



**TARIMSAL İHA (DRON)'LARIN HASSAS
TARIMDA KULLANIMI VE BİTKİ
KORUMADAKİ ROLÜ**

İbrahim AYDINOĞLU

Danışman: Prof. Dr. Göksel TOZLU

Yüksek Lisans Tezi

Bitki Koruma Ana Bilim Dalı

2024

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİTKİ KORUMA ANA BİLİM DALI

**TARIMSAL İHA (DRON)'LARIN HASSAS TARIMDA KULLANIMI VE BİTKİ
KORUMADAKİ ROLÜ**

(Usage of Agricultural UAVS (İHA) in Precision Agriculture and Their Role in Plant
Protection)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim AYDINOĞLU

Danışman: Prof. Dr. Göksel TOZLU

Erzurum
Nisan, 2024

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

İbrahim AYDINOĞLU tarafından hazırlanan “Tarımsal İHA (Dron)’ların Hassas Tarımda Kullanımı ve Bitki Korumadaki Rolü” başlıklı çalışması 30/04/2024 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Bitki Koruma Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Temel GÖKTÜRK <i>Artvin Çoruh Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Danışman:	Prof. Dr. Göksel TOZLU <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. İrfan ÇORUH <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN
Enstitü Müdürü

Aslı ıslak imzalıdır

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak *Prof. Dr. Göksel TOZLU* danışmanlığında sunulan “Tarımsal İHA (Dron)’ların Hassas Tarımda Kullanımı ve Bitki Korumadaki Rolü” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	0	30
Kuramsal Temeller	16	30
Materyal ve Metot	13	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	8	20
Sonuçlar	1	20
Tezin Geneli	12	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5’den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
İbrahim AYDINOĞLU	Prof. Dr. Göksel TOZLU
30.4.2024	30.4.2024
İmza: Aslı ıslak imzalıdır	İmza: Aslı ıslak imzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/.../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/.../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince tezimin her aşamasında bana rehberlik eden, değerli görüş ve önerileri ile desteğini hiç esirgemeyen Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölüm Başkanı, saygıdeğer danışman hocam Sayın Prof. Dr. Göksel TOZLU'ya,

Tez çalışmamı inceleyerek değerli görüş ve önerileriyle çalışmama katkıda bulunan tez jüri üyeleri Sayın Prof. Dr. İrfan ÇORUH ve Sayın Prof. Dr. Temel GÖKTÜRK hocalarıma,

Eğitimim boyunca yapmış oldukları değerli katkılardan dolayı Ziraat Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Önder ÇALMAŞUR başta olmak üzere, Bitki Koruma Bölümündeki çok değerli hocalarıma, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaştıkları için içtenlikle teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında sabırla yanımda olan ve hayatıma anlam katan sevgili eşim Pınar AYDINOĞLU'na, canım yavrularım İpek AYDINOĞLU ve Arda AYDINOĞLU'na, evimizin minik üyesi Mia'ya, desteğini her zaman yüreğimde hissettiğim canım annem Lutfiye KUŞCU ve babam Abdullah AYDINOĞLU'na, tezimin yazım ve düzeltme aşamalarında desteklerini esirgemeyen kız kardeşlerim Tuba DEMİREL ve Ayşe TÜLAY AKYÜZ'e, entelektüel birikimi ve hayat tecrübesiyle kendisini rehber edindiğim dayım İbrahim KUŞÇU'ya sonsuz sevgi ve saygılarımı sunuyorum. Onların maddi ve manevi desteği olmasaydı bu çalışmayı tamamlamam mümkün olmazdı. Her birine en derin şükranlarımı sunuyorum.

İbrahim AYDINOĞLU

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIMSAL İHA (DRON)'LARIN HASSAS TARIMDA KULLANIMI VE BİTKİ KORUMADAKİ ROLÜ

İbrahim AYDINOĞLU

Danışman: Prof. Dr. Göksel TOZLU

Amaç: Bu çalışma hassas tarımda İHA (insansız hava aracı) teknolojisinin kullanımını ve bu teknolojinin bitki koruma, tarım verimliliği ve sürdürülebilirliği üzerindeki etkilerini ele almaktadır.

Materyal ve Metot: Çalışmanın materyalini, 2023 yılı üretim sezonunda Manisa ilinde mısır ve ayrıca pamuk bitkisinde kurulan deneme parsellerinde İHA ile yapılan saha uygulamaları ve gözlemleri oluşturmuştur. Bu gözlemler, çalışmanın birincil veri kaynağını oluştururken, tarım il ve ilçe müdürlükleri, internet kaynakları, yerli ve yabancı kaynaklardan derlenen genel bilgiler ile konuyla ilgili istatistik veriler araştırmanın ikincil kaynaklarını oluşturmaktadır.

Bulgular: Çalışma sonucunda saha uygulaması kapsamında, Manisa Muradiye mahallesinde belirlenen arazide mısır bitkisinde kurulan deneme parsellerinde ekim yapıldıktan sonra yabancı ot mücadelesinde popülasyon takibi için Sentera DJI Phantom 4 Pro V2.0 marka dron ile arazi haritası çıkarılmıştır. Çıkarılan haritalarda tarla-bitki sağlığı ile arazideki yabancı ot popülasyon yoğunluğu NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi) teknolojisi kullanılarak gözlemlenmiştir. Manisa Halitpaşa mahallesinde belirlenen ikinci arazide pamuk bitkisinde kurulan deneme parsellerinde zararlı böceklerle karşı DJI Agras T40 marka dron ve pülverizatör ile ayrı ayrı ilaçlama yapılmıştır. İlaçlama sonrası yapılan kaba sürvey ile zararlı böceklerin yoğunluğu kontrol edilerek İHA ve pülverizatör ile ilaçlama uygulamasının sonuçları kıyaslanmıştır.

Sonuç: Yapılan bu çalışmalar ile İHA teknolojisinin tarım sektöründe nasıl etkin bir şekilde kullanılabileceği ve özellikle hassas tarım uygulamalarında ve bitki koruma stratejilerinde nasıl önemli bir rol oynayabileceği detaylı bir şekilde ele alınmış, yapılan uygulama ve gözlemle literatürdeki bulgular doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hassas Tarım, Bitki Koruma, İnsansız Hava Araçları, İHA, NDVI, Yabancı Ot Yönetimi, Yapay Zeka.

Nisan 2024, 78 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

USAGE OF AGRICULTURAL UAVS (İHA) IN PRECISION AGRICULTURE AND THEIR ROLE IN PLANT PROTECTION

İbrahim AYDINOĞLU

Supervisor: Prof. Dr. Göksel TOZLU

Aim: This thesis explores the innovative application of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), commonly known as İHAs, in the realm of precision agriculture. It delves into how this technology impacts plant protection, enhances agricultural productivity, and contributes to sustainable farming practices.

Materials and Methods: The materials of the study consist of field applications and observations conducted using UAVs in corn-cotton crop trial plots established during the 2023 production season in Manisa province. These observations form the primary data source of the study, while general information compiled from the agricultural district and sub-district directorates' online resources, as well as local and international sources and related statistical data, constitute the secondary sources of the research.

Results: The study found that after planting in the corn trial plots established in the Muradiye neighborhood of Manisa, a Sentra DJI Phantom 4 Pro V2.0 drone was used to map the area for population monitoring in weed control. The maps produced were used to observe field-plant health and the density of weed populations using NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) technology. In the second trial area determined in the Halitpaşa neighborhood of Manisa, separate spraying was performed with a DJI Agras T40 drone and a pulverizer in the cotton trial plots against harmful insects. After the spraying, a rough survey was conducted to control the intensity of harmful insects, and the results of the spraying applications using the UAV and the pulverizer were compared.

Conclusion: This comprehensive study demonstrates the potential and effectiveness of UAV technology in agriculture, particularly highlighting its role in precision farming and plant protection. The practical applications and observations conducted corroborate existing literature, showcasing UAVs as a pivotal tool in advancing agricultural practices.

Keywords: Precision Agriculture, Plant Protection, Unmanned Aerial Vehicles, UAV, NDVI, Weed Management, Artificial Intelligence.

April 2024, 78 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	xi
GİRİŞ.....	1
Araştırmanın Amacı ve Önemi.....	1
Tezin Kapsamı ve Yapılan Çalışmanın Katkıları	2
Araştırma Probleminin Tanımı ve Araştırma Soruları	2
KURAMSAL TEMELLER.....	3
Hassas Tarım ve Bitki Koruma Kavramlarının Tanımı.....	3
İnsansız Hava Aracı Tanımı (İHA)	3
Tarımsal İHA Tanımı, Teknolojisinin Gelişimi ve Tarihsel Arka Planı	4
2000'lerin başlangıcı.....	5
2010-2012 arası	5
2013-2015 arası	5
2016-2018 arası	5
2019-2021 arası	5
2022 ve sonrası	5
İlgili Literatürün Taranması ve Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi	6
Bitki örtüsünün kapladığı alanın tespiti.....	6
Bitki durumunun analizi	7
Bitki hastalıklarının tespiti	7
Bitki türlerinin sınıflandırılması	7
3D modelleme	8
Bitki örtüsü ve biyokütle veriminin hızlı değerlendirilmesi.....	8
Müdahale ve mücadele	8
Yabancı ot tespiti	9
MATERYAL VE METOT.....	11
Materyal.....	11
Metot.....	16

Çalışma bölgesine ilişkin bilgiler	17
Mısırdaki yabancı ot mücadelesinin önemi	20
İHA ile görüntü işleme teknikleri kullanılarak yabancı ot tespiti yapılması.	22
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index / Normalleştirilmiş fark bitki örtüsü endeksi)	24
Çalışma alanı bilgileri-2 (pamuk tarlasında İHA ile pestisit uygulaması):	27
Pamuk bitkisi ve gelişim evreleri	27
Pamukta zararlı mücadelesinin önemi	28
Bitki koruma çalışmalarında İHA kullanımı	30
ARAŞTIRMA BULGULARI	31
Arazi Deneme Çalışması – 1: Mısır Tarlasında İHA ile Yabancı Ot Popülasyonu Takibi ..	31
Uygulama sonrası kontrol parselinde yapılan yabancı ot gözlemi	38
Uygulama sonrası 1 numaralı parselde yapılan yabancı ot gözlemi	40
Uygulama sonrası 2 numaralı parselde yapılan yabancı ot gözlemi	42
Uygulama sonrası 3 numaralı parselde yapılan yabancı ot gözlemi	44
Arazi Deneme Çalışması – 2: Pamuk Tarlasında İHA ile Pestisit Uygulaması	45
Traktör (tarla pülverizatörü) ile yapılan ilaçlama uygulamasına ait bilgiler	52
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	65

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Mısır Tarlalarında Sorun Olan Tek Yıllık Önemli Yabancı Otlar	22
Tablo 2. Mısır Tarlalarında Sorun Olan Çok Yıllık Önemli Yabancı Otlar	22
Tablo 3. Türkiye’de Pamukta Görülen Önemli Zararlılar	29
Tablo 4. Bazı Önemli Pamuk Zararlılarına Karşı Kimyasal Mücadelede Uygulanmakta Olan Ekonomik Zarar Eşikleri.....	30
Tablo 5. Uygulama Parselinde Kullanılan Herbisitlerin, Aktif Maddeleri, Uygulama Dozları ve Kontrol Ettikleri Yabancı Otlar	36
Tablo 6. Uygulama Parselinde Kullanılan İnsektisitler, Aktif Madde, Uygulama Dozu ve Kontrol Ettiği Zararlılar.....	50

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. İHA'ların tarımda kullanım alanları	4
Şekil 2. Sentera DJI Phantom 4 Pro V2.0	12
Şekil 3. Sentera DJI Phantom 4 Pro V2.0 NDVI sensör entegrasyonu.....	13
Şekil 4. DJI Agras T40 genel görünüm.....	13
Şekil 5. DJI Agras T40 pestisit hazırlama ve püskürtme	14
Şekil 6. DJI Agras T40 katı gübre tankı ve gübre yayma	14
Şekil 7. DJI Agras T40 engel algılama ve çarpışma önleme sistemi	15
Şekil 8. DJI agras T40 3 boyutlu arazi haritalama	15
Şekil 9. DJI Agras T40 uzaktan kumanda.....	16
Şekil 10. Çalışma bölgesinin yeri.....	17
Şekil 11. Manisa fiziki haritası.....	18
Şekil 12. Çalışma alanı-1, 30 da'lık mısır tarlası	19
Şekil 13. Mısır bitkisinin gelişim evreleri	20
Şekil 14. Yabancı ot mücadelesinde kullanılan hassas ve akıllı sistemlerin çalışma prensibi	23
Şekil 15. Yabancı ot tespitinde kullanılan farklı özellikteki kameralardan alınan arazi görüntüleri	24
Şekil 16. NDVI temel çalışma prensibi.....	24
Şekil 17. Bitkilerden yansıyan güneş radyasyonunun okunması ve işlenmesi	26
Şekil 18. Çalışma alanı-2, 10 da'lık pamuk tarlası	27
Şekil 19. Pamuk bitkisinin gelişim evreleri	28
Şekil 20. Arazi çalışmasına ilişkin uçuş planı örneği.....	32
Şekil 21. Deneme yapılan parselde ait mısır bitki sayımları görünmektedir (Orijinal)	32
Şekil 22. Örnek tarla/bitki sağlığı haritası çalışması.....	33
Şekil 23. Deneme parseline ait tarla/bitki sağlığı çalışması, tarla sağlığı zayıf olan alan (1), tarla sağlığı iyi olan alan (2).....	34
Şekil 24. Kontrol ve herbisit uygulama parselleri.....	35
Şekil 25. (1) Serçe dili=Kuşotu (<i>Stellaria media</i>), (2) Yabani Hardal (<i>Sinapis arvensis</i>), (3) Sirken (<i>Chenopodium album</i>), (4) Köpek Üzümü (<i>Solanum nigrum</i>)	35
Şekil 26. Herbisit uygulaması sonrası İHA ile yabancı ot popülasyonu gözlemi	38
Şekil 27. Kontrol parseli 7. gün gözlemi ve yabancı ot sayım grafiği	39
Şekil 28. Kontrol parseli 14. gün gözlemi.....	40
Şekil 29. Kontrol parseli 21. gün gözlemi.....	40

Şekil 30. İlaçlama parseli (1), 7. gün gözlemi.....	41
Şekil 31. İlaçlama parseli (1) 21. gün gözlemi ve herbisit etki grafiği	42
Şekil 32. İlaçlama parseli (2), 7. gün gözlemi.....	43
Şekil 33. İlaçlama parseli (2) 21. gün gözlemi ve herbisit etki grafiği	44
Şekil 34. İlaçlama parseli (3), 7. gün gözlemi.....	45
Şekil 35. İlaçlama parseli (3) 21. gün gözlemi.....	45
Şekil 36. Pamuk arazi çalışmasına ilişkin uçuş planı örneği.....	46
Şekil 37. Deneme çalışma alanı (sol üstte), İHA ve traktör uygulama parselleri ile kontrol parselinin ayrılması	47
Şekil 38. Pamuk arazi çalışmasından görüntüler 1.....	48
Şekil 39. Pamuk arazi çalışmasından görüntüler 2.....	49
Şekil 40. Pamuk arazi çalışmasından görüntüler 3.....	49
Şekil 41. DJI Agras T40 ilaçlama uygulaması ve ilaçlama öncesi hazırlık	52
Şekil 42. Tarla pülverizatörü ile ilaçlama uygulaması	53
Şekil 43. İlaç uygulaması sonrası yaprak biti kontrolü	54
Şekil 44. İlaç uygulaması sonrası trips kontrolü	54
Şekil 45. İlaç uygulaması sonrası yeşilkurt kontrolü	55
Şekil 46. İlaç uygulaması sonrası yaprak piresi kontrolü.....	55

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

da	: Dekar
dk	: Dakika
h	: Saat
IPM	: Integrated Pest management (Entegre Zararlı Yönetimi)
İHA	: İnsansız Hava Aracı
L	: Litre
m	: Metre
ml	: Mililitre
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index (Normalleştirilmiş fark bitki örtüsü endeksi)
NIR	: Near Infrared Spectroscopy (Yakın Kızılötesi Spektroskopisi)
RGB	: Red Green Blue (Kırmızı Yeşil Mavi)
s	: Saniye

GİRİŞ

Araştırmanın Amacı ve Önemi

Dünya nüfusu artarken tarım alanlarının sınırlı olması ve artan gıda ihtiyacı, daha dar arazilerde daha yoğun üretimi bir zorunluluk haline getirmektedir. Tarım sektöründe, bu artan talebi karşılamak adına, her birim arazi üzerinden maksimum verim elde etmek büyük önem taşımaktadır. Bu durum, daha hızlı, daha az hata içeren ve daha iyi kontrol edilebilir tarım metotlarına olan ihtiyacı beraberinde getirmektedir. Beklenen bu verimlilik artışını sağlamak amacıyla makineleşme ve ileri teknoloji kullanımının önemi giderek artmaktadır (Çelen 2023).

Tarih boyunca insanlık, tarımsal üretim tekniklerini sürekli olarak geliştirmiştir. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte tarım alanında daha verimli, uyumlu ve çevreye duyarlı yöntemlerin arayışı hız kazanmıştır. Bu bağlamda, tarımsal insansız hava araçları (İHA) hassas tarım uygulamalarında ve bitki koruma stratejilerinde kilit bir role sahiptir. İHA'lar, tarım arazilerini detaylı bir şekilde haritalandırmak, bitkilerin sağlık durumunu izlemek, hastalık, zararlı ve yabancı otlarla mücadele amacıyla doğru ve etkili ilaçlamalar yapmak gibi çeşitli işlevleri başarıyla yerine getirebilmektedirler (Akkamış ve Çalışkan 2020; Pakdemirli vd 2021).

Hassas tarım, tarımsal faaliyetlerde kullanılan girdilerin (su, gübre, pestisitler gibi) doğru zamanda, doğru yerde ve uygun miktarlarda kullanılmasını hedefleyen bir yaklaşımdır. Bu süreçte İHA'lar, veri toplama ve analiz gibi temel işlevlerde kritik görevler üstlenmektedir. Uzaktan algılama teknolojileriyle donatılmış İHA'lar, bitki sağlığı ve toprak koşulları hakkında hızlı ve etkili bilgiler toplamakta, bu sayede de tarımsal karar alma süreçlerini iyileştirmekte büyük bir katkı sağlamaktadırlar (Villi ve Yakar 2023).

Tarımsal üretimin sürdürülebilirliği için bitki koruma hayati bir öneme sahiptir. İHA'lar bu alanda bitki hastalıkları, zararlılar ve yabancı otların erken tespiti için yüksek kaliteli görüntüleme yaparak müdahalelerin daha hedeflenmiş ve etkin olmasını sağlar. Bu teknoloji ayrıca geleneksel yöntemlere kıyasla daha az kimyasal kullanımını teşvik ederek çevreye olan olumsuz etkiyi de azaltmaktadır (Özgüven vd 2022).

İHA teknolojisinin tarımdaki yaygınlaşması, veri analiz ve işleme kapasitesinin eş zamanlı olarak genişlemesine yol açmıştır. İHA'lar tarafından toplanan bu veriler, büyük veri analiz teknikleri ve yapay zeka algoritmaları ile işlenerek değerli bilgilere dönüştürülür. Bu durum, tarımsal üretimde karşılaşılan zorluklara hızlı ve bilgiye dayalı çözümler getirme kapasitesini artırır (Özgüven 2018b).

Tarım sektörü, İHA teknolojisinin entegrasyonu sayesinde önemli bir evrim geçirmektedir. Bu yenilikçi yaklaşım, bitki sağlığının korunması ve hassas tarım tekniklerinin uygulanması konularında oldukça etkili, verimli ve doğa dostu çözümler sunmaktadır. Bu durum, tarımın sürdürülebilirliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Bununla birlikte, İHA teknolojisinin tam kapasitesinden faydalanabilmek için, teknolojik gelişmelerin yanı sıra yasal düzenlemeler ve etik hususlarda da kapsamlı araştırma ve geliştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır (Carolan 2017).

Tezin Kapsamı ve Yapılan Çalışmanın Katkıları

Teknolojik ilerlemeler, tarımsal üretim tekniklerinin sürekli geliştirilmesine olanak tanımış ve tarım alanında daha verimli, uyumlu ve çevreye duyarlı yöntemlerin arayışını hızlandırmıştır. İHA teknolojisinin entegrasyonu, tarım sektörünün önemli bir evrimini temsil ederken, bu yenilikçi yaklaşım bitki sağlığının korunması ve hassas tarım tekniklerinin uygulanması konusunda etkili, verimli ve doğa dostu çözümler sunmaktadır. Bu çalışma, İHA teknolojisinin tarımdaki mevcut ve potansiyel kullanımlarını değerlendirerek bu alandaki bilimsel literatüre katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

Araştırma Probleminin Tanımı ve Araştırma Soruları

Bu çalışmanın temel soruları şunlardır: İHA teknolojisinin hassas tarım uygulamalarında kullanımının tarım verimliliği ve sürdürülebilirliğe olan katkıları nelerdir? İHA'lar tarımsal karar alma süreçlerini iyileştirmede hangi temel işlevleri üstlenmekte ve bu işlevlerin etkinliği nasıl ölçülebilir? Bitki hastalıkları, zararlılar ve yabancı otların erken tespiti için İHA'ların sağladığı yüksek kaliteli görüntülemenin tarımsal müdahaleler üzerindeki etkisi nedir? İHA teknolojisinin geleneksel tarım yöntemleriyle karşılaştırıldığında çevresel etkilere olan katkıları nelerdir? İHA teknolojisinin tarımdaki kullanımının genişlemesi, büyük veri analizi ve yapay zeka algoritmaları ile entegrasyonun tarımsal üretimde karşılaşılan zorluklara getirdiği çözümler nelerdir?

KURAMSAL TEMELLER

Hassas Tarım ve Bitki Koruma Kavramlarının Tanımı

Hassas tarım ve bitki koruma alanlarında İHA teknolojisinin tarihsel gelişimi, tarım sektöründe verimliliği artırma ve tarım alanlarını daha etkili yönetme amacıyla başlamıştır. Bu teknoloji, özellikle değişen iklim koşulları ve artan nüfus baskısı altında sürdürülebilir tarım yöntemlerine olan ihtiyacı karşılamada kritik bir rol oynamaktadır.

Hassas tarım, tarımsal girdilerin (su, gübre, pestisitler gibi) etkin kullanımını hedefleyen bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, tarımsal üretimin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmayı amaçlar ve böylece tarımsal kaynakların daha verimli kullanımını sağlar (Kovács et al. 2023).

Bitki koruma, tarımsal üretimin önemli bir parçası olarak, bitki hastalıkları, zararlıları ve yabancı otların kontrolünü içerir. İHA'lar, bu alanda yüksek kaliteli görüntüleme yaparak, müdahalelerin daha hedeflenmiş ve etkin olmasını sağlar, bu da tarımın verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırır (Ivezić et al. 2023).

İnsansız Hava Aracı Tanımı (İHA)

İnsansız hava araçları (İHA) konusunda tek bir tanım olmamakla birlikte, bu araçlar genellikle üzerinde pilot olmayan, çeşitli görevler için özel aletlerle donatılmış, faydalı yük taşıyabilen, yerdeki bir pilot tarafından yönlendirilen ya da önceden belirlenmiş bir rota üzerinde kendi başına hareket edebilen hava taşıtları olarak tanımlanabilir (Kahveci ve Can 2017). Bu tanımlar araçların kullanım amacına ve teknolojik özelliklerine göre çeşitlilik gösterebilmektedir.

