresinden 10.05.2024 tarihinde alınmıştır.
- Manogaran, G., Alazab, M., Muhammad, K., ve Albuquerque, V. H. C. de. (2021). Smart sensing based functional control for reducing uncertainties in agricultural farm data analysis. *IEEE Sensors Journal*, 21 (16), 17469–17478. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3054561>
- Mao, D. H., Sun, H., Li, X. B., Yu, X. D., Wu, J. W., ve Zhang, Q. C. (2023). Real-time fruit detection using deep neural networks on CPU (RTFD): An edge AI application. *Computers and Electronics in Agriculture*, 204 (June-2022), 107517. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107517>
- Maraveas, C., Piromalis, D., Arvanitis, K. G., Bartzanas, T., ve Loukatos, D. (2022). Applications of IoT for optimized greenhouse environment and resources management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198 (April), 106993. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106993>
- Mardaneh, E., Loxton, R., Meka, S., ve Gamble, L. (2021). A decision support system for grain harvesting, storage, and distribution logistics. *Knowledge-Based Systems*, 223, 107037. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.107037>
- Marris, E. (2008). Agronomy: Five crop researchers who could change the world. *Nature*, 456 (7222), 563–568. <https://doi.org/10.1038/456563a>
- Martin, M., Weidner, T., ve Gullström, C. (2022). Estimating the potential of building integration and regional synergies to improve the environmental performance of urban vertical farming. *Frontiers in sustainable food systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.849304>
- Matthies, M., Giupponi, C., ve Ostendorf, B. (2007). Environmental decision support systems: Current issues, methods and tools. *Environmental Modelling and Software*, 22 (2), 123–127. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.09.005>
- McLennon, E., Dari, B., Jha, G., Sihi, D., ve Kankarla, V. (2021). Regenerative agriculture and integrative permaculture for sustainable and technology driven global food

- production and security. *Agronomy Journal*, 113 (6), 4541–4559. <https://doi.org/10.1002/agj2.20814>
- Mei, Y., Nazir, S., Xu, Q., ve Ali, S. (2020). Deep learning algorithms and multicriteria decision-making used in big data: A systematic literature review. *Complexity*, 2020, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2020/2836064>
- Michael Bruen, D. (2005). *Introduction to decision support systems*. İçinde River Basin Modelling for Flood Risk Mitigation, 235–248. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/9781439824702.ch13>
- Mir, S. A., ve Padma, T. (2017). Generic Multiple-Criteria Framework for the development of agricultural DSS. *Journal of Decision Systems*, 26 (4), 341–367. <https://doi.org/10.1080/12460125.2018.1437501>
- Mir, S., Qasim, M., Arfaty, Y., Mubarak, T., Bhat, A. Z., Bhat, J., Bangroo, S. A., ve Sofi, T. (2015). Decision support systems in a global agricultural perspective-a comprehensive review. *International Journal of Agriculture Sciences*, 7 (1), 403–415.
- Miranda, M. A., Barceló, C., Valdés, F., Feliu, J. F., Nestel, D., Papadopoulos, N., Sciarretta, A., Ruiz, M., ve Alorda, B. (2019). Developing and implementation of decision support system (DSS) for the control of olive fruit fly, *bactrocera oleae*, in mediterranean olive orchards. *Agronomy*, 9 (10), 620. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100620>
- Miseckaite, O. (2022). *Agricultural contamination*. In A. K. Tiwari, A. Kumar, A. K. Singh, T. N. Singh, E. Suozzi, G. Matta, ve S. Lo Russo (Eds.), *Water Scarcity, Contamination and Management*, 5, 101–107. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-85378-1.00007-6>
- Mohammed Abu Basim, N., ve Ajit, N. (2023). Farming 4.0 – Review of the digitalized agricultural phenomenon using disruptive technologies, its implementation, and major challenges. *Futuristic Projects in Energy and Automation Sectors: A Brief Review of New Technologies Driving Sustainable Development*, 238-272. Bentham Science Publishers. <https://doi.org/10.2174/9789815080537123010016>
- Mohan, D. S., Dhote, V., Mishra, P., Singh, P., ve Srivastav, A. (2023). IoT framework for precision agriculture: machine learning crop prediction. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 11 (5s), 300-313.
- Molin, E., ve Martin, M. A. (2018). Assessing the energy and environmental performance of vertical hydroponic farming. İçinde *Cooperation with Grönska Stadsodling*, (C), 299. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28444.77442>
- Morozov, A. O. (2022). Decision-making. Terms and definitions. *Mathematical machines and systems*, 2, 64-67. <https://oi.org/10.34121/1028-9763-2022-2-64-67>.
- Nasserddine, G., ve Arid, A. A. El. (2022). *Decision-making systems*. IGI global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-9220-5.ch082>.

- Nath, S. (2023). A vision of precision agriculture: balance between agricultural sustainability and environmental stewardship. *Agronomy Journal*, 116 (3), 1126–1143. <https://doi.org/10.1002/agj2.21405>
- Nestel, D., Cohen, Y., Shaked, B., Alchanatis, V., Nemny-Lavy, E., Miranda, M. A., Sciarretta, A., ve Papadopoulos, N. T. (2019). An integrated decision support system for environmentally-friendly management of the ethiopian fruit fly in greenhouse crops. *Agronomy*, 9 (8), 459. <https://doi.org/10.3390/agronomy9080459>
- Nishii, K., Hughes, M., Briggs, M., Haston, E., Christie, F., DeVilliers, M. J., Hanekom, T., Roos, W. G., Bellstedt, D. U., ve Möller, M. (2015). Streptocarpus redefined to include all afro-malagasy gesneriaceae: Molecular phylogenies prove congruent with geographical distribution and basic chromosome numbers and uncover remarkable morphological homoplasies. *Taxon*, 64 (6), 1243–1274. <https://doi.org/10.12705/646.8>
- Niu, G., ve Masabni, J. G. (2018). Plant production in controlled environments. *Horticulturae*, 4 (4), 28. <https://doi.org/10.3390/horticulturae4040028>
- Nussbaumer, A., Pope, A. L., ve Neville, K. (2021). A framework for applying ethics-by-design to decision support systems for emergency management. *Information Systems Journal*, 33 (1), 34–55. <https://doi.org/10.1111/isj.12350>
- Nutt, P. C. (2008). Investigating the success of decision making processes. *Journal of Management Studies*, 45 (2), 425–455. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2007.00756.x>
- Odera, C. A., ve Karanja, F. (2019). Leveraging GIS in supply chain management for floriculture application: Nairobi county, Kenya. *Journal of Geographic Information System*, 11 (03), 389–404. <https://doi.org/10.4236/jgis.2019.113024>
- Oh, S., ve Lu, C. (2023). Vertical farming - smart urban agriculture for enhancing resilience and sustainability in food security. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 98 (2), 133-140. <https://doi.org/10.1080/14620316.2022.2141666>
- Okomoda, V. T., Oladimeji, S. A., Solomon, S. G., Olufeagba, S. O., Ogah, S. I., ve Ikhwanuddin, M. (2022). Aquaponics production system: A review of historical perspective, opportunities, and challenges of its adoption. *Food Science and Nutrition*, 11 (3), 1157–1165. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3154>
- Olego, M. Á., Quiroga, M. J., López, R., ve Garzón-Jimeno, E. (2021). The importance of liming with an appropriate liming material: Long-term experience with a typic palexerult. *Plants*, 10 (12), 1-15. <https://doi.org/10.3390/plants10122605>
- Oliveira, F. B. de, Fernandez, A., Hormazabal, J. H., ve Pino, M. del. (2022). Design thinking and compliance as drivers for decision support system adoption in Agriculture. International. *Journal of Decision Support System Technology*, 15 (2), 1–16. <https://doi.org/10.4018/IJDSST.315643>