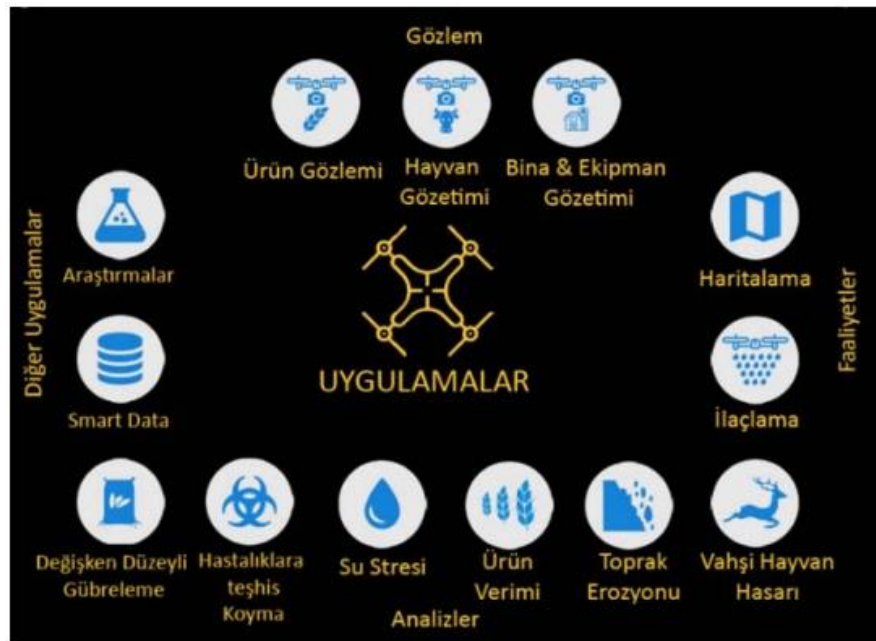
Hidrojen gazının havadan daha hafif olduğunun anlaşılmasının ardından, 1766 yılında Henry Cavendish'in bu gazı keşfetmesi, insansız hava araçlarının tarihinde bir dönüm noktası olmuştur. İlk hava balonlarının yapımına bu keşifle birlikte başlanmış ve bu balonlar, insanlı uçuşlar öncesinde insansız test uçuşları için kullanılmıştır. 19. yüzyıl boyunca, hava balonları hem askeri hem de bilimsel amaçlar için tercih edilmişlerdir. Özellikle, 1804 yılında Jean Baptiste Biot ve Joseph Louis Gay Lussac'ın, hava bileşimi ve Dünya'nın manyetik alanı hakkında bilgi toplamak amacıyla 4 kilometre yüksekliğe ulaşan bir uçuş gerçekleştirmesi, bilimsel araştırmalarda İHA'ların kullanımının ilk örneklerinden biridir. Ayrıca, 1861-1865 yılları arasında Amerikan İç Savaşı sırasında, insansız hava balonları düşman hatlarına karşı alev püskürten silahlarla donatılarak kullanılmıştır (Anonymous 2016).

Son on yıla kadar, insansız hava araçları genellikle sabit kanatlı modellerden oluşmaktaydı. Ancak zamanla, döner kanatlı ve dikey kalkış yapabilen, HD kameralarla donatılmış, helikopter benzeri tasarımlar geliştirilmiştir. Bugünlerde ise, bir yolcu uçağı büyüklüğünden küçük bir böceğe kadar boyutları değişebilen, son derece gelişmiş otonom kontrol sistemlerine sahip İHA'lar üretilmektedir. 2010 yılından itibaren İHA teknolojisi sivil kullanıma açılmış ve yapılan yasal düzenlemelerle kullanım alanları sürekli genişlemektedir (Zhang and Kovacs 2012).

Tarımsal İHA Tanımı, Teknolojisinin Gelişimi ve Tarihsel Arka Planı

Tarımsal İHA'lar aerodinamik kuvvetler sayesinde havada kalabilen ve kullanıcı tarafından yerden kontrol edilen ya da önceden belirlenmiş programlarla yönlendirilen araçlardır. Bu teknoloji, tarımsal faaliyetlerde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ürün ve arazi haritalamasından, bitki hastalıkları, zararlılar ve yabancı otların tespitine, su stresi analizinden gübreleme ve tarımsal ilaçlama planlamalarına kadar pek çok süreçte dronlar önemli bir rol oynamaktadır (Şekil 1). Ayrıca, verim ve olgunluk tahminleri gibi kritik karar verme süreçlerinde de dronlardan faydalanılmaktadır (Raj et al. 2019).

Özellikle, tozlaşma süreçlerinde dron kullanımının potansiyeli üzerine yapılan araştırmalarda, sadece 15 gram ağırlığında olan bir İHA'nın, otomatik pilot sistemi sayesinde bitkileri zarar vermeden dölleyebileceği keşfedilmiştir. Bu bulgular, bitki tozlaşmasını otomatize edecek sistemlerin geliştirilmesine yönelik çalışmaların devam ettiğini göstermektedir (Baran vd 2023).



Şekil 1. İHA'ların tarımda kullanım alanları (Türkseven vd 2016)

2000'lerin başlangıcı

Bu dönemde, İHA teknolojisinin tarım alanında kullanımı, daha çok arazi haritalama ve veri toplama amacını taşımaktaydı. Dronlar, özellikle bitki sağlığı izleme ve stres analizi gibi temel gözlem görevlerinde kullanılmaya başlandı. Örneğin, dronların topladığı veriler, bitki örtüsünün renk ve doku değişikliklerini tespit etmekte ve bu sayede bitkilerin su stresi veya hastalık gibi sorunlarını erken evrelerde belirlemekte kullanılabiliyordu (Kovács et al. 2023).

2010-2012 arası

Teknolojik gelişmeler ve maliyetlerin azalmasıyla birlikte, dronların tarım alanında kullanımı artmıştır. Bu dönemde dronlar bitki koruma uygulamalarında, hastalık, zararlılar ile mücadele ve yabancı ot tespiti gibi alanlarda kullanılmaya başlanmıştır (Subramanian et al. 2021).

2013-2015 arası

Gelişmiş sensör ve kamera teknolojilerinin entegrasyonu ile dronlar, bitkilerin sağlık durumunu daha detaylı analiz etmeye başlamıştır. Multispektral görüntüleme teknikleri, bu dönemde önem kazanmıştır (Tao et al. 2022).

2016-2018 arası

Dronların otomatik uçuş yetenekleri ve programlanabilir özellikleri gelişmiş, bu da, tarım arazilerinin daha etkin bir şekilde izlenmesini ve yönetilmesini sağlamıştır. İlaçlama gibi özel bitki koruma işlemlerinde dronların kullanımı bu dönemde artış göstermiştir (Junying 2023).

2019-2021 arası

Yapay zeka ve makine öğrenimi teknolojilerinin entegrasyonu ile dronlar, daha karmaşık bitki koruma sorunlarını çözmeye kullanılmaya başlanmıştır. Hastalık, yabancı ot tespiti, zararlı yönetimi ve verim tahmini gibi alanlarda daha hassas ve etkin çözümler sunmaya başlamışlardır. Su ve enerji gibi kritik kaynakların yönetiminde modern sulama sistemleri, otomatize edilmiş besleme mekanizmaları ve hastalık tespit teknolojileri gibi yenilikler, tarımsal üretim süreçlerini daha etkin hale getirerek kaynak kullanımı azaltılmaya başlanmıştır (Çevik 2021).

2022 ve sonrası

Sürdürülebilirlik ve çevresel etkinin artan önemiyle birlikte, dronlar ilaç ve gübre kullanımını optimize ederek, bu konularda önemli bir rol oynamaya başlamışlardır. Dronların

tarımdaki kullanımı, verimliliği artırma ve çevresel etkiyi azaltma yönünde bir trend olarak devam etmektedir (Quan et al. 2023).

Sensörler, otomatik kontrol sistemleri gibi teknolojik araçlar, tarımsal işletmelerin daha hassas ve verimli bir şekilde yönetilmesini sağlamıştır. Bu teknolojiler sayesinde, tarım arazilerinin durumu gerçek zamanlı olarak izlenebilir ve gerekli müdahaleler zamanında yapılabilir hale gelmiş, bu da kaynak kullanımının optimizasyonuna ve ürün kalitesinin artmasına olanak tanımaktadır (Ağızan vd. 2022).

İlgili Literatürün Taranması ve Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi

Günümüzde en ucuz ve gelecekte en fazla kullanılabilecek arazi izleme yöntemlerinden birisi insansız hava araçlarının kullanımı ile mümkün olabilecektir (Akkamış ve Çalışkan 2020). İnsansız hava araçları tarımsal faaliyetlerde çok yönlü olarak kullanılmakta ve bu kullanımlar gün geçtikçe artmaktadır. Urbahs and Jonaite (2013), yapmış oldukları çalışmalarda insansız hava araçlarının tarım alanında kullanımını şu şekilde özetlemektedirler;

1. Bitki örtüsünün kapladığı alanın tespiti
2. Bitkilerin durum analizi
3. Bitki hastalıklarının tespiti
4. Doğal afetler sebebiyle zarar gören mahsullerin belirlenmesi
5. Bitki örtüsü ve biyokütle veriminin hızlı değerlendirilmesi
6. Mahsul veriminin tahmini
7. Hasat sırasındaki işlemlerin izlenmesi
8. Bir sonraki yetiştirme dönemi için toprağın analizi
9. Topraktaki nemin belirlenmesi
10. Bitkilerin fizyolojik değişimlerinin öngörülmesi
11. Bitkilerdeki su stresinin saptanması
12. Yabancı ot tespiti
13. Tarımsal ilaçlamanın yapılması

İnsansız hava araçlarının bitki koruma özelinde gelişimine bakıldığında dünya genelinde yer alan bazı örnekler de aşağıda özetlenmiştir.

Bitki örtüsünün kapladığı alanın tespiti

İHA kullanılarak bitki örtüsünün kapladığı alanının ölçümü bilgisayar destekli analizlerle daha kısa sürede ve daha basit bir şekilde yapılabilmektedir. Bir soğan tarlasında yapılan araştırmada, sekiz farklı parselde yer alan bitkilerin İHA ile çekilen görüntüleri çeşitli

bilgisayar modelleri kullanılarak incelenmiş ve yaprak alan indeksi (LAI) ile bitki örtüsü (kanopi) arasında doğrusal bir ilişki olduğu bulunmuştur ($R^2=0,83$). Yine, aynı çalışmada yaprak alan indeksi ve bitki örtüsü arasındaki ilişkinin bitkilerin gelişme dönemlerine göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Córcoles et al. 2013). Bu çalışma İHA'ların hassas tarımda etkin bir araç olarak kullanımına örnek teşkil etmektedir.

Bitki durumunun analizi

İHA kullanımı ile bitki sağlık ve durum analizi başarılı bir şekilde yapılabilmektedir. Bu konuyla ilgili yapılan bir çalışmada, farklı gübreleme yöntemleri uygulanmış buğday bitkileri üzerinde, İHA'lerden elde edilen yaprak alan indeksi ve yeşil normalleştirilmiş bitki örtüsü indeksi (GNDVI) verileri arasında önemli ölçüde bir korelasyon tespit edilebilmiştir ($R^2: 0,85$) (Hunt et al. 2018). Bu çalışma İHA'ların tarımsal araştırmalarda etkili bir kullanım aracı olduğunu göstermektedir.

Bitki hastalıklarının tespiti

İHA teknolojisi kullanılarak şeker pancarı tarlalarından alınan görüntüler, görüntü işleme teknolojileri yardımıyla analiz edilmiş ve analiz sonucunda *Cercospora beticola* Sacc. olarak bilinen yaprak lekesi hastalığının varlığı ve şiddeti tespit edilmiştir. Çalışma sırasında çeşitli zamanlarda ve çeşitli doğal ortam ışıkları sırasında 30-60 cm yükseklikten İHA ile alınan farklı görüntüler, MATLAB programının görüntü işleme araçları kullanılarak işlenmiş ve elde edilen sonuçlar uzman değerlendirmeleriyle karşılaştırıldığında gözle tespit edilemeyecek kadar hassas boyutta tespitler yapılmıştır (Altaş vd. 2018). Bu çalışma, İHA ve görüntü işleme teknolojilerinin hassas tarımsal hastalıkların tespitinde güçlü araçlar olduğunu göstermektedir.

Bir başka çalışmada ise İHA üzerindeki kameralardan elde edilen görüntüler kullanılarak mildiyö hastalığının tespiti için yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem kızılötesi görüntülerin birleştirilmesine dayanarak hastalık haritaları çıkarmıştır. Çalışmada görüntülerde yer alan her bir pikseli gölge, zemin, sağlıklı ve semptom olmak üzere farklı örneklerle göre sınıflandırma yapmak için derin öğrenme tabanlı bir yöntem uygulanmıştır. Sonuç olarak elde edilen hastalık haritaları ile birlikte %92 ve yapraklarda %87 doğruluk oranıyla hastalığın başarıyla tespit edildiği belirtilmiştir (Kerkech et al. 2020).

Bitki türlerinin sınıflandırılması

İHA'ların istenilen zaman ve mekanda esnek bir şekilde hareket ettirilebilme özellikleri, bitki türlerinin tanımlanması ve sınıflandırılması ve verimliliklerinin belirlenebilmesi gibi alanlarda İHA'ları kullanışlı kılmaktadır. Doğan ve Yıldız (2019), yapmış oldukları bir

çalışmada, İHA’larda bulunan kameralar ile yonca ve soya gibi bitkilerinin tespiti yapılabildiğini ve elde edilen görüntülerin bu türlerin sınıflandırılmasına olanak tanıdığını da belirtmişlerdir.

3D modelleme

İHA kullanılarak 3D modelleme çalışmaları da etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. İHA’lar tarafından çekilen görüntüler sayesinde arazilerin üç boyutlu haritası oluşturulabilmekte ve bu bilgi üzerinden verim tahminleri yapılabilmektedir. İHA’lar ile alınan spektral ve zamansal görüntülerinin üç boyutlu modellenmesi yoluyla mısır verim tahminlerinin yapımı mümkün olmuştur (Geipel et al. 2014).

Bitki örtüsü ve biyokütle veriminin hızlı değerlendirilmesi

Çeltiğin verim ve biyokütle tahminine yönelik yapılan bir çalışmada maliyetli olan uydu tabanlı uzaktan algılama yöntemleri kullanmak yerine çeltiğin ekili olduğu arazilerin üzerine konumlandırılmış multispektral İHA kullanılarak hızlı ve başarılı bir şekilde görüntü elde edilebildiği gösterilmiştir (Swain et al. 2010).

Müdahale ve mücadele

Bitki koruma açısından değerlendirildiğinde İHA’ların stratejik kararların verilmesi noktasında da yararlı olduğu görülmektedir. İHA’lar tarafından çekilen fotoğraflar sayesinde bitkilerdeki sağlık durumu analiz edilebilmekte ve bu sayede herhangi bir hastalık, zararlı ve yabancı ota karşı erken müdahale şansı sağlanabilmektedir. Bu araçlar sayesinde, tarım alanlarından iklim verileri toplanabilmekte ve bu bilgiler bilgisayar sistemleri yardımıyla işlenerek, ne zaman ve hangi ilaçların uygulanacağına karar verilebilmektedir. Bu sayede tarım verimliliği artırılarak sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkı sağlanmaktadır (Reis 2014).

Zuolkernan et al. (2023) gerçekleştirdikleri çalışma, makine öğrenimi teknolojileri ile İHA’ların nasıl entegre edildiğini ve bu entegrasyonun hassas tarım uygulamalarını nasıl dönüştürdüğünü detaylı bir şekilde ele alır. Bu çalışma, İHA’ların toprak özellikleri, bitki sağlığı ve çevresel faktörler gibi önemli verileri toplarken, makine öğrenimi algoritmalarının bu verileri analiz ederek tarımsal karar verme süreçlerini nasıl otomatize ettiğini gösterir.

Hassas tarım uygulamaları, bilimsel verilere ve ileri teknolojilere dayanarak tarım arazilerinin daha etkin bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır. Bu yaklaşım, özellikle farklı toprak tipleri ve mikro-iklim koşullarına sahip geniş araziler için büyük önem arz etmektedir. Etkili bir hassas tarım uygulaması, girdi maliyetlerini düşürürken aynı zamanda ürün kalitesini artırmaktadır. Pierce and Nowak’ın (1999) analizleri hassas tarımın sürdürülebilir tarım

uygulamalarıyla nasıl entegre edilebileceğini göstermekte ve bu alanda çalışanlara içgörüler sunarak tarımın geleceğine ışık tutmaktadır.

Chin et al. (2023) tarafından gerçekleştirilen araştırma, İHA'nın hassas tarımda bitki hastalıklarının erken tespiti üzerindeki potansiyellerini detaylı bir şekilde incelemiştir. Araştırmada, İHA'lar yüksek çözünürlüklü kameralar ve ileri düzey görüntüleme teknolojileri ile donatılarak tarlalar üzerinde uçurulmuş ve bitki örtüsünün sağlık durumunu izlemek için kullanılmıştır. Toplanan görüntüler, makine öğrenimi algoritmaları ile analiz edilerek hastalık belirtilerinin erken aşamada tespit edilmesi sağlanmıştır. Araştırma sonuçları, İHA teknolojisinin tarım arazilerini geniş çapta ve hızla tarayarak ve zamanında müdahale imkanı sunarak tarım sektöründe verim kayıplarını önlemede ne derece etkili olabileceğini göstermektedir. Bu bulgular, İHA'ların tarım sektöründeki verimliliği artırma ve olası riskleri azaltma potansiyellerini vurgulamaktadır.

Yabancı ot tespiti

Yabancı otların mekânsal dağılımını belirlemek ve haritalamak amacıyla yapılmış bir çalışmada kullanılan bir İHA sayesinde yer seviyesinden 35 metre yükseklikten 120 adet fotoğraf çekilmiştir. Elde edilen görüntüler yabancı otları tespit etmek için üç farklı yöntemle analiz edilmiştir; Maksimum Olabilirlik Sınıflandırıcısı (MLC), Yapay Sinir Ağı Modeli (ANN) ve Nesne Tabanlı Görüntü Analizi (OBIA). Bu yöntemlerle oluşturulan yabancı ot haritaları, sırasıyla %99.50, %99.55 ve %99.38 doğrulukla yabancı otları başarıyla haritalamıştır (Mattivi et al. 2021). Bu çalışma hassas tarım uygulamaları alanında düşük maliyetli İHA kullanılarak tarım alanından veri elde etme, işleme ve doğru tespit yapabilme konusunda önemli bir örnek olmuştur

Güzel vd. (2019) tarafından Tokat'ta buğday tarlalarında gerçekleştirilen bir çalışmada, modern tarım tekniklerine ve bitki koruma stratejilerine yeni bir bakış açısı sunan derin öğrenme yöntemlerinin etkinliği üzerine yoğunlaşmıştır. Özellikle, İHA'lar kullanılarak elde edilen görüntüler üzerinde YOLOv5 adlı derin öğrenme mimarisi ile yabancı otların tespiti yapılmıştır. Çalışmada yabancı hardal *Sinapis arvensis* L., köygöçüren *Cirsium arvense* (L.) Scop. gibi başlıca zararlı otların farklı gelişim evrelerinde tespiti amaçlanmıştır. YOLOv5, farklı ağırlıklarla (nano, small, medium, large, xlarge) eğitilmiş ve bu ağlar arasında small ağırlığı, yabancı otların tespitinde en yüksek doğruluk oranını sunmuştur. Yapılan testlerde, tüm yabancı ot türleri için genel olarak %86 doğrulukla tespit yapılabildiği gözlemlenmiştir. Ancak, meyve verme dönemi hariç, diğer tüm evrelerde yüksek doğruluk elde edilmiştir. Bu çalışma, YOLOv5 derin öğrenme mimarisinin, özellikle tarımda yabancı ot tespiti için etkili bir araç

olduğunu ve farklı büyüme evrelerinde yabancı otlar ile mücadeleye olanak sağlayarak tarımsal verimliliğin artırabileceğini ortaya koymuştur. Bu tür teknolojik ilerlemelerin, herbisit kullanımını optimize ederek çevresel etkileri azaltma potansiyeline sahip olduğu vurgulanmaktadır.

Türkseven vd. (2018), İzmir Menemen'deki pamuk tarlalarında yabancı ot florasını belirlemek amacıyla geleneksel yöntemlere alternatif olarak İHA kullanımıyla çalışmalar yapmışlardır. Kullandıkları kamera ile donatılmış dron ile düşük irtifadan uçuş yaparak görüntüler toplamışlardır. Bu süreçte, tespit edilen yabancı otların yerlerini GPS koordinatları ile kaydetmişler. Toplanan görüntüleri birleştirerek tek bir programda işledikten sonra, hem RGB hem de NDVI haritalarının yabancı ot tespitinde etkili olduğunu belirlemişlerdir.



MATERYAL VE METOT

Tez çalışması kapsamında yapılan tarla çalışmalarında, tarımsal arazilerde yer alan yabancı otların hızlı ve etkin şekilde saptanabilmesi ve zararlılara yönelik pestisit uygulama gözlemi yapılması amacıyla İHA teknolojisi kullanılmıştır. Bu kapsamda kullanılan 2 farklı marka/model İHA'nın, teknik açıdan belirli bir arazide yabancı ot saptaması ve pestisit uygulamasını başarılı bir şekilde gerçekleştirebilmesi için hangi özellikleri barındırması gerektiğine ilişkin literatür taraması yapılmıştır. Elde edilen bilgiler tez çalışması dahilinde yer alan tarım arazilerinden elde edilen İHA verileriyle kıyaslanmıştır. Buna göre, tez kapsamında hedeflenen tarım arazisindeki sağlıklı bitki örtüsünün kapsadığı alanın tespiti için Sentera DJI Phantom 4 Pro V2.0 kullanılarak Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi haritasının çıkarılması ve sonuçların geleneksel yabancı ot mücadelesine göre avantajlarının ortaya konması hedeflenmiştir. Pestisit uygulama gözlemi için ise, DJI Agras T40 zirai ilaçlama dronu kullanılarak İHA ile yapılan ilaçlama işlemi ve geleneksel yöntemle yapılan ilaçlama işleminin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Materyal

Çalışmada kullanılan İHA'lar hakkındaki bilgiler aşağıda sıralanmıştır;

Sentera DJI Phantom 4 Pro V2.0: Görüntüleme amaçlı kullanılan, çeşitli kullanım alanlarına yönelik teknik özelliklerle donatılmış bir İHA'dır (Şekil 2).

Kamera özellikleri: Gelişmiş 1 inç boyutunda sensör içeren kamera, 4K çözünürlükte 60 kare/saniye video kaydı yapabilme ve 20 megapiksel fotoğraf çekme kapasitesine sahiptir.

Engel tespiti: Daha güvenli bir uçuş deneyimi sunmak adına çevresindeki engelleri beş farklı yönde algılayabilmektedir.

Uçuş süresi: Tam şarj ile ulaşılabilen maksimum uçuş süresi 30 dakikadır.

İletişim uzaklığı: Cihaz, yaklaşık 7 kilometre (4.1 mil) menzile kadar veri iletimi yapabilmektedir.

Sessiz uçuş özelliği: Phantom 4 modeline kıyasla %60 daha sessiz uçuş kapasitesi vardır. Sahip olduğu teknik özellikler sayesinde tarım, coğrafi haritalama ve sinematik film çekimleri gibi çeşitli alanlarda tercih edilmektedir.



Şekil 2. Sentera DJI Phantom 4 Pro V2.0 (DJI 2024a)

Sentera DJI Phantom 4 Pro V2.0 İHA, tarım sektöründe de çeşitli uygulamalar için tercih edilmektedir. Bedord (2017) DJI Phantom 4 Pro V2.0 İHA'nın tarım sektöründe etkili bir keşif aracına dönüştürüldüğünü ele almaktadır. Araştırma, İHA'nın hassas tarım tekniklerini desteklemek amacıyla özel sensörler ve kameralarla yeniden yapılandırılma sürecini detaylı bir şekilde incelemiştir. Sentera tarafından gerçekleştirilen bu teknolojik dönüşüm, drone'un tarlalar üzerinde detaylı veri toplamasını, bitki sağlığını izlemesini ve verimlilik analizleri yapmasını mümkün kılmıştır. Bu gelişmeler, çiftçilere arazilerini daha etkin bir şekilde yönetme imkanı sunmakta ve zamanında yapılan müdahalelerle ürün kayıplarını azaltma fırsatı sağlamaktadır. Bu yenilikler, tarımsal işletmelerin maliyet etkinliğini ve operasyonel verimliliğini artırmanın yanı sıra çevresel sürdürülebilirlik açısından da önemli katkı sunmaktadır.

Önemli teknik özellikleri ve tarım alanındaki kullanımları şöyledir (DJI 2024a);

NDVI Tekli Sensör Entegrasyonu: İHA, tarım odaklı bir araç haline gelirken, Sentera'nın NDVI Tekli Sensörü eklenebilir. Bu sensör, yüksek kalitede global shutter (sensörün tüm piksellerinin aynı anda pozlamaya başlamasına ve pozlamayı durdurmasına olanak tanımaktadır) özellikli bir görüntüleyici ve az bozulma sunan optikler içerir. Bu donanım, net ve keskin hava fotoğrafları ile Kızılötesi (NIR) verilerin toplanmasını sağlayarak doğru NDVI haritalarının üretilmesine katkıda bulunur (Şekil 3).

Tarım Uygulamaları: İHA, hassas tarım pratiklerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Başta çiftçiler olmak üzere tarım danışmanları, sektör ile ilgili kurum ve kuruluşlar bu teknoloji sayesinde bitki sağlığını daha etkin bir şekilde izleyebilir ve stres altındaki bitkileri daha kolay belirleyebilirler.

Kullanım Kolaylığı: Sentera'nın DJI Phantom 4 Pro'ya yaptığı NDVI entegrasyonu, orijinal DJI gimbal (titreşimi engelleme ya da yok etmeyi hedefleyen cihaz) kamerasının işlevselliğini koruduğu için, İHA'nın tüm özelliklerini muhafaza ederken aynı zamanda yüksek çözünürlüklü renkli ve NDVI görüntülerinin toplanmasını mümkün kılmaktadır.