- Oliveira, F. B. de, Ferson, S., ve Dyer, R. (2021). A collaborative decision support system framework for vertical farming business developments. *International Journal of Decision Support System Technology*, 13 (1), 1–33. <https://doi.org/10.4018/IJDSST.2021010103>
- Panferov, O., Ahrends, B., Nuske, R. S., Thiele, J. C., ve Jansen, M. (2011). Challenges in climate-driven decision support systems in forestry. İçinde *Efficient Decision Support Systems - Practice and Challenges in Multidisciplinary Domains*. InTech. <https://doi.org/10.5772/19217>
- Pascual-Pañach, J., Cugueró-Escofet, M. À., ve Sànchez-Marrè, M. (2021). Interoperating data-driven and model-driven techniques for the automated development of intelligent environmental decision support systems. *Environmental Modelling and Software*, 140, 105021. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105021>
- Pérez-Álvarez, S., Ardisana, E. F. H., Magallanes-Tapia, M. A., Montero, D. C., ve Sánchez-Chávez, E. (2023). Emerging contaminants in agriculture and ways to reduce them. İçinde *Trends in Biological Processes in Industrial Wastewater Treatment*, 23 (2), 4.1-4.34. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/978-0-7503-5678-7ch4>
- Petrakis, T., Kavga, A., Thomopoulos, V., ve Argiriou, A. A. (2022). Neural network model for greenhouse microclimate predictions. *Agriculture (Switzerland)*, 12 (6), 1-17. <https://doi.org/10.3390/agriculture12060780>
- Phupattanasilp, P., ve Tong, S.-R. (2019). Augmented reality in the integrative internet of things (Ar-IoT): Application for precision farming. *Sustainability (Switzerland)*, 11 (9), 2658. <https://doi.org/10.3390/su11092658>
- Polymeni, S., Skoutas, D. N., Kormentzas, G., ve Skianis, C. (2023). The Impact of 6G-IoT technologies on the development of agriculture 5.0: A review. *Electronics*, 12 (12), 2651. <https://doi.org/10.3390/electronics12122651>
- Querejeta, G. A. (2023). Sterilize methods comparison for soils: Cost, time, and efficiency. *International Journal of Methodology*, 2 (1), 34-40. <https://doi.org/10.21467/ijm.2.1.6263>
- Rabhi, L., Jabir, B., Falih, N., Afraites, L., ve Bouikhalene, B. (2023). A connected farm metamodeling using advanced information technologies for an agriculture 4.0. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics*, 15 (2), 93-104. <https://doi.org/10.7160/aol.2023.150208>
- Ragany, M., Haggag, M., ve El-dakhakhni, W. (2023). Closed-loop agriculture systems meta-research using text mining. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7 (April). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1074419>
- Ragaveena, S., Shirley Edward, A., ve Surendran, U. (2021). Smart controlled environment agriculture methods: A holistic review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 20 (4), 887-913. <https://doi.org/10.1007/s11157-021-09591-z>

- Ragazou,, K., Garefalakis, A., Zafeiriou, E., ve Passas, I. (2022). Agriculture 5.0: A new strategic management mode for a cut cost and an energy efficient agriculture sector. *Energies*, 15 (9), 3113. <https://doi.org/10.3390/en15093113>
- Rajput, V. (2023). Agri Solutions. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11 (6), 1187–1192. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.53811>
- Range King GitHub* (b.t). Github.com. <https://github.com/RangeKing> adresinden 18.05.2024 tarihinde alınmıştır.
- Rehman, N. (2022). Vertical farms with integrated solar photovoltaics. *Journal of Solar Energy Engineering*, 144 (1). <https://doi.org/10.1115/1.4052055>
- Riksen, V., Maksimovich, K., Kizimova, T., Galimov, R., ve Fedorov, D. (2022). Elements of the decision support system in the agricultural production processes. İçinde *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 331, 389–398. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7780-0_34
- Rinaldi, M., Rinaldi, M., ve He, Z. (2014). *Decision support systems to manage irrigation in agriculture*. İçinde *Advances in Agronomy*, 123, 229–279. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420225-2.00006-6>
- Rivera, X. C. S., Rodgers, B., Odanye, T., Jalil-Vega, F., ve Farmer, J. R. (2022). The role of aeroponic container farms in sustainable food systems – The environmental credentials. *Science of the Total Environment*, 860. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160420>
- Roffi, T. M., ve Jamhari, C. (2023). Internet of things based automated monitoring for indoor aeroponic system. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 13 (1), 270. <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i1.pp270-277>
- Rolland, E., Patterson, R. A., Ward, K., ve Dodin, B. (2010). Decision support for disaster management. *Operations Management Research*, 3 (1–2), 68–79. <https://doi.org/10.1007/s12063-010-0028-0>
- Roma, E., Laudicina, V. A., Vallone, M., ve Catania, P. (2023). Application of precision agriculture for the sustainable management of fertilization in olive groves. *Agronomy*, 13 (2), 324. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020324>
- Saha, P., Kumar, V., Kathuria, S., Gehlot, A., Pachouri, V., ve Duggal, A. S. (2023). Precision agriculture using internet of things and wireless sensor networks. İçinde *International Conference on Disruptive Technologies 2023*, 519-522. <https://doi.org/10.1109/ICDT57929.2023.10150678>
- Saraswat, S., ve Jain, M. (2021). *Adoption of vertical farming technique for sustainable agriculture*. İçinde *Climate Resilience and Environmental Sustainability Approaches* (ss. 185–201). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0902-2_10