Bu özellikler, Sentera DJI Phantom 4 Pro V2.0 İHA'nın tarım alanındaki çeşitli uygulamalar için değerli bir araç haline geldiğini göstermektedir.



Şekil 3. Sentera DJI Phantom 4 Pro V2.0 NDVI sensör entegrasyonu (DJI 2024a)

DJI Agras T40, tarım alanlarında yüksek verimlilik sağlamayı amaçlayan gelişmiş bir İHA'dır. Farklı kullanım alanlarına yönelik teknik özelliklerle donatılmıştır. Arazi haritalama, ilaçlama (püskürtme) ve yayma (katı gübre) gibi tarımsal operasyonları hassasiyet ile yerine getirebilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. DJI Agras T40 genel görünüm (DJI 2024b)

Önemli teknik özellikleri ve tarım alanındaki kullanımları şöyledir (DJI 2024b);

Ağırlık: 38 kg ağırlığında olup, batarya ile birlikte 50 kg'a ulaşmaktadır. Maksimum kalkış ağırlığı sıvı püskürtme için 90 kg, katı madde yayımı için ise 101 kg'dır. Dikey ve yatay konumlandırmada RTK (Gerçek zamanlı kinematik konumlandırma) ile ± 10 cm hassasiyet ile çalışmaktadır. Pervane çapı 137cm olan 8 adet rotora sahiptir (4000W/rotor).

Havada Kalma Süresi: Faydalı yük olmadan havada asılı kalma süresi 18 dakikadır (30000 mAh ve kalkış ağırlığı 50 kg), tam yükte havada asılı kalma ve püskürtme süresi 7 dakikadır (30000 mAh ve kalkış ağırlığı 90 kg), tam yükte havada asılı kalma ve yayılma süresi 6 dakikadır (30000 mAh ve kalkış ağırlık 101 kg) ve şarj süresi dahili-harici bataryalar için iki saattir, hızlı şarj süresi 10 dakikadır.

Çift Atomize Püskürtme Sistemi: 40 L kapasiteli ve 40 kg yük taşıyabilmektedir. Etkili püskürtme genişliği maksimum 11 m'dir (bağıl çalışma yüksekliği 2,5 m, uçuş hızı 7m/s). Maksimum akış hızı 6 L/dk olup, 1 saatte 200 dekara varan ilaçlama yapılabilir. Çift atomize püskürtme diski kullanımı, eşit damlacıklar (damlacık boyutu 50-3000 mikron) oluşturarak daha verimli pestisit kullanımını mümkün kılmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. DJI Agras T40 pestisit hazırlama ve püskürtme (Orijinal)

T40 Yayma Sistemi: 0.5-5 mm çapındaki katı kuru parçacıkları işleyebilen 50 kg kapasiteli bir tanka sahiptir. Serpme sisteminin yayılma genişliği 7m'dir (Şekil 6).



Şekil 6. DJI Agras T40 katı gübre tankı ve gübre yayma (Orijinal)

Aktif Faz Dizili Radarlar ve Binoküler Görüş Sistemi: Engelleri algılayıp çarpışmayı önlemektedir. 360 derece çok yönlü engel algılama için binoküler sensör ve 50 metre engel tanıma mesafesi ile daha düzgün ölçeklendirme imkanı sunmaktadır. Bu özellikler, zirai dronların tarım arazilerindeki engelleri daha etkin bir şekilde tanınmasını ve navigasyonunu sağlamaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. DJI Agras T40 engel algılama ve çarpışma önleme sistemi (DJI 2024b)

3 boyutlu haritalama: Ayarlanabilir gimbal (titreşimi engelleme ya da yok etmeyi hedefleyen cihaz) üzerinde ultra yüksek çözünürlüklü 12 MP kamera kullanarak, 10 dakikada 66 dekara kadar alanı haritalayabilmektedir. Bu, özellikle tarım arazileri ve meyve bahçeleri için değerli bir araç olup, daha hızlı ve sorunsuz şekilde uzaktan kumanda ile detaylı 3 boyutlu haritalar oluşturulabilmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. DJI agras T40 3 boyutlu arazi haritalama (DJI 2024b)

Akıllı Uzaktan Kumanda: O3 Pro sinyali ile 7 km'ye kadar etkili bir iletişim sağlar ve Wi-Fi 6 desteği sunar (Şekil 9).



Şekil 9. DJI Agras T40 uzaktan kumanda (DJI 2024b)

DJI Agras T40, tarımsal ilaçlama süreçlerinde hassasiyet ve etkinliği artırmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu dron, pestisitlerin bitkilere daha doğru dozlarda ve hedeflenen bölgelere uygulanabilmesi için tasarlanmış püskürtme teknolojisine sahiptir. Böylece, bitki koruma faaliyetleri daha bilinçli ve ölçülü bir şekilde gerçekleştirilerek, tarımsal üretimde verimliliğin ve sürdürülebilirliğin önemli ölçüde iyileştirilmesine katkı sağlanmaktadır. Bu gelişmiş sistem, hem çiftçilerin iş yükünü azaltmakta hem de çevre üzerindeki olumsuz etkileri minimize etmektedir (DJI 2024b).

Metot

Tez çalışmasının birinci saha gözlemi kapsamında Manisa ili Yunusemre ilçesi Muradiye mahallesi 5219 numaralı parsel içerisindeki mısır bitkilerinin İHA görüntüleri alınmış, alınan görüntüler ilgili yazılıma (CFV) aktarılarak, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) haritasının çıkarılması ve deneme parsellerindeki yabancı ot popülasyon takibinin yapılması ile en uygun ilaçlama zamanının tespiti amaçlanmıştır. Uygulamada Sentera DJI Phantom 4 Pro V2.0 marka döner kanatlı İHA kullanılmıştır. Görüntü alımı için, mısır ekiminden sonra ilk bitki çıkışlarını takiben, yabancı otlarında çıkış yapmaya başladığı ve mısırın 2-6 yapraklı olduğu vejetatif dönem tercih edilmiştir.

İkinci saha gözlemi kapsamında Manisa ili Saruhanlı ilçesi Halitpaşa mh. 154 ada 19 numaralı parsel içerisindeki pamuk bitkilerine ayrı ayrı İHA ve traktör pülverizatörü ile pestisit uygulaması yapılmış, her iki uygulamanın kıyaslanması amaçlanmıştır. Uygulamada DJI Agras

T40 marka döner kanatlı zirai ilaçlama İHA kullanılmıştır. Pestisit uygulaması için pamuk bitkisinin taraklanma/çiçeklenme dönemi tercih edilmiştir.

Çalışmada kullanılan veriler 2023 yılı üretim sezonunda Manisa ilinde mısır ve pamuk bitkisinde kurulan deneme parsellerinde İHA ile yapılan saha uygulamaları gözlemlerine dayanmaktadır. Bu gözlemlerden elde edilen bilgiler çalışmanın birincil veri kaynağını oluşturmaktadır. Bununla birlikte Tarım il ve ilçe müdürlükleri, internet kaynakları, yerli ve yabancı kaynaklardan derlenen genel bilgiler ile konuyla ilgili istatistiki veriler araştırmanın ikincil kaynaklarını oluşturmaktadır.

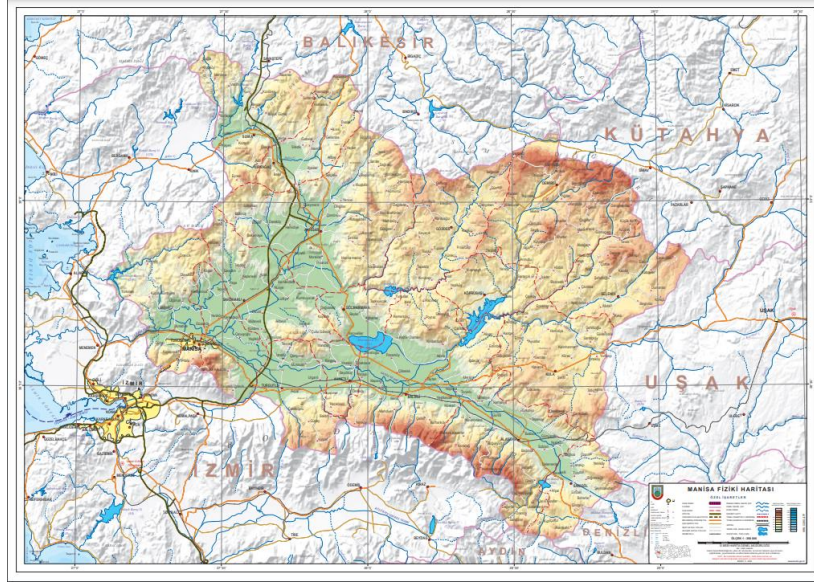
Çalışma bölgesine ilişkin bilgiler

Manisa, Türkiye'nin Ege Bölgesi'nde yer almakta olup yaklaşık olarak 38.6 ve 39.3 kuzey enlemleri ile 27.3 ve 29.0 doğu boylamları arasında konumlanmıştır. İzmir, Balıkesir, Kütahya, Uşak, Denizli ve Aydın illeri sınır komşularıdır. Rakımı 50 m ile 850 m arasında değişmektedir. İl merkezinden doğu istikametine doğru gidildikçe yükselti artar. Yüzölçümü 13.339 km²'dir. Yüzölçümünün %38'ni tarım arazileri oluşturmaktadır (Anonim 2024a).



Şekil 10. Çalışma bölgesinin yeri (Anonim 2024b).

Manisa'nın topografik yapısı, doğu-batı yönünde uzanırken kuzey-güney ve güneydoğu-kuzeybatı hatlarında dallanan oluk biçimindeki çukurlarla karakterizedir. Bu yapının içinde yer alan Gediz Ovası, Manisa'nın Ege Bölgesi boyunca uzanmaktadır. Manisa'da en fazla yetiştirilen beş tarla ürünü ise sırasıyla buğday, arpa, mısır, pamuk ve tütün şeklindedir (Koday vd 2016).



Şekil 11. Manisa fiziki haritası (Anonim 2024c).

Manisa'nın iklimi, Ege kıyılarına kıyasla daha çetindir. Yaz ayları sıcak ve kuru geçerken, kışlar ise ılıman ve yağışlıdır. Kuzey ve kuzeydoğusunda yer alan dağlık bölgelerde ise yazlar serin, kışlar soğuk geçer ve ilkbahar ayları geçiş mevsimi özellikleri taşır. Bölge yüksek güneşlenme potansiyeline sahiptir ve güneşlenme süresi ile yeterli yağış miktarı, toprağın tarımsal faaliyetler için uygun bir iklim yapısına kavuşmasını sağlar. Manisa'nın yıllık toplam yağış ortalaması 706,4 mm'dir (Anonim 2024d).

Çalışma alanı bilgileri-1 (mısır tarlasında İHA ile yabancı ot popülasyonu tespiti)

Çalışma alanı, Manisa ili Yunusemre ilçesi Muradiye mahallesinin kuzeyinde, 38°40'55.5"N 27°20'36.9"E koordinatlarında yer alan 30 dekarlık bir mısır tarlasıdır (Şekil 12). Tarla sahibi ile yapılan görüşme sonucunda, yaklaşık 15 yıldır aynı araziye üst üste mısır ekimi yapıldığı ve bu nedenle yabancı ot popülasyonunda artış olduğu öğrenilmiştir. Ayrıca, tarlanın bulunduğu bölge polikültür yapıya sahip olup, başta mısır olmak üzere bağ, domates, hububat ve pamuk başlıca üretimi yapılan diğer ürünlerdir. Bu nedenle yakın çevrede birçok hastalık, zararlı ve yabancı ot ile mücadele edilmektedir.



Şekil 12. Çalışma alanı-1, 30 da'lık mısır tarlası (Anonim 2024e)

Mısır bitkisi ve gelişim evreleri

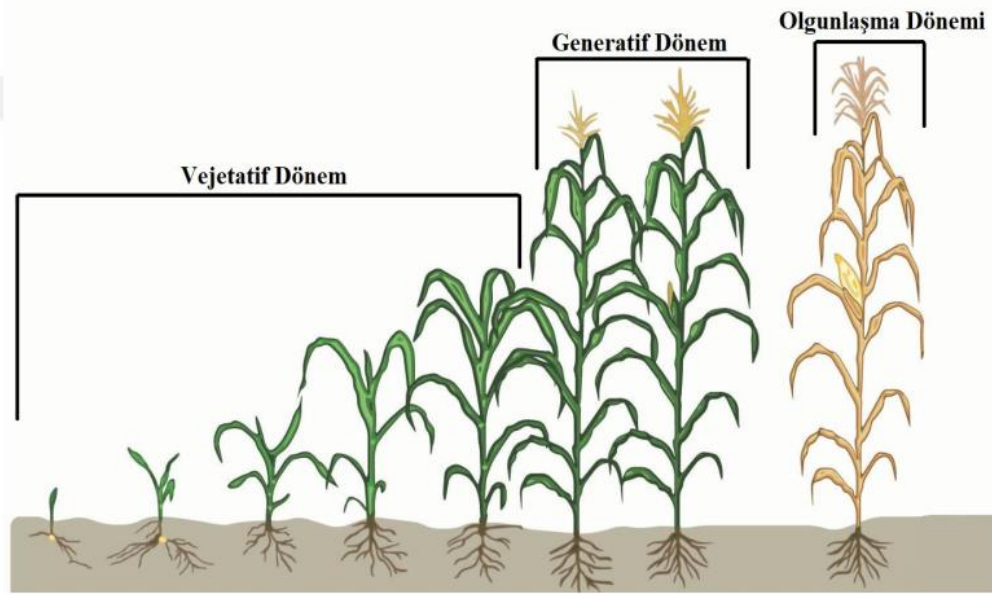
Mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin kökeni konusunda farklı görüşler bulunsa da, çoğu kaynak bu bitkinin kökeninin Amerika kıtası olduğunu ifade etmektedir. Amerika'nın keşfinden sonra mısır, dünya çapında yayılmıştır. Türkiye'ye 17. yüzyılın başlarında gelen mısır, ülkemizdeki hayvancılığa büyük oranda katkıda bulunmaktadır. Mısırın işlenmesi sonucu elde edilen mısırozü yağı, nişasta ve glikoz gibi ürünler, ülkemiz ekonomisine önemli ham maddeler sağlamakta ve bu da mısırın ekonomik açıdan büyük önem taşıdığını göstermektedir (Kırcalı 2022).

Buğdaygiller (Poaceae) ailesinin Maydeae tribüsüne dahil olan mısır, soğuk ve sıcak iklim tahılları arasında dünya çapında en yüksek verimi sunan, güneş enerjisinden en verimli şekilde faydalanan (C4 bitkisi) ve birim alandan en çok kuru madde üretimi yapabilen bir bitkidir (Kırtok 1998). Mısırın ardından ekilen bitkiler genellikle, ekim dönüşümü yapılan diğer tahıllara kıyasla daha yüksek verim sağlar. Ülkemizde birçok bölgede ana ürün veya ikinci ürün olarak başarıyla yetiştirilebilmektedir (Vartanlı 2006).

Dünya genelinde üretilen mısırın %27'si insanların tüketimi için, geri kalan %73'ü ise hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde bu oran, insan beslenmesi için %54, hayvan yemi için ise %46 şeklindedir. Buna karşılık, gelişmiş ülkelerde insan beslenmesi

ve endüstriyel kullanım için mısırın sadece %10'u ayrılırken, %90'ı hayvan yemi olarak değerlendirilmektedir (Öz vd 2017). 2020 yılı itibarıyla, dünya çapında 192 milyon hektar alanda toplamda 1,1 milyar ton mısır üretildiği kaydedilmiş, dünya genelinde ortalama tane verimi ise 590 kg/da olarak hesaplanmıştır. Türkiye'de, 640 bin hektarlık alanda gerçekleştirilen mısır üretimi 6,5 milyon ton ile Cumhuriyet tarihinin en yüksek seviyesine ulaşmış, ülkemizin ortalama mısır tane verimi de 1015 kg/da ile dünya ortalamasını (590 kg/da) aşmıştır (Anonim 2020).

Mısır bitkisinin gelişim süreci, toplamda 125 ila 165 gün süren üç ana evreden oluşur (Şekil 13). İlk evre olan vejetatif dönem, çimlenmeden tepe püskülünün çıkışına kadar geçen yaklaşık 30 ila 45 günlük bir zaman dilimidir. İkinci evre olan generatif dönemde, tepe püskülü ve koçanın geliştiği dönemdir ve bu süreç tozlanma için yaklaşık 5 ila 6 hafta, çiçeklenme ve döllenme için ise 2 hafta sürer. Son evre olan olgunlaşma dönemi ise, tane oluşumunun gerçekleştiği ve yaklaşık 50 ila 60 gün süren dönemdir (Karakuş 2017).



Şekil 13. Mısır bitkisinin gelişim evreleri (Kırcalı 2022)

Mısırdaki yabancı ot mücadelesinin önemi

Tarımsal üretimde ürün kalitesini ve miktarını artırmanın yolu, makine kullanımı, gübreleme, enerji ve su gibi temel girdilere odaklanmanın yanı sıra hastalık, zararlı ve yabancı otlarla mücadele etmeyi de kapsar. Bu mücadele, tarımda üretkenliği ve kaliteyi yükseltmede kritik bir öneme sahiptir (Çelik 2000).

Yabancı otlarla mücadelede gerekli dikkat ve özen gösterilmezse, kültür bitkisinin ve yabancı ot türünün özelliklerine bağlı olarak %20 ile %100 arasında değişen oranlarda ürün kaybı yaşanabileceği belirtilmektedir (Özer 1993).

Yabancı otlarla mücadelede kritik dönemlerin ve stratejilerin tespiti amacıyla gerçekleştirilen bir araştırmada, mısır çeşitlerinden bağımsız olarak, ikinci yaprak döneminden (V2) onuncu yaprak dönemine (V10) kadar yabancı otlara karşı mücadelenin şart olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Tursun vd 2015).

Mısır tarlalarında yabancı otlar genellikle mısır ile birlikte çimlenir ve büyür. Mısır ile su, ışık ve besin maddeleri için rekabet ederler. Hatta, bulundukları yere daha iyi uyum sağladıkları için, mısırdan daha fazla gelişip topraktan daha fazla su ve besin alırlar. Mısırın yabancı otlara karşı en hassas olduğu dönem, genellikle ekimden sonraki ilk iki aydır (Şekil 12, vejetatif dönem). Bu dönemde yabancı otlarla mücadele edilmezse, rekabet nedeniyle ürün kaybı %20-30 olabilmektedir. Bu kayıp, tarladaki yabancı ot türlerine veya yoğunluğuna bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca, yabancı otlar zararlı ve hastalık etmenlerine ev sahipliği yaparak ya da ara konukçu olarak görev yaparak mısırın dolaylı yollarla zarar görmesine neden olabilmektedir. Mısır tarlalarında görülen başlıca tek yıllık yabancı otların kontrolünde kültürel ve mekanik mücadele yöntemleri genellikle başarılı sonuçlar vermektedir. Eğer kültürel önlemler ve mekanik mücadele yetersiz kalırsa, kimyasal mücadeleye başvurulması gerekebilmektedir. Kimyasal mücadele yöntemlerine karar verirken, tarlada sıkça rastlanan yabancı ot türlerini iyi tanımak ve buna uygun herbisit seçimi yapmak büyük önem taşımaktadır. Yabancı otlarla mücadelede kullanılan herbisitler, uygulama yöntemleri açısından birbirinden farklılık göstermektedir. Mısır tarlalarında yabancı ot kontrolü üç farklı dönemde gerçekleştirilmektedir (Akmeşe vd 2022).

Ekim öncesi mücadele: Ekime hazır hale getirilmiş toprağa ekimden önce ilaç uygulanır, daha sonra diskaro veya tırmık geçirilerek ilacın toprağın 5-7 cm derinliğine nüfuz etmesi sağlanır.

Çıkış öncesi mücadele: Mısır ekiminden sonra, yabancı otlar ve mısır toprak yüzeyine çıkmadan önce ekimden sonraki en geç 5 gün içinde ilaç uygulanır.

Çıkış sonrası mücadele: Yabancı otlar ve mısır toprak yüzeyine çıktıktan sonra herbisit uygulaması yapılır. Uygulama sırasında dar yapraklı yabancı otlar 10-15 cm boyutunda, geniş yapraklı yabancı otlar ise 2-6 yapraklı dönemde olmalıdır.

Ülkemizde mısır tarımının yapıldığı alanlarda yaygın olarak görülen tek yıllık ve çok yıllık yabancı otlar Tablo 1 ve Tablo 2’de sıralanmıştır.

Tablo 1. Mısır Tarlalarında Sorun Olan Tek Yıllık Önemli Yabancı Otlar (Akmeşe vd. 2022).

Bilimsel Adı	Türkçe adı	Familyası
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Kırmızı köklü tilki kuyruğu	Amaranthaceae
<i>Amaranthus viridis</i> L.	Yeşil horozibiği	Amaranthaceae
<i>Chenopodium album</i> L.	Sirken	Chenopodiaceae
<i>Echinochloa colonum</i> (L.) Link	Benekli darıcan	Poaceae
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.Beauv.	Darıcan	Poaceae
<i>Portulaca oleracea</i> L.	Semizotu	Portulacaceae
<i>Solanum nigrum</i> L.	Köpek Üzümlü	Solanaceae
<i>Xanthium strumarium</i> L.	Domuz Pıtrağı	Asteraceae

Tek yıllık yabancı otlar farklı familyalarda yaygın ve yoğun olarak görülmektedir. Rekabet güçleri yüksek olup fazla miktarda tohum vermektedirler.

Tablo 2. Mısır Tarlalarında Sorun Olan Çok Yıllık Önemli Yabancı Otlar (Akmeşe vd. 2022).

Bilimsel Adı	Türkçe adı	Familyası
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Tarla sarmaşığı	Convolvulaceae
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Köpek Dişi Ayırığı	Poaceae
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Topalak	Cyperaceae
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Kanyaş	Poaceae

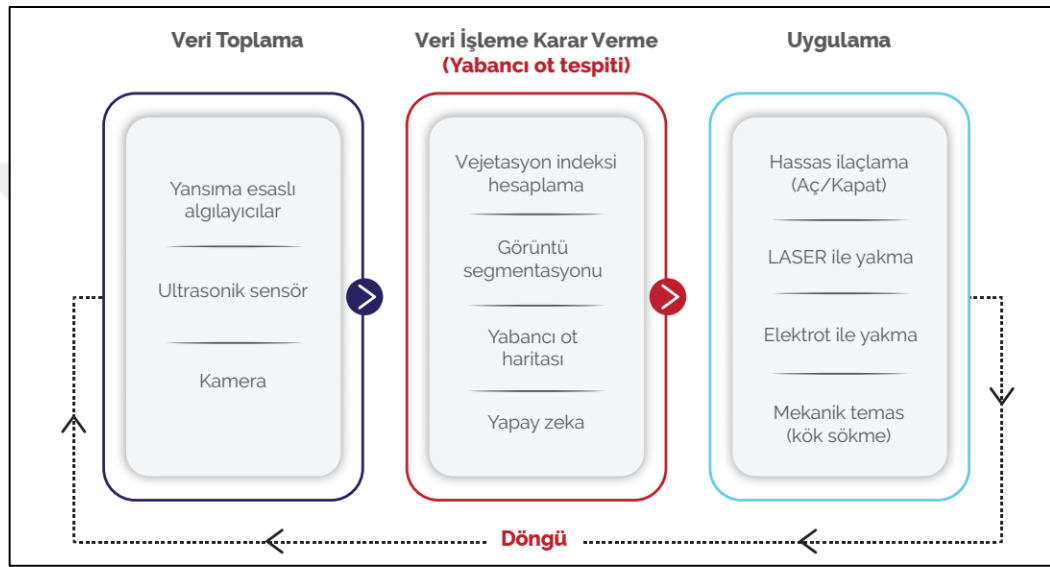
Çok yıllık yabancı otlar genel olarak hem tohum hem de toprak altı/toprak üstü organları ile çoğalabilmektedir. Bu yabancı otların tohum bağlamasına fırsat verilmeden mücadele edilmesi gerekir. Toprak işleme sırasında, çok yıllık yabancı otların kök, rizom, stolon gibi vejetatif çoğalma organları toplanarak tarladan uzaklaştırılmalıdır. Ayrıca, tek yıllıklarda olduğu gibi, tarla kenarlarında da mücadele yapılmalıdır (Akmeşe vd 2022).

İHA ile görüntü işleme teknikleri kullanılarak yabancı ot tespiti yapılması.

Yabancı otlarla mücadele etmek için çok çeşitli yöntemler kullanılsa da, teknolojik ilerlemelerle birlikte İHA kullanımı, dron teknolojisinin gelişimi ve buna paralel olarak görüntü işleme tekniklerinin ilerlemesi, yabancı ot tespiti, izlenmesi, tanımlanması ve yoğunluklarının belirlenip mücadele yöntemlerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. İHA'lar, tespit ve yoğunluk çalışmalarının yanı sıra, ilaçlama çalışmalarını da gerçekleştirerek zaman,

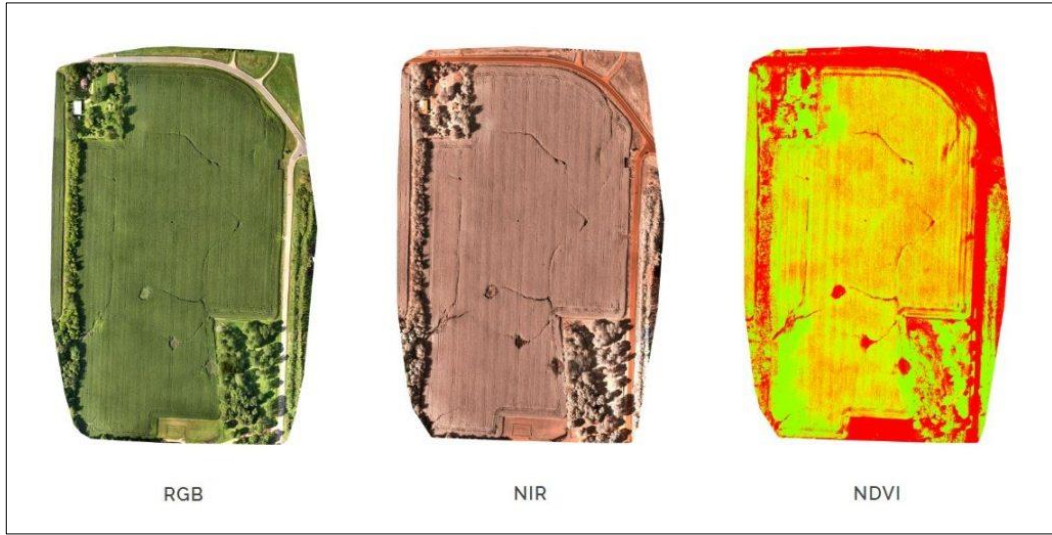
ekonomi ve çevreye verilen zararı en aza indirme potansiyeline sahiptir (Şin ve Kadioğlu 2019).

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, kameraların görüntü kalitesi artarken boyutları küçülmüştür. Bu durum, İHA'ların arazi koşullarında yabancı otları tespit etmesini mümkün kılmıştır. Bu amaçla farklı özelliklere sahip kameralar kullanılmakta ve elde edilen veriler sayesinde yabancı otlarla mücadele edilebilmektedir. İHA'lara monte edilen kameralardan alınan veriler çeşitli işlemlerden geçirilerek, mevcut bitki örtüsünün haritası çıkarılabilmekte ve olası ürün kayıpları hesaplanabilmektedir (Özgüven 2018a).



Şekil 14. Yabancı ot mücadelesinde kullanılan hassas ve akıllı sistemlerin çalışma prensibi (Keskin ve Şekerli 2022)

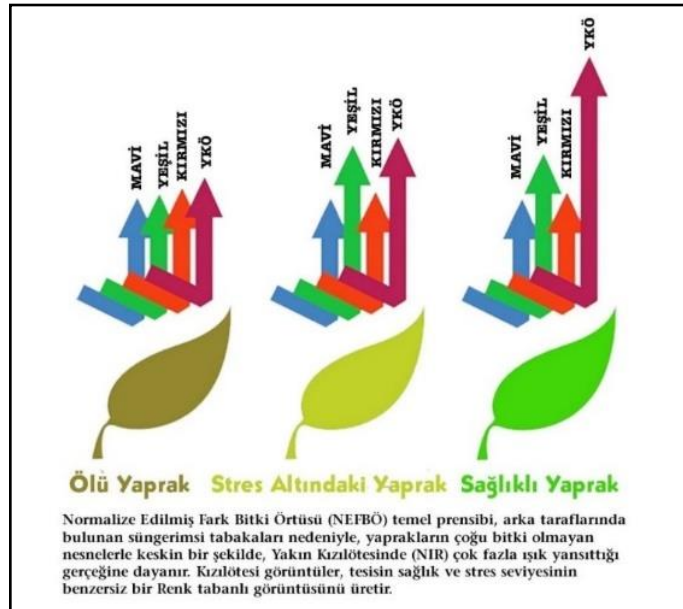
Yabancı otları tespit etmek için kullanılan kameralar, genellikle kızılötesi (NIR) veya Normalleştirilmiş Farklılık Vejetasyon İndeksi (NDVI) gibi özelliklere sahip olmalıdır (Teke vd 2016).



Şekil 15. Yabancı ot tespitinde kullanılan farklı özellikteki kameralardan alınan arazi görüntüleri (Anonim 2024f)

NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index / Normalleştirilmiş fark bitki örtüsü endeksi*)

NDVI, genellikle uzaktan algılama ölçümlerini analiz etmek ve gözlemlenen hedefin canlı yeşil bitki örtüsü içerip içermediğini değerlendirmek için kullanılabilecek basit bir grafik göstergedir. NDVI teknolojisi, hassas tarımda bitki sağlığını ve yoğunluğunu değerlendirmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknik, bitkilerin kırmızı ve yakın kızılötesi ışık yansımalarını analiz ederek bitki örtüsünün durumunu ortaya koymaktadır (Şekil 16).



Şekil 16. NDVI temel çalışma prensibi (Akgüç 2024)

NDVI'nin hassas tarımda sıklıkla tercih edilen bir endeks olduğu Bouskour et al. (2023) tarafından yapılan bir araştırmada belirtilmiş ve bu endeksin kırmızı ve yakın kızılötesi yansıma verileri kullanılarak nasıl hesaplandığına değinilmiştir.

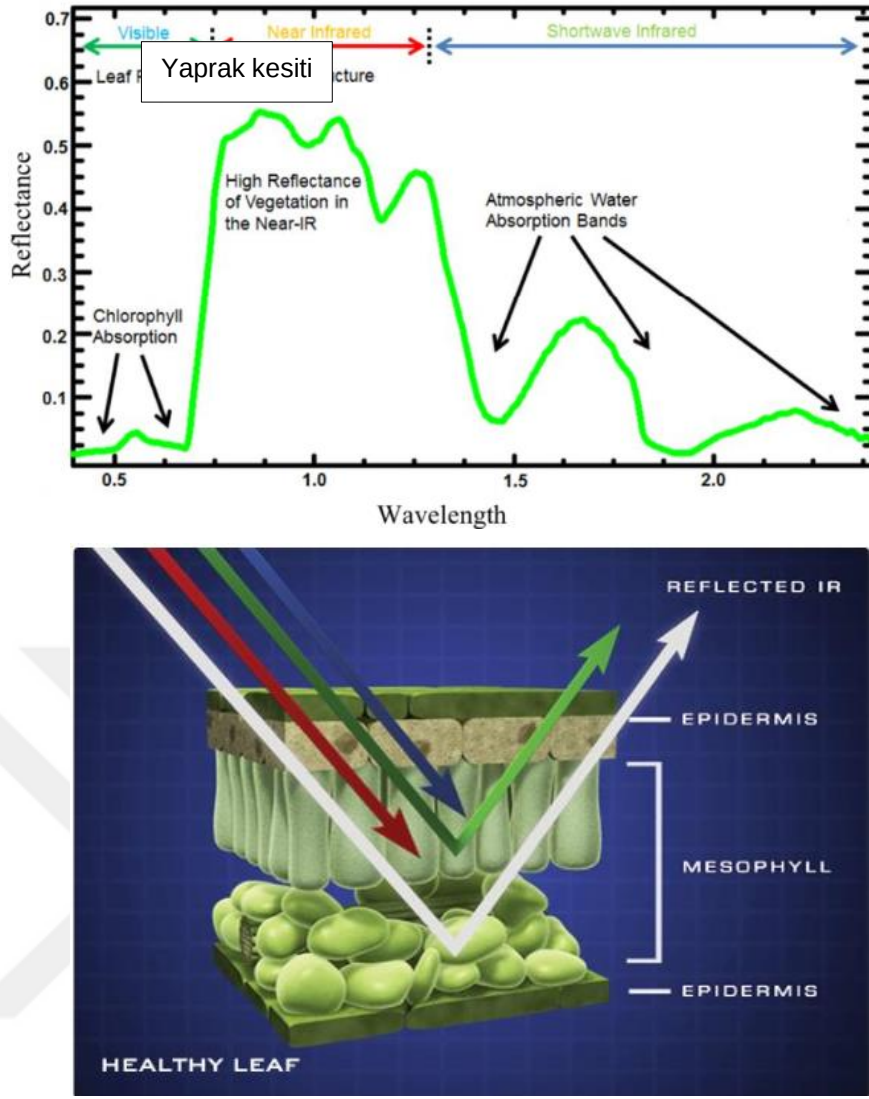
Nicholas et al (2022) ise, NDVI teknolojisinin bitkilerin sağlık ve büyüme durumlarını gerçek zamanlı olarak izlemede ve çevresel faktörlerle olan ilişkisini analiz etmede etkili bir araç olduğunu vurgulamışlardır.

Brummel (2019) tarafından yürütülen bir çalışmada, NDVI verileri ve  nsansız Hava Araçları (UAS) teknolojisini kullanarak, tropikal agroekosistemlerde araziye özgü yönetim için toprak yönetim bölgelerinin belirlenmesi ve haritalanması hedeflenmiştir. Verovka and Veres (2022) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise, NDVI bitki endeksinin tarımda nasıl kullanıldığı ele alınmış ve tarım verimliliğini artırmak için geliştirilen bir yazılım çözümü önerilmiştir.

Avcı vd (2021), NDVI teknolojisinin, bitkilerin farklı dalga boylarındaki yansıma değerlerine matematiksel işlemler uygulayarak bitki örtüsü yoğunluğunu belirten bir değer sağladığı ve akıllı tarımda arazi sınıflandırması ile bitki analizlerinde kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Bu araştırmalar, NDVI teknolojisinin tarımdaki çeşitli kullanımlarını detaylı bir şekilde inceleyerek bu teknolojinin tarım sektöründeki önemini ve potansiyelini ortaya koymaktadır. NDVI, bitki sağlığını ve verimliliği değerlendirmede, hassas tarımda kritik bir araç olarak kullanılmaktadır.

NDVI teknolojisi, tarım sektöründe, özellikle yabancı ot kontrolü ve izleme alanında etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu teknoloji, bitkilerin yansıttığı ışığı analiz ederek tarım alanlarında yabancı ot varlığını ve yoğunluğunu tespit etmekte önemli bir rol oynamaktadır (şekil 17).



Şekil 17. Bitkilerden yansıyan güneş radyasyonunun okunması ve işlenmesi (Chatterjee 2018).

Tendolkar et al. (2021) tarafından geliştirilen AGROCOPTER sistemi, bitki sağlığı izlemesi ve pestisit püskürtme işlemleri için NDVI teknolojisini kullanmıştır. Coelho et al. (2021) ise yaptıkları çalışmalarda, NDVI'nin yabancı ot popülasyonunun takibi ve kontrolünde kullanılmasının etkisini vurgulamışlardır.

Esposito et al. (2021) tarafından yürütülen bir çalışmada, NDVI teknolojisinin İHA ve sensör teknolojileri ile birleştirilerek tarımda araziye özgü yabancı ot yönetimine nasıl katkı sağlayabileceği incelenmiştir.

Bu araştırmalar, NDVI teknolojisi ile İHA teknolojisinin tarım sektöründeki entegrasyonunun, özellikle yabancı ot takibi ve yönetiminde son derece etkili olduğunu göstermektedir. İHA destekli NDVI analizleri, tarımsal arazilerin daha ayrıntılı incelenmesine olanak tanıyarak, ürün verimini artırma ve yabancı otların etkisini azaltma konusunda hayati bir işlev görmektedir. Bu birleşik metodoloji, tarım yönetiminde daha hassas ve verimli bir strateji sağlamaktadır.

Çalışma alanı bilgileri-2 (pamuk tarlasında İHA ile pestisit uygulaması):

Çalışma alanı, Manisa ili Saruhanlı ilçesi Halitpaşa mahallesinin kuzeyinde, 38°42'15.0"N 27°40'30.0"E koordinatlarında yer alan 10 dekarlık bir pamuk tarlasıdır (Şekil 18). Tarlanın bulunduğu yakın çevre polikültür yapıya sahiptir. Danelik mısır başta olmak üzere bağ, domates, kavun ve karpuz üretimi yapılan diğer ürünlerdir. Bu nedenle mücadele edilen birçok hastalık, zararlı ve yabancı ot bulunmaktadır.



Şekil 18. Çalışma alanı-2, 10 da'lık pamuk tarlası (Anonim 2024g)

Pamuk bitkisi ve gelişim evreleri

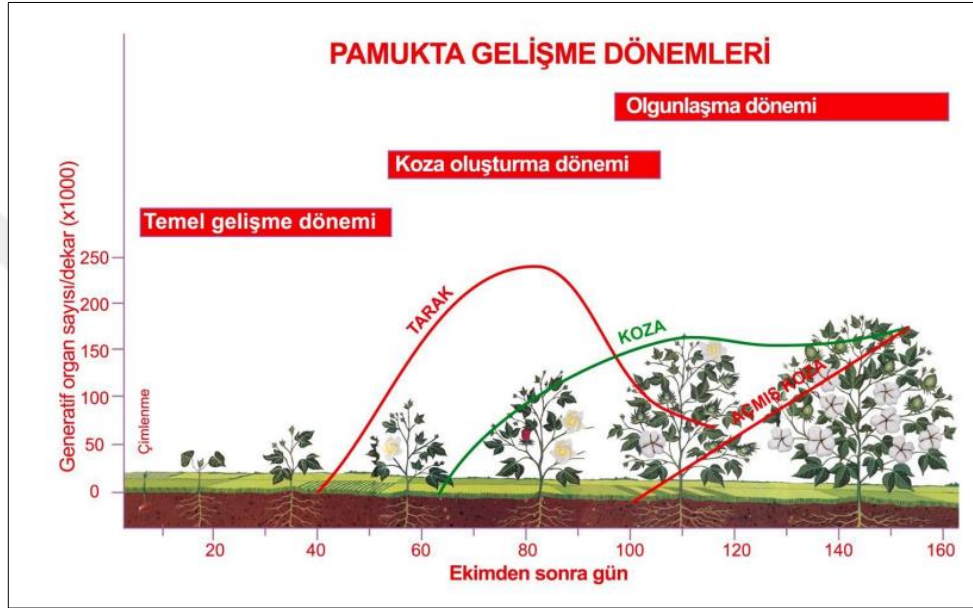
Pamuk, Malvales takımı Malvaceae familyasından *Gossypium* cinsine dahil bir kültür bitkisidir. Yapılan araştırmalar, pamuk tarımının yaklaşık 5000 yıl önce antik Hindistan'da başladığını göstermektedir. Pamuk bitkisinin kesin anavatanı bilinmese de, genellikle Asya, Amerika ve Afrika'nın sıcak bölgelerinde olduğu düşünülmektedir. Türkiye'de ise pamuk, özellikle Ege, Akdeniz, Çukurova ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yetiştirilmektedir (Balcı ve Açıkgöz 2019).

İnsan yaşamında kullanım alanı oldukça geniş olduğu için pamuk, dünya çapında tarımı ve ticareti en önemli ürünler arasında yer almaktadır. Tekstil sektöründe hammadde olarak kullanılan pamuk lifleri, aynı zamanda tohumlarındaki yüksek yağ içeriği sayesinde dünya yağ

ihtiyacının karşılanması da büyük bir rol oynamaktadır (Ayaz ve Can 2021). Küşesi ile yem sanayisinin ve yağı ile biyodizel üretiminin önemli hammaddelerindendir.

Genellikle, pamuğun gelişim süreci üç döneme ayrılmaktadır:

1. Temel gelişim dönemi (ilk çiçek tomurcuğunun oluşumuna kadar),
2. Koza oluşturma dönemi (ilk çiçek tomurcuğunun oluşumundan ilk kozanın açılmasına kadar),
3. Olgunlaşma dönemi (ilk kozanın açılmasından hasada kadar) (Şekil 19).



Şekil 19. Pamuk bitkisinin gelişim evreleri (Mart 2024a)

Bu gelişim dönemleri arasında, temel gelişim dönemi, biyotik ve abiyotik stres koşulları açısından en kritik dönem olarak kabul edilmektedir.

Pamukta zararlı mücadelesinin önemi

Pamuğun öneminin artmasıyla birlikte, pamuk alanlarında bulunan zararlı böcek türleriyle mücadele de önem kazanmaya başlamıştır. Özellikle erken dönemde zararlı olan emici böceklere (trips, yaprak biti, yaprak pireleri vb.) karşı oluşturulacak mücadele stratejilerinde, pamukta koza oluşturma döneminin ilk üç haftasında oluşan kozaların veya ana gövdeye göre birinci ve ikinci pozisyonundaki kozaların korunmasına yönelik önlemler alınması son derece önemlidir (Mart 2024a).

Tablo 3. Türkiye’de Pamukta Görülen Önemli Zararlılar (Eren vd. 2022)

Bilimsel adı	Türkçe adı
<i>Aphis gossypii</i> Glover	Pamuk yaprak biti
<i>Tetranychus urticae</i> Koch	İki noktalı kırmızı örümcek
<i>Tetranychus cinnabarinus</i> (Boisd.)	Pamuk kırmızı örümceği
<i>Asymmetrasca decedens</i> (Paoli)	Pamuk yaprak pireleri
<i>Empoasca decipiens</i> Paoli	
<i>Thrips tabaci</i> Lind.	Tütün tripsi
<i>Bemisia tabaci</i> (Genn.)	Tütün beyaz sineği
<i>Helicoverpa armigera</i> Hubner	Yeşilkurt
<i>Pectinophora gossypiella</i> (Saunders)	Pembekurt
<i>Agrotis</i> spp.	Bozkurtlar
<i>Spodoptera littoralis</i> (Bois.)	Pamuk yaprak kurdu

Bu zararlılar, pamuğun yeşil aksamında (yaprak, tarak, koza, sürgün vb.) zarar yaparak bitki gelişimini ve dolayısıyla verimi olumsuz yönde etkilemektedir.

Diğer kültür bitkilerinde olduğu gibi pamuk alanlarında da zararlılar ile mücadelede farklı mücadele yöntemleri kullanılmakla birlikte ağırlıklı olarak kimyasal mücadele yapılmaktadır. Pamuk tarımında sürdürülebilirliği sağlamak için birim alandan elde edilen ürün miktarının artırılması ve üretim için gerekli girdilerin azaltılması büyük önem arz etmektedir. Özellikle, üretim girdileri içinde büyük bir paya sahip olan zararlılara yönelik kimyasal mücadele yöntemlerinin doğru bir şekilde uygulanması, yani etkin bir yönetim stratejisi geliştirilmesi gerekmektedir (Mart 2024a).

Ekonomik zarar eşiği, zararlı böceklerin popülasyon düzeylerinde ekonomik anlamda mücadele edilmesi gerektiğini belirleyen bir kavramdır. Bu kavram, zararlının popülasyonunun ekonomik zarara yol açmadan önce kontrol altına alınması gereken noktayı ifade etmektedir. (Tablo 4).

Tablo 4. Bazı Önemli Pamuk Zararlılarına Karşı Kimyasal Mücadelede Uygulanmakta Olan Ekonomik Zarar Eşikleri (Mart 2024b)

Tür adı	Ekonomik zarar eşiği
İki noktalı kırmızı örümcek (<i>Tetranychus urticae</i>)	10 birey/yaprak
Pamuk kırmızı örümceği (<i>Tetranychus cinnabarinus</i>)	5 birey/yaprak
Pamuk yaprakbiti (<i>Aphis gossypii</i>)	25 birey/yaprak
Beyazsinek (<i>Bemisia tabaci</i>)	10 larva-5 ergin/yaprak
Yeşilkurt (<i>Helicoverpa armigera</i>)	2 larva/3 m sıra uzunluğu
Yaprak pireleri (<i>Empoasca decipiens</i> , <i>Asymmetrasca decedens</i>)	10 birey/yaprak
Tütün thrips (<i>Thrips tabaci</i>)	1 larva-ergin/yaprak

Bitki koruma çalışmalarında İHA kullanımı

Tarımda, insansız hava araçları bitki koruma faaliyetlerinde gün geçtikçe daha fazla tercih edilmektedir. Bu dronlar, genellikle bir şasiye monte edilmiş bir sıvı tankı, bir pompa ve püskürtme memelerini içerir ve bir operatör tarafından uzaktan kumanda ile kontrol edilebilir. Ek olarak, bu araçlar üzerlerinde bulunan yazılım aracılığıyla belirlenen alanı tespit ederek kendi kendilerine otonom bir uçuş gerçekleştirebilirler (Çelen vd 2020).

Ülkemizde, traktörle yapılan ilaçlama işlemlerinin güçlüğü nedeniyle öncelikle çeltik tarlalarında kullanılmaya başlanan ilaçlama dronları, zamanla traktörün giremediği mısır ve ayçiçeği tarlaları gibi alanlar, engebeli araziler ve hızlı ve eşit bir olgunlaşma gerektiren pamuk arazileri gibi çeşitli tarım alanlarında da tercih edilmeye başlanmıştır. Kısacası, çiftçilerimizin ihtiyaç duyduğu her tür tarla ve bahçe bitkisinde ilaçlama amacıyla kullanılmaktadır (Özyurt ve Çelen 2022).

ARAŞTIRMA BULGULARI

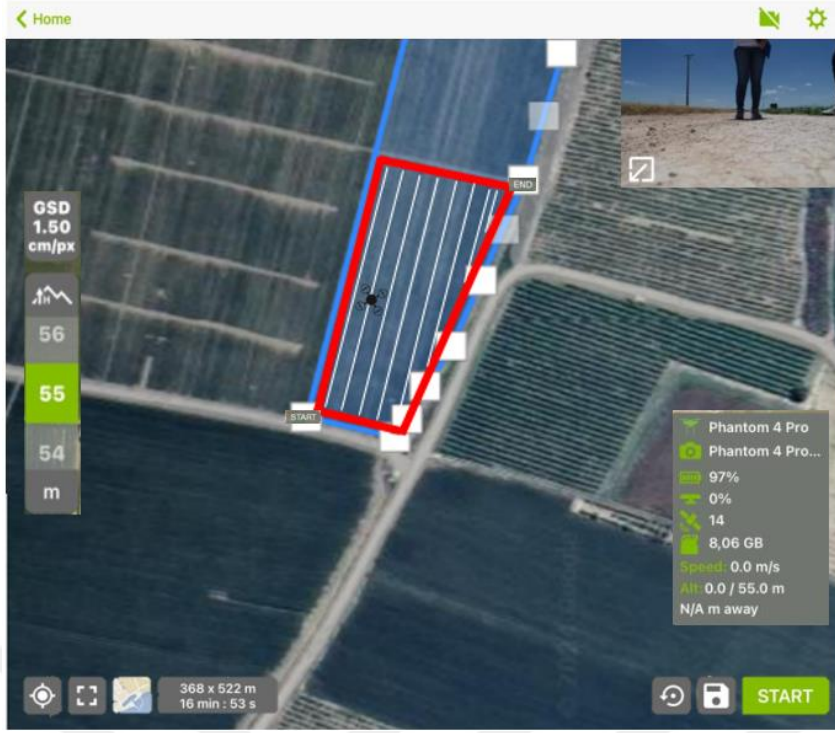
Arazi Deneme Çalışması – 1: Mısır Tarlasında İHA ile Yabancı Ot Popülasyonu Takibi

Manisa ili Yunusemre ilçesi Muradiye mahallesi, 5219 numaralı parsel üzerinde bir deneme çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışma, parselin güney orta kısmındaki 8 dekarlık bölümünde yürütülmüştür. Bu bölümde, multispektral kameralı İHA ile yapılan uçuşlar aracılığıyla, NDVI teknolojisi kullanılarak mısır bitkisindeki yabancı ot yoğunluğu takip edilmiştir. Ayrıca, 8 dekarlık alanın ilk 2 dekarlık bölümünde Şekil 23'teki gibi Kontrol, 1, 2 ve 3 numaralı parseller oluşturulmuştur. Mısırın 2-6 yapraklı olduğu dönemde 1, 2 ve 3 numaralı parsellere tarla pülverizatörü ile farklı herbisit uygulamaları yapılmıştır. Kontrol alanında ise herhangi bir ilaçlama yapılmamıştır. Herbisit uygulaması sonrasında 7., 14. ve 21. günlerde yapılan yerinde fiziksel kontrollerle yabancı otların durumu gözlemlenmiştir.