- Sayed, B. T. (2021). Application of expert systems or decision-making systems in the field of education. *Information Technology in Industry*, 9 (1), 1396–1405. <https://doi.org/10.17762/itii.v9i1.283>
- Schulman, B., Blake, J. T., ve Donald, R. (2023). A production capacity investment decision-making tool for the indoor vertical farming industry. *Smart Agricultural Technology*, 5 (March), 100244. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100244>
- Sciarretta, A., Tabilio, M. R., Amore, A., Colacci, M., Miranda, M. A., Nestel, D., Papadopoulos, N. T., ve Trematerra, P. (2019). Defining and evaluating a decision support system (DSS) for the precise pest management of the mediterranean fruit fly, *ceratitis capitata*, at the farm level. *Agronomy*, 9 (10), 608. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100608>
- Seneviratne, K. (2012, 12 Aralık). *Farming in the sky in Singapore*, Our World. <http://ourworld.unu.edu/en/farming-in-the-sky-in-singapore> adresinden 10.08.2023 tarihinde alınmıştır.
- Sengodan, P. (2022). An overview of vertical farming: Highlighting The Potential İn Malaysian high-rise buildings. *Pertanika Journal Of Science And Technology* 30 (2), 949–981. <https://doi.org/10.47836/pjst.30.2.06>
- Seok, Y. J., Hyun, P. S., Seok, K. H., Sung, L. T., Young, L. J., Won, N. C., Rok, O. S., Jo, H. H., ve Ho, J. C. (2019). Nutrient supplying apparatus for controlled horticulture based on optimal valve control model. (Patent No. KR20190032029A). Güney Kore. <https://patents.google.com/patent/KR20190032029A>
- Shamshiri, R. R., Kalantari, F., Ting, K. C., Thorp, K. R., Hameed, I. A., Weltzien, C., Ahmad, D., ve Shad, Z. (2018). Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11 (1), 1-22. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181101.3210>
- Sharda, R., Delen, D., ve Turban, E. (2020). *Analytics, data science, ve artificial intelligence*. Pearson.
- Sharma, S., Dhanda, N., ve Verma, R. (2023). Urban vertical farming: A review. *Proceedings of the 13th International Conference on Cloud Computing, Data Science and Engineering*, 6, 432–437. <https://doi.org/10.1109/Confluence56041.2023.10048883>
- Shasteen, K. C., ve Kacira, M. (2023). Predictive modeling and computer vision-based decision support to optimize resource use in vertical farms. *Sustainability (Switzerland)*, 15 (10), 7812. <https://doi.org/10.3390/su15107812>
- Sigrimis, N., Antsaklis, P. J., ve Groumpos, P. P. (2001). Advances in control of agriculture and the environment. *IEEE Control Systems Magazine*, 21 (5), 8–12. <https://doi.org/10.1109/37.954516>

- Silahtaroğlu, G. (2017). *Implementing adaptive strategies of decision support systems during crises*. İçinde Contributions to Management Science (ss. 287–302). https://doi.org/10.1007/978-3-319-44591-5_20
- Simanca Herrera, Fredys Alberto, Páez Páez, Jaime Alberto, Cabiativa, D., Camilo, E., Hernández, P., ve Vicente, J. (2023). *La agricultura de precisión y herramientas TIC de apoyo*. İçinde *In La agricultura de precisión y herramientas TIC de apoyo*. Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. <https://doi.org/10.16925/9789587604153>
- Simanungkalit, E., Husna, M. S., ve Tarigan, J. S. B. (2023). Smart farming on IoT-based aeroponik systems. *Sinkron : Jurnal Dan Penelitian Teknik Informatika*, 8 (1), 505–511. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i1.11988>
- Singh, A., Dhiman, N., Kar, A. K., Singh, D., Purohit, M. P., Ghosh, D., ve Patnaik, S. (2020). Advances in controlled release pesticide formulations: Prospects to safer integrated pest management and sustainable agriculture. *Journal of Hazardous Materials*, 85, 121525. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121525>
- Singh, H., ve Sharma, N. (2013). Decision support system for precision farming. İçinde *International Journal of Computers & Technology*, 4 (1), 76–81. <https://doi.org/10.24297/ijct.v4i1b.3065>
- Singh, R. K., Berkvens, R., ve Weyn, M. (2021). Agrifusion: An architecture for IOT and emerging technologies based on a precision agriculture survey. *IEEE Access*, 9, 136253–136283. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3116814>
- Siregar, R. R. A., Seminar, K., Wahjuni, S., ve Santosa, E. (2022). Vertical farming perspectives in support of precision agriculture using artificial intelligence: A review. *Computers*, 11 (9), 135. <https://doi.org/10.3390/computers11090135>
- Skalski, S. (2019). *Mixing it up*. African Violet Society of America. <https://africanvioletsocietyofamerica.org/learn/violets-101/mixing-it-up-2/> adresinden 13.02.2024 tarihinde alınmıştır.
- Skalski, S. (2020). *Watering African violets*. African Violet Society of America. <https://africanvioletsocietyofamerica.org/learn/violets-101/2146-2/> adresinden 13.02.2024 tarihinde alınmıştır.
- Sky Greens*. (b.t). Sky Greens. <https://www.skygreens.com/> adresinden 09.10.2023 tarihinde alınmıştır.
- Smith, J. (b.t). *African Violets in Cultivation*. The Gesneriad Reference Web. <https://gesneriads.info/articles/saintpaulia/saintpaulia/history-in-cultivation/> adresinden 05.07.2023 tarihinde alınmıştır.
- Sott, M. K., Furstenau, L. B., Kipper, L. M., Giraldo, F. D., López-Robles, J. R., Cobo, M. J., ve Zahid, A. (2020). Precision techniques and agriculture 4.0 technologies to promote sustainability in the coffee sector: State of the art, challenges and future trends. *Ieee Access*, 8, 149854–149867. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3016325>