Deneme parselinde takip edilen iş planı aşağıdaki şekildedir:

1. Deneme parselinde İHA ile yapılacak uçuş planının belirlenmesi (03.04.2023).
2. İlk bitki çıkışlarının takip edilmesi ve İHA ile bitki sayımı yapılması (10.04.2023).
3. Bitki vejetatif dönemi takip edilerek 2-6 yapraklı dönemde İHA ile tarla/bitki sağlığı analizinin yapılması (02.05.2023).
4. Deneme parsellerinin ayrılması ve buradaki yabancı ot yoğunluğunun ilaçlama öncesinde İHA ile tespit edilmesi, her parsele farklı karakterde herbisit ilaçlaması yapılması (05.05.2023).
5. Farklı karakterde herbisit ilaçlamaları sonrası İHA ile uçuş yapılarak (10.05.2023) parsellerdeki yabancı ot yoğunluğunun tespit edilmesi; 7., 14., ve 21. günlerde arazide gözle değişimin gözlenmesi.

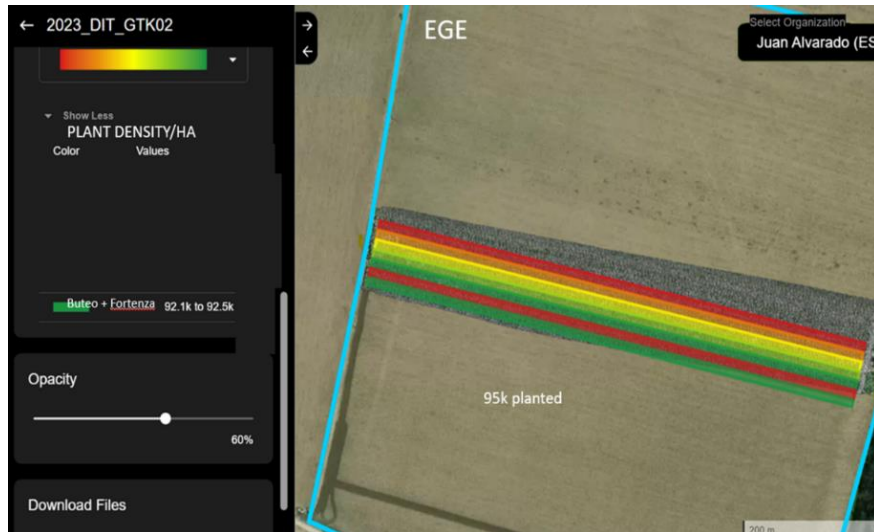
Hassas tarımda İHA kullanımı kapsamında deneme tarlasında ekili olan mısır bitkisi üzerinde Sentera DJI Phantom 4 Pro V2.0 İHA ile uçuş planlanmıştır (Şekil 20).



Çalışma
alanı
sınırları

Şekil 20. Arazi çalışmasına ilişkin uçuş planı örneği (Orijinal)

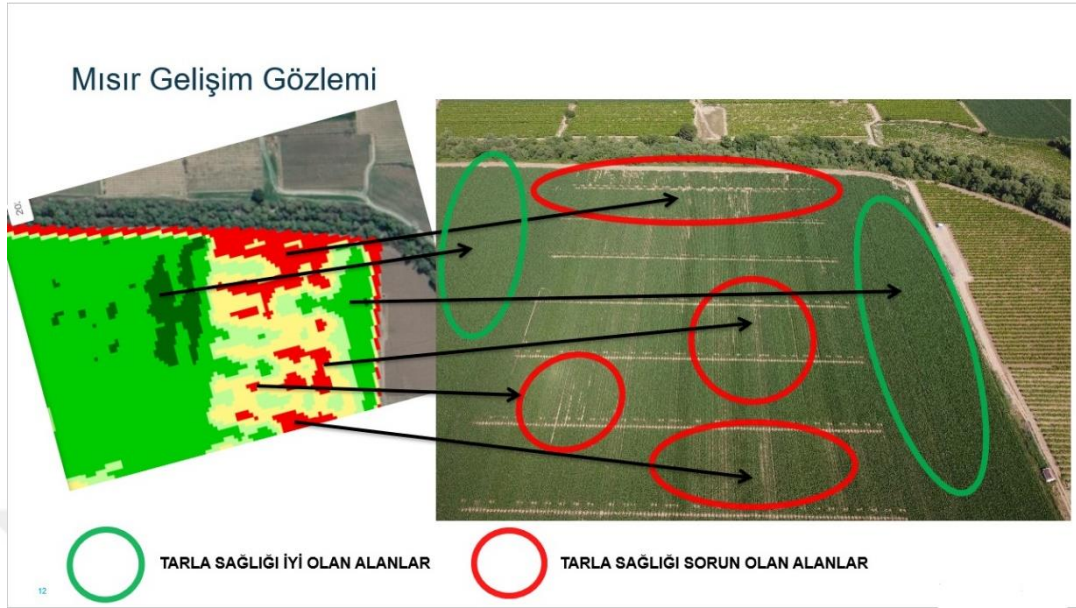
Çalışma alanında 01.04.2023 tarihinde mısır ekimi yapılmıştır. İlk bitki çıkışları 10.04.2023 tarihi itibarıyla görülmüş, ve aynı gün İHA ile 50 metre irtifadan uçuş yapılarak görüntüler toplanmıştır. Daha sonra bu görüntüler ilgili yazılıma aktarılarak alandaki bitki sayımları gerçekleştirilmiştir. Yeşil renkli bant homojen çıkışı, sarı ve kırmızı renkli bantlar ise daha az çıkış olan sıraları işaretlemektedir (Şekil 21).



Şekil 21. Deneme yapılan parsele ait mısır bitki sayımları görünmektedir (Orijinal)

Bitki sayımı sonrasında mısırın vejetatif dönemi takibe devam edilmiş ve gelişimin 2-6 yapraklı olduğu (yaklaşık bitki boyu 15-20 cm) dönemde, İHA ile 02.05.2023 tarihinde deneme

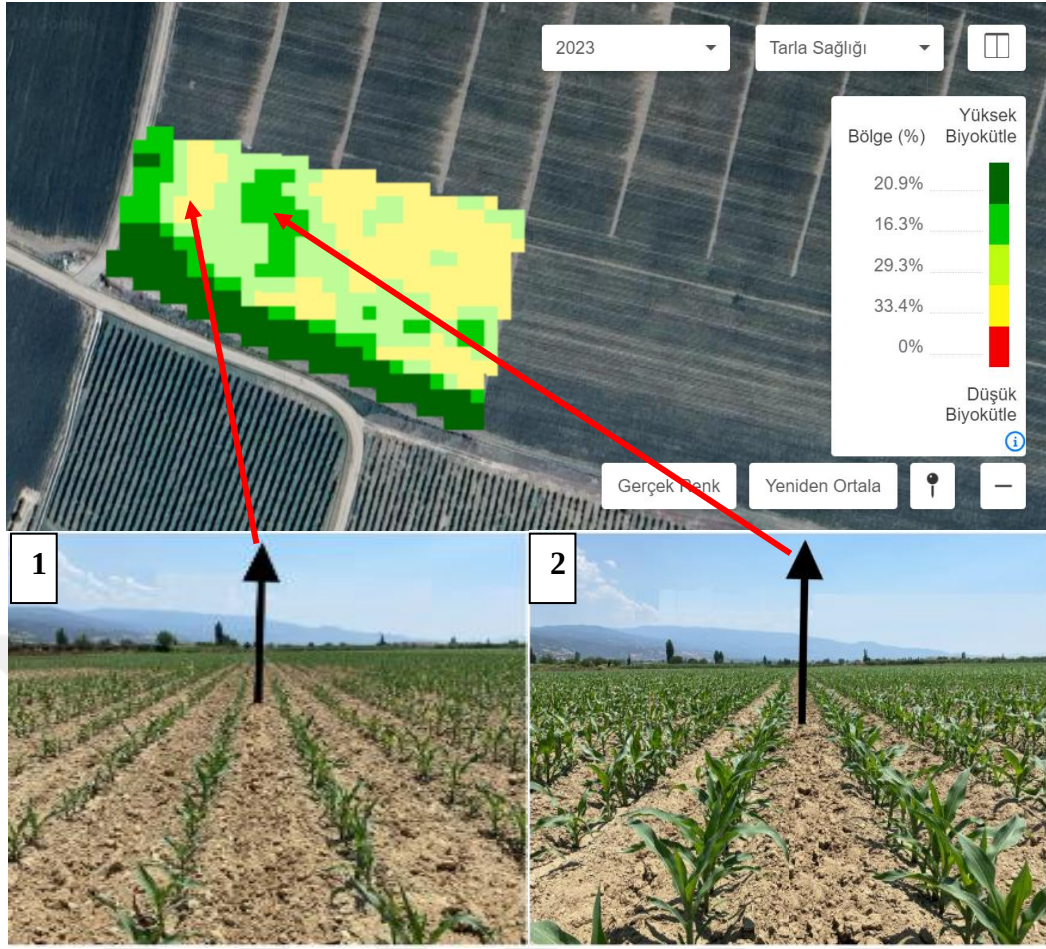
parseli üzerinde 50 m irtifadan uçuş yapılarak görüntüler alınmıştır. Bu görüntüler ilgili yazılıma (CFV) aktarılarak tarla/bitki sağlığı haritaları çıkarılmıştır (Şekil 22-23).



Şekil 22. Örnek tarla/bitki sağlığı haritası çalışması (Orijinal)

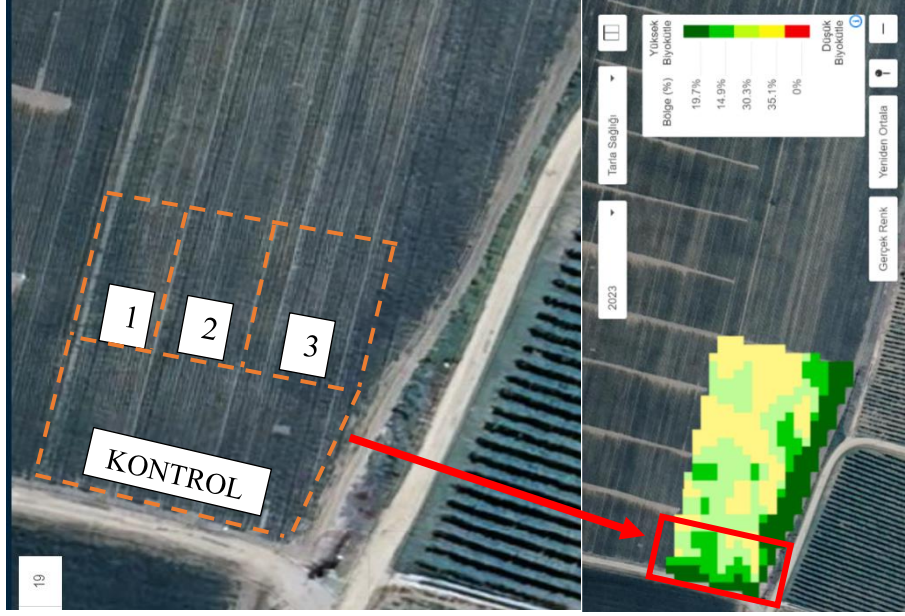
Yapılan haritalama işlemi incelendiğinde, CFV yazılımı aracılığıyla tarla sağlığının kolayca yorumlanabilmesi için tarladaki gelişim alanları farklı renklerle gösterilmiştir. Şekil 22'de yer alan skalada görülebileceği gibi, yeşil ile işaretli alanlar, tarlanın geri kalan kısımlarına göre ürün gelişiminin tarla ortalamasından daha iyi olduğu alanlardır. Sarı alanlar, bitki gelişiminin tarla ortalamasına göre yavaş ilerlediği alanlardır. Kırmızı alanlar ise bitki gelişiminin tarla ortalamasına göre en yavaş ilerlediği alanlardır. Kırmızı alanların ilerleyen analizlerde giderek büyüdüğü görülürse, tarla içerisinde görsel kontrol yapılması önerilmektedir.

Buna göre, Şekil 23'deki (1) numaralı kısımda sarı skala ile gösterilen alanda fiziksel olarak yerinde kontroller yapılmış ve mısır bitkisinin sağlıklı çıktığı ancak, (2) numaralı kısımdaki yeşil renkli skalada gösterilen alan ile kıyaslandığında, buradaki bitkilerin boyunun daha kısa ve yaprak yapısının küçük olduğu gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmada, İHA ile elde edilen görüntülerin arazideki kontroller ile örtüştüğü anlaşılmıştır. Bu tarlada bitki gelişimindeki bu farklılıkların ana nedeninin, arazinin farklı noktalarındaki toprak yapısından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.



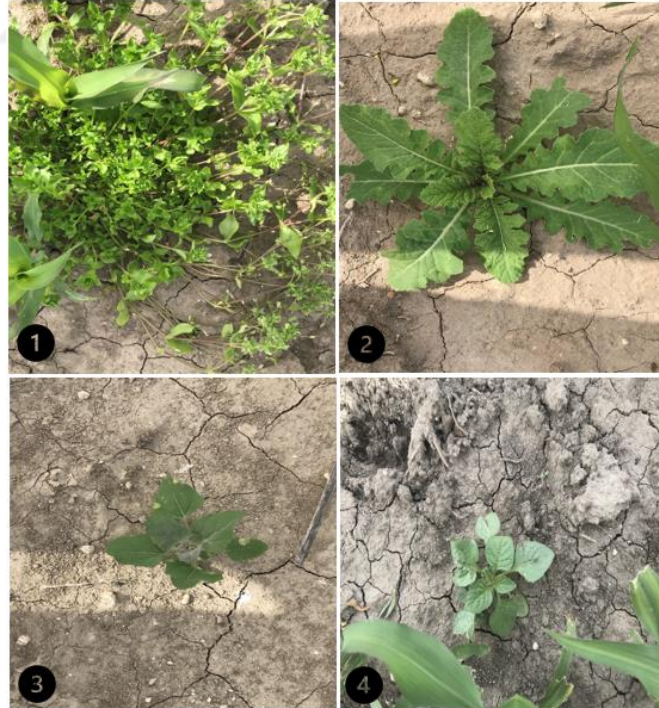
Şekil 23. Deneme parseline ait tarla/bitki sağlığı çalışması, tarla sağlığı zayıf olan alan (1), tarla sağlığı iyi olan alan (2) (Orijinal)

Tarla/bitki sağlığı haritalama işlemi sonrasında, deneme alanındaki yabancı otlarla mücadele için, Tablo 5'te aktif madde detayı belirtilen herbisitlerin mısır bitkisi içinde çıkış sonrası olarak uygulanması planlanmıştır. Çalışma alanı 'Kontrol', '1', '2' ve '3' şeklinde parsellere ayrılmıştır. İlaçlama öncesinde, kontrol ve 1-2-3 numaralı deneme parselleri üzerinde 05.05.2023 tarihinde 50 metre irtifadan İHA ile uçuş yapılarak görüntü alınmıştır. Alınan görüntüler yazılım ile analiz edilerek bu alanlardaki yabancı ot yoğunluğu hakkında bilgiler elde edilmeye çalışılmıştır (Şekil 24).



Şekil 24. Kontrol ve herbisit uygulama parselleri (Orijinal)

İHA ile yapılan uçuş sonrasında, kontrol parselinin koyu yeşil skalada olduğu gözlenmiştir (Şekil 24). Kontrol alanında rastgele seçilen 1 m²'lik noktalarda yerinde yapılan gözlemlerde, Şekil 25'deki gibi yabancı otların yoğun olduğu tespit edilmiştir. Arazi sahibi, 05.05.2023 tarihinde 1-2-3 numaralı parsellere yabancı ot ilaçlaması yapmıştır.



Şekil 25. (1) Serçe dili=Kuşotu (*Stellaria media*), (2) Yabani Hardal (*Sinapis arvensis*), (3) Sirken (*Chenopodium album*), (4) Köpek Üzümü (*Solanum nigrum*) (Orijinal)

Tablo 5. Uygulama Parselinde Kullanılan Herbisitlerin, Aktif Maddeleri, Uygulama Dozları ve Kontrol Ettikleri Yabancı Otlar (Anonim 2024i).

Aktif Madde	Uygulama Dozu	Kontrol Ettiği Yabancı Otlar
345 g/l Tembotrione + 68 g/l Thiencarbazone-methyl-sodium + 134 g/l Isoxadifen-ethyl	25 ml/da + 200 ml/da Mero Mısır ekim alanlarında yabancı otların 2-6 yapraklı döneminde çıkış sonrası	Ballıbaba Çobançantası Kırmızı Köklü Tilkikuyruğu Sirken Domuz Pıtrağı Yeşil Horozibiği Darıcan Yapışkan Ot Yabani Bamya Semizotu Şeytan Elması Köpek Üzümü
75 g/l Mesotrione + 30 g/l Nicosulfuron	200 ml/da çıkış sonrası	İmam pamuğu Kırmızı köklü horoz ibiği Tarla sarmaşığı Topalak Benekli darıcan Darıcan Yabani bamya Semizotu Yapışkan ot Kanyaş Zincir pıtrağı
40 g/l Nicosulfuron	125 ml/da Mısır 4-8 yaprak	Kanyaş-Geliç Darıcan Benekli darıcan Çatal otu Kirpi darı Kırmızı köklü tilki kuyruğu Köpek üzümü Yabani semiz otu Domuz pıtrağı
%50 Dicamba + %25 Tritosulfuron	25 g/da Yabancı otların 2-6 yapraklı döneminde	Köpek üzümü Şeytan elması Domuz pıtrağı Sirken Kırmızı köklü tilkikuyruğu Demir dikenli İmam pamuğu Semizotu Horozibiği

Tablo 5, çalışma alanındaki deneme parsellerinde yabancı otların kontrolü için kullanılan herbisitlerin aktif maddelerini ve bu herbisitlerin kontrol altına aldığı yabancı ot türlerini detaylandırmaktadır.

Herbisitler ve dozları:

345 g/l Tembotrione, 68 g/l Thiencarbazone-methyl-sodium, ve 134 g/l Isoxadifen-ethyl karışımı: Bu karışım, mısır ekim alanlarında 2-6 yapraklı dönemdeki dar ve geniş yapraklı yabancı otlara karşı kullanılmaktadır, uygulama dozu 25 ml/da + 200 ml/da şeklindedir.

75 g/l Mesotrione ve 30 g/l Nicosulfuron karışımı: Bu ikinci karışım da mısır alanlarında çıkış sonrası dar ve geniş yapraklı yabancı otlara karşı kullanılmaktadır, uygulama dozu 200 ml/da şeklindedir.

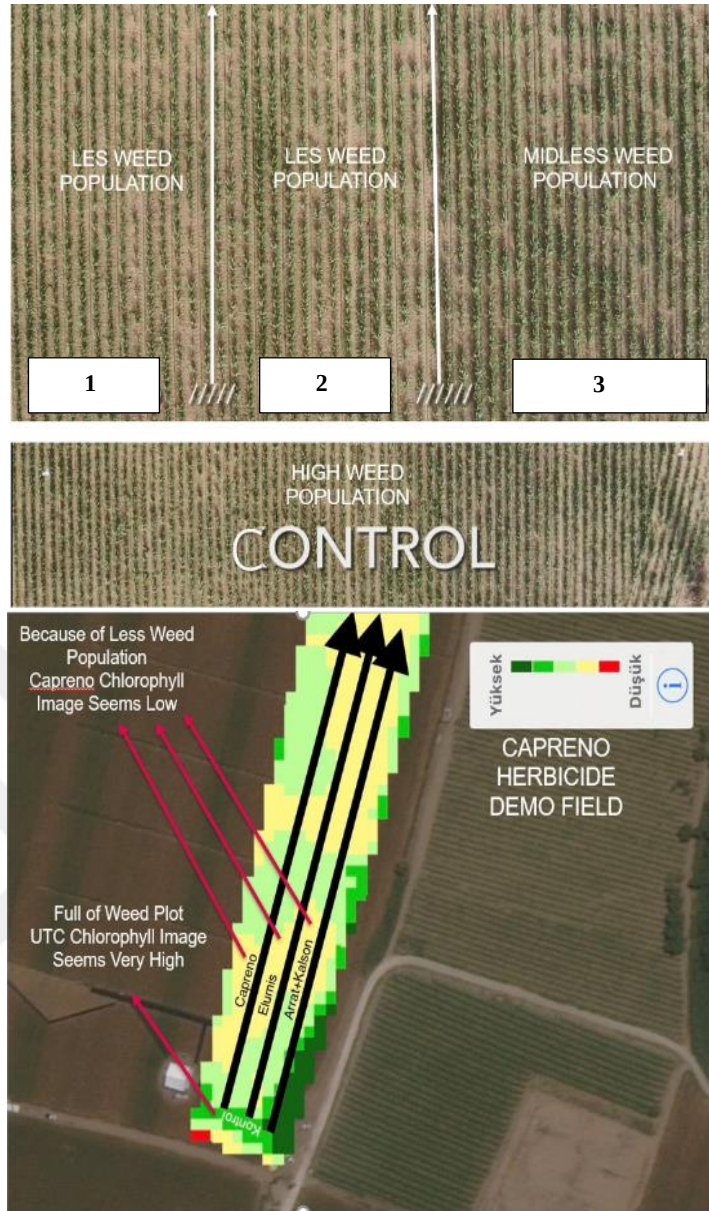
40 g/l Nicosulfuron: Mısırın 4-8 yapraklı döneminde dar ve geniş yapraklı yabancı otlara karşı uygulanmaktadır, uygulama dozu 125 ml/da şeklindedir.

%50 Dicamba ve %25 Tritosulfuron karışımı: Geniş yapraklı yabancı otların 2-6 yapraklı döneminde kullanılmaktadır, uygulama dozu 25 g/da şeklindedir.

Kontrol edilen yabancı ot türleri ve bilimsel adları:

Çeşitli yabancı ot türleri bu herbisitlerle kontrol altına alınmaktadır. Bunlar arasında Ballıbaba (*Lamium* sp.), Çobançantası (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.), Kırmızı Köklü Tilki Kuyruğu (*Amaranthus retroflexus* L.), Sirken (*Chenopodium album* L.), Domuz Pıtrağı (*Xanthium strumarium* L.), Yeşil Horozibiği (*Amaranthus viridis* L.), Darıcan (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv.), Yapışkan Ot (*Setaria verticillata* L.), Yabani Bamya (*Hibiscus trionum* L.), Semizotu (*Portulaca oleracea* L.), Şeytan Elması (*Datura stramonium* L.), Köpek Üzümlü (*Solanum nigrum* L.), İmam Pamuğu (*Abutilon theophrastii* Medik.), Tarla Sarmaşığı (*Convolvulus arvensis* L.), Topalak (*Cyperus rotundus* L.), Benekli Darıcan (*Echinochloa colonum* (L.) P.Beauv.), Kanyaş (*Sorghum halepense* (L.) Pers.), Zincir Pıtrağı (*Xanthium spinosum* L.) gibi türler bulunmaktadır.

05.05.2023 tarihinde 1-2-3 numaralı parsellere yapılan herbisit uygulamaları sonrasında, 26.05.2023 tarihinde parseller üzerinde İHA ile uçuş yapılarak yabancı ot yoğunluğu gözlemlenmiştir. İlaçlamaların etki seviyelerine göre, 1 ve 2 numaralı parsellerde yabancı ot yoğunluğu en az, 3 numaralı parselde ise orta düzeyde olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 26). İHA ile yapılan uçuş sonrası çıkarılan haritada (Şekil 26'da altta) sarı renkli görülen alanlarda ilaçlamalar sonrasında yabancı ot popülasyonunun düşük olduğu, yerinde yapılan gözlemlerle tespit edilmiştir. Bu yüzden buradaki renk skalası tamamıyla yeşil değildir. Kontrol parselinde ise, herhangi bir ilaçlama yapılmadığı için yeşil renk skalası yabancı ot popülasyonunun arttığını göstermektedir.