- Sridevy, S., Devi, M. N., ve Sankar, M. (2023). *Decision support systems in agricultural industry perspective. International Journal of Statistics and Applied Mathematics*, 8 (2S), 29–31. <https://doi.org/10.22271/math.2023.v8.i2Sa.984>
- Stefan, R., ve Căruțașu, G. (2021). A validation model for ethical decisions in artificial intelligence systems using personal data. *Matec Web of Conferences*, 343, 07016. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134307016>
- Stork, K., ve Stork, J. (2017). *Eight tips for successful repotting*. African Violet Society of America. <https://africanvioletsocietyofamerica.org/learn/violets-101/tips-for-successful-repotting/> adresinden 18.03.2024 tarihinde alınmıştır.
- Su, H. C. (2020). A container style vertical farming system. (Patent No. KR102235764B1). Güney Kore. <https://patents.google.com/patent/KR102235764B1>
- Sultanov, M., Ishankhodjayev, G., Parpiyeva, R., ve Norboyeva, N. (2023). Creation of intelligent information decision support systems. *E3S Web of Conf.*, 365, 1-7 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336504031>
- Svertoka, E., Svertoka, E., Balanescu, M., Suci, G., Pasat, A., ve Drosu, A. (2020). Decision support algorithm based on the concentrations of air pollutants visualization, *Sensors (Switzerland)*, 20 (20), 1–15. <https://doi.org/10.3390/s20205931>
- Tablada, A., ve Kosorić, V. (2022). *Vertical farming on facades: transforming building skins for urban food security*. İçinde Rethinking Building Skins: Transformative Technologies and Research Trajectories (ss. 285–311). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822477-9.00015-2>
- Tan, B., Li, Y., Liu, T., Tan, X., He, Y., You, X., Leong, K. H., Liu, C., ve Li, L. (2021) (2021). Response of plant rhizosphere microenvironment to water management in soil- and substrate-based controlled environment agriculture (CEA) systems: A review. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.691651>
- Tan, H. (2017). A brief history and technical review of the expert system research. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 242 (1), 012111. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/242/1/012111>
- Tan, L., Hou, H., ve Zhang, Q. (2016). An extensible software platform for cloud-based decision support and automation in precision agriculture. *2016 IEEE 17th International Conference on Information Reuse and Integration*, 218–225. <https://doi.org/10.1109/IRI.2016.35>
- Tan, P. J. (2022). Environmental information system using embedded systems aimed at improving the productivity of agricultural crops in the department of meta. İçinde *Lecture Notes in Networks and System*, 559, (ss. 837–849). https://doi.org/10.1007/978-3-031-18461-1_55

- Taraglio, S., Chiesa, S., Porta, L. La, Pollino, M., Verdecchia, M., Tomassetti, B., Colaiuda, V., ve Lombardi, A. (2019). Decision support system for smart urban management: Resilience against natural phenomena and aerial environmental assessment. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 24, 135-146. <https://doi.org/10.5278/ijsepm.3338>
- Türk Dil Kurumu. (b.t). *Türk dil kurumu sözlükleri*. <https://sozluk.gov.tr/?ara=karar> vermek adresinden 12.04.2024 tarihinde erişilmiştir.
- Tessa N. (2018). *Is vertical farming really sustainable?*, Eit Food. <https://www.eitfood.eu/blog/is-vertical-farming-really-sustainable> adresinden 01.04.2024 tarihinde alınmıştır.
- Thilakarathne, N. N., Bakar, M. S. A., Abas, P. E., ve Yassin, H. (2023). Towards making the fields talks: A real-time cloud enabled IoT crop management platform for smart agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1030168>
- Tiwari, A., Katsabekis, A., ve Maxwell, V. M. (2022). Shaping and tuning lighting conditions in controlled environment agriculture: A review. *ACS Agricultural Science and Technology*, 2 (1), 3–16. <https://doi.org/10.1021/acsagscitech.1c00241>
- Tkachenko, V., Velikanova, L. O., ve Tkachenko, H. (2022). Development of an automated information system for calculating the break-even nitrogen balance in field crop rotations. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1069 (1), 012046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1069/1/012046>
- Torres-Sánchez, R., Navarro-Hellín, H., Guillamon-Frutos, A., San-Segundo, R., Ruiz-Abellón, M. C., ve Domingo-Miguel, R. (2020). A decision support system for irrigation management: analysis and implementation of different learning techniques. *Water (Switzerland)*, 12 (2), 548. <https://doi.org/10.3390/w12020548>
- Trigg, J. (b.t). *Hybridizing African violets*, African Violet Society of America. <https://africanvioletsofamerica.org/learn/violets-101/hybridizing-african-violets/> adresinden 11.04.2024 tarihinde alınmıştır.
- Tsiropoulos, Z. (2022). EffiSpray: Development of an innovative decision support system for increasing spraying application efficiency. *World Journal of Agriculture and Soil Science*, 8 (3). <https://doi.org/10.33552/wjass.2022.08.000686>
- Tu, J.-Y., Chen, C.-Y., ve Hsiao, W.-D. (2015). Dynamic and numerical issues relating to the control robustness of dynamically substructured systems. *Structural Control and Health Monitoring*, 22 (3), 518–534. <https://doi.org/10.1002/stc.1685>
- Udartseva, O. V. (2022). The use of information technologies to assess the parameters of environmental safety of technological processes in the agro-industrial complex. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 949 (1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012021>

- Udartseva, O. V. (2023). The application of information technologies to control environmental safety in agricultural production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1206 (1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1206/1/012013>
- Uztürk, D., ve Büyüközkan, G. (2023). A Linguistic MCDM Approach to Overcome Future Challenges of Vertical Farming. İçinde *Lecture Notes in Production Engineering: FL164* (ss. 681–691). https://doi.org/10.1007/978-3-031-18641-7_63
- Vega, J. A. Dela, Gonzaga, J. A., ve Lim, L. A. G. (2021). Fuzzy-based automated nutrient solution control for a hydroponic tower system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1109 (1), 012064. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1109/1/012064>
- Venkatalakshmi, B., ve Devi, P. (2014). Decision support system for precision Agriculture. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 03 (19), 849–852. <https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0319154>
- Victor, N., Kumar, P., Maddikunta, R., Raj, D., Mary, K., Murugan, R., Gadekallu, T. R., Rakesh, N., Zhu, Y., ve Paek, J. (2024). Remote sensing for agriculture in the era of industry 5.0 – A survey. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 17, 5920–5945. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2024.3370508>
- Vijayakumar, V., ve Balakrishnan, N. (2021). Artificial intelligence-based agriculture automated monitoring systems using WSN. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 12 (7), 8009–8016. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02530-w>
- Vilone, G., ve Longo, L. (2020). Explainable artificial intelligence: A systematic review. *arXiv Preprint*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.00093>
- When and how to divide*. (2020). Baby Violets. <https://www.babyviolets.com/when-and-how-to-divide-separate-african-violet-leaf-babies-from-mother-leaf/> adresinden 27.12.2024 tarihinde alınmıştır.
- Wajid, A., Hussain, K., Ilyas, A., Habib-ur-Rahman, M., Shakil, Q., ve Hoogenboom, G. (2021). Crop models: important tools in decision support system to manage wheat production under vulnerable environments. *Agriculture*, 11 (11), 1166. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111166>
- Walker, R. A. (2004). *Decision-making processes BT - Multilateral conferences: Purposeful international negotiation* (R. A. Walker (Ed.), (ss. 159–172). Palgrave Macmillan UK. https://doi.org/10.1057/9780230514423_10
- Wang, Y., Chandrasekaran, J., Haberkorn, F., Dong, Y., Gopinath, M., ve Batarseh, F. A. (2022). DeepFarm: AI-Driven management of farm production using explainable causality. *Proceedings - 2022 IEEE 29th Annual Software Technology Conference, 2022*, 27–36. <https://doi.org/10.1109/STC55697.2022.00013>