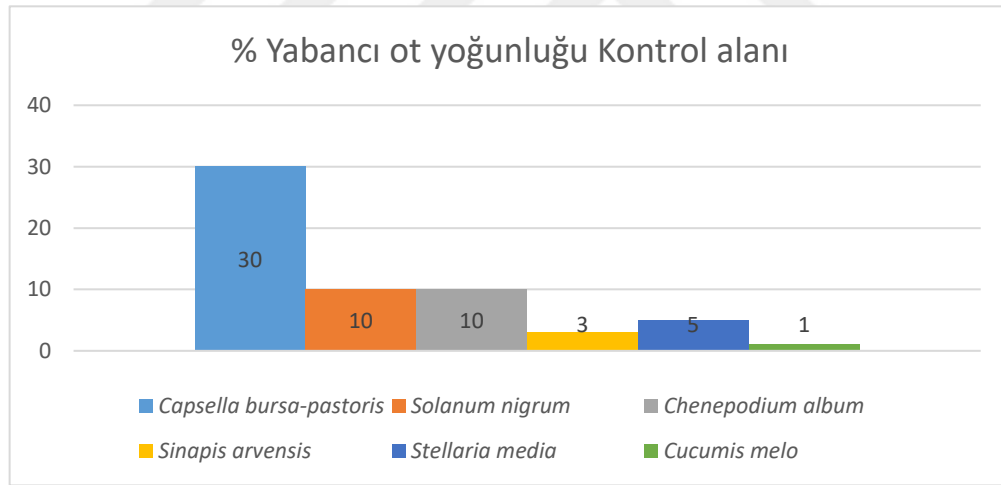
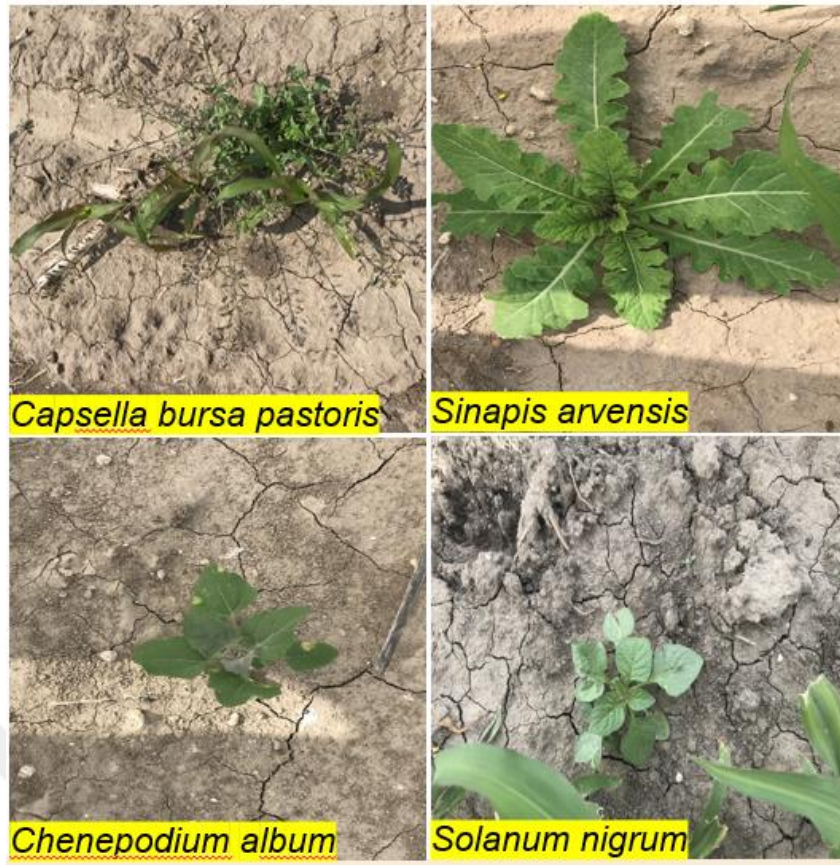


Şekil 26. Herbisit uygulaması sonrası İHA ile yabancı ot popülasyonu gözlemi (Orijinal)

İlaç karakterlerinin uygulanmasından sonraki 21. gün, uçuş yapılan kontrol ve 1-2-3 numaralı deneme parsellerinde yerinde gözlem yapılmıştır. Elde edilen sıra arası ve sıra üzeri görüntüler aşağıda sunulmuştur.

Uygulama sonrası kontrol parselinde yapılan yabancı ot gözlemi

Bu alanda mısır ekiminden itibaren hiçbir ilaçlama yapılmamıştır. Herbisit uygulamasından sonra, 7. gün (12.05.2023) yapılan kontrollerde, yabancı otların büyümeye devam ettiği gözlemlenmiştir. Sıra üzeri mesafede sayılan yabancı ot yoğunluğu, Şekil 27'deki grafikte gösterildiği gibidir.



Şekil 27. Kontrol parseli 7. gün gözlemi ve yabancı ot sayım grafiği (Orijinal)

Kontrol parselinde 14. gün (19.05.2023) ve 21. gün (26.05.2023) yapılan kontrollerde, sıra arası ve sıra üzerinde yabancı otların büyüme yoğunluğunun arttığı gözlemlenmiştir. Artan yabancı ot yoğunluğu, mısırın gelişimini engelleyerek bitkinin boyunun kısa kalmasına neden olmuştur (Şekil 28-29).



Şekil 28. Kontrol parseli 14. gün gözlemi (Orijinal)



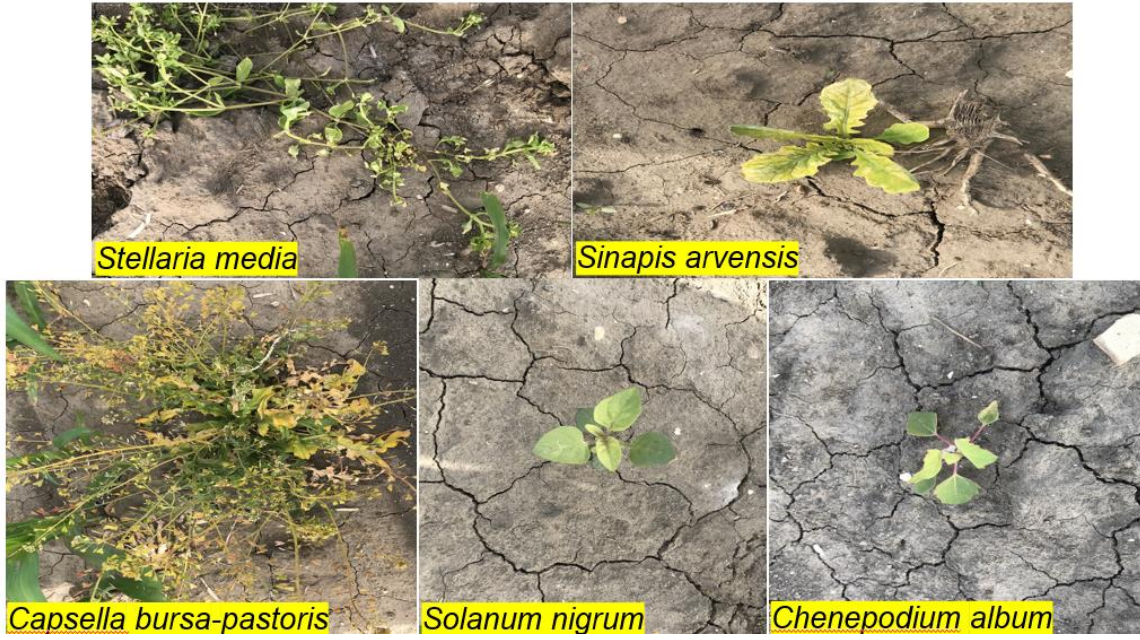
Şekil 29. Kontrol parseli 21. gün gözlemi (Orijinal)

Uygulama sonrası 1 numaralı parselde yapılan yabancı ot gözlemi

Birinci karakter ile ilaçlanan 1 numaralı parsel 15 sıradan oluşmaktadır. Burada, 345 g/l Tembotrione, 68 g/l Thiencarbazone-methyl-sodium ve 134 g/l Isoxadifen-ethyl aktif maddelerini içeren herbisit, tarla pülverizatörü ile uygulanmıştır. Bu ilaç, mısır ekim

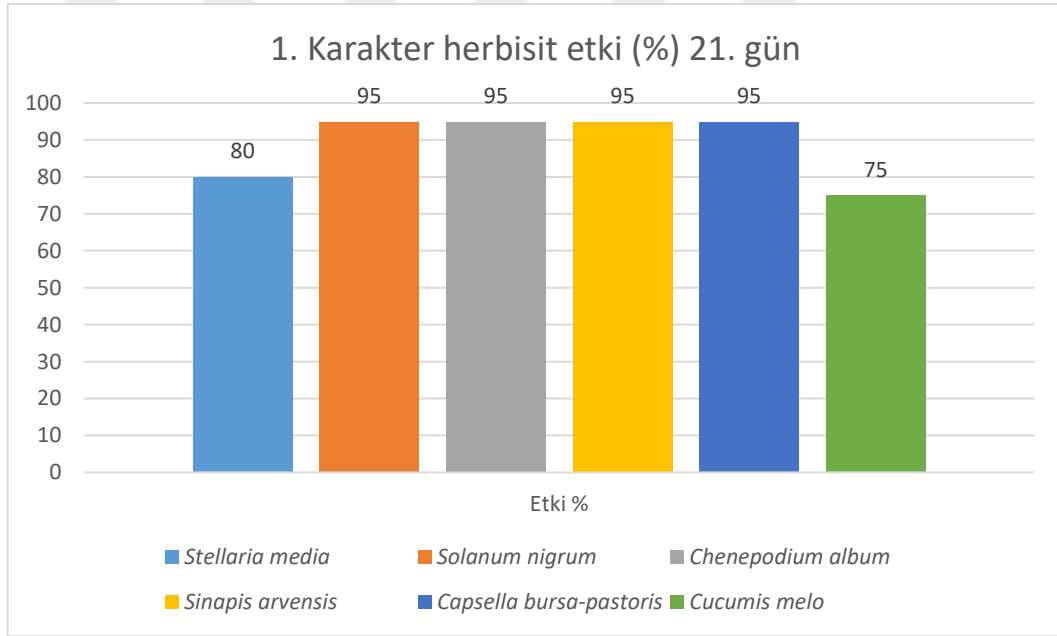
alanlarında 2-6 yapraklı dönemdeki dar ve geniş yapraklı yabancı otlara karşı kullanılmakta olup, uygulama dozu 25 ml/da + 200 ml/da'dır.

Herbisit uygulamasından sonra 7. gün (12.05.2023) yapılan kontrollerde, bu parselde sıra arası ve sıra üzerinde 3 metrelik mesafede yapılan kontrolde 5 farklı yabancı ot tespit edilmiştir (Şekil 30). Yabancı otlarda beyazlama ve sararma şeklinde etkiler gözlemlenmiştir. İHA ile yapılan uçuş sonrası, bu alandaki yabancı ot popülasyonunun diğer tüm parsellere göre çok daha az olduğu görülmüş; bu durum çıkarılan arazi haritası ile de örtüşmektedir (Şekil 26).



Şekil 30. İlaçlama parseli (1), 7. gün gözlemi (Orişinal)

Herbisit uygulaması sonrasında yapılan kontrollerde, 14. gün (19.05.2023) ve 21. gün (26.05.2023) tarihlerinde bu parselde sıra arası ve sıra üzerinde herhangi bir yabancı ot çıkışı veya gelişimi gözlenmemiştir. Bu parselde yapılan ilaçlamanın sonucunda elde edilen etki, grafiksel olarak Şekil 31'de gösterilmiştir.



Şekil 31. İlaçlama parseli (1) 21. gün gözlemi ve herbisit etki grafiği (Orijinal)

Uygulama sonrası 2 numaralı parselde yapılan yabancı ot gözlemi

İkinci karakter ile ilaçlanan 2 numaralı parsel 15 sıradan oluşmaktadır. Burada, 75 g/l Mesotrione ve 30 g/l Nicosulfuron aktif maddelerini içeren herbisit, tarla pülverizatörü ile uygulanmıştır. Bu karışım, mısır alanlarında çıkış sonrası dar ve geniş yapraklı yabancı otlara karşı kullanılmakta olup, uygulama dozu 200 ml/da şeklindedir.

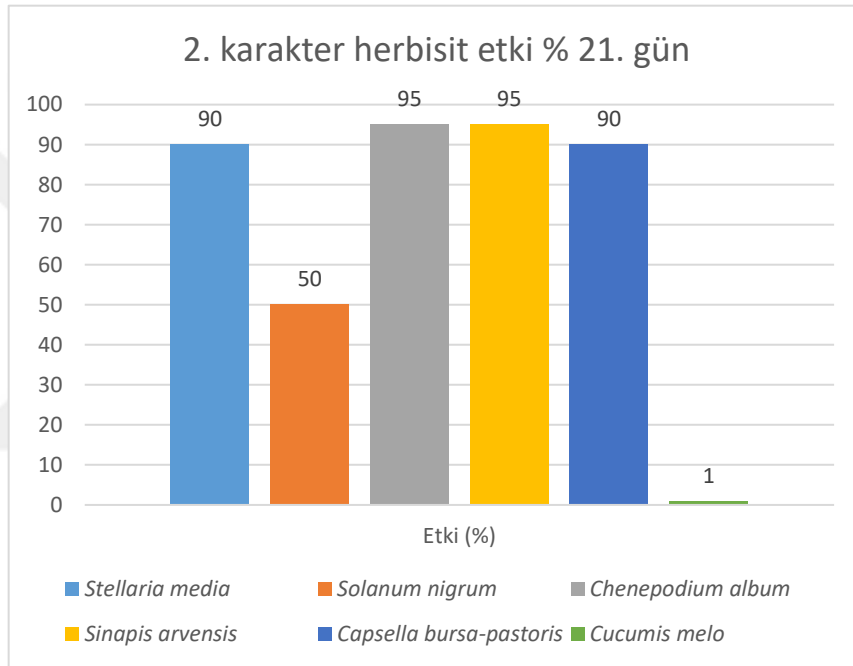
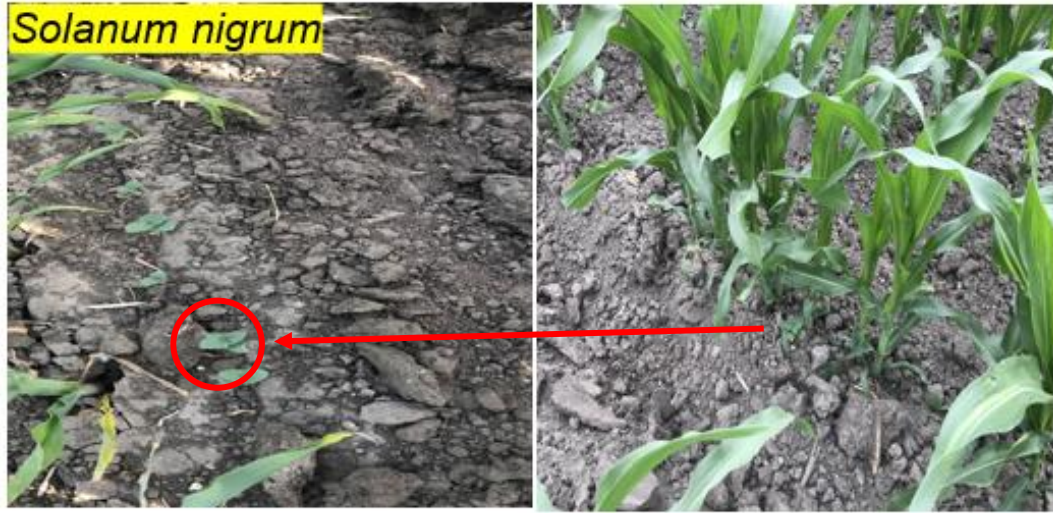
Herbisit uygulamasından sonra 7. gün (12.05.2023) yapılan kontrollerde, bu parselde sıra arası ve sıra üzerinde 3 metrelik mesafede yapılan kontrolde 5 farklı yabancı ot varlığı görülmüştür (Şekil 32). Yabancı otlarda gelişim durmuş ve sararma şeklinde deformasyonlar

gözlemlenmiştir. İHA ile yapılan uçuş sonrası, bu alandaki yabancı ot popülasyonunun kontrol parseline göre düşük, ancak 1 numaralı parselden yüksek olduğu tespit edilmiştir; bu durum çıkarılan arazi haritası ile de örtüşmektedir (Şekil 26).



Şekil 32. İlaçlama parseli (2), 7. gün gözlemi (Orijinal)

Herbisit uygulaması sonrasında 14. gün (19.05.2023) ve 21. gün (26.05.2023) tarihlerinde yapılan kontrollerde, sıra arası ve sıra üzerinde yeni *Solanum nigrum* çıkışları gözlenmiştir. Bu parselde yapılan ilaçlamanın sonucunda elde edilen etki, grafiksel olarak Şekil 33’de gösterilmiştir.



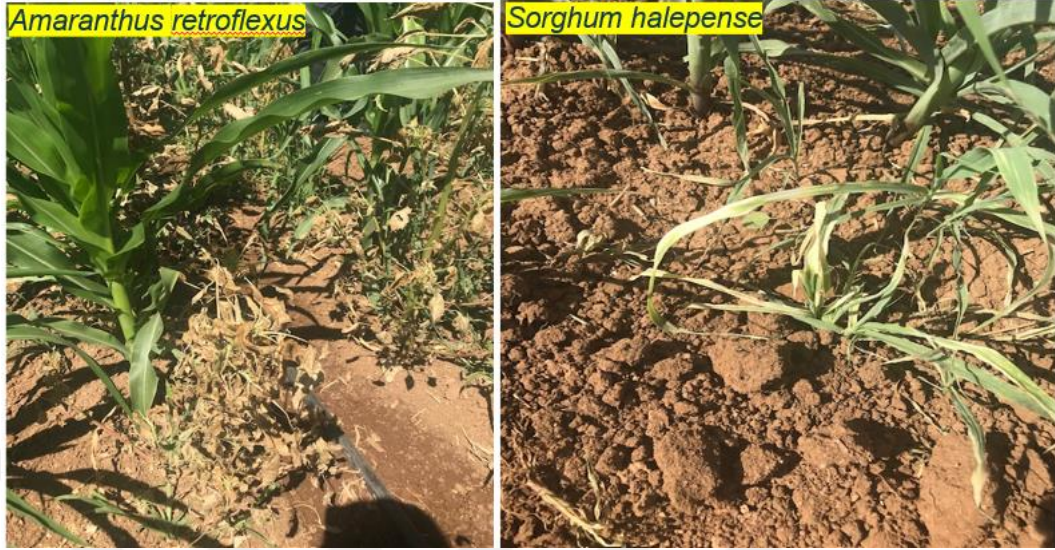
Şekil 33. İlaçlama parseli (2) 21. gün gözlemi ve herbisit etki grafiği (Orijinal)

Uygulama sonrası 3 numaralı parselde yapılan yabancı ot gözlemi

Üçüncü karakter ile ilaçlanan 3 numaralı parsel 20 sıradan oluşmaktadır. Burada kullanılan herbisitler ve dozları şunlardır: 40 g/l Nicosulfuron, mısırın 4-8 yapraklı döneminde dar ve geniş yapraklı yabancı otlara karşı uygulanmakta olup, dozu 125 ml/da'dır. Ayrıca, %50 Dicamba ve %25 Tritosulfuron, geniş yapraklı yabancı otların 2-6 yapraklı döneminde kullanılmakta olup, uygulama dozu 25 g/da'dır. Bu aktif maddeler içeren herbisitler, tarla pülverizatörü ile uygulanmıştır.

Herbisit uygulamasından sonra 7. gün (12.05.2023) yapılan kontrollerde, bu parselde sıra arası ve sıra üzerinde 3 metrelik mesafede yapılan kontrolde 2 farklı yabancı ot varlığı tespit edilmiştir (Şekil 34). Yabancı otların gelişimi durmuş ve sararma şeklinde deformasyonlar

gözlemlenmiştir. İHA ile yapılan uçuş sonrası, bu alandaki yabancı ot popülasyonunun 1 ve 2 numaralı parsellerden daha fazla olduğu görülmüş, bu durum çıkarılan arazi haritası ile de örtüşmektedir (Şekil 26).



Şekil 34. İlaçlama parseli (3), 7. gün gözlemi (Orijinal)

Herbisit uygulaması sonrasında 14. gün, (19.05.2023) ve 21. gün (26.05.2023) yapılan kontrollerde, sıra arası ve sıra üzerinde *Sorghum halepense* ve *Amaranthus retroflexus* çıkışları gözlenmiştir (Şekil 35).



Şekil 35. İlaçlama parseli (3) 21. gün gözlemi (Orijinal)

Arazi Deneme Çalışması – 2: Pamuk Tarlasında İHA ile Pestisit Uygulaması

Manisa ili Saruhanlı ilçesi Halitpaşa mahallesi, 154 ada 19 numaralı parsel üzerinde bir deneme çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışma, parselin 10 dekarlık bölümünde yürütülmüştür.

Bu bölgede, 5'er dekarlık iki ayrı deneme parseli ve 100 m²'lik bir kontrol parseli oluşturulmuştur (Şekil 37). İlaçlama öncesinde deneme parsellerinde ön çalışma (kaba sürvey) yapılmıştır. Deneme parsellerine İHA ve traktör ile ayrı ayrı pestisit uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Uygulamadan sonra 7. gün, arazide gözlem yapılarak her iki uygulama arasındaki farklar gözlemlenmiştir. Kontrol alanında ise ilaçlama yapılmamıştır. Deneme parselinde takip edilen iş planı aşağıdaki şekildedir:

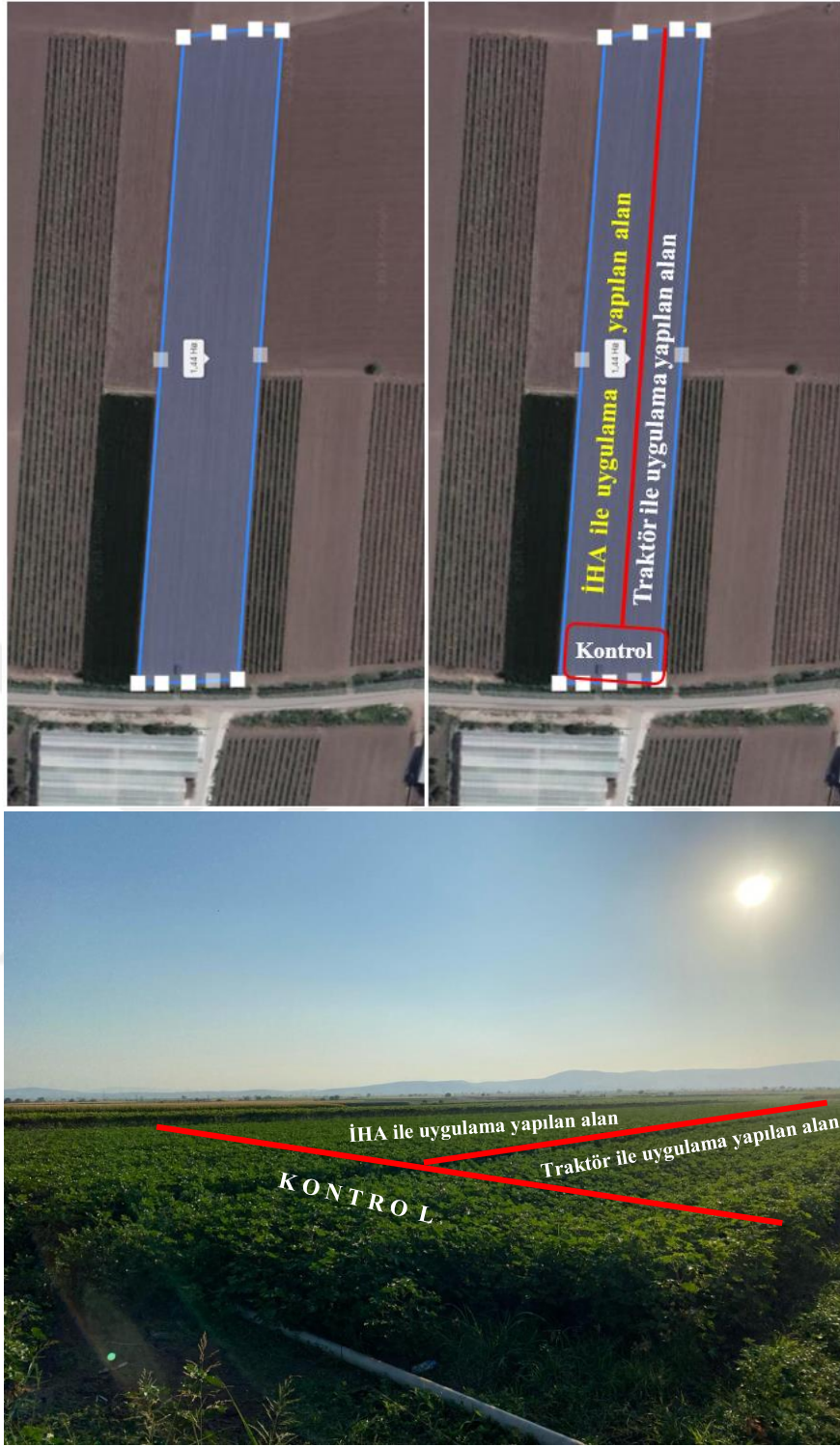
1. Deneme parselinde İHA ile yapılacak uçuş planının belirlenmesi.
2. İHA ve traktör ile ilaçlama yapılacak parsellerin ayrılması ve kontrol parselinin belirlenmesi.
3. Arazideki zararlı popülasyonunu takip etmek için ön çalışma yapılması (03.08.2023).
4. Genel emici böcekler (trips, yaprak biti, yaprak piresi) ve yeşilkurt için ilaçlama yapılması (10.08.2023).
5. Yapılan ilaçlama sonrası 7. gün arazide gözle kontrol yapılması ve İHA ile traktör kullanılarak ilaçlanan alanlarda zararlı popülasyon kontrolü yapılması (17.08.2023).

Bitki koruma uygulamalarında İHA kullanımı kapsamında, deneme tarlasında ekili olan pamuk bitkisi üzerinde DJI Agras T40 İHA ile insektisit uygulaması için uçuş planlaması yapılmıştır (Şekil 36).