- Wee;, B. S., Chin;, C. S., ve Sharma, A. (2022). Artificial intelligence of things enabled fungiculture in shipping container. *2022 IEEE/ACIS 23rd International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing*, 115–119. <https://doi.org/10.1109/SNPD54884.2022.10051780>
- Weisenhorn, J. (2018). *African violets*, University of Minnesota Extension. <https://extension.umn.edu/houseplants/african-violets#temperature-and-humidity-111511> adresinden 12.12.2023 tarihinde alınmıştır.
- What is cea in agriculture* (2024). Atop Lighting. <https://www.atophort.com/news/what-is-cea-in-agriculture.html> adresinden 16.05.2024 tarihinde alınmıştır.
- Wheeler, R. M. (2023). NASA’s contributions to vertical farming. *Acta horticulturae*, (1369), 1–13. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2023.1369.1>
- Wolf, D. C., Dao, T. H., Scott, H. D., ve Lavy, T. L. (1989). Influence of sterilization methods on selected soil microbiological, physical, and chemical properties. *Journal of Environmental Quality*, 18 (1), 39-44. <https://doi.org/10.2134/jeq1989.00472425001800010007x>
- Wood, J., Wong, C., ve Paturi, S. (2020). Vertical farming: An assessment of Singapore city. *eTropic*, 19 (2), 228-248. <https://doi.org/10.25120/ETROPIC.19.2.2020.3745>
- Wyckhuys, K. A. G., Wongtiem, P., Rauf, A., Thancharoen, A., Heimpel, G. E., Le, N. T. T., Fanani, M. Z., Gurr, G. M., Gurr, G. M., Lundgren, J. G., Burra, D. D., Palao, L. K., Hyman, G., Graziosi, I., Le, V. X., Cock, M. J. W., Tschardtke, T., Wratten, S. D., Wratten, S. D., ... Neuenschwander, P. (2018). Continental-scale suppression of an invasive pest by a host-specific parasitoid underlines both environmental and economic benefits of arthropod biological control. *PeerJ*, 2018 (10), e5796. <https://doi.org/10.7717/peerj.5796>
- Xhimitiku, I., Bianchi, F., Proietti, M., Tocci, T., Marini, A., Menculini, L., Termite, L. F., Pucci, E., Garinei, A., Marconi, M., ve Rossi, G. (2021). Anomaly detection in plant growth in a controlled environment using 3d scanning techniques and deep learning. *2021 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry, MetroAgriFor 2021 - Proceedings*, 86–91. <https://doi.org/10.1109/metroagrifor52389.2021.9628481>
- Yang, J.-S., Park, S. H., Jhin, C. H., Jung, D. H., Lee, J. Y., ve Nho, C. W. (2020). Neural network based nutrient solution control system and method. (Patent No. KR20200084407A). Güney Kore. <https://patents.google.com/patent/KR20200084407A>
- Yang, Z. (2023). Design of intelligent decision support system based on artificial intelligence. İçinde X. Kong ve F. Falcone (Ed.), *3rd International Conference on Internet of Things and Smart City*, (s. 44). <https://doi.org/10.1117/12.2683893>