Şekil 36. Pamuk arazi çalışmasına ilişkin uçuş planı örneği (Anonim 2024h)

Deneme arazisi, 40 sıradan oluşan bir pamuk tarlasıdır. Arazi sahibi ile yapılan görüşme sonucunda, 20 sıra İHA ile ilaçlama için ayrılmış, kalan 20 sıra ise arazi sahibi tarafından traktör ile ilaçlanmıştır. Arazi giriş kısmından içeriye doğru 5 metre mesafede bir kontrol alanı bırakılmıştır (Şekil 37).



Şekil 37. Deneme çalışma alanı (sol üstte), İHA ve traktör uygulama parselleri ile kontrol parselinin ayrılması (Orijinal)

İHA ve traktör ilaçlama alanları ile kontrol parselinin belirlenmesinden sonra, deneme alanındaki zararlılarla mücadele için Tablo 6'da aktif madde detayları belirtilen insektisitlerin uygulanması planlanmıştır.

İlaçlama öncesinde, arazide ön çalışma olarak kaba sürvey yapılmıştır (03.08.2023). Çalışma sırasında, sıra üzeri ve sıra arası 2 metrelik mesafedeki 8-10 bitkinin her birinde en az

5 yaprak kontrol edilmiştir. Yapılan kontrolde, seçilen yapraklar üzerinde yaprakbiti *Aphis gossypii* (yaprak başına ortalama 20-25 birey ergin/nimf) yoğunluğu gözlemlenmiştir (Şekil 38).



Şekil 38. Pamuk arazi çalışmasından görüntüler 1 (Orijinal)

Yapılan kontrollerde, sıra üzerindeki 2 metrelik mesafede seçilen yapraklar üzerinde yeşilkurt *Helicoverpa armigera* (ortalama olarak 2 yumurta ve 1 larva-ergin başına) gözlemlenmiştir (Şekil 39).



Şekil 39. Pamuk arazi çalışmasından görüntüler 2 (Orijinal)

Yapılan kontrollerde, seçilen yapraklar üzerinde yaprak piresi türleri *Empoasca decipiens* ve *Asymmetrasca decedens* (yaprak başına ortalama 1-5 birey ergin/nimf) gözlemlenmiştir (Şekil 40).



Şekil 40. Pamuk arazi çalışmasından görüntüler 3 (Orijinal)

Tablo 6. Uygulama Parselinde Kullanılan İnsektisitler, Aktif Madde, Uygulama Dozu ve Kontrol Ettiği Zararlılar (Anonim 2024j).

Aktif Madde	Uygulama Dozu	Kontrol Ettiği Zararlı Organizma
75 g/l Flupyradifurone + 10 g/l Deltamethrin	125 ml/da (Nimf-Ergin)	Yaprakbiti (<i>Aphis gossypii</i>)
	125 ml/da (Nimf-Ergin)	Tütün tripsi (<i>Thrips tabaci</i>)
	100 ml/da. Nimf-Ergin)	Yaprak pireleri (<i>Asymmetrasca decedens</i> , <i>Empoasca decipiens</i>)
480 g/l Flubendiamide	12.5 ml/da. (Larva)	Yeşilkurt (<i>Helicoverpa armigera</i>)

Tablo 6, çalışma alanındaki deneme parsellerinde kullanılan insektisitlerin aktif maddelerini ve bu insektisitlerin kontrol altına aldığı zararlı organizmaları detaylandırmaktadır.

İnsektisitler ve dozları:

75 g/l Flupyradifurone + 10 g/l Deltamethrin karışımı: Bu karışım, pamuk ekim alanlarında özellikle erken dönemde sorun oluşturan emici böceklerle mücadelede kullanılmaktadır. Yaprakbiti (*Aphis gossypii*), tütün tripsi (*Thrips tabaci*) ve yaprak pireleri (*Asymmetrasca decedens*, *Empoasca decipiens*) gibi zararlılara karşı etkilidir. Uygulama dozu, yaprakbiti ve tütün tripsi için nimf ve ergin evrelerde 125 ml/da'dır. Aktif maddenin etki şekli sistemik, translaminar ve ani olup, kontrolü zor olan emicileri hızlı ve etkili bir şekilde kontrol eder. Ayrıca çevreye ve faydalı böcekler için güvenlidir ve entegre zararlı yönetimi (IPM) ile uyumludur.

480 g/l Flubendiamide: Pamuk ekim alanlarında zararlı olan yeşilkurta (*Helicoverpa armigera*) karşı erken dönemde (L1-L2 larva evreleri) kullanılmaktadır. Uygulama dozu 12.5 ml/da'dır. Aktif maddenin etki şekli şöyledir: Normalde hızlı hareket eden yeşilkurt larvaları, uygulamadan sonra kas kontrolünü kaybeder ve hareketsiz hale gelir; bu durum onların beslenmeyi bırakmasına neden olur. Uygulamadan 1-2 saat sonra larvalar boyut olarak normalin yarısına kadar küçülür ve birkaç saat sonra ölüm meydana gelir. Bu ürün çevreye ve faydalı böceklerle karşı güvenlidir ve entegre zararlı yönetimi (IPM) ile uyumludur.

Planlama doğrultusunda, deneme tarlasında ekili olan pamuk bitkisi üzerinde sorun teşkil eden zararlılarla mücadele için, ayrı parsellerde hem DJI Agras T40 İHA ile uçuş yapılarak hem de traktör pülverizatörü ile pestisit uygulaması gerçekleştirilmiştir. Aradaki farklar gözlemlenmiş ve elde edilen bulgular aşağıda belirtilmiştir.

Kullanılacak insektisitlerin hazırlanmasında, ticari ürün üzerinde bulunan ve bakanlıkça onaylanmış etikette yer alan talimatlara uygun olarak hareket edilmiştir. Talimata göre, 'Tavsiye edilen dozda bitki koruma ürünü önce ayrı bir kaptaki bir miktar su ile karıştırılır. Uygulama makinesinin deposu yarıya kadar su ile doldurulduktan sonra, makinenin karıştırıcısı çalışırken, karışım depoya eklenir. Karışım devam ederken depo suyla tamamlanır ve uygulama tamamlanmaya kadar karıştırma işlemine devam edilir. Hazırlanan karışım aynı gün içinde kullanılmalıdır.

DJI Agras T40 İHA ile yapılan ilaçlama uygulamasına ait bilgiler

Uygulanacak ilaçlar, her biri öncelikle ayrı bir tankta etiket dozuna göre belirli bir miktar su ile önceden karıştırılmıştır. 75 g/l Flupyradifurone ve 10 g/l Deltamethrin aktif maddelerini içeren insektisit, 125 ml/da dozunda kullanılmıştır; 480 g/l Flubendiamide aktif maddesini içeren insektisit ise 12,5 ml/da dozunda kullanılmıştır.

Uygulama 5 dekarlık alanda gerçekleştirildiği için; 75 g/l Flupyradifurone ve 10 g/l Deltamethrin aktif maddelerini içeren insektisit $5 \times 125 \text{ ml} = 625 \text{ ml}$ dozunda, 480 g/l Flubendiamide aktif maddesini içeren insektisit ise $5 \times 12,5 \text{ ml} = 62,5 \text{ ml}$ dozunda karıştırılarak toplam 687,5 ml ilaç karışımı elde edilmiştir. Ardından, DJI Agras T40 İHA'nın deposu yarıya kadar su (20 litre) ile doldurulmuş, elde edilen ilaç karışımı İHA tankına eklenmiş ve tank temiz su ile tamamlanmıştır (toplam 40 litre) (Şekil 41). Uygulama, sabah erken saatte ve rüzgarsız bir havada gerçekleştirilmiştir. İHA ile yapılan ilaçlama operasyonunun parametreleri aşağıdaki gibidir:

İlaçlama irtifası: 2,5 m (bitkinin en üst noktasına olan mesafe)

Uçuş hızı: 7 m/s

Maksimum akış hızı: 6 L/dk

Etkili püskürtme genişliği: 7 m



Şekil 41. DJI Agras T40 ilaçlama uygulaması ve ilaçlama öncesi hazırlık (Orijinal)

Traktör (tarla pülverizatörü) ile yapılan ilaçlama uygulamasına ait bilgiler

Uygulanacak ilaçlar, her biri öncelikle ayrı bir kapta etiket dozuna uygun şekilde bir miktar su ile karıştırılmıştır. 75 g/l Flupyradifurone ve 10 g/l Deltamethrin aktif maddelerini içeren insektisit 125 ml/da dozunda, 480 g/l Flubendiamide aktif maddesini içeren insektisit ise 12,5 ml/da dozunda kullanılmıştır.

Uygulama 5 dekarlık alanda gerçekleştirildiği için; 75 g/l Flupyradifurone ve 10 g/l Deltamethrin aktif maddelerini içeren insektisit 625 ml (5 x 125 ml) dozunda, 480 g/l Flubendiamide aktif maddesini içeren insektisit ise 62,5 ml (5 x 12,5 ml) dozunda karıştırılmıştır. Böylece toplamda 687,5 ml ilaç karışımı elde edilmiştir.

Genel olarak pülverizatör ile yapılan ilaç uygulamalarında, dekara 20-40 litre su kullanılması tavsiye edilir; bu su miktarı bitkinin vejetatif durumuna göre ayarlanır. Traktör ile yapılan çiftçi uygulamasında, pülverizatör dekara 30 litre su düşecek şekilde ayarlanmıştır. 5 dekarlık alan için toplamda 150 litre su kullanılacaktır (5 x 30 = 150 L). Pülverizatör deposu

önce 50 litre su ile doldurulmuş, ardından elde edilen ilaç karışımı tanka ilave edilmiş ve tankın üzeri temiz su ile 150 litreye tamamlanmıştır (Şekil 42). Uygulama, sabah erken saatte ve rüzgarsız bir havada gerçekleştirilmiştir.

Traktör ile yapılan ilaçlama parametreleri aşağıdaki gibidir.

İlaçlama yüksekliği: 40-50 cm (bitkinin en üst noktasına olan mesafe)

Traktör hızı: 7 km/h

İş genişliği: 20 m

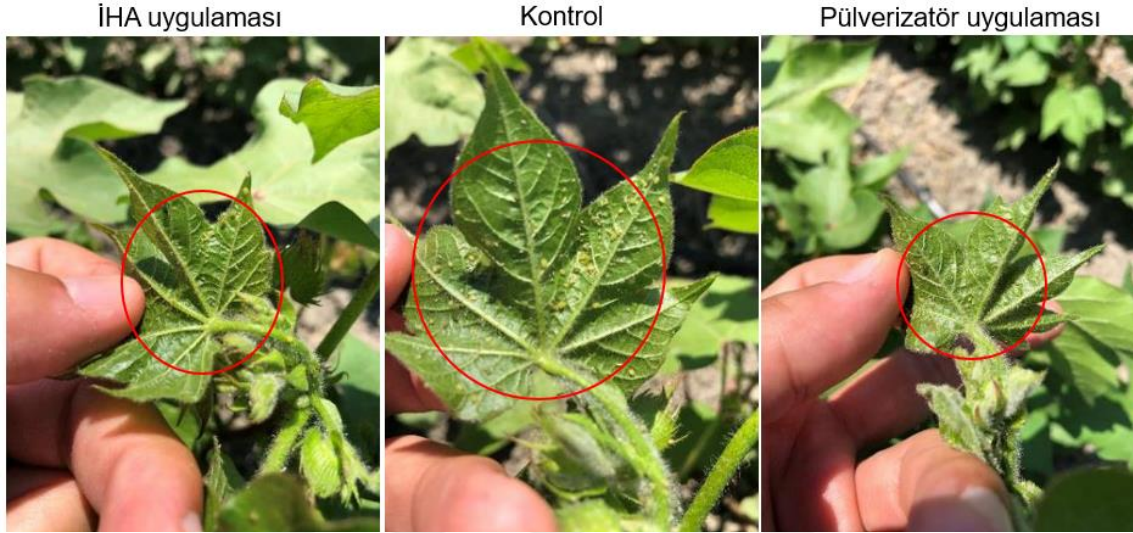
Pülverizatör basıncı: 3 bar



Şekil 42. Tarla pülverizatörü ile ilaçlama uygulaması (Orijinal)

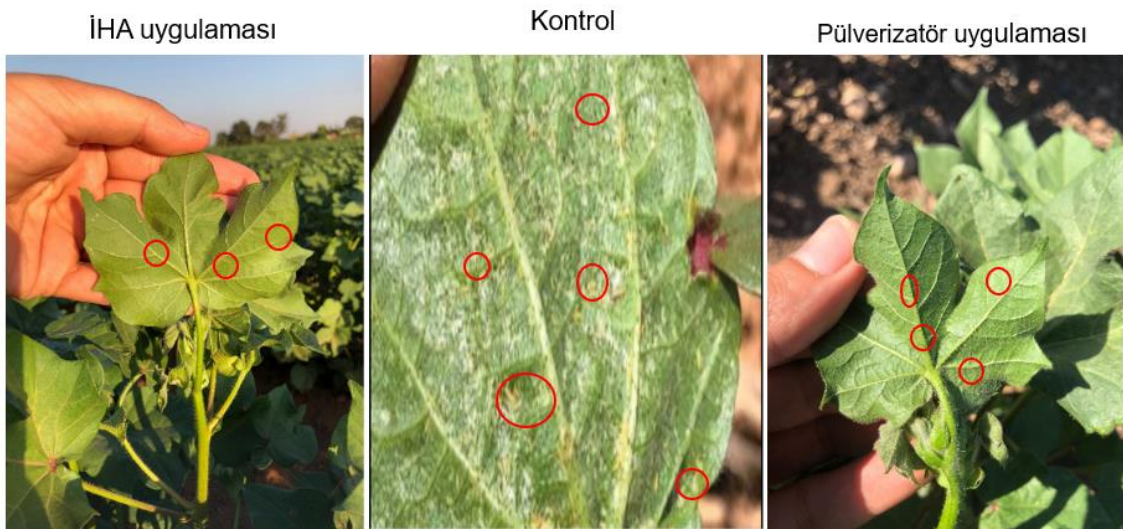
İlaçlamalar sonrasındaki 7. gün, arazide tekrar kaba sürvey yapılarak İHA ve traktör ile gerçekleştirilen ilaç uygulamalarının etkinliği kıyaslanmıştır. Kaba sürvey sırasında, sıra üzeri ve sıra arasındaki 2 metrelik mesafede yer alan 8-10 bitkinin her birinde en az 5 yaprak kontrol edilmiştir. Yapılan kontrollerde elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır.

Kontrol alanında seçilen yapraklarda, yaprakbiti yoğunluğunun (yaprak başına ortalama 20-25 birey ergin/nimf) devam ettiği ve yapraklarda pörsüme olduğu gözlemlenmiştir. İHA ve pülverizatör ile ilaçlama yapılan alanlarda ise, canlı yaprakbiti sayısında azalma (yaprak başına ortalama 7-10 birey ergin/nimf) görülmüş ve yaprakların sağlıklı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 43).



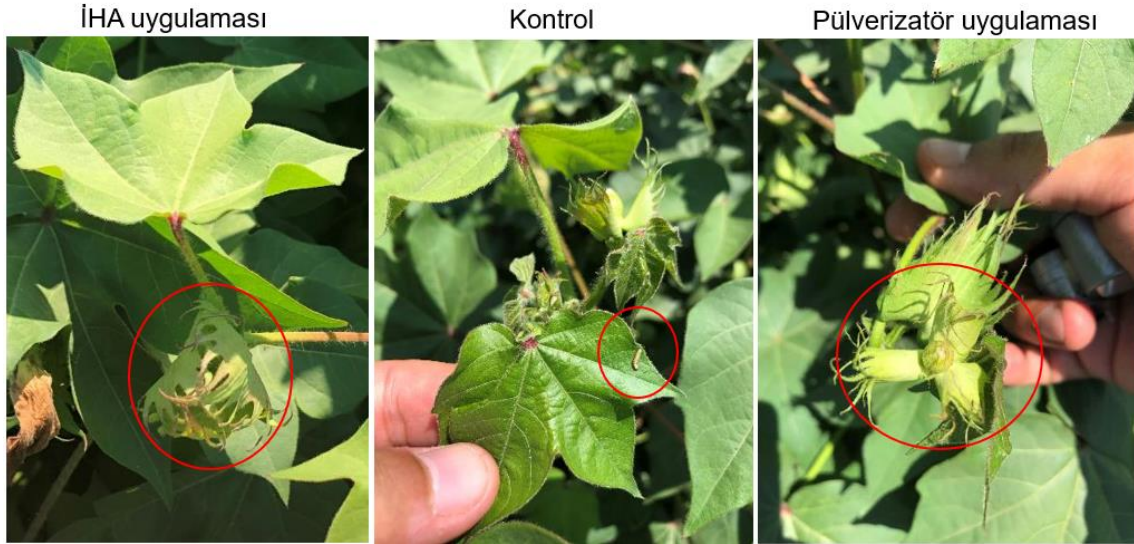
Şekil 43. İlaç uygulaması sonrası yaprak biti kontrolü (Orijinal)

Kontrol alanında seçilen yapraklarda trips yoğunluğunun (yaprak başına ortalama 5-7 birey ergin/nimf) devam ettiği ve yaprakların deforme olduğu gözlemlenmiştir. İHA ve pülverizatör ile ilaçlama yapılan alanlarda ise canlı trips sayısında azalma (yaprak başına ortalama 2-3 birey ergin/nimf) görülmüş ve yaprakların sağlıklı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 44).



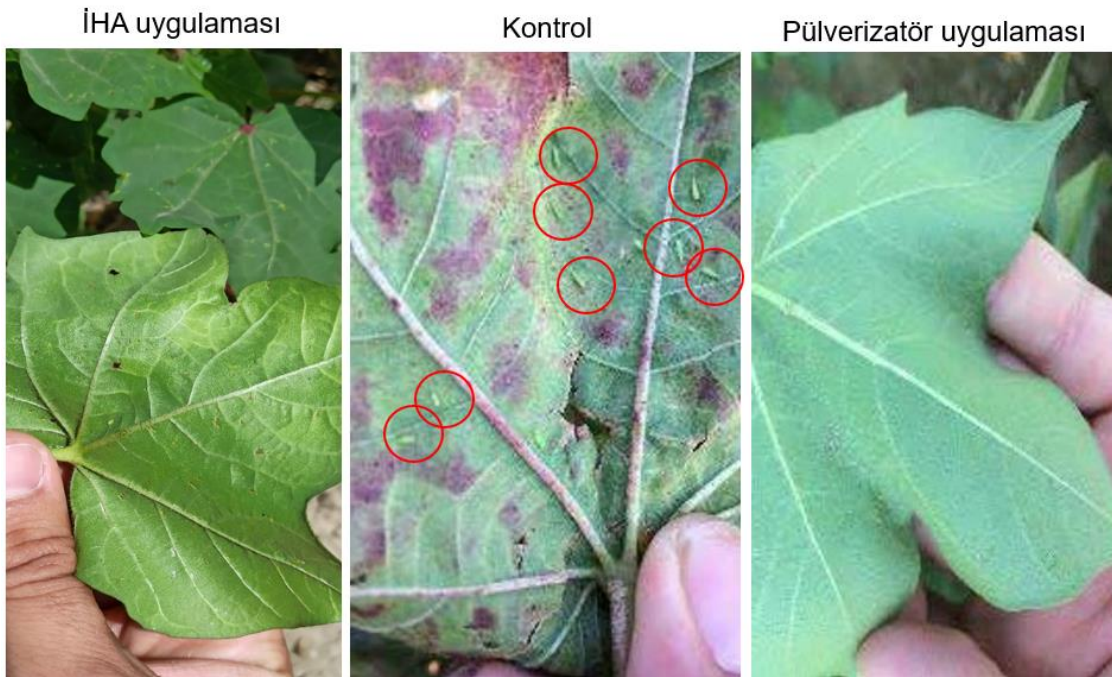
Şekil 44. İlaç uygulaması sonrası trips kontrolü (Orijinal)

Kontrol alanında seçilen yapraklarda, sıra üzerindeki 2 metrelik mesafede, yeşilkurt yoğunluğunun (ortalama 2 yumurta ve 1 larva) devam ettiği ve yaprakların deforme olduğu gözlemlenmiştir. İHA ve pülverizatör ile ilaçlama yapılan alanlarda ise, taraklar ve yapraklar sağlıklı kalmış ve canlı yeşilkurt larvası gözlemlenmemiştir (Şekil 45).



Şekil 45. İlaç uygulaması sonrası yeşilkurt kontrolü (Orijinal)

Kontrol alanında seçilen yapraklarda, yaprak piresi yoğunluğunun (yaprak başına ortalama 7-10 birey ergin/nimf) devam ettiği ve yaprakların deforme olduğu gözlemlenmiştir. İHA ve pülverizatör ile ilaçlama yapılan alanlarda ise, canlı yaprak piresi birey sayısı (yaprak başına ortalama 1-3 birey ergin/nimf) azalmış ve yapraklar sağlıklı kalmıştır (Şekil 46).



Şekil 46. İlaç uygulaması sonrası yaprak piresi kontrolü (Orijinal)

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında, hassas tarım ve bitki koruma alanlarında İHA kullanımının örnek teşkil etmesi amacıyla, mısır ve pamuk bitkisi üzerinde iki ayrı saha uygulaması gözlemlenmiştir. Tarımsal alanda İHA kullanımına ilişkin ulusal ve uluslararası literatür taraması yapılmıştır.

Araştırma, İHA teknolojisinin mısır tarlalarındaki yabancı ot kontrolünde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle, İHA ile yapılan NDVI analizleri kullanılarak, çalışmanın yürütüldüğü tarzda bir tarlada yabancı ot kontrolü için stratejiler geliştirmek ve bitki sağlığını izlemek mümkün olmuştur. İHA tabanlı NDVI analizleri, sağlıklı bitki dokusu ile yabancı otlar arasındaki kontrastı belirleyerek, müdahale gereken alanları tespit etmede yardımcı olmaktadır. İHA ile yapılan uçuş sonrası, bu alandaki yabancı ot yoğunluğundaki artış, arazi haritasında net bir şekilde görülmektedir. NDVI analizleri kullanılarak bitki örtüsü ve yabancı ot popülasyonları arasındaki farklar başarılı bir şekilde belirlenmiş ve bu teknolojinin tarımsal uygulamalarda önemli bir araç olduğu kanıtlanmıştır.

Yabancı Ot Kontrolü: İHA destekli NDVI analizleri, yabancı otların tespiti ve kontrolünde etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu analizler, yabancı otların yayılımını ve yoğunluğunu belirleyerek etkin mücadele stratejileri geliştirmede önemli bir yardımcı olmaktadır.

Tarımsal Verimlilik: Çalışmada elde edilen bulgular, İHA ve NDVI teknolojisinin kullanılmasının tarımsal verimlilik ve sürdürülebilir tarım uygulamalarına önemli katkılar sağladığını göstermektedir. Bu teknolojiler, bitki sağlığı ve verimliliği üzerindeki etkilerini izleme ve tarım alanlarının daha etkin yönetilmesine olanak tanıma konusunda kritik rol oynamaktadır.

Genişletilmiş Kullanım: İHA teknolojisi ve NDVI analizlerinin, mısır tarımı dışındaki diğer tarım alanlarında da kullanılması üzerine çalışmalar geliştirilebilir. Bu genişletme, tarımsal verimliliği artırmak ve bitki sağlığı yönetimini iyileştirmek için etkili bir yöntem olabilir.

Eğitim ve Farkındalık: Çiftçilere ve tarım danışmanlarına yönelik İHA teknolojisi ve NDVI analizleri hakkında düzenlenecek eğitim programları, bu teknolojilerin potansiyelini daha iyi anlamalarını ve tarımsal uygulamalarında daha etkin kullanmalarını sağlayabilir.

Yenilikçi Araştırmalar: Gelecekteki araştırmalar, İHA ve NDVI teknolojisinin tarım alanındaki diğerk potansiyel uygulamalarını keşfetmeye yonelebilir. Özellikle, iklim değişikliği ve sürdürülebilir tarım uygulamaları bağlamında bu teknolojilerin oynayabileceği roller üzerine odaklanmak faydalı olacaktır.

Ülkemizde tarımsal ilaçlama uygulamalarında İHA kullanımı her geçen gün artmakta ve bu teknoloji, geleneksel pülverizatör ile yapılan ilaçlama uygulamalarına göre birçok avantaj sunmaktadır. Yapılan alışmada, İHA ve pülverizatör ile ilaçlanan alanlar kıyaslandığında, zararlı birey sayıları arasında belirgin bir fark olmadığı görölmüştür. Bu sonuca göre, uygun koşullar sağlandığında, İHA ile yapılan ilaçlama, pülverizatör ile elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

Tarımsal İHA'lar kullanılarak yapılan pestisit uygulamalarının avantajları şöyle özetlenebilir:

İHA'ların tarımda kullanımının en büyük avantajı, sürdürülebilir tarım uygulamalarını desteklemesidir (akmak vd 2020).

İlalamada, traktör kullanımına göre İHA'lar daha az yakıt tüketimi sağlayarak girdi maliyetlerini azaltır.

Geleneksel tarım aletleri ve makine operatörleri, ilaçlamalarda maruz kaldıkları kimyasallar nedeniyle sağlık sorunları yaşayabilir. İHA kullanımı, bu tür sağlık risklerini azaltmada etkili bir yöntemdir (Babaoğlu vd 2021).

İHA ile yapılan pestisit uygulaması daha hızlı gerçekleşir, bu da büyük arazilerde zaman tasarrufu sağlar ve zaman yönetimini etkinleştirir.

İHA kullanımı, yabancı otların pestisit uygulamasından önce tespit edilmesini sağlar. Bu önceden tespit imkanı, ilaçların sadece gerekli bölgelere uygulanmasını sağlayarak hem pestisit tasarrufu yapar hem de çevresel etkiyi minimize eder.

İHA'larla yapılan bu tür ölçümler, bitkilerin sağlık durumunu objektif bir şekilde değerlendirmekte ve çiftçilere hastalık veya zararlılarla mücadelede proaktif bir yaklaşım sunmaktadır. Çiftçiler, İHA'lar tarafından sağlanan verileri analiz ederek, hangi bölgelerin daha fazla su veya gübreye ihtiyaç duyduğunu, hangi bitki alanlarının hastalık veya zararlı böcek saldırısına uğradığını daha iyi anlayabilirler. Bu sayede, gereksiz gübre veya pestisit kullanımını azaltarak, hem maliyetleri düşürebilir hem de çevresel etkiyi minimize edebilirler (Villi ve Yakar 2022).

Değişken düzeyli uygulama yöntemiyle kullanılan pestisit miktarının azalması, maliyetleri düşürmekte ve çevresel zararı azaltmaktadır. Bu yöntem, ilaçların ihtiyaç duyulan yerlere ölçülü bir şekilde uygulanmasını sağlayarak hem ekonomik hem de ekolojik faydalar sunmaktadır (Akkamış ve Çalışkan 2020).

Traktör kullanılarak yapılan pestisit uygulamalarında tarlada yetişen ürünlerin bir kısmı zarar görebilirken, İHA kullanımı ezilmeye bağlı ürün kaybını ortadan kaldırmakta ve bu kaybı sıfıra indirmektedir.

Engbeli arazilerde traktör ile tarım alet ve makinelerinin kullanımının güçleştiği durumlarda, İHA'lar daha kullanışlı ve güvenli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. İHA'lar, tarımsal uygulamalarda özellikle zor erişilebilir arazilerde büyük bir avantaj sağlayarak, çiftçilere erken uyarı sistemi gibi önemli bir işlev sunmaktadır. Bu araçlar, geniş ve ulaşılması zor tarım arazilerinin üstten detaylı bir şekilde incelenmesini mümkün kılar, böylece su stresi, besin eksiklikleri ve hastalık gibi sorunlar erken evrede tespit edilebilir (Tsouros et al. 2019)

Tarımsal İHA'lar kullanılarak yapılan pestisit uygulamalarının dezavantajları şöyle sıralanabilir (Alkan ve Ertuğrul 2022).:

İHA'lar hakkında yeterli bilgi ve deneyime sahip olmayan kişiler tarafından yapılan uygulamalar bazen istenmeyen sonuçlar doğurabilmektedir. Örneğin, İHA'nın tavsiye edilen bitki boyundan daha yüksek bir mesafede kullanılması durumunda, ilaç damlacıkları sürüklenerek hedef bitkiye ulaşamayabilir. Bu durum, ilacın bitki üzerindeki etkinliğini azaltıp çevre kirliliğine yol açabilmektedir.

Pestisitlerin formülasyonu kullanımda önemli bir faktördür. Katı formdaki pestisitler (toz veya granül vb.) İHA'nın püskürtme memeleri için uygun değildir. Bu durum, İHA'nın kullanım alanlarını kısıtlayabilir.

İHA'ların batarya kapasitelerinin sınırlı olması, uçuş sürelerini kısa tutmaktadır. Bu kısa uçuş süreleri nedeniyle, depo hacimlerinin artırılması mümkün olmamakta ve büyük arazilerde çok sayıda depo dolumu gerektirmektedir. Bu da işlemlerin verimliliğini düşürebilir ve maliyetleri artırabilir.

Ticari uçakların da kullandığı hava sahasını İHA'lar için kullanmak yasal izinlerin alınmasını gerektirir. Ticari İHA kullanmak için yasal olarak bulundurulması gereken ehliyet alınması gerekmektedir.

Sonuç olarak tarımsal İHA'ların hassas tarım ve bitki koruma uygulamalarında verimliliği arttırmak amacıyla kullanılabilir olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Ağızan, K., Bayramoğlu, Z., Ağızan, S., 2022. Advantages of Smart Agricultural Technologies to Agricultural Enterprises Management. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 10(9), 1697-1706.
- Akgüç, B., 2024. Tarım Faaliyetlerde Tarımsal Dronlar ve Görevleri. avdesodrone.com, <https://avdesodrone.com/tarim-faaliyetlerde-tarimsal-dronlar/> (28.03.2024).
- Akkamış, M. ve Çalışkan, S., 2020. İnsansız Hava Araçları ve Tarımsal Uygulamalarda Kullanımı. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 2(1), 8-16
- Akmeşe, V., Aydoğdu, M., Caner, K.Ö., Çulcu, M., Eşitmez, B., Keleş Öztürk, P., Sokat, Y., Tetik, Ö., Tonga, A., Yıldırım F.A., Yılmaz, E., Yılmaz, A. 2022. Yabancı Otlar. Mısır Entegre Mücadele Teknik Talimatı, Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Bitki Sağlığı Araştırmaları Daire Başkanlığı, Ankara, 71-85.
- Alkan, B., Ertuğrul, G.Ö., 2022. Tarımsal İnsansız Hava Araçları ile Pestisit Uygulamaları. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2(2), 232-238.
- Altaş, Z., Özgüven, M. M., & Yanar, Y. 2018. Bitki Hastalık ve Zararlı Düzeylerinin Belirlenmesinde Görüntü İşleme Tekniklerinin Kullanımı: Şeker Pancarı Yaprak Leke Hastalığı Örneği.
- Anonim, 2020. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Müdürlüğü Web Sitesi. <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/Belgeler/M%C4%B0LL%C4%B0%20TARIM/MISIR%20KASIM%20B%C3%9CLTEN%C4%B0.pdf>. (18.01.2024)
- Anonim, 2024a. Manisa coğrafyası. https://www.manisa.bel.tr/s23_manisa-cografyasi.aspx (08.04.2024).
- Anonim, 2024b. Manisa haritası. https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Manisa_in_Turkey.svg (08.04.2024).
- Anonim, 2024c. Manisa Fiziki Haritası. <https://www.harita.gov.tr/urun/manisa-fiziki-il-haritasi/360> (08.04.2024)
- Anonim, 2024d. Manisa ilinin iklim durumu. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. Manisa İlinin İklim Durumu https://izmir.mgm.gov.tr/FILES/iklim/manisa_iklim.pdf (08.04.2024).
- Anonim, 2024e. Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Parsel Sorgu Uygulaması, <https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/#ara/cografi/38.686185213154886/27.346246202144805> (13.04.2024).
- Anonim, 2024f. Sentera DJI Phantom 4 Pro V2.0 NDRE Upgrade – Upgrade Only, <https://1updrones.com/product/sentera-dji-phantom-4-pro-v2-0-ndre-upgrade-upgrade-only/> (13.04.2024).
- Anonim, 2024g. Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Parsel Sorgu Uygulaması, <https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/#ara/cografi/38.7041913566578/27.67536370658798> (13.04.2024).
- Anonim, 2024h. Drone ile İlaçlama-Drone ile İlaçlama İşine Giriş, <https://cropim.com/tr/drone-ile-ilaclamaya-giris/> (13.04.2024).
- Anonim, 2024i. Uygulama parselinde kullanılan mısır bitkisinde ruhsatlı herbisitlerin aktif maddeleri, uygulama dozları ve kontrol ettikleri yabancı otlar. Bitki koruma ürünleri

veritabanı,
<https://bku.tarimorman.gov.tr/BKURuhsat/Details/9383?undefined=undefined>,
<https://bku.tarimorman.gov.tr/BKURuhsat/Details/3305>,
<https://bku.tarimorman.gov.tr/BKURuhsat/Details/224>,
<https://bku.tarimorman.gov.tr/BKURuhsat/Details/1377> (10.03.2024).

- Anonim, 2024j. Uygulama parselinde kullanılan, pamuk bitkisinde ruhsatlı insektisitlerin aktif madde, uygulama dozları ve kontrol ettikleri zararlılar. Bitki koruma ürünleri veritabanı, <https://bku.tarimorman.gov.tr/BKURuhsat/Details/8980?csrf=4159004266594017252>, <https://bku.tarimorman.gov.tr/BKURuhsat/Details/9441?csrf=6611967492834387442> (10.03.2024).
- Anonymous, 2016. <http://www.notablebiographies.com/CaCh/Cavendish-Henry.html>. (15.04.2024)
- Avcı, İ., Farzaliyev, E., Kabullar, E., 2021. Classification of Lands of Remote Sensitive Data by NDVI Method in Smart Agriculture. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLVI-4 (W5), 73-77.
- Ayaz, T., Can, F. 2021. Şırnak İli Pamuk Ekim Alanlarında Bulunan Zararlı Lepidoptera Türleri, Popülasyon Yoğunlukları ve Avcıları Üzerinde Araştırmalar. MKU. Tar. Bil. Derg. 26(3) : 516-532. DOI: 10.37908/mkutbd.885475
- Babaoğlu, U.T., Oymak Yalcin, S., Calis, A.G. et al. 2021. Effects of different occupational exposure factors on the respiratory system of farmers: the case of Central Anatolia. J Public Health (Berl.) <https://doi.org/10.1007/s10389-021-01554-6> (18.02.2024).
- Balcı K. D., Açıkgöz S., 2019. Pamuk Solgunluk Hastalık Etmeni *Verticillium dahliae* Kleb.'da Mikovirüs dsRNA Analizi ve RT-PCR İle Tanılanması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 29 (3), 516-525.
- Baran, F.O., Emre, K., Sürmen, M., 2023. Türkiye’de Tarımda Dijitalleşme Sürecinde Yaşanan Gelişmeler. Tarım, Orman ve Su Bilimlerinde Yenilikçi Çalışmalar, 151-177.
- Bedord L., 2017. Sentera Converts DJI Phantom 4 Pro Into Precision Scouting Tool. Successfull Farming. Sentera Converts DJI Phantom 4 Pro Into Precision Scouting Tool (agriculture.com) (2023).
- Bouskour, S., Bahatti, L., Zaggaf, M. H., 2023. The Use of NDVI to Improve Cereals Agriculture: A Review. IEEE, 1-7.
- Brummel, D.H., 2019. Delineation of NDVI-based soil management zones: Applications of UAS technology. (Corpus ID: 198408969).
- Carolan, M., 2017. Publicising food: big data, precision agriculture, and co- experimental techniques of addition. Sociologia Ruralis, 57(2), 135-154.
- Chatterjee, S., 2018. Time Series Crop Monitoring of an Agricultural Scheme on a Plot Basis Using Complementary Remote Sensing. Y.Lisans Tezi, Technische Universität Dresden Faculty of Environmental Sciences Institute for Cartography, Dresden.
- Chin, R., Catal, C., Kassahun, A., 2023. Plant disease detection using İHAs in precision agriculture. Precision Agriculture, 1-20.
- Coelho, A. R., Luís, I., Marques, A., Pessoa, C., Daccak, D., Caleiro, J., Silva, M. M., Kullberg, J., Brito, M., Legoinha, P., Simões, M., Pessoa, M., Reboredo, F., Silva, M. J., Smedo, J., Pais, I., Rodrigues, A., Campos, P., Ramalho, J., Scotti-Campos, P., & Smedo, J. 2021. Monitoring a Calcium Biofortification Workflow in an Orchard of *Pyrus*

- communis var. Rocha Applying Precision Agriculture Technology. Biology and Life Sciences Forum. 2021; 3(1):3.
- Córcoles, J. I., Ortega, J. F., Hernández, D., & Moreno, M. A. (2013). Estimation of leaf area index in onion (*Allium cepa* L.) using an unmanned aerial vehicle. Biosystems Engineering, 115(4), 31-42.
- Çakmak, H. B. İ., Dolar, B. Ç. F. S., Karaca, O. G. G., Karaca, İ., Özdem, C. K. A. 2020. Bitki Koruma Uygulamalarında Mevcut Durum, Gelişmeler ve Gelecek. Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-2, 11.
- Çelen, İ. H., 2023. Tarım Dijitalleşirken Bitki Koruma Teknolojileri. Tarım, Orman ve Su Bilimlerinde Yenilikçi Çalışmalar, 97-120.
- Çelen, İ. H., Önler, E., Özyurt, H. B., 2020. Drone Technology In Precision Agriculture. Engineering Sciences, 121.
- Çelik, N. 2000. T.C. Cumhurbaşkanlığı, Strateji ve Bütçe Başkanlığı Web Sitesi. <https://sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/NebiCelik.pdf>. (18.11.2023)
- Çevik M., 2021.Tarımda Teknoloji Verimlilik ve Tasarruf Sağlıyor. Tarım ve Orman Dergisi.<http://www.turktarim.gov.tr/Haber/619/tarimda-teknoloji-verimlilik-ve-tasarruf-sagliyor>. (2023) (21.02.2024).
- DJI, 2024a. Support for Phantom 4 Pro V2.0. Phantom 4 V2.0. <https://www.dji.com/global/support/product/phantom-4-pro-v2>, <https://support.sentera.com/portal/api/kbArticles/280672000016519587/locale/en/attachments/82mko8754acbf11a2492cb76097e6caecc6a5/content?portalId=edbsndc49af6231b384d609b205eda12b95356310426ab79cfafc2949ad93d787da96&inline=true> (27.03.2024).
- DJI, 2024b Support for DJI AGRAS T40. <https://www.dji.com/global/support/product/t40> (20.01.2024).
- Doğan, Y., & Yıldız, F. 2019. İha ile Multispektral Kameralardan Sağlanan Görüntüler Yardımıyla Bitki Türlerinin Sınıflandırılması. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 1(1), 15-22.
- Eren, S., Ateş, E., Baran, B., Bulat Ş. Y., Cer, C., DüNDAR, H., Günaçtı, H., Kaya, C., Orak, B. A., Sabahoglu, Y., Sezgin, M., Tanyolaç, S., Torun, H., Üstün, N., Yılmaz, A., 2022. Ana Zararlılar. Pamuk Entegre Mücadele Teknik Talimatı, Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Bitki Sağlığı Araştırmaları Daire Başkanlığı, Ankara, 14-27.
- Esposito, M., Crimaldi, M., Cirillo, V., Sarghini F., Maggio A., 2021. İHA and sensor technology for sustainable weed management: a review. Chem. Biol. Technol. Agric. 8, 18.
- Geipel, J., Link, J., & Claupein, W. 2014. Combined spectral and spatial modeling of corn yield based on aerial images and crop surface models acquired with an unmanned aircraft system. Remote sensing, 6(11), 10335-10355.
- Güzel M., Şin B., Turan B., Kadioğlu İ. 2019. Real-Time detection of wild mustard (*Sinapis arvensis*) with deep learning (YOLO). IASTEM- 648th International Conference on Environment and Natural Science Paper-13198
- Hunt, E. R., Horneck, D. A., Spinelli, C. B., Turner, R. W., Bruce, A. E., & Gadler, S. J. 2018. Monitoring nitrogen status of potatoes using small unmanned aerial vehicles. Precision Agriculture, 19(1), 314-333.

- Ivezić, A., Trudić, B., Stamenković, Z., Kuzmanović, B., Perić, S., Ivošević, B., Buđen, M., Petrović, K. 2023. Drone-Related Agrotechnologies for Precise Plant Protection in Western Balkans: Applications, Possibilities, and Legal Framework Limitations. *Agronomy*, 13(10), 2615.
- Junying, S., 2023. Modeling Design of Intelligent Agricultural Plant Protection UAV. In 2023 International Conference on Distributed Computing and Electrical Circuits and Electronics (ICDCECE) (pp. 1-7). IEEE.
- Kahveci, M., Can, N. 2017. İnsansız hava araçları tarihçesi, tanımı, dünyada ve Türkiye'deki yasal durumu. *S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Dergisi*, 5(4), 511-535.
- Karakuş, P., 2017, Çok Zamanlı Uydu Görüntü Verileri ile Tarımsal Ürünlerin Belirlenmesi ve Verim Tahmini, Doktora, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi
- Kerkech, M., Hafiane, A., Canals, R. 2020. Vine disease detection in UAV multispectral images using optimized image registration and deep learning segmentation approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105247.
- Keskin, M., Şekerli, Y.E., 2022. Tarımda Yabancı Ot Mücadelesinde Hassas, Otonom ve Akıllı Sistemler. *AKİTEK 4.0 Dergisi*, 1 (1), 54-63.
- Koday, Z., Erhan, K., Akbaş, F. 2016. Manisa İlinin İdari Coğrafya Analizi. *Journal of Graduate School of Social Sciences*, 20(2).
- Kovács, E., Sulyok, D., Csenki, S., & Felföldi, J. 2023. Farmer's perception of the opportunities offered by drone technology in arable crop production. *Journal of Agricultural Informatics*, 14(1).
- Kırcalı, K., 2022. Element Eksiği Olan Bölgelerdeki Ürünlerin Derin Öğrenme ve İHA ile Sınıflandırılması. Y.Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Kırtok, Y., 1998. Mısır Üretimi ve Kullanımı. Kocaoluk Basım ve Yayınevi, İstanbul, s:125–129
- Mart, C., 2024a Pamuk Nasıl Gelişir?. https://www.progenseed.com/images/upload/5305_8986.pdf (09.04.2024)
- Mart, C., 2024b Pamukta Kimyasal Mücadelenin Yönetimi. https://www.progenseed.com/images/upload/5278_5896.pdf (01.04.2024)
- Mattivi, P., Pappalardo, S. E., Nikolić, N., Mandolesi, L., Persichetti, A., De Marchi, M., Masin, R. 2021. Can commercial low-cost drones and open-source GIS technologies be suitable for semi-automatic weed mapping for smart farming? A case study in NE Italy. *Remote sensing*, 13(10), 1869.
- Nicholas, N. J. H., Ng, Y. P., Tew, Y., 2022. "Intelligent Farming with NDVI Integrated Agriculture Solution," 2022 International Conference on Green Energy, Computing and Sustainable Technology (GECOST), Miri Sarawak, Malaysia, 342-345
- Öz, A., Kapar, H., Dok, M., 2017. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Web Sitesi. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ktae/Belgeler/brosurler/M%C4%B1%C4%B1r%20Tar%C4%B1m%C4%B1.pdf>. (18.11.2023).
- Özer, Z., 1993. Niçin Yabancı Ot Bilimi (Herboloji). Türkiye 57. Herboloji Kongresi Bildirileri (3-5 Şubat 1993), (pp. 1-7). Adana.
- Özgüven M.M. 2018a. Hassas Tarım. Akfon kitap kırtasiye, 334s. Ankara. ISBN: 978- 605-68762-4-0

- Özgülven, M. M. 2018b. The newest agricultural technologies. Current Investigations in Agriculture and Current Research, 5(1), 573-580. <https://doi.org/10.32474/CIACR.2018.05.000201>
- Özgülven, M. M., Altaş, Z., Güven, D., Arif, Ç. A. M., 2022. Tarımda İHA Kullanımı ve Geleceği. Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12(1), 64-83.
- Özyurt, H.B., Çelen, İ.H., 2022. İnsansız Hava Araçları ile Yapılan Pestisit Uygulamalarında Farklı Meme Tiplerinin Damla Dağılımına Etkisinin İncelenmesi. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 18(3): 157-172
- Pakdemirli, B., Birişik, N., Aslan, İ., Sönmez, B., Gezici, M. 2021. Türk Tarımında Dijital Teknolojilerin Kullanımı ve Tarım-Gıda Zincirinde Tarım 4.0. Toprak Su Dergisi, DOI:10.21657/topraksu.898774.
- Pierce, F. J., ve Nowak, P., 1999. Aspects of Precision Agriculture. In D. L. Sparks (Ed.), Advances in Agronomy, 67, 1-85. Academic Press. ISBN 9780120007677.
- Quan, X., Guo, Q., Ma, J., Doluschitz, R. 2023. The economic effects of unmanned aerial vehicles in pesticide application: evidence from Chinese grain farmers. Precision Agriculture, 24(5), 1965-1981.
- Raj, R., Kar, S., Nandan, R., Jagarlapudi, A., 2019. Precision Agriculture and Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). In Unmanned Aerial Vehicle: Applications in Agriculture and Environment. ISBN: 978-3-030-27156-5.
- Reis, M. 2014. İnsansız Hava Araçları ile Bitki Koruma ve Tarım Uygulamaları. In International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Proceeding Book (pp. 1443-1449).
- Subramanian, K. S., Pazhanivelan, S., Srinivasan, G., Santhi, R., Sathiah, N. 2021. Drones in insect pest management. Frontiers in Agronomy, 3, 640885.
- Swain, K. C., Thomson, S. J., Jayasuriya, H. P. 2010. Adoption of an unmanned helicopter for low-altitude remote sensing to estimate yield and total biomass of a rice crop. Transactions of the ASABE, 53(1), 21-27.
- Şin B., Kadioğlu İ. 2019. İnsansız Hava Aracı (İHA) ve Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Yabancı Ot Tespitinin Yapılması. Turk J Weed Sci, 22(2): 211-217.
- Tao, H., Xu, S., Tian, Y., Li, Z., Ge, Y., Zhang, J., Wang, Y., Zhou, G., Deng, X., Zhang, Z., Ding, Y., Jiang, D., Guo, Q., Jin, S. 2022. Proximal and remote sensing in plant phenomics: 20 years of progress, challenges, and perspectives. Plant Communications, 3(6).
- Teke M., Deveci S., Öztoprak F., Efendioğlu M., Küpçü R., Demirkese C., Şimşek F.F., Bağcı B., Uysal E., Türker U., Yıldırım E., Bayramın İ., Kalkan, Demirpolat C. 2016. Akıllı Tarım Fizibilite Projesi: Hassas Tarım Uygulamaları İçin Havadan ve Yerden Veri Toplanması, İşlenmesi ve Analizi. 6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZALCBS 2016), 5-7 Ekim 2016, Adana.
- Tendolkar A., Choraria A., Manohara Pai M. M., Girisha S., Dsouza G. ve Adithya K. S., 2021. Modified crop health monitoring and pesticide spraying system using NDVI and Semantic Segmentation: An AGROCOPTER based approach. 2021 IEEE International Conference on Autonomous Systems (ICAS), Montreal, QC, Canada, 1-5.
- Tsouros, D. C., Bibi, S., Sarigiannidis, P. G., 2019. A review on UAV-based applications for precision agriculture. Information, 10(11), 349.

- Tursun, N., Sakınmaz, M.S., Kantarcı., Z. 2015. Mısır Varyetelerinde Yabancı Ot Kontrolü için Kritik Periyotların Belirlenmesi. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi Araştırma 25 (Özel sayı-1):58-63.
- Türkseven S., Tekin B., Kızmaz M.Z., Urkan E., Serim A.T. 2018. İnsansız hava araçları ile pamukta yabancı ot florasının tespit edilme olanakları. Türkiye VII. Bitki Koruma Kongresi (Uluslararası Katılımlı), 14-17 Kasım 2018, Muğla Türkiye.
- Türkseven, S., Kızmaz, M. Z., Tekin, A. B., Urkan, E., vd. 2016. Tarımda Dijital Dönüşüm; İnsansız Hava Araçları Kullanımı. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 12(4), 267-271.
- Urbahs, A., Jonaite, I. (2013). Features of the use of unmanned aerial vehicles for agriculture applications. Aviation, 20(4), 175-182, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/16487788.2013.861224> (13.03.2024).
- Vartanlı, S., 2006. Ankara Koşullarında Hibrit Mısır Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Verovka, S., Veres, Z., 2022. The software solution for precise agriculture using the NDVI index. In 2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies CSIT, 490-494. IEEE.
- Villi, O., Yakar, M., 2022. İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Sensör Tipleri. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 4(2), 73-100.
- Villi, O., Yakar, M., 2023. İnsansız Hava Araçları ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları. Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi, 5(1), 20-33.
- Zhang, C., Kovacs, J. M., 2012. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. Precision agriculture, 13, 693-712.
- Zuolkernan, I., Abuhani, D.A., Hussain, M.H., Khan, J., Elmohandes, M., 2023. Machine Learning for Precision Agriculture with UAV. In Encyclopedia.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	İbrahim AYDINOĞLU
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Medeni Hali:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lisans:	Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü
Yüksek Lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Bitki Koruma Anabilim Dalı (2024)
Doktora:	-
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	Orta