- Yet ain't markup language. (2024). *YAML Ain't Markup Language (YAML™) version 1.2*, YAML Org. <https://yaml.org/spec/1.2.2/#12-yaml-history> adresinden 13.03.2024 tarihinde alınmıştır.
- Yoon, S. wook, ve Nam, S. (2023). Fully automatic controlled environment agriculture using machine learning based plant size estimator. *Journal of Student Research*, 12 (1). <https://doi.org/10.47611/jsrhs.v12i1.3926>
- York, W. (2007). *Research drives market for African violets*, Ocala.com. <https://www.ocala.com/story/news/2007/08/14/research-drives-market-for-african-violets/31214511007/> adresinden 08.08.2023 tarihinde alınmıştır.
- Young, M. D., Ros, G. H., ve Vries, W. de. (2021). A decision support framework assessing management impacts on crop yield, soil carbon changes and nitrogen losses to the environment. *İçinde European Journal of Soil Science*, 72, (4), ss. 1590–1606. <https://doi.org/10.1111/ejss.13024>
- Zainurin, S. N., Ismail, W. Z. W., Mahamud, S. N. I., Ismail, I., Jamaludin, J., ve Aziz, N. A. A. (2023). Integration of sensing framework with a decision support system for monitoring water quality in Agriculture. *Agriculture (Switzerland)*, 13 (5), 1000. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051000>
- Zalessky, D. M. (1983). *Book of Saintpaulia*, 71 (34).
- Zaręba, A., Krzemińska, A., ve Kozik, R. (2021). Urban vertical farming as an example of nature-based solutions supporting a healthy society living in the urban environment. *Resources*, 10 (11), 109. <https://doi.org/10.3390/resources10110109>
- Zasada, I., Piorr, A., Novo, P., Villanueva, A. J., ve Valánszki, I. (2017). What do we know about decision support systems for landscape and environmental management? A review and expert survey within EU research projects. *Environmental Modelling and Software*, 98, 63–74. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.09.012>
- Zaslavskaya, V. L. (2022). Decision support systems and their role in information management systems. *Ekonomika I Upravljenje: Problemy, Resheniya*, 12/2 (132), 144–153. <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2022.12.02.017>
- Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V., ve Martínez, N. L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170 (February), 105256. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>
- Zhenqian, Z., Chi, Z., Xiangchun, W., Zhihong, Z., Liancai, D., Weixia, W., Xuezhi, G., ve Shuqin, C. (2014). *Agricultural environment information control device with carbon dioxide sensor interface circuit*. (Patent No. CN203838506U). Çin. <https://patents.google.com/patent/CN203838506U>
- Zhu, X., ve Marcelis, L. (2023). Vertical farming for crop production. *Modern Agriculture*, 1 (1), 13-15. <https://doi.org/10.1002/moda.4>

Zubler, A. V., ve Yoon, J. Y. (2020). Proximal methods for plant stress detection using optical sensors and machine learning. *Biosensors*, 10 (12), 193. <https://doi.org/10.3390/BIOS10120193>



EKLER

Ek 1. *Proje Kaynak Dosyaları ve Kodlar*

<https://github.com/hamidasim/VEFA>



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Hamid Asım ÇÖKREN

ÖĞRENİM DURUMU

Öğrenim Derecesi	Öğrenim Yeri	Öğrenim Yılı
Doktora	Sakarya Üniversitesi/İşletme Enstitüsü/Yönetim Bilişim Sistemleri	Devam Ediyor
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü/e-MBA Programı	2013
Lisans	Kocaeli Üniversitesi/İşletme Bölümü	1995-2000
Lise	İzmit Teknik Lisesi	1990-1994

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2001-Devam Ediyor	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ	Öğretim Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce

ESERLER

Cokren, H. A., Karacadag, M. C., Yilmaz, M., Cebeci, H. I., (2013, Haziran 27) *Empirical Investigation Usability of ELearning Platform at Sakarya University*, “sözlü sunum” EuroTecS 2013, European Conference of Technology and Society ISSN 2303-4580, The International University of Sarajevo, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina,.

Hızıroğlu, A., Areta O., Taşçı T., Çökren H. A., Özçelik T. Ö., Selvi İ. H., Ayanoğlu Z., Prokova R., Goranova M., Lazarov A., Grudeva P., Vaysilova S., Bossenmeyer-Pham C., ve Messeleka N. (2012). *Occupational health ve safety course materials*, Sakarya University Press, 978-9757988-98-4, Sakarya.

Süs bitkisi üretiminde çevre kontrollü dikey tarım ve bir karar destek sistemi uygulaması: hibrit Afrika menekşesi örneği, Proje No: TAGEM-21/AR-GE/04 2022-

Erasmus+ KA220-You Project, Language Tree, Proje Ref.: 2021-2-TR01-KA220-YOU-000048606, 2021-

Metalik parçaların bilgisayar görmesi ile kalite kontrolünün sağlanması, Proje No: 5160018, 2018-2020

STeP – Strategy Training e-Platform, Proje Ref.: 2013-1-TR1-LEO05-47550, 2013-2015

Elektrikli taşıtların bakımı için mesleki eğitim platformu oluşturulması, Proje Ref.: 2012-1-TR1-LEO05-35189, 2012-2014, 2010-2012

e-TPOHS - e-training platform for occupational health ve safety, Proje Ref.: 2010-1-TR1-LEO05-16767, 2010-2012